

УДК 621.791:624

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАРИЙ-СТРОНЦИЕВОГО МОДИФИКАТОРА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРОЧНОГО ФЛЮСА НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА

Козырев Н.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения, литейного

и сварочного производства (kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru)

Крюков Р.Е., к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного

и сварочного производства (rek_nzrmk@mail.ru)

Михно А.Р., аспирант кафедры материаловедения, литейного

и сварочного производства (mikno-mm131@mail.ru)

Кибко Н.В., к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного

и сварочного производства (krivicheva_nv@mail.ru)

Усольцев А.А., к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного

и сварочного производства (a.us@rambler.ru)

Сибирский государственный индустриальный университет

(654007, Россия, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Представлена возможность использования барий-стронциевого модификатора в качестве газозащитной и рафинирующей добавки для сварочных флюсов, изготовленных на основе шлакового щебня от производства ферросиликомарганца. В качестве материалов для исследования был использован барий-стронциевый модификатор БСК-2 по ТУ 1717-001-75073896 – 2005 производства ООО «НПК Металлтехнопром». В качестве основы сварочного флюса использовали шлак силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода. Исследование работы новых сварочных флюсов и флюс-добавок проводили с использованием оборудования НПП «Сварочные процессы и технологии» и ЦКП «Материаловедение». Применение барий-стронциевой флюс-добавки проводили по двум вариантам. В первом варианте флюс-добавку изготавливали путем измельчения барий-стронция до пылевидной фракции менее 0,2 мм с дальнейшим смешением с жидким натриевым стеклом, сушкой в печи, дроблением и выделением фракции 0,45 – 3,00 мм. Во втором варианте флюс-добавку использовали в виде пыли фракции менее 0,2 мм. Добавки примешивали при соотношении 2 – 10 % от массы шлака производства силикомарганца. Наплавку образцов осуществляли сварочной проволокой марки Св-08ГА на подложку из стали марки 09Г2С толщиной 20 мм. Изучено качество наплавленного металла, исследованы химические составы (наплавленных слоев, шлаковых корок, используемого флюса) рентгенофлюоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Изучена степень загрязненности неметаллическими включениями (силикатами недеформирующимися, оксидами точечными, сульфидами) с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в диапазоне увеличений от 100 до 1000. Проведенные лабораторные исследования по наплавке стальных образцов показали, что за счет введения флюс-добавки, изготовленной из барий-стронциевого модификатора, происходит рафинирование металла, снижается концентрация серы и фосфора. Показано, что использование смеси барий-стронциевого модификатора с жидким стеклом в качестве добавки предпочтительнее по отношению к применению добавки в виде пыли. Выявлено, что наилучшими образцами с точки зрения степени загрязненности наплавленного металла неметаллическими включениями являются образцы, изготовленные с использованием не более 8 % барий-стронциевой флюс-добавки.

Ключевые слова: сварка, флюсы, технология, наплавка, барий-стронциевый модификатор, образцы, неметаллические включения.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-9-686-692

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений в сварочном производстве является разработка новых и совершенствование старых составов сварочных флюсов, флюс-добавок и обмазки электродов, способных к повышению рафинирующих свойств шлаковой ванны и способствующих образованию газовой защиты. В качестве таких материалов для изготовления флюсов, флюс-добавок и обмазки электродов чаще всего используются природные карбонаты кальция,

магния, натрия и калия. В последнее время широкое применение нашли карбонаты бария и стронция. Используются материалы месторождений комплексных карбонатных руд, содержащих стронций, барий и кальций следующего минерального состава: 10 % калиевого полевого шпата; 10 – 20 % пироксена; 70 – 80 % стронций-кальций-бариевого карбоната. Выпуск барий-стронциевого модификатора БСК-2 по ТУ 1717-001-75073896 – 2005 освоен на ООО «НПК Металлтехнопром». Модификатор используется для производства стали, чугуна и цветных сплавов, а так-

же для покрытий сварочных электродов [1 – 3]. Барий-стронциевый карбонатит содержит 13,0 – 19,0 % BaO; 3,5 – 7,5 % SrO; 19,8 – 29,8 % SiO₂; 17,5 – 25,5 % CaO; 2,5 – 3,5 % K₂O; 0,7 – 1,1 % MgO; 0 – 0,4 % MnO; 1,5 – 6,5 % Fe₂O₃; 16,0 – 20,0 % CO₂; 1,0 – 2,0 % Na₂O; 1,9 – 3,9 % Al₂O₃; 0,7 – 1,1 % TiO₂.

Диссоциация карбонатов (MgO, CaO, BaO, SrO), содержащихся в барий-стронциевом карбонатите, повышает основность шлака, а также способствует рафинированию металла сварного шва от неметаллических включений [4 – 18].

Исследования по применению флюс-добавки на основе барий-стронциевого модификатора в сварочные флюсы на основе шлака производства силикомарганца изучали ранее в работах [19, 20], последующие исследования проведены в настоящей работе.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В качестве основного флюса использовали шлак силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода следующего химического состава: 22,85 – 31,70 % CaO; 46,46 – 48,16 % SiO₂; 6,48 – 7,92 % MgO; 8,01 – 8,43 % MnO; 6,91 – 9,62 % Al₂O₃; 0,27 – 0,81 % FeO; 0,28 – 0,76 % F; 0,26 – 0,36 % Na₂O; 0,01 % P; 0,15 – 0,17 % S.

Исследования проводили по двум вариантам. В первом варианте в качестве флюс-добавки применяли смесь барий-стронциевого модификатора с жидким натриевым стеклом в соотношении 75 и 25 % соответственно. После смешения смесь выдерживали при комнатной температуре в течение суток, осуществляли сушку в течение 4 ч в печи при температуре 350 °C, охлаждение, дробление и просев с выделением фракции 0,45 – 3,00 мм. Во втором варианте использовали в ка-

честве флюс-добавки пыль барий-стронциевого модификатора фракции менее 0,2 мм.

Исследуемые соотношения флюса и флюс-добавки приведены в табл. 1. В проведенных опытах использовали шлак производства силикомарганца фракции 0,45 – 3,00 мм без добавок (образец М) и с введением флюс-добавок, изготовленных по двум вариантам. По первому варианту (с жидким натриевым стеклом) добавку вводили в количестве 2, 4, 6, 8, 10 % (образцы флюса М2, М4, М6, М8, М10). Второй вариант – использовали флюс-добавку (пыль) в количестве 2, 6, 8, 10 % (образцы флюса М21, М61, М81, М101)

Наплавку проводили с использованием стали марки 09Г2С, образцы размером 150×150 мм. Процесс наплавки образцов проводили проволокой Св-08ГА diam. 4 мм с использованием сварочного трактора ASAW-1250. Режим наплавки: сила тока – 680 А, напряжение – 28 В, скорость сварки – 28 см/мин.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Химические составы флюсов, шлаковых корок и наплавленного металла приведены в табл. 2 – 4.

Как видно из рис. 1, происходит незначительное восстановление бария и стронция из материала, причем изменение химического состава наплавленного слоя указывает на повышение степени десульфурации и дефосфорации при использовании флюс-добавки.

При введении флюс-добавки происходит восстановление бария, стронция, а также снижение концентрации серы и фосфора.

Металлографические исследования наплавленных слоев на наличие и размер неметаллических включений проводили на оптическом микроскопе марки OLYMPUS GX-51 при увеличении 100 методом

Таблица 1

Исследуемые соотношения флюс – флюс-добавки

Table 1. Investigated ratios of flux – flux-additives

Образец	Количество барий-стронциевой добавки, % (по массе)		Количество шлака производства силикомарганца, % (по массе)
	с жидким стеклом	пылеобразной	
М	–	–	100
М2	2	–	98
М4	4	–	96
М6	6	–	94
М8	8	–	92
М10	10	–	90
М21	–	2	98
М61	–	6	94
М81	–	8	92
М101	–	10	90

Т а б л и ц а 2

Химический состав флюса

Table 2. Flux chemical composition

Образец	Содержание элементов, % (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	BaO	SrO	TiO ₂
М	0,50	7,97	31,34	46,09	6,61	5,74	0,40	0,01	0,33	0,011	0,0040	0,050	0,45	—	—	0,07
М2	1,39	7,68	31,27	46,31	6,48	5,40	0,52	0,04	0,20	0,022	0,0080	0,030	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	0,040	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	0,040	0,45	0,79	0,410	0,14
М8	1,04	7,14	31,65	43,93	6,22	3,71	0,79	0,27	0,13	0,044	0,0030	0,033	0,41	0,95	0,440	0,16
М10	2,08	7,09	30,16	43,90	7,17	3,58	0,62	0,20	0,12	0,027	0,0110	0,039	0,34	1,45	0,600	0,13
М21	1,32	8,14	32,09	45,19	6,20	5,35	0,36	0,01	0,43	0,014	0,0090	0,050	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	0,030	0,42	0,16	0,092	0,07
М81	1,89	7,90	30,79	40,07	5,71	3,03	0,48	0,57	0,13	0,090	0,0050	0,028	0,52	1,57	0,990	0,22
М101	1,01	7,22	31,62	44,99	6,71	3,29	0,40	0,32	0,14	0,061	0,0030	0,021	0,40	2,97	1,110	0,15

Т а б л и ц а 3

Химический состав шлаковых корок

Table 3. Chemical composition of slag crusts

Образец	Содержание элементов, % (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	BaO	SrO	TiO ₂
М	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	—	—	0,07
М2	2,07	7,54	31,91	43,63	6,52	5,92	0,31	0,010	0,16	0,012	0,006	0,100	0,45	0,19	0,098	0,08
М4	2,11	7,15	31,45	45,31	6,38	5,42	0,43	0,030	0,18	0,017	0,008	0,070	0,41	0,38	0,200	0,09
М6	1,93	7,20	31,37	44,30	7,46	5,26	0,39	0,020	0,23	0,017	0,008	0,050	0,46	0,34	0,190	0,09
М8	2,00	7,83	31,19	44,55	7,35	3,68	0,53	0,130	0,11	0,023	0,005	0,037	0,42	0,64	0,390	0,12
М10	1,12	7,16	30,60	44,90	6,48	3,10	0,84	0,320	0,14	0,047	0,013	0,026	0,56	1,52	0,580	0,16
М21	2,34	7,42	31,97	43,30	6,59	5,56	0,31	0,300	0,21	0,014	0,004	0,070	0,38	0,34	0,200	0,07
М61	2,21	6,95	30,26	45,55	7,06	4,99	0,33	0,130	0,17	0,017	0,011	0,040	0,38	0,64	0,390	0,11
М81	1,84	7,78	31,94	45,21	6,87	3,94	0,34	0,077	0,12	0,019	0,004	0,039	0,38	0,83	0,410	0,11
М101	2,04	7,36	31,25	44,43	7,50	3,75	0,38	0,200	0,12	0,030	0,003	0,035	0,48	1,03	0,540	0,14

сравнения с эталонными шкалами в соответствии с ГОСТ 1778 – 70.

В результате исследования наплавленного металла были выявлены следующие неметаллические включения: оксиды точечные, сульфиды и силикаты недеформирующиеся (рис. 2). Характеристика неметаллических включений наплавленного слоя приведена в табл. 5.

Показано, что при использовании флюс-добавки на основе смеси барий-стронциевого модификатора в количестве 2 – 8 %, изготовленной с использованием жидкого стекла, степень загрязненности наплавленного металла неметаллическими включениями меньше по

сравнению с применением флюс-добавки в виде пыли барий-стронциевого модификатора, а также с содержанием флюс-добавки более 10 %.

Выводы

Показана принципиальная возможность применения барий-стронциевого модификатора в качестве газо-защитной и рафинирующей флюс-добавки для сварочных флюсов. Использование флюс-добавки на основе барий-стронциевого модификатора с жидким стеклом лучше по отношению флюс-добавки в виде пыли. Разработанные добавки на основе барий-стронциевого

Химический состав наплавленных валиков

Table 4. Chemical composition of welded beds

Образец	Содержание элементов, % (по массе)												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	Mo	Nb	S	P	Ba	Sr
M	0,07	0,43	1,16	0,05	0,11	0,14	0,007	0,021	0,003	0,029	0,018	—	—
M2	0,08	0,26	0,83	0,05	0,13	0,15	0,003	0,020	0,004	0,026	0,015	0,0041	0,0004
M4	0,07	0,29	0,84	0,05	0,13	0,15	0,005	0,020	0,003	0,025	0,014	0,0054	0,0006
M6	0,09	0,26	0,77	0,04	0,10	0,15	0,004	0,020	0,003	0,021	0,011	0,0065	0,0008
M8	0,04	0,41	1,28	0,05	0,08	0,13	0,001	0,010	0,012	0,013	0,011	0,0096	0,0010
M10	0,04	0,36	1,20	0,05	0,08	0,12	0,001	0,010	0,010	0,014	0,012	0,0119	0,0011
M21	0,09	0,31	0,76	0,05	0,13	0,15	0,004	0,019	0,002	0,028	0,016	0,0049	0,0001
M61	0,08	0,23	0,77	0,05	0,13	0,14	0,004	0,017	0,003	0,026	0,014	0,0058	0,0003
M81	0,05	0,41	1,25	0,04	0,08	0,13	0,003	0,010	0,011	0,013	0,011	0,0086	0,0005
M101	0,04	0,41	1,26	0,04	0,08	0,13	0,001	0,010	0,011	0,012	0,011	0,0112	0,0006

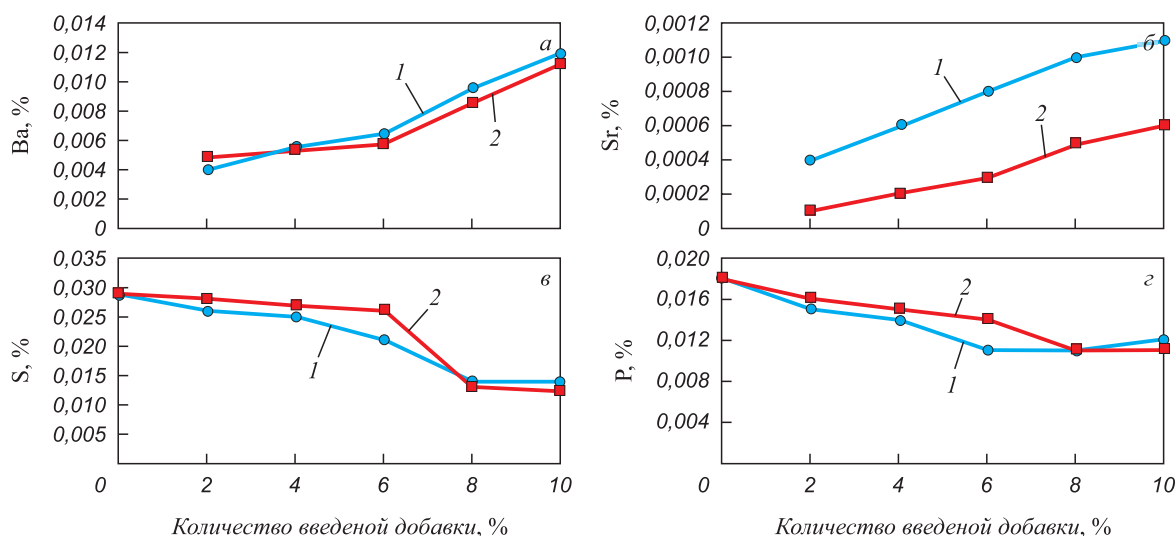


Рис. 1. Влияние количества введенной добавки в наплавленном слое на концентрацию бария (а), стронция (б), серы (в) и фосфора (г): 1 – BaSr + жидкое стекло; 2 – BaSr (пыль)

Fig. 1. Influence of the amount of added additive in the deposited layer on the concentration of barium (a), strontium (б), sulfur (в) and phosphorus (г): 1 – BaSr + liquid glass; 2 – BaSr (dust)

карбоната позволяют снизить загрязненность наплавленного слоя неметаллическими включениями, а также повысить десульфурующую способность сварочных флюсов. Выявлено, что наилучшими образцами, с точки зрения степени загрязненности наплавленного металла неметаллическими включениями, являются образцы, изготовленные с использованием не более 8 % барий-стронциевой флюс-добавки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Дерябин А.А., Берестов Е.Ю. О механизме модифицирования стали щелочноземельными металлами // Электromеталлургия. 2008. № 6. С. 35 – 38.
- Дерябин А.А., Павлов В.В., Могильный В.В. и др. Эффективность нанотехнологий модифицирования рельсовой стали барием // Сталь. 2007. № 11. С. 134 – 141.
- Григорьев Ю.В., Рябчиков И.В., Рощин В.Е. Термодинамический анализ совместного восстановления кремния и бария углеродом // Изв. вуз. Черная металлургия. 2005. № 7. С. 3 – 5.
- Ферросплавы с редкоземельными и щелочноземельными металлами / И.В. Рябчиков, В.Г. Мизин, Н.П. Лякишев, А.С. Дубровин. – М.: Металлургия, 1983. – 272 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. № 10. С. 871 – 875.
- Ивакин В.Л., Черняк С.С., Пимнев Д.Ю. Новая технология повышения качества металлов и сплавов барий-стронциевым карбонатом. – Иркутск: изд. Иркутского гос. университета, 2004. – 123 с.

Т а б л и ц а 5

**Характеристика неметаллических включений
наплавленного металла**

*Table 5. Characteristics of non-metallic inclusions of
deposited metal*

Образец	Неметаллические включения, балл		
	Силикаты недеформирующиеся	Оксиды точечные	Сульфиды
М	1б, 2б, редко 3б	1а	1а
М2	1б, 2б	1а	–
М4	1б, 2б	1а	–
М6	1б, 2б	1а	–
М8	1б, 2б	1а	–
М10	1б, 2б, редко 3б	1а	1а
М21	1б, 2б	1а	–
М61	1б, 2б	1а	–
М81	1б, 2б	1а	–
М101	1б, 2б, редко 4б	1а	2б

- Kartashev M.F., Naumov S.V., Urchenko A.N., Sheksheev M.A. Study of welding properties of fused weld flux produced by electric arc granulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 511. No. 1. Article 012034.
- Gupta P., Roy J., Rai R.N., Rao A.K.P., Saha S.C. Effect of B_2O_3 containing fluxes on the microstructure and mechanical properties in submerged arc welded mild steel plates // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 114. No. 1. Article 012102.
- Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding // Welding International. 2011. Vol. 25. No. 11. P. 889 – 893.
- Kartsev D.S., Zernin E.A. Use of refractory nanoparticles as a component of welding materials in welding and surfacing with coated electrodes and flux cored wires // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 142. No. 1. Article 012008.
- 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. 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., Shes-tov D.V., Pavlov N.V., Savchenko A.I. The development and pro-perties of a new ceramic flux used for reconditioning rolling stock components // Welding International. 2010. Vol. 24. No. 4. P. 298 – 300.
- Potapov N.N., Kurlanov S.A. A criterion for evaluating the activity of fused welding fluxing // 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.
- Naumov S.V., Ignatov M.N., Sheksheev M.A. Technology of mine-ral raw materials granulation by electric arc for manufacturing of welding fused flux // Solid State Phenomena. 2017. Vol. 265. P. 290 – 295.

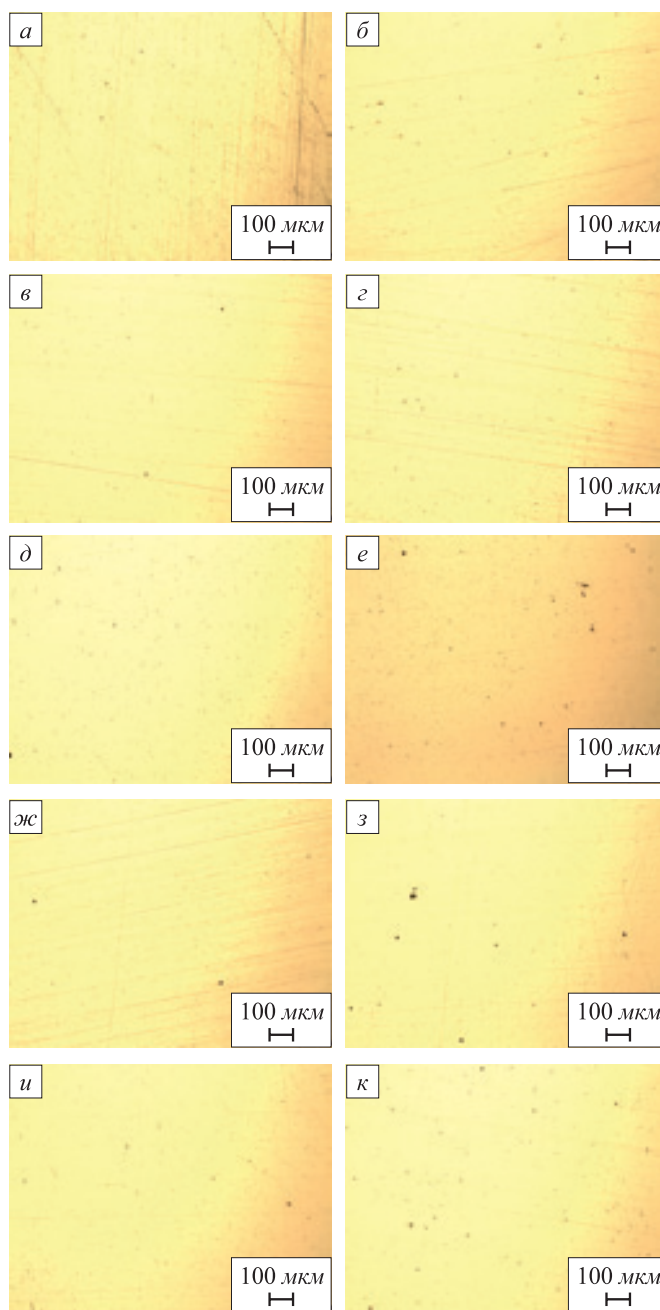


Рис. 2. Характер неметаллических включений в наплавленном слое образцов М (а); М2 (б); М4 (в); М6 (г); М8 (д); М10 (е); М21 (ж); М61 (з); М81 (и); М101 (к)

Fig. 2. Nature of non-metallic inclusions in the deposited layer of samples М (а); М2 (б); М4 (в); М6 (г); М8 (д); М10 (е); М21 (ж); М61 (з); М81 (и); М101 (к)

- Муруев С.Б., Римкевич Б.С., Буцкий Е.Б., Сидорина Т.Н., Романов П.М. Применение барийстронциевого карбоната при производстве заготовок из инструментальной стали Р6М5 и Х12МФ // Электromеталлургия. 2008. № 6. С. 35 – 38.
- Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Платонов М.А., Дмитриенко В.И. Восстановление бария и стронция в процессе обработки стали // Черные металлы. 2011. № 4. С. 29 – 31.
- 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 3. Флюс добавки

для сварочных флюсов, содержащих барий стронциевый карбонатит // Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация». 2017. Вып. 6 (1410). С. 95 – 98.

20. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Бурнаков М.А., Михно А.Р., Федотов Е.Е. Использование барийстронциевого карбоната при изготовлении сварочных флюсов на основе шлака производства силикомарганца. – В кн.: Металлургия: технологии, инновации,

качество. Труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2017. С. 296 – 299.

Поступила в редакцию 13 марта 2018 г.

После доработки 10 апреля 2018 г.

Принята к публикации 18 июня 2020 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2020. Vol. 63. No. 9, pp. 686–692.

USE OF BARIUM-STRONTIUM MODIFIER FOR THE MANUFACTURING OF WELDING FLUX BASED ON SILICOMANGANESE SLAG

N.A. Kozыrev, R.E. Kryukov, A.R. Mikhno, N.V. Kibko,
A.A. Usol'tsev

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovo Region, Russia

Abstract. The possibility of using a barium-strontium modifier as a gas-protective and refining additive for welding the fluxes based on crushed slag from the production of ferrosilicomanganese is presented. The barium-strontium modifier BSK-2 produced by JSC “NPK Metalltekhнопrom” according to TU 1717-001-75073896–2005 was used as a material for the study. The base of the welding flux was silicomanganese slag produced by the West Siberian Electrometallurgical Plant. The research work on new welding fluxes and flux-additives was carried out using the equipment of the Scientific and Production Center “Welding Processes and Technologies” and the Center for Collective Use “Materials Science”. The use of barium-strontium flux additive was carried out in two ways. In the first option, the flux-additive was made by grinding barium-strontium to a dust-like fraction of less than 0.2 mm with further mixing with liquid sodium glass, drying in a furnace, crushing and separating a fraction of 0.45 – 3.00 mm. In the second option, the flux additive was used in the form of dust with a fraction of less than 0.2 mm. The additives were mixed at a ratio of 2 – 10 % of mass of the slag produced by silicomanganese. Surfacing of the samples was carried out with a welding wire of the sv-08GA grade on a substrate of steel grade 09G2S with a thickness of 20 mm. Quality of the deposited metal was studied, the chemical compositions (deposited layers, slag crusts, the used flux) were investigated by X-ray fluorescence method on XRF-1800 spectrometer and by atomic emission method on DFS-71 spectrometer. The degree of contamination with non-metallic inclusions (non-deforming silicates, point oxides, sulfides) was studied using OLYMPUS GX-51 optical microscope in the magnification range from 100 to 1000. The laboratory studies on the surfacing of steel samples have shown that due to introduction of a flux additive made from barium-strontium modifier, the metal is refined, and the concentration of sulfur and phosphorus decreases. The use of a mixture of a barium-strontium modifier with liquid glass as an additive is preferable to the use of an additive in the form of a dust. It was revealed that the best samples from the point of view of the degree of contamination of the deposited metal with nonmetallic inclusions are samples made using no more than 8 % of barium-strontium flux additive.

Keywords: welding, flux, technology, surfacing, barium-strontium modifier, sample, non-metallic inclusions.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-9-686-692

REFERENCES

1. Deryabin A.A., Berestov E.Yu. On mechanism of steel modification with alkaline earth metals. *Elektrometallurgiya*. 2008, no. 6, pp. 35–38. (In Russ.).
2. Deryabin A.A., Pavlov V.V., Mogil'nyi V.V., Godik L.A., Tsepelev V.S., Konashkov V.V., Gorkavenko V.V., Berestov E.Yu. Nanomodification of Rail Steel with Barium. *Steel in Translation*. 2007, vol. 37, no. 11, pp. 966–973.
3. Grigor'ev Yu.V., Ryabchikov I.V., Roshchin V.E. Thermodynamic analysis of joint reduction of silicon and barium by carbon. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2005, no. 7, pp. 3–5. (In Russ.).
4. Ryabchikov I.V., Mizin V.G., Lyakishev N.P., Dubrovin A.S. *Ferrosplavy s redkozemel'nymi i shchelochnozemel'nymi metallami* [Ferroalloys with rare earth and alkaline earth metals]. Moscow: Metallurgiya, 1983, 272 p. (In Russ.).
5. Rozhikhina I.D., Nokhrina O.I., Dmitrienko V.I., Platonov M.A. Modification of steel by barium and strontium. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2015, vol. 58, no. 10, pp. 871–875. (In Russ.).
6. Ivakin V.II., Chernyak S.S., Pimnev D.Yu. *Novaya tekhnologiya povysheniya kachestva metallov i splavov bariistrontsiyevym karbonatom* [New technology for improving the quality of metals and alloys with barium strontium carbonate]. Irkutsk: izd. Irkutskogo gos. universiteta, 2004, 123 p. (In Russ.).
7. Kartashev M.F., Naumov S.V., Urchenko A.N., Shekshuev M.A. Study of welding properties of fused weld flux produced by electric arc granulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, vol. 511, no. 1, article 012034.
8. Gupta P., Roy J., Rai R.N., Rao A.K.P., Saha S.C. Effect of B₂O₃ containing fluxes on the microstructure and mechanical properties in submerged arc welded mild steel plates. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016, vol. 114, no. 1, article 012102.
9. Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding. *Welding International*. 2011, vol. 25, no. 11, pp. 889–893.
10. Kartsev D.S., Zernin E.A. Use of refractory nanoparticles as a component of welding materials in welding and surfacing with coated electrodes and flux cored wires. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016, vol. 142, no. 1, article 012008.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Potapov N.N., Kurlanov S.A. A criterion for evaluating the activity of fused welding fluxing. *Welding International*. 1987, vol. 1, no. 10, pp. 951–954.
15. 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.

16. Naumov S.V., Ignatov M.N., Sheksheev M.A. Technology of mineral raw materials granulation by electric arc for manufacturing of welding fused flux. *Solid State Phenomena*. 2017, vol. 265, pp. 290–295.
17. Muruev S.B., Rimkevich B.S., Butskii E.B., Sidorina T.N., Romanov P.M. Application of barium strontium carbonate in the production of ingots from tool steels R6M5 and Kh12MF. *Elektrometallurgiya*. 2008, no. 6, pp. 35–38. (In Russ.).
18. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D., Platonov M.A., Dmitrienko V.I. Recovery of barium and strontium during steel processing. *Chernye metally*. 2011, no. 4, pp. 29–31. (In Russ.).
19. 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 of steel using metallurgical waste. Report 3. Flux additives for welding fluxes containing barium strontium carbonatite. *Chernaya metallurgiya. Byul. in-ta "Chermetinformatsiya"*. 2017, no. 6 (1410), pp. 95–98. (In Russ.).
20. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Burnakov M.A., Mikhno A.R., Fedotov E.E. Use of barium-strontium carbonatite in manufacture of welding fluxes based on slag of silicomanganese production. In: *Metallurgiya: tekhnologii, innovatsii, kachestvo. Trudy XX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 2-kh ch.*

Ch. 1 [Metallurgy: Technology, Innovations, Quality: Proceedings of the 20th Int. Sci. and Pract. Conference: in 2 parts, Part 1]. Novokuznetsk: ITs SibGIU, 2017, pp. 296–299. (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)

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

A.R. Mikhno, Postgraduate of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production" (mikno-mm131@mail.ru)

N.V. Kibko, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production" (krivicheva_nv@mail.ru)

A.A. Usol'tsev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production" (a.us@rambler.ru)

Received March 13, 2018

Revised April 10, 2018

Accepted June 18, 2020