

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОВШЕВОГО ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА И БАРИЙ-СТРОНЦИЕВОГО МОДИФИКАТОРА ДЛЯ НАПЛАВКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

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)

Уманский А.А., к.т.н., доцент, директор Центра коллективного пользования
«Материаловедение» (umanskii@bk.ru)

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

Думова Л.В., магистрант кафедры металлургии черных металлов (dumova@bk.ru)

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

Аннотация. Анализ существующих методов повышения стойкости калибров прокатных валков показал, что одним из наиболее эффективных способов является наплавка сплошными или порошковыми проволоками, что подтверждается наличием многочисленных материалов исследований отечественных и зарубежных авторов по совершенствованию составов порошковых проволок и сварочных флюсов. Перспективным направлением с точки зрения снижения себестоимости производства наплавочных материалов и обеспечения их требуемых технологических свойств является разработка новых составов порошковых проволок и флюсов на основе техногенных металлургических отходов. Проведенными в рамках развития указанного направления экспериментальными исследованиями показана принципиальная возможность и эффективность использования барий-стронциевого карбоната при изготовлении сварочных флюсов на основе ковшевых электросталеплавильных шлаков. При проведении лабораторных исследований по наплавке стальных образцов использовали барий-стронциевую флюс-добавку двух видов: смешанный с жидким стеклом барий-стронциевый модификатор и пыль барий-стронциевого модификатора фракции менее 0,2 мм. По полученным данным при использовании различных вариантов составов флюсов с варьированием доли вышеуказанных компонентов обеспечивается удовлетворительное качество макроструктуры наплавленного слоя и снижение загрязненности металла сварного шва такими неметаллическими включениями, как силикаты недеформирующиеся, оксиды точечные и силикаты хрупкие.

Ключевые слова: наплавка, прокатные валки, сварочные флюсы, техногенные отходы, барий-стронциевый модификатор, электросталеплавильный шлак, микроструктура, неметаллические включения.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-4-274-279

Прокатные валки являются основным технологическим инструментом при производстве продукции в прокатных цехах независимо от их профилировки и сортамента, поэтому срок службы прокатных валков оказывает значительное влияние не только на себестоимость готового проката, но и на производительность прокатных станов, качество готовой продукции. На сегодняшний день одним из наиболее эффективных способов повышения стойкости калибров прокатных валков является их наплавка сплошными либо порошковыми проволоками. При этом наибольшее распространение получили наплавочные материалы Нп-30ХГСА, Нп-35В9Х3СФ, Нп-25Х5ФМС, Нп-30Х4В2М2ФС в сочетании с флюсами АН348, АН60, АН20, АН26 [1, 2].

В последние годы проведен ряд исследований [3 – 8] по совершенствованию составов порош-

ковых проволок для наплавки прокатных валков. В частности, по результатам комплекса работ, выполненных специалистами «ТМ.ВЕЛТЕК» и ЧНПКФ «РЕММАШ» совместно с металлургическими заводами КГМК «Криворожсталь», ДМК им. Дзержинского и МК «Запорожсталь», отработаны системы легирования новых порошковых проволок на базе марок ПП-Нп-35В9Х3СФ и ПП-Нп-25Х5ФМС [3]. По результатам проведенных экспериментальных исследований разработаны имеющие патентную защиту [9, 10] новые составы порошковых проволок систем легирования С–Si–Mn–Cr–V–Mo и С–Si–Mn–Cr–W–V, обеспечивающие повышение эксплуатационных характеристик наплавленного слоя.

Касательно совершенствования состава сварочных флюсов для наплавки прокатных валков можно отме-

тить, что перспективным представляется направление по использованию новых флюс-добавок [11 – 22] и применению техногенных металлургических отходов (шлаков и шламов) [23 – 25]. В частности, предложены новые сварочные флюсы, изготовленные с использованием шлака производства силикомарганца [24, 25]. Использование техногенных металлургических отходов в качестве исходных компонентов для производства сварочных флюсов позволяет значительно снизить себестоимость их производства.

В рамках развития указанного направления в настоящей работе рассмотрена возможность использования барий-стронциевого карбоната при изготовлении сварочных флюсов на основе ковшевых электросталеплавильных шлаков. При проведении экспериментальных исследований использовали ковшевый электросталеплавильный шлак, образованный при производстве рельсовой стали на АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Химический состав шлака следующий: 1,31 % FeO; 0,22 % MnO; 35,19 % CaO; 36,26 % SiO₂; 6,17 % Al₂O₃; 11,30 % MgO; 0,28 % Na₂O; 3,34 % F; <0,12 % C; 1,26 % S; 0,02 % P (по массе). В качестве флюс-добавки использовали барий-стронциевый модификатор БСК 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.

Приготовление барий-стронциевой флюс-добавки осуществляли по двум вариантам. В первом случае проводили смешение барий-стронциевого модификатора фракции менее 0,2 мм с жидким стеклом в соотношении 75 и 25 % соответственно, после чего осуществляли 24-ч выдержку при комнатной температуре с последующей сушкой в печи при температуре 300 °С, охлаждением, дроблением и просевом с выделением

фракции 0,45 – 2,5 мм. Во втором случае в качестве флюс-добавки использовали пыль барий-стронциевого модификатора фракции менее 0,2 мм. В качестве основы сварочного флюса использовали ковшевый электросталеплавильный шлак фракции менее 0,2 мм, смешанный с жидким стеклом в соотношении 62 и 38 % соответственно. Технология приготовления основы сварочного флюса такая же, как и в первом варианте.

С использованием вышеописанной технологии получили флюсы различного состава (табл. 1).

С целью определения возможности и технологичности использования вышеприведенных (табл. 1) сварочных флюсов для наплавки прокатных валков проведена серия экспериментов по наплавке стальных образцов проволокой Св-08ГА. Наплавке подвергали образцы из стали марки 09Г2С сечением 300×150 мм и толщиной 20 мм. Наплавку осуществляли с использованием сварочного трактора ASAW-1250 по режимам, представленным в табл. 2.

Химические составы полученных флюсов, шлаковых корок и металла сварных швов приведены в табл. 3, 4 и 5.

Визуальный контроль качества макроструктуры наплавленного слоя показал отсутствие дефектов при использовании всех вышеприведенных составов флюса.

С целью оценки качества микроструктуры в зоне сварного шва проведены металлографические исследования на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении 100 крат. Полученные результаты (см. рисунок и табл. 6) свидетельствуют, что использование барий-стронциевого модификатора позволяет снизить загрязненность металла сварного шва такими неметаллическими включениями, как силикаты недеформирующиеся, оксиды точечные и силикаты хрупкие.

Выводы. Проведенными исследованиями показана принципиальная возможность применения ковшевого электросталеплавильного шлака и барий-стронциевого

Т а б л и ц а 1

Варианты составов флюса

Table 1. Variants of flux compositions

Маркировка флюса	Доля составляющей во флюсе, %		
	барий-стронциевая добавка с жидким стеклом	пылеобразная барий-стронциевая добавка	ковшевый шлак с жидким стеклом
Б	–	–	100
Б2	2	–	98
Б4	4	–	96
Б6	6	–	94
Б8	8	–	92
Б21	–	2	98
Б61	–	6	94

Т а б л и ц а 2

Режимы наплавки стальных образцов

Table 2. Surfacing modes of steel samples

Флюс	Режим наплавки			Погонная энергия, Дж/см ²
	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	
Б	650	28	28	650,0
Б2	680	28	28	680,0
Б4	680	28	28	680,0
Б6	680	28	30	634,6
Б8	650	28	28	650,0
Б21	680	28	30	634,6
Б61	680	28	28	680,0

Т а б л и ц а 3

Химический состав флюса

Table 3. Chemical composition of flux

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	BaO	SrO	TiO ₂
Б	0,84	0,06	35,47	44,66	4,71	5,01	1,92	0,11	0,98	0,013	0,007	0,04	отс.	0,017	0,050	0,33
Б2	1,34	0,02	33,61	44,42	4,58	5,35	5,46	0,15	0,93	0,017	0,008	0,05	2,03	0,160	0,140	0,28
Б4	1,09	0,02	33,80	43,45	4,58	4,75	5,44	0,08	0,98	0,021	0,008	0,04	1,91	0,570	0,280	0,32
Б6	1,30	<0,01	33,64	44,87	4,77	5,44	5,52	0,21	0,93	0,030	0,008	0,05	2,09	0,450	0,320	0,28
Б8	1,41	0,02	39,32	43,38	4,49	4,41	5,78	0,12	0,98	0,029	0,008	0,03	1,79	1,180	0,520	0,30
Б21	0,88	0,02	35,73	44,19	4,79	5,40	5,37	<0,01	1,00	0,013	0,007	0,04	2,11	0,028	0,064	0,29
Б61	0,88	0,08	35,17	43,62	4,65	4,92	5,12	0,10	0,94	0,014	0,008	0,06	2,17	0,049	0,085	0,29

Т а б л и ц а 4

Химический состав шлаковых корок

Table 4. 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	BaO	SrO	TiO ₂
Б	3,06	0,41	35,82	38,97	4,70	6,88	4,26	0,07	0,76	0,014	0,008	0,060	2,35	отс.	0,064	0,20
Б2	3,67	0,67	33,91	39,90	4,56	6,71	4,34	0,13	0,60	0,018	0,007	0,080	2,20	0,19	0,180	0,27
Б4	3,94	0,42	33,89	42,22	4,47	6,68	4,44	0,16	0,58	0,021	0,006	0,050	2,34	0,25	0,210	0,28
Б6	4,44	0,53	33,61	39,46	4,47	6,89	4,32	0,22	0,55	0,023	0,007	0,070	2,37	0,43	0,310	0,30
Б8	3,40	0,41	35,49	38,37	4,68	7,15	3,96	0,05	0,66	0,022	0,007	0,060	2,43	0,37	0,290	0,30
Б21	2,80	0,37	36,18	40,06	4,61	7,00	3,86	0,10	0,64	0,014	0,006	0,057	2,33	0,16	0,140	0,30
Б61	3,96	0,46	36,26	38,55	4,89	7,45	4,28	0,19	0,61	0,020	0,012	0,070	2,58	0,36	0,250	0,28

Т а б л и ц а 5

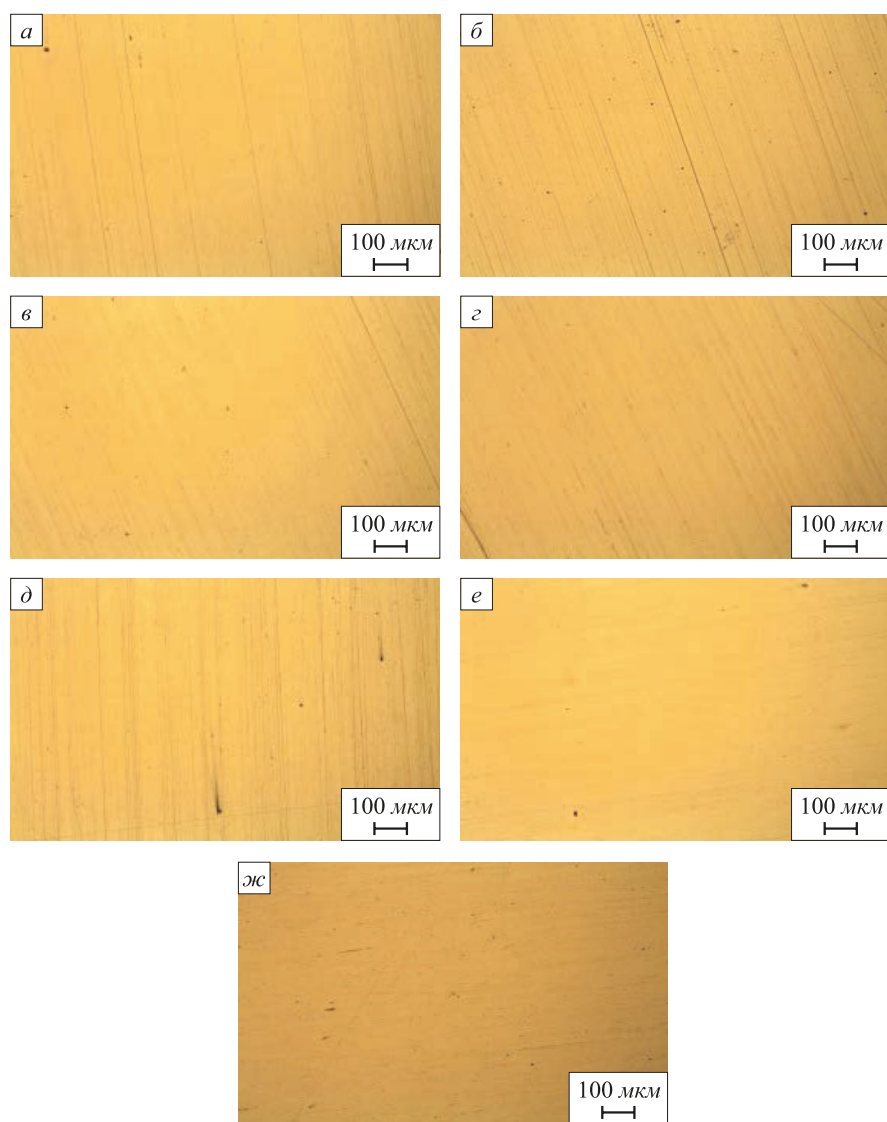
Химический состав наплавленного металла

Table 5. Chemical composition of surfaced metal

Флюс	Содержание, %															
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	S	P	Ba	Sr
Б	0,10	0,16	0,61	0,04	0,11	0,18	0,001	0,005	0,007	0,01	0,018	0,004	0,023	0,007	отс.	отс.
Б2	0,07	0,12	0,57	0,04	0,12	0,18	0,001	0,005	0,003	0,007	0,016	0,005	0,028	0,011	отс.	0,0130
Б4	0,07	0,14	0,60	0,05	0,11	0,16	0,001	0,007	0,009	0,008	0,016	0,008	0,022	0,006	0,0730	отс.
Б6	0,10	0,18	0,50	0,05	0,14	0,15	0,001	0,012	0,006	0,017	0,018	0,005	0,046	0,013	0,0016	отс.
Б8	0,11	0,17	0,56	0,05	0,14	0,16	0,001	0,006	0,004	0,020	0,016	0,005	0,062	0,008	отс.	отс.
Б21	0,07	0,16	0,53	0,05	0,13	0,15	0,001	0,007	0,004	0,016	0,007	0,005	0,073	0,011	отс.	0,0016
Б61	0,06	0,15	0,55	0,04	0,10	0,14	0,001	0,011	0,002	0,017	отс.	0,002	0,069	0,011	0,0004	0,0028

го модификатора в качестве флюса и рафинирующей, газозащитной добавки для сварочных флюсов при наплавке прокатных валков. Установлено, что использо-

вание барий-стронциевого модификатора позволяет снизить загрязненность металла сварного шва неметаллическими включениями.



Неметаллические включения в зоне наплавленных валиков образцов с различными флюсами:

а – Б2; *б* – Б4; *в* – Б6; *г* – Б8; *д* – Б21; *е* – Б61; *ж* – Б

Non-metallic inclusions in zone of weld beads of samples with different fluxes:

а – Б2; *б* – Б4; *в* – Б6; *г* – Б8; *д* – Б21; *е* – Б61; *ж* – Б

Т а б л и ц а 6

Неметаллические включения в зоне наплавленного металла

Table 6. Non-metallic inclusions in zone of surfaced metal

Флюс	Неметаллические включения, балл		
	силикаты недеформирующиеся	силикаты хрупкие	оксиды точечные
Б	1а; 2а; 2б	1а; 1в	4а
Б2	2а; 3а	отс	1а
Б4	2б; 4б;	отс.	2а
Б6	3а; 4а	отс.	2а
Б8	3б	отс.	2а
Б21	2б; 3б	1б	1а
Б61	2а; 3а	отс.	2а

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Трайно А.И. Рациональные режимы эксплуатации и восстановления прокатных валков // *Сталь*. 2008. № 10. С. 86 – 91.
- Огарков Н.Н., Беляев А.И. Стойкость и качество прокатных валков. – Магнитогорск: изд. МГТУ, 2008. – 131 с.
- Титаренко В.И., Голякевич А.А., Орлов Л.Н. и др. Восстановительная наплавка валков прокатных станов порошковой проволокой // *Сварочное производство*. 2013. № 7. С. 29 – 32.
- Kondratiev I.A., Ryabtsev I.A. Flux-cored wires for surfacing of steel rollers for hot rolling // *The Paton Welding Journal*. 2014. No. 6. P. 95 – 96.
- Шебанич 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.
- 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. P. 502 – 511.
- Kozyrev N.A., Kibko N.V., Umanskii A.A., Titov D.A., Nikitin A.G. New C–Si–Mn–Cr–V–Mo powder wires for roller surfacing // *Steel in Translation*. 2016. Vol. 46. No. 10. P. 711 – 717.
- Kozyrev N.A., Kibko N.V., Umanskii A.A., Titov D.A., Bashchenko L.P. Composition of C–Si–Mn–Cr–W–V powder wire and quality of surfacing // *Steel in Translation*. 2016. Vol. 46. No. 11. pp. 781 – 787.
- Пат. 2518211 РФ, МПК В 23 К 35/368. Порошковая проволока / Н.А. Козырев, И.Ф. Игушев, Д.А. Титов, О.Е. Козырева, С.Н. Старовацкая // Заявл. 07.05.2013; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16.
- Пат. 2518035 РФ, МПК В 23 К 35/368. Порошковая проволока / Н.А. Козырев, И.Ф. Игушев, Д.А. Титов, О.Е. Козырева. // Заявл. 24.06.2013; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16.
- 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.
- Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding // *Welding International*. 2011. Vol. 25. No. 11. P. 889 – 893.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Crespo A.C., Puchol R.Q., González L.P. etc. 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.
- Golyakevich A.A., Orlov L.N., Malinov L.S., Titarenko V.I. Experience in application of electric arc surfacing with flux-cored wire at the enterprises of Ukraine // *The Paton Welding Journal*. 2016. No. 9. P. 33 – 37.
- Cruz-Crespo A., Quintana-Puchol R., Perdomo González L. etc. 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.
- 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.
- 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. 65 – 73.

Поступила 6 сентября 2017 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. Vol. 61. No. 4, pp. 274–279.

INVESTIGATION AND DEVELOPMENT OF WELDING FLUXES WITH THE USE OF LADLE ELECTRIC-FURNACE SLAG AND BARIUM-STRONTIUM MODIFIER FOR ROLLS SURFACING

*N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov, A.A. Umanskii, A.R. Mikhno,
L.V. Dumova*

**Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovo Re-
gion, Russia**

Abstract. Analysis of existing methods to increase the stability of rolls calibers has shown that one of the most effective methods is surfacing with solid or powdered wires, which is confirmed by the numerous research materials of domestic and foreign authors on improving the compositions of powder wires and welding fluxes. A promising direction in terms of reducing the cost of surfacing materials production and ensuring their required technological properties is the development of new compositions of powder wires and fluxes based

on man-made metallurgical wastes. Experimental studies carried out within the framework of the development of this direction show the principal possibility and effectiveness of the use of barium-strontium carbonatite in the manufacture of welding fluxes based on ladle electric-furnace slags. When conducting laboratory studies on surfacing of steel samples, a barium-strontium flux was used. An additive was prepared in two ways: a barium-strontium modifier mixed with liquid glass and a barium-strontium fraction modifier of less than 0.2 mm. According to the data obtained, when using different variants of flux compositions with varying proportions of the above components, a satisfactory quality of the deposited layer macrostructure is ensured and the contamination of the welded joint is reduced by such nonmetallic inclusions as silicates that are not deformed, point oxides and silicates are brittle.

Keywords: surfacing, rolling rolls, welding fluxes, man-made waste, barium-strontium modifier, electric-furnace slag, microstructure, nonmetallic inclusions.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-4-274-279

REFERENCES

1. Traino A.I. Rational modes of operation and restoration of mill rolls. *Stal'*. 2008, no. 10, pp. 86–91. (In Russ.).
2. Ogarkov N.N., Belyaev A.I. *Stoikost' i kachestvo prokatnykh valkov* [Stability and quality of mill rolls]. Magnitogorsk: MGТУ, 2008, 131 p. (In Russ.).
3. Titarenko V.I., Golyakevich A.A., Orlov L.N. etc. Recovery surfacing of rolls of rolling mills by flux-cored wire. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2013, no. 7, pp. 29–32. (In Russ.).
4. 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.
5. Shebanits E.N., Omelyanenko N.I., Kurakin Y.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.
6. Crespo A.C., Puchol R.Q., Gonzalez L.P. etc. Obtaining a submerged arc welding flux of the $\text{MnO} - \text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaF}_2$ system by fusion. *Welding International*. 2007, vol. 21, no. 7, pp. 502–511.
7. Kozyrev N.A., Kibko N.V., Umanskii A.A., Titov D.A., Nikitin A.G. New C–Si–Mn–Cr–V–Mo powder wires for roller surfacing. *Steel in Translation*. 2016, vol. 46, no. 10, pp. 711–717.
8. Kozyrev N.A., Kibko N.V., Umanskii A.A., Titov D.A., Bashchenko L.P. Composition of C – Si – Mn – Cr – W – V powder wire and quality of surfacing. *Steel in Translation*. 2016, vol. 46, no. 11, pp. 781–787.
9. Kozyrev N.A., Igushev I.F., Titov D.A. etc. *Poroshkovaya provoloka* [Flux cored wire]. Patent RF no. 2518211. IPC B 23 K 35/368. *Byulleten' izobretenii*. 2014, no. 16. (In Russ.).
10. Kozyrev N.A., Igushev I.F., Titov D.A. etc. *Poroshkovaya provoloka* [Flux cored wire]. Patent RF no. 2518035. IPC B 23 K 35/368. *Byulleten' izobretenii*. 2014, no. 16. (In Russ.).
11. 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.
12. Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding. *Welding International*. 2011, vol. 25, no. 11, pp. 889–893.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. Crespo A.C., Puchol R.Q., González L.P. etc. 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.
22. Golyakevich A.A., Orlov L.N., Malinov L.S., Titarenko V.I. Experience in application of electric arc surfacing with flux-cored wire at the enterprises of Ukraine. *The Paton Welding Journal*. 2016, no. 9, pp. 33–37.
23. Cruz-Crespo A., Quintana-Puchol R., Perdomo González L. etc. 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.
24. 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.
25. 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. 65–73.

Information about the authors:

N.A. Kozyrev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair of "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.A. Umanskii, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor, Director of the Center for Collective Use "Materials Science" (umanskii@bk.ru)

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

L.V. Dumova, MA Student of the Chair of "Materials, Foundry and Welding Production" (dumova@bk.ru)

Received September 6, 2017