

УДК 621.791:624

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОД ФЛЮСОМ, ИЗГОТОВЛЕННЫМ НА ОСНОВЕ КОВШЕВОГО ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА

Н.А. Козырев, А.Р. Михно, В.О. Апанина, Л.П. Бащенко, Р.Е. Крюков

E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Проведено исследование наплавленных образцов, выполненных с помощью наплавки под слоем флюса. Изготовление наплавочного флюса проходило путем смешения ковшевого электросталеплавильного шлака с флюс-добавками на основе шлака производства силикомарганца и пыли электрофильтров производства алюминия. Наплавка осуществлялась на наплавочные пластины из стали марки 09Г2С сварочной проволокой Св-08ГА. Методами оптической микроскопии исследована и описана структура и неметаллические включения наплавленных образцов, изучены твердость и износостойкость полученных наплавленных поверхностей.

Ключевые слова: шлак силикомарганца, ковшевой электросталеплавильный шлак, наплавка под флюсом, неметаллические включения, структура, микротвердость, твердость, износостойкость.

RESEARCH OF METAL FOAMED UNDER THE FLUX MADE ON THE BASIS OF BUCKET ELECTRICALLY MELTING SLAG

N.A. Kozyrev, A.R. Mikhno, V.O. Apanina, L.P. Bashchenko, R.E. Kryukov

E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The study of deposited samples made by surfacing under a layer of flux was carried out. The production of surfacing flux was carried out by mixing ladle electric steelmaking slag with flux additives based on slag from the production of silicomanganese and dust from electrofilters from the production of aluminum. Surfacing was carried out on the surfacing plates made of steel grade 09G2S welding wire SV-08GA. The structure and nonmetallic inclusions of the deposited samples were studied and described by optical microscopy, and the hardness and wear resistance of the deposited surfaces were studied.

Keywords: silicomanganese slag, electric steelmaking slag, submerged-arc surfacing, non-metallic inclusions, structure, microhardness, hardness, wear resistance.

Введение

Сварка и наплавка под флюсом широко распространены в мире. Используемые флюсы должны обладать не только хорошими сварочно-технологическими свойствами и обеспечивать качественные показатели сварного шва и наплавляемого валика, но и иметь привлекательную стоимость и быть экологически безопасными. С этой целью предложено использование ряда техногенных отходов металлургического производства [1 – 3], в частности, ковшевого электросталеплавильного шлака производства рельсовой стали, шлака производства силикомарганца и пыли электрофильтров производства

алюминия [4 – 7]. Рассмотрены различные комбинации составов сварочных флюсов и проведены металлографические и физико-механические исследования, изучен химический состав полученных образцов, проведены испытания на износостойкость, изучены неметаллические включения [8 – 11].

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния состава наплавочного флюса, изготовленного с использованием ковшевого электросталеплавильного шлака с добавкой шлака производства силикомарганца и пыли электрофильтров производства алюминия.

Материалы и методы исследования

Исследование нового компонентного состава сварочного флюса на основе отходов металлургического производства проводилось с использованием оборудования научно-производственного центра (НПЦ) «Сварочные процессы и технологии» и центра коллективного пользования (ЦКП) «Материаловедение».

В качестве основы сварочного флюса использовали ковшевой электросталеплавильный шлак фракции менее 0,2 мм, который смешивали с жидким стеклом в соотношении 62:38, после чего осуществляли сушку при температуре 250 – 300 °С в течение 2 – 3 ч с последующим дроблением и фракционированием на гранулы 0,45 – 2,50 мм.

Для добавки использовали шлак производства силикомарганца фракции 0,45 – 2,50 мм и флюс-добавку на основе пыли электрофильтров производства алюминия (гранулы фракции 1,0 – 2,5 мм, изготовленные смешением пыли газоочистки производства алюминия с жидким стеклом в соотношении 1:1, сушкой при температуре 250 – 300 °С в течение 3 ч и дроблением с последующим рассевом). Исследованы составы шлаков, приведенные в табл. 1.

При проведении наплавки использованы наплавочные пластины из листовой стали марки 09Г2С. Наплавку проводили сварочной проволокой марки Св-08ГА с использованием сварочного трактора ASAW-1250. Режим наплавки: сила тока 680 А, напряжение 28 В, скорость наплавки 28 м/ч.

Исследовали химический состав полученных образцов, проводили металлографические исследования и испытания на износостойкость.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты химического анализа исследуемых образцов, наплавленных с помощью сва-

рочных флюсов различных составов, представлены в табл. 2.

Проведение механических испытаний на износостойкость проводили на машине для испытаний на трение и износ 2070 СМТ-1. Для измерения твердости наплавленных слоев было сделано пять замеров в различных областях, наплавленных образцов и рассчитаны средние показатели твердости для каждого из них. При определении микротвердости структурных составляющих использовали цифровой микротвердомер HVS-1000. Во время испытаний нагрузка составляла 1000 МПА, время выдержки 10 с. Изучение твердости проводили с использованием твердомера УЗИТ-3. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Согласно полученным данным (табл. 3, рис. 1) наибольшей износостойкостью, как и повышенной твердостью, обладает валик (образец 4), который наплавлен под флюсом, содержащим 80 % ковшевого шлака, 15 % шлака силикомарганца, 5 % углеродфторсодержащей добавки (по массе).

Металлографические исследования проводили на нетравленных микрошлифах при помощи оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении 100. Результаты анализа на наличие неметаллических включений в зоне наплавленного слоя, проведенного согласно ГОСТ 1778 – 70, приведены на рис. 2 и в табл. 4.

Баллы неметаллических включений устанавливали при просмотре всей площади наплавленного слоя нетравленных шлифов.

В каждом поле зрения определяли размеры отдельно по каждому виду неметаллических включений методом сравнения с эталонными шкалами. Согласно проведенным исследованиям образец 7, содержащий 70 % ковшевого шлака, 20 % шлака силикомарганца, 10 % углеродфторсодержащей добавки, по сравнению с другими образцами имеет минимальный уровень загрязненности неметаллическими включениями.

Т а б л и ц а 1

Компонентный состав наплавочного флюса

Флюс	Содержание, % (по массе)		
	Ковшевой электросталеплавильный шлак	Шлак силикомарганца	Углеродфторсодержащая добавка
1	90	8	2
2	90	6	4
3	90	4	6
4	80	15	5
5	80	10	10
6	70	25	5
7	70	20	10
8	60	35	5
9	60	30	10

Химический состав наплавленных образцов

Флюс	Содержание, % (по массе)										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	Mo	Al	S	P
1	0,10	0,32	0,52	0,05	0,66	0,14	0,001	0,24	0,021	0,017	0,020
2	0,10	0,29	0,45	0,04	0,76	0,15	0,005	0,28	0,013	0,020	0,020
3	0,11	0,42	0,78	0,04	0,70	0,15	0,002	0,26	0,024	0,011	0,017
4	0,11	0,43	0,89	0,04	0,64	0,13	0,001	0,23	0,028	0,011	0,023
5	0,14	0,50	0,90	0,03	0,73	0,16	0,001	0,27	0,040	0,012	0,018
6	0,11	0,47	0,69	0,04	0,72	0,17	0,003	0,27	0,092	0,017	0,013
7	0,14	0,38	0,60	0,04	0,79	0,18	0,003	0,29	0,047	0,021	0,017
8	0,11	0,36	0,69	0,04	0,77	0,16	0,002	0,27	0,013	0,011	0,023
9	0,16	0,44	0,66	0,04	0,77	0,17	0,001	0,28	0,052	0,015	0,016

Микроструктуру изучали с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле (при увеличении 500) после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты в течении 5 с. Микроструктуры металла наплавленных слоев приведены на рис. 3.

Металл в области наплавленного слоя имеет феррито-перлитную структуру видманштеттовой направленности с тонкими иглами, отходящими от ферритной сетки и расположенными внутри зерен. Более крупные скопления зернистого перлита ориентированы в направлении деформации. Согласно результатам металлографического анализа образец 6, содержащий 70 % ковшевого шлака, 25 % шлака силикомарганца, 5 % углеродфторсодержащей добавки, характеризуется более тонким строением пластинчатого перлита.

Выводы

Проведенные эксперименты показали, что наименьшим уровнем загрязненности неметаллическими включениями обладают валики, наплавленные под флюсом, содержащим 70 % ковшевого электросталеплавильного шлака, 20 % шлака силикомарганца, 10 % пыли элек-

трофильтров производства алюминия. Результаты испытаний на твердость и износ наплавленных слоев показали, что наибольшие значения получены при наплавке под флюсом следующего состава: 80 % ковшевого шлака, 15 % шлака силикомарганца, 5 % углеродфторсодержащей добавки (по массе). Структура наплавленных образцов имеет феррито-перлитное строение видманштеттовой направленности с тонкими иглами, отходящими от ферритной сетки и расположенными внутри зерен. Более крупные скопления зернистого перлита ориентированы в направлении деформации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Роор А.В., Башенко Л.П., Липатова У.И. Исследование и разработка новых углеродфторсодержащих добавок для сварочных флюсов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2015. Т. 58. № 4. С. 258 – 261.

Результаты измерения износостойкости, микротвердости и твердости

Образец	Скорость износа, г/об. · 10 ⁻⁴	Микротвердость, HV	Твердость, HB
1	1,3355	201	180
2	2,2546	184	160
3	1,7985	193	177
4	0,8541	215	196
5	2,0255	191	172
6	1,2535	204	188
7	1,6495	199	179
8	2,0356	192	174
9	2,1854	189	171

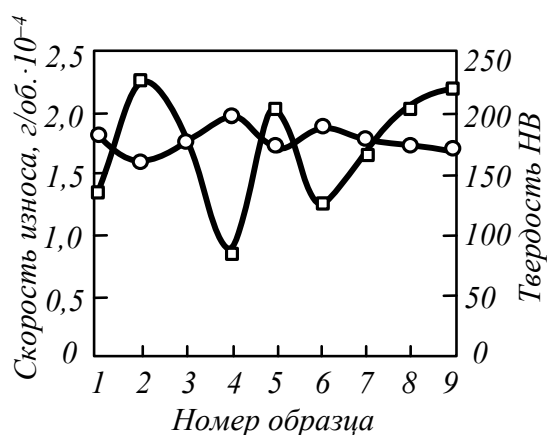


Рис. 1. Износ (□) и твердость (○) наплавленных образцов

2. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., Ковальский И.Н., Роор А.В. Разработка новых добавок для сварочных флюсов при сварке низколегированных сталей // Сварочное производство. 2013. № 5. С. 9 – 12.
3. Кокорин В.Н. Анализ промышленного рециклинга твердых техногенных отходов предприятий черной металлургии. – В кн.: Экономика, экология и общество России в 21-м столетии. – СПб.: ТГУ, 2003. С. 273 – 274.
4. Козырев Н.А., Крюков Р.Е. Сварочные флюсы и добавки к ним на основе отходов металлургического производства. – В кн.: Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении. Сборник трудов Международной научно-практической кон-

ференции 18 – 21 апреля 2017 г. – Кемерово: изд. КузГТУ, 2017. С. 128 – 133.

5. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Колмогоров Д.Е. Новая углеродфторсодержащая добавка для сварочных флюсов. – В кн.: Инновационные технологии и экономика в машиностроении. Сборник трудов V Международной научно-практической конференции с элементами науч. шк. для молодых ученых. Юргинский технолог. ун-т. – Юрга: изд. Томского политехн. ун-та, 2014. С. 38 – 42.
6. 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: изд. КузГТУ, 2017. С. 134 – 139.
7. Козырев Н.А., Уманский А.А., Крюков Р.Е., Соколов П.Д., Думова Л.В. Разработка флюсов на основе техногенных материалов для наплавки прокатных валков // Производство проката. 2017. № 9. С. 33 – 38.
8. Козырев Н.А., Крюков Н.Е., Крюков Р.Е., Игушев В.Ф., Ковальский И.Н. Технологические аспекты использования углеродфторсодержащей добавки при сварке под флюсом // Сварочное производство. 2015. № 4. С. 43 – 47.

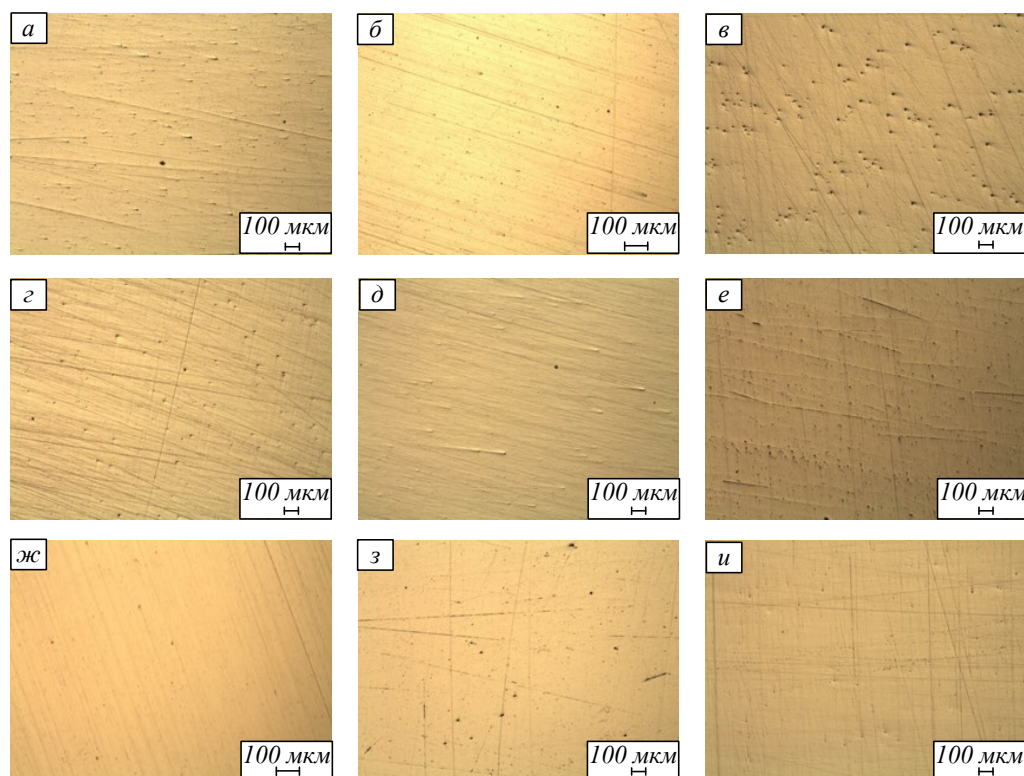


Рис. 2. Неметаллические включения в зоне наплавленного слоя исследуемых образцов 1 – 9 (а – и)

Неметаллические включения в зоне наплавленного слоя

Образец	Неметаллические включения, балл		
	оксиды точечные	оксиды строчечные	силикаты недеформирующиеся
1	3а	Не обнаружено	3б
2	3а	Не обнаружено	3б
3	3а	2а	2б
4	3а	Не обнаружено	2б, 3а, 3б
5	2а	1а	1б
6	3а	3а	2б, 3б
7	2а	Не обнаружено	Не обнаружено
8	2а	Не обнаружено	2б
9	3а	4а	Не обнаружено

9. Козырев Н.А., Михно А.Р., Крюков Р.Е., Калиногорский А.Н., Бащенко Л.П. Влияние введения добавок во флюсы, изготовленные из ковшевого электросталеплавильного шлака // Изв. вуз. Черная металлургия. 2019. Т. 62. № 8. С. 606 – 612.
10. 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. Вып. 22. Ч. 2: Естественные и технические науки. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2018. С. 208 – 210.
11. Михно А.Р., Крюков Р.Е., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Козырева О.А. Разработка новых сварочных флюсов на основе шлаков металлургического производства. – В кн.: Сварка в России – 2019: современное состояние и перспективы. Тезисы докладов Международной конференции, Томск, 3 – 7 сентября 2019 г. – Томск: 2019. С. 187 – 188.
- © 2020 г. Н.А. Козырев, А.Р. Михно, В.О. Апанова, Л.П. Бащенко, Р.Е. Крюков
Поступила 8 февраля 2020 г.

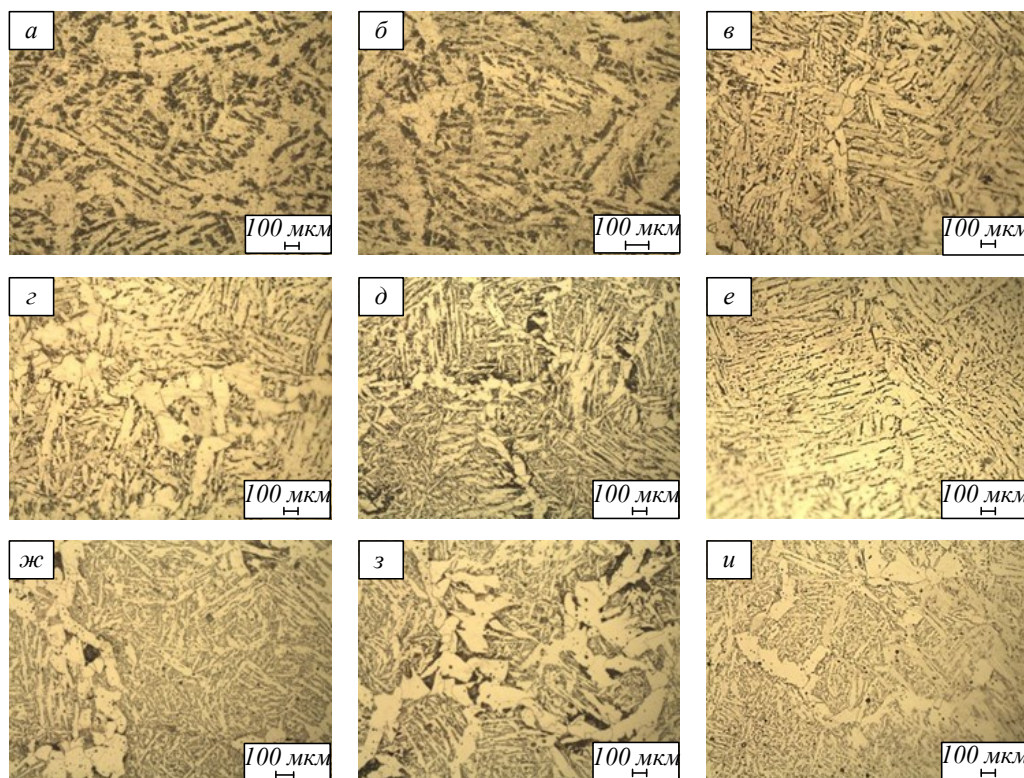


Рис. 3. Микроструктура наплавленных слоев образцов 1 – 9 (а – и)