

УДК 621.791:624

ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНОГО ШВА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАРИЙСТРОНЦИЕВОГО КАРБОНАТИТА

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

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

Усольцев А.А., к.т.н., доцент кафедры «Материаловедение, литейное
и сварочное производство» (a.us@rambler.ru)

Прохоренко О.Д., к.т.н., старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика
и экология» (kafedra-TEE@yandex.ru)

Айматов В.Г., магистрант кафедры «Материаловедение, литейное
и сварочное производство» (vlad_aymatov@mail.ru)

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

Аннотация. Обобщены результаты использования барийстронциевого карбоната в металлургии для модифицирования и рафинирования железоуглеродистых сплавов. Предложено использовать барийстронциевый карбонатит при изготовлении сварочных флюсов. Использовали барийстронциевый модификатор БСК-2 по ТУ 1717-001-75073896 – 2005 производства ООО «НПК Металлтехнопром» следующего химического состава: 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. Предложена технология изготовления флюс-добавки, содержащей 70 % барийстронциевого карбоната и 30 % жидкого стекла. Опробовано несколько составов сварочных флюсов на основе шлака производства силикомарганца. Флюс-добавку вводили в количестве 1, 3 и 5 %. Определены технологические особенности сварки под исследуемыми составами сварочных флюсов. Проведен рентгеноспектральный анализ химического состава исследуемых флюсов, шлаковых корок и металла сварного шва, а также металлографические исследования сварных швов. Показана принципиальная возможность применения барийстронциевого карбоната в качестве рафинирующей и газозащитной добавки для сварочных флюсов. Использование барийстронциевого карбоната позволяет снизить загрязненность металла сварного шва неметаллическими включениями: силикатами недеформирующимися, оксидами точечными и силикатами хрупкими, а также повысить десульфурную способность сварочных флюсов. Введение барийстронциевого карбоната во флюс на основе шлака силикомарганца в количестве до 5 % обеспечивает феррито-перлитную структуру металла сварного шва видманштеттовой направленности, при этом незначительно снижается величина зерна с № 4 до № 4, № 5.

Ключевые слова: сварка, флюсы, технология, сварной шов, барийстронциевый карбонатит, образцы, неметаллические включения, микроструктура, величина зерна.

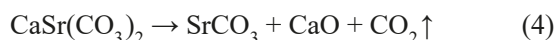
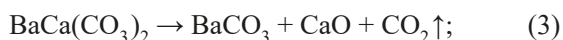
DOI: 10.17073/0368-0797-2018-2-108-113

Разработка новых составов сварочных флюсов и использование для изготовления относительно недорогих природных материалов в виде добавок, позволяющих целенаправленно управлять физико-химическим состоянием металлического расплава и повышать показатели качества сварного шва, является одной из актуальных задач [1 – 12].

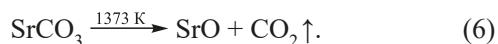
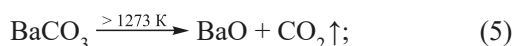
В металлургии одним из перспективных направлений является разработка технологий, позволяющих проводить модифицирование и рафинирование стали барием и стронцием из оксидных материалов, минуя стадии производства лигатур [13 – 15]. В качестве материала для таких технологий наиболее перспективными являются комплексные карбонатные руды, содержащие кальций, барий и строн-

ций, месторождения, находящегося на северо-востоке Иркутской области. Руды имеют следующий минеральный состав: 70 – 80 % стронцийкальцийбариевого карбоната, 10 % калиевого полевого шпата, 10 – 20 % пироксена. Выпуск барийстронциевого модификатора БСК-2 по ТУ 1717-001-75073896 – 2005 освоен ООО «НПК Металлтехнопром». Модификатор предназначен для производства стали, чугуна и цветных сплавов, а также для покрытий сварочных электродов [16 – 19]. Барийстронциевый модификатор содержит 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.

Результаты рентгенофазового анализа [19] показали, что основными соединениями, входящими в состав барий-стронциевого модификатора, являются баритокальцит $\text{BaCa}(\text{CO}_3)_2$, кальцит CaCO_3 , кальциостронцианит $\text{CaSr}(\text{CO}_3)_2$, доломит MgCO_3 и сидерит FeCO_3 . При этом проведенный дифференциально-термический анализ определил, что до температуры 1223 К происходит диссоциация доломита, кальцита, баритокальцита и кальциостронцианита. Это означает, что при температурах сварочных процессов (1873 – 1923 К) возможно использование данного материала с разложением карбонатных составляющих при температуре 1273 К по реакциям [13]



с последующей диссоциацией карбонатов бария и стронция по реакциям:



В работах [20, 21] для определения условий восстановления бария и стронция из оксидов использовались методы термодинамического моделирования, реализованные в программном комплексе «Терра».

При исследовании кинетики разложения баритокальцита и кальциостронцианита в работах [22, 23] предполагается, что процесс протекает в две стадии, в результате которых образуются CaO , BaO , SrO и выделяется углекислый газ (CO_2). Выделение CO_2 при диссоциации карбонатов бария и стронция создает защитную атмосферу для свариваемых изделий, тем самым происходит защита расплавленного металла от окисления, что способствует повышению качества сварного шва. При этом защита осуществляется вследствие высокотемпературного разложения карбонатов с образованием CO_2 . Расчеты [24, 25] показывают, что при разложении 1 кг CaCO_3 (н.у.) образуется $0,224 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$, 1 кг MgCO_3 – $0,267 \text{ м}^3$, 1 кг FeCO_3 – $0,192 \text{ м}^3$, 1 кг MnCO_3 – $0,194 \text{ м}^3$, 1 кг Na_2CO_3 – $0,211 \text{ м}^3$; при разложении 1 кг BaCO_3 и 1 кг SrCO_3 соответственно образуется $0,114$ и $0,152 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$. При нагревании до температуры сварочных процессов $1800 \text{ }^\circ\text{C}$ (2073 K) происходит расширение газа в 7,6 раза. По-видимому, без учета затрат на разложение карбонатов наиболее оптимальным является использование соединений MgCO_3 , CaCO_3 , $\text{BaCa}(\text{CO}_3)_2$ и $\text{CaSr}(\text{CO}_3)_2$ как компонентов, позволяющих получать наибольшее количество CO_2 при разложении 1 кг материала.

Диссоциация карбонатов, содержащихся в барий-стронциевом карбонатите (MgO , CaO , BaO , SrO), повышает основность шлака и, возможно, способствует рафинированию металла сварного шва от неметаллических включений. Считается, что помимо вышеизложенного, барий и стронций, являясь модификаторами, по-видимому, оказывают влияние на металлическую структуру сварного шва [19].

В работе [26] показана принципиальная возможность использования барий-стронциевого карбонатита в качестве добавки в сварочные флюсы. Дальнейшие исследования по влиянию добавки барий-стронциевого карбонатита при ее введении в сварочные флюсы на качество получаемых сварных швов приводятся в настоящей работе.

В серии опытов в лабораторных условиях изготавливали и исследовали сварочные флюсы различных составов.

Сварочный флюс 1 (флюс-добавка) получали путем смешения барий-стронциевого карбонатита с жидким стеклом в соотношении 70 на 30 % соответственно. После этого делали выдержку при комнатной температуре с последующими сушкой в печи при температуре $300 \text{ }^\circ\text{C}$, охлаждением, дроблением и просевом с выделением фракции $0,45 - 2,5 \text{ мм}$. Флюс 2 изготавливали на основе шлака производства силикомарганца фракции $0,45 - 2,5 \text{ мм}$, флюсы 3, 4, 5 – на основе шлака производства силикомарганца той же фракции $0,45 - 2,5 \text{ мм}$ в смеси с флюс-добавкой (барий-стронциевым карбонатитом с жидким стеклом в соотношении 70 и 30 %) в количествах 1; 3 и 5 % соответственно.

Сварку под флюсами проводили встык без скоса кромок с двух сторон на образцах размером $500 \times 75 \text{ мм}$ толщиной 16 мм из листовой стали марки 09Г2С. Сварочный процесс осуществляли проволокой Св-08ГА диам. 4 мм с использованием сварочного трактора АСАВ-1250 при следующих режимах: $I_{\text{св}} = 700 \text{ А}$; $U_{\text{д}} = 30 \text{ В}$; $V_{\text{св}} = 35 \text{ м/ч}$.

Химические составы флюсов, шлаковых корок и металла сварных швов приведены в табл. 1 – 3. Как видно из таблиц, происходит незначительное восстановление бария и стронция из материала, причем изменение химического состава металла сварного шва указывает на повышение степени десульфурации при использовании флюс-добавки.

Визуальный контроль качества сварного шва образца 1, выполненного с использованием только флюс-добавки, показал неудовлетворительное его качество: неравномерность формы шва, при этом наблюдалась плохая отделимость шлаковой корки. Остальные образцы были удовлетворительного качества. Для выполнения рентгеноспектрального анализа состава металла швов и металлографических исследований из сваренных пластин были вырезаны образцы. Металлографическое исследование металла сварного шва проводилось на микрошлифах без травления с помощью

Т а б л и ц а 1

Химический состав флюса

Table 1. Chemical composition of flux

Флюс	Содержание, %												
	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	F	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	SrO	S	P
1	0,87	32,52	12,15	1,02	3,54	9,96	–	2,41	2,48	14,24	4,86	0,25	0,21
2	9,58	50,26	18,51	7,98	10,55	1,54	0,38	0,41	0,61	Отс.	Отс.	0,13	0,05
3	8,11	47,64	29,79	6,19	6,97	0,31	0,21	0,27	Отс.	0,25	0,10	0,15	0,01
4	7,96	48,28	28,36	6,15	7,05	0,42	0,33	0,43	0,03	0,61	0,21	0,15	0,02
5	8,19	48,44	28,86	5,08	7,04	0,54	0,31	0,43	0,04	0,65	0,25	0,15	0,02

Т а б л и ц а 2

Химический состав шлаковых корок

Table 2. Chemical composition of slag crusts

Образец	Массовая доля элементов, %												
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	SrO	F	S	P
1	2,42	4,92	18,81	26,21	14,84	18,11	0,70	0,38	0,51	0,10	–	0,15	0,04
2	2,11	8,05	23,83	46,92	10,27	6,90	0,38	0,66	Отс.	Отс.	0,74	0,13	0,01
3	1,76	8,21	29,34	46,74	7,17	5,79	0,28	Отс.	0,25	0,10	0,23	0,15	0,01
4	2,45	8,42	27,66	46,90	6,92	6,00	0,39	0,04	0,59	0,24	0,27	0,15	0,02
5	2,70	7,93	27,36	46,94	6,87	5,94	0,47	0,12	0,90	0,32	0,32	0,15	0,02

Т а б л и ц а 3

Химический состав металла сварных швов

Table 3. Chemical composition of weld seams metal

Образец	Массовая доля элементов, %											
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Nb	Al	S	P	Sr	Ba
1	0,11	0,13	0,53	0,02	0,05	0,10	0,002	–	0,030	0,021	0,0004	0,0040
2	0,09	0,71	1,51	0,03	0,10	0,11	0,014	0,023	0,019	0,013	Отс.	Отс.
3	0,08	0,54	1,38	0,02	0,04	0,06	0,016	0,012	0,011	0,009	0,0004	0,0012
4	0,08	0,51	1,33	0,02	0,03	0,06	0,015	0,021	0,010	0,008	0,0004	0,0021
5	0,09	0,57	1,41	0,02	0,03	0,04	0,020	0,020	0,008	0,009	0,0004	0,0033

оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении в 100 крат. Результаты анализа, проведенного согласно ГОСТ 1778 – 70, на наличие неметаллических включений в зоне сварного шва приведены на рис. 1 и в табл. 4. Баллы неметаллических включений устанавливали при просмотре всей площади сварных швов не травленных шлифов. В каждом поле зрения отдельно по каждому виду неметаллических включений определяли их размеры методом сравнения с эталонными шкалами.

Исследования указывают на снижение загрязненности металла сварного шва образцов 2 – 5 силикатами недеформирующимися и отсутствие силикатов хрупких.

Микроструктуру изучали с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений в 500 крат после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639 – 82 при увеличении в 100 крат. Микроструктуры металла сварных швов приведены на рис. 2. Металл сварного шва характеризуется образованием структуры феррито-перлита видманштеттовой направленности. При этом в образцах, содержащих стронций и барий, наблюдается некоторое снижение величины зерна. В образце, сваренным под флюсом 2, не содержащим барий-стронциевый кар-

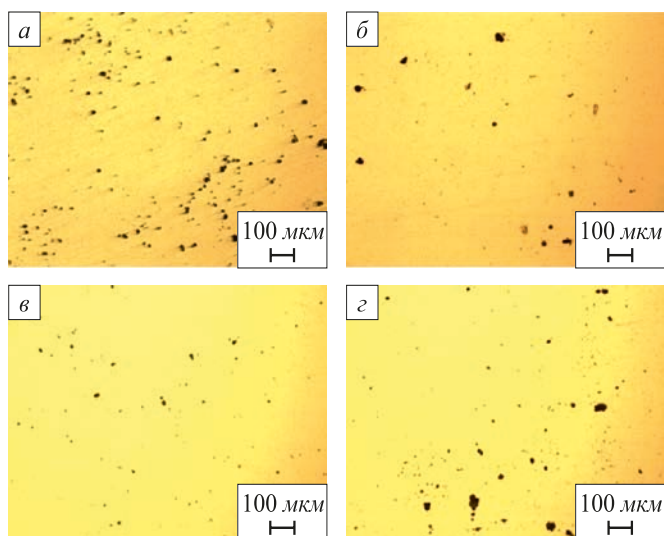


Рис. 1. Неметаллические включения в зоне сварных швов образцов 2 (а); 3 (б); 4 (в); 5 (г)

Fig. 1. Non-metallic inclusions in the weld seams zone of samples 2 (a); 3 (b); 4 (v); 5 (z)

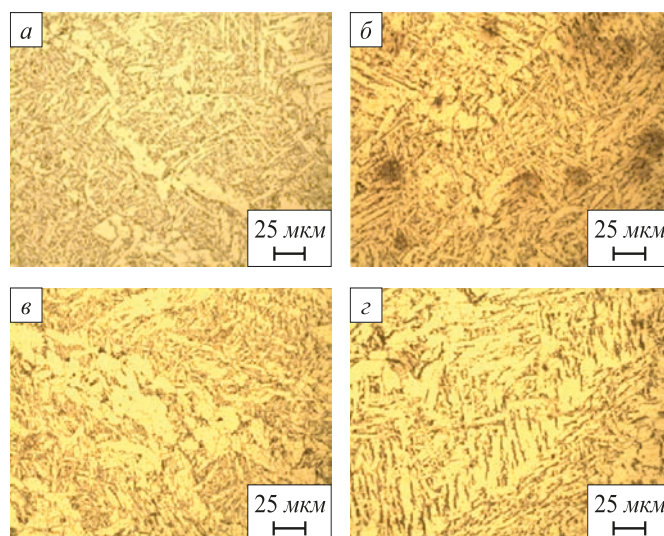


Рис. 2. Микроструктура металла сварных швов образцов с добавкой 0 % (а), 1 % (б), 3 % (в) и 5 % (г) барий-стронциевого карбоната

Fig. 2. Microstructure of weld seams metal in samples with addition of 0 % (a), 1 % (b), 3 % (v) и 5 % (z) of barium-strontium carbonate

Т а б л и ц а 4

Неметаллические включения в зоне сварных швов

Table 4. Non-metallic inclusions in the weld seams zone

Образец	Неметаллические включения, балл		
	силикаты недеформирующиеся	силикаты хрупкие	оксиды точечные
2	4б; 3б; 4а	3б	1а
3	4б; 3а	Отс.	1а; 2а
4	4б; 2б; 2а	Отс.	1а; 2а
5	4б; 3а; 4а	Отс.	1а; 2а; 3а

бонатит, величина зерна по шкале зернистости составляет № 4, а в образцах 3, 4, 5, сваренных под флюсом с введением барий-стронциевого карбоната, величина зерна составляет № 4, № 5.

Выводы. Показана принципиальная возможность применения барий-стронциевого карбоната в качестве рафинирующей и газозащитной добавки для сварочных флюсов. Использование барийстронциевого карбоната позволяет снизить загрязненность металла сварного шва неметаллическими включениями: силикатами недеформирующимися, оксидами точечными и силикатами хрупкими, а также повысить десульфуризирующую способность сварочных флюсов. Введение до 5 % барийстронциевого карбоната во флюс на основе шлака силикомарганца обеспечивает феррито-перлитную структуру металла сварного шва видманштеттовой направленности, при этом незначительно снижается величина зерна с № 4 до № 4, № 5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 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–SiO₂–CaO–Al₂O₃–CaF₂ system by fusion // *Welding International*. 2007. Vol. 21. No. 7. P. 502 – 511.
- Amado Cruz Crespo, Rafael Quintana Puchol, Lorenzo Perdomo González, Carlos R. Gómez Pérez, Gilma Castellanos, Eduardo Diaz 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. 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.
- 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 properties 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 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.
- 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. Дерябин А.А., Павлов В.В., Могильный В.В. и др. Эффективность нанотехнологий модифицирования рельсовой стали барием // *Сталь*. 2007. № 11. С. 134 – 141.
14. Дерябин А.А., Берестов Е.Ю. О механизме модифицирования стали щелочноземельными металлами // *Электротехнология*. 2008. № 6. С. 35 – 38.
15. Ферросплавы с редкоземельными и щелочноземельными металлами / И.В. Рябчиков, В.Г. Мизин, Н.П. Лякишев, А.С. Дубровин. – М.: Металлургия, 1983. – 272 с.
16. 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.
17. Черняк С.С., Ромен Б.М. Высокомарганцовистая сталь в драгостроении. – Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1996. – 377 с.
18. Ивакин В.Л., Черняк С.С., Пимнев Д.Ю. Новая технология повышения качества металлов и сплавов барийстронциевым карбонатом. – Иркутск: Изд-во Иркутского госуниверситета, 2004. – 123 с.
19. 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 – 876.
20. Ватолин И.А., Монсеев Г.К., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах. – М.: Металлургия, 1994. – 352 с.
21. Трусов Б.Г. Программная система ТЕРРА для моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах // III Международный симпозиум «Горение и плазмохимия» Алматы, Казахстан. – Алматы: Казак университети, 2005. С. 52 – 57.
22. Volobueva Yu.S., Volobueva O.S., Parkhomenko A.G., Dobrozhe-lac 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.
23. Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding // *Welding International*. 2011. Vol. 25. No. 11. P. 889 – 893.
24. Крюков Р.Е., Бендре Ю.В., Козырев Н.А., Осетковский И.В., Горюшкин В.Ф. Окислительно-восстановительные процессы при сварке под углеродсодержащим флюсом // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2014. № 10. С. 25 – 28.
25. Kryukov R.E., Kozyrev N.A., Galevsky G.V., Bendre Y.V., Goryushkin V.F., Valuev D.V. Some aspects of oxidation-reduction under carbon-bearing flux welding. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. V. 91(2015). 012016: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia.
26. Липатова У.И., Матинин И.В., Проводова А.А., Кузьменко Д.И. Влияние добавки барийстронциевого карбонатита во флюс на качество сварного шва // *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.*

Поступила 22 декабря 2016 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. VOL. 61. NO. 2, PP. 108–113.

STUDY OF THE QUALITY OF WELD SEAM OBTAINED BY WELDING WITH BARIUM-STRONTIUM CARBONATITE FLUX

N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov, A.A. Usol'tsev, O.D. Prokhorenko, V.G. Aimatov

Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk

Abstract. The results of barium-strontium carbonatite application in metallurgy for modifying and refining iron-carbon alloys are generalized. It is proposed to use barium-strontium carbonate in welding fluxes manufacturing. BSK-2 barium-strontium modifier produced according to TU 1717-001-75073896-2005 by “NPK Metalltekhnoprom” LLC of the following chemical composition: 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 was applied. Technology of manufacturing a flux agent containing 70 % of barium-strontium carbonatite and 30 % of liquid glass is proposed. Several compositions of welding fluxes based on silicomanganese slag were tested. Flux agent was added in an amount of 1, 3 and 5 %. Technological specifications of welding under investigated compositions of welding fluxes are determined. X-ray spectral analysis of chemical composition of the investigated fluxes, slag crusts and weld metal were carried out, as well as metallographic investigations of welded joints. Principle possibility of barium-strontium carbonatite application as refining and gas-protective additive for welding fluxes is shown. Application of barium-strontium carbonatite provides reduction of weld metal contamination with nonmetallic inclusions: non-deflecting silicates, ID oxides and brittle silicates, and also increase desulfurizing ability of welding fluxes. Introduction of barium-strontium carbonatite into flux

based on silicic and manganese slag in an amount of up to 5 % provides ferrite-pearlitic structure of the weld metal of Widmanstätten orientation, while the grain size slightly reduces from no. 4 to no. 4, no. 5.

Keywords: fluxes, technology, weld seam, barium strontium carbonatite, samples, nonmetallic inclusions, microstructure, grain size.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-2-108-113

REFERENCES

1. 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.
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, pp. 502–511.
3. 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, pp. 120–131.
4. Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding. *Welding International*. 2011, vol. 25, no. 11, pp. 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, pp. 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 prop-erties of a new ceramic flux used for reconditioning rolling stock components. *Welding International*. 2010, vol. 24, no. 4, pp. 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, pp. 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, pp. 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, pp. 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, pp. 808–809.
11. Kurlanov S.A., Potapov N.N., Natapov O.B. Relationship of physi-cal and welding-technological properties of fluxes for welding low-alloy steels. *Welding International*. 1993, vol. 7, no. 1, pp. 65–68.
12. Bublik O.V., Chamov S.V. Advantages and shortcomings of cera-mic (agglomerated) fluxes in comparison with fused fluxes used for the same applications. *Welding International*. 2010, vol. 24, no. 9, pp. 730–733.
13. Deryabin A.A., Pavlov V.V., Mogil'nyi V.V., Godik L.A., Tsepe-lev V.S., Konashkov V.V., Gorkavenko V.V., Berestov E.Yu. Nano-modification of rail steel with barium. *Steel in Translation*. 2007, vol. 37, no. 11, pp. 966–973.
14. Deryabin A.A., Berestov E.Yu. Mechanism of the modification of steel by alkaline-earth metals. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2008, no. 8, pp. 734–736.
15. 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.).
16. 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.).
17. Chernyak S.S., Romen B.M. *Ysokomargantsovistaya stal' v dra-gostroenii* [High-manganese steel in dredger machine building]. Irkutsk: Izd-vo Irkutskogo universiteta, 1996, 377 p. (In Russ.).
18. Ivakin B.L., Chernyak S.S., Pimnev D.Yu. *Novaya tekhnologiya povysheniya kachestva metallov i splavov bariistrontsiyevym kar-bonatom* [A new technology for improving quality of metals and alloys with barium-strontium carbonate]. Irkutsk: Izd-vo Irkutskogo gosuniversiteta, 2004, 123 p. (In Russ.).
19. 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. 871–876. (In Russ.).
20. Vatolin I.A., Moiseev G.K., Trusov B.G. *Termodinamicheskoe modelirovanie v vysokotemperaturnykh neorganicheskikh sistemakh* [Thermodynamic modeling in high-temperature inorganic systems]. Moscow: Metallurgiya, 1994, 352 p. (In Russ.).
21. Trusov B.G. TERRA software system for modeling phase and chemical equilibria at high temperatures. In: *III Mezhdunarodnyi simpozium "Gorenie i plazmokhimiya" Almaty, Kazakhstan* [The 3rd Int. Symposium "Burning and Plasmochemistry"]. Almaty: Kaz-zak universiteti, 2005, pp. 52–57. (In Russ.).
22. Volobueva Yu.S., Volobueva O.S., Parkhomenko A.G., Dobro-zhelac E.I., Klimenchuk O.S. Using a new general-purpose cera-mic flux SFM-101 in welding of beams. *Welding International*. 2012, vol. 26, no. 8, pp. 649–653.
23. Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding. *Welding International*. 2011, vol. 25, no. 11, pp. 889–893.
24. Kryukov R.E., Bendre Yu.V., Kozyrev N.A., Osetkovskii I.V., Go-ryushkin V.F. Redox processes in welding with carbon containing flux. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2014, no. 10, pp. 25–28. (In Russ.).
25. Kryukov R.E., Kozyrev N.A., Galevsky G.V., Bendre Y.V., Go-ryushkin V.F., Valuev D.V. Some aspects of oxidation-reduction un-der carbon-bearing flux welding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2015, vol. 91, 012016: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia.
26. Lipatova U.I., Matinin I.V., Provodova A.A., Kuz'menko D.I. Influ-ence of the addition of barium strontium carbonatite in flux on qua-lity of weld seam. In: *Nauka i molodezh': problemy, poiski, reshe-niya: sbornik trudov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Science and Youth: Problems, Searches, Solutions: Coll. of Papers of the All-Russian Sci. Conf. of Students, Graduate Students and Young Scientists]. Vol. 20, part III. Novokuznetsk: SibGIU, 2016, pp. 266–271. (In Russ.).

Information about the authors:

- N.A. Kozyrev**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair "Mate-rials, Foundry and Welding Production" (kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru)
- R.E. Kryukov**, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Mate-rials, Foundry and Welding Production" (rek_nzrmk@mail.ru)
- A.A. Usol'tsev**, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Mate-rials, Foundry and Welding Production" (a.us@rambler.ru)
- O.D. Prokhorenko**, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair "Thermal Power and Ecology" (kafedra-TEE@yandex.ru)
- V.G. Aimatov**, MA Student of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production" (vlad_aymatov@mail.ru)

Received December 22, 2016