Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 100-летию
со дня рождения ректора СМИ,
доктора технических наук,
профессора Н.В.Толстогузова

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2021»

Труды
XXII Международной научно-практической конференции

10 – 11ноября 2021 г.

Часть 2

Новокузнецк
2021

ISSN 2542-1670

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, к.т.н. Е.Н. Темлянцева,
д.т.н., доцент В.В. Зимин, д.т.н., профессор А.Г. Никитин,
к.э.н., доцент Ю.С. Климашина

М 540 Металлургия : технологии, инновации, качество : труды XXII Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Часть 2 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2021. – 347 с. : ил.

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и технологии процессов сварки, порошковой металлургии, получения композиционных материалов и покрытий, тепло- и массопереноса в металлургических процессах и агрегатах, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов, охраны труда, автоматизации и моделирования металлургических процессов, инновационных металлургических технологий в машиностроении, экономико-управленческих проблем металлургических регионов.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Правительства Кузбасса

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

АО «Русал-Новокузнецк»

АО «Кузнецкие ферросплавы»

АО «НЗРМК им. Н.Е. Крюкова»

Ляонинский университет науки и технологии, г. Аньшань, КНР

ОАО «Черметинформация»

Издательство Сибирского отделения РАН

Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»

Журнал «Вестник СибГИУ»

Журнал «MATEC Web of Conferences »

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

АО «Кузбасский технопарк»

Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук

Совет молодых ученых Кузбасса

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2021

УДК 621.791.048

ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНОГО ФЛЮСА ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ШЛАКА ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА

Михно А.Р., Козырев Н.А., Громов В.Е., Усольцев А.А., Крюков Р.Е.

Сибирский государственный индустриальный университет,
Кемеровская область, Новокузнецк, Россия, mikno-mm131@mail.ru

Аннотация. *В работе представлены результаты проведенного исследования сварочного флюса изготовленного из шлака производства ферросиликомарганца. Изучено влияние технологических режимов сварки на механические свойства, содержание кислорода и водорода в сварном шве. Представлены результаты сравнения использования сварочного флюса изготовленного из шлака производства ферросиликомарганца и флюса марки АН-348А.*

Ключевые слова: *автоматическая сварка, сварочный флюс, ферросиликомарганец, шлак силикомарганца, химический состав, механические свойства.*

RESEARCH OF WELDING FLUX MADE FROM SLAG PRODUCTION OF FERROSILICOMANGANESE

Mikhno A.R., Kozyrev N.A., Gromov V.E., Usoltsev A.A., Kryukov R.E.

Siberian State Industrial University,
Kemerovo region, Novokuznetsk, Russia, mikno-mm131@mail.ru

Abstract. *The paper presents the results of the study of the welding flux made from slag from the production of ferrosilicomanganese. The influence of technological modes of welding on mechanical properties, oxygen and hydrogen content in the welded seam has been studied. The results of comparison of the use of a welding flux made of ferrosilicomanganese production slag and AN-348A flux are presented.*

Keywords: *automatic welding, welding flux, ferrosilicomanganese, silicomanganese slag, chemical composition, mechanical properties.*

Особенность Кемеровской области, как региона, является развитость горно-металлургического сектора и образовании в значительном количестве вторичного сырья, требующие переработки в различных отраслях промышленности, в том числе и для изготовления материалов сварочного производства [1-3].

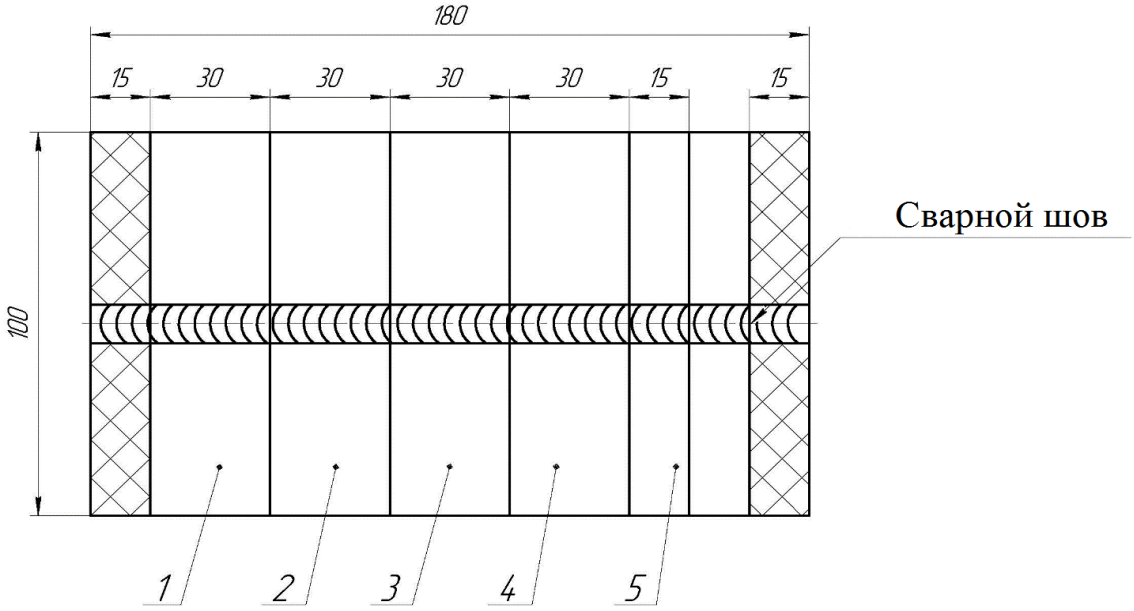
Одним из таких материалов техногенного характера является шлак производства ферросиликомарганца, который может быть использован при автоматической сварке и наплавке под флюсом [4].

В продолжении исследовании о возможности использования шлака производства силикомарганца в качестве сварочного флюса [5], в лабораторных условиях была изготовлена партия сварных образцов с использованием флюса на основе шлака производства силикомарганца с химическим составом, масс. %: 0,42 FeO, 16,22 MnO, 29,00 CaO, 41,34 SiO_2, 6,53 Al_2O_3, 1,33 MgO, 0,24 S, 0,022 P, 0,008 ZnO, 0,031 C, 0,31 F, 0,15 TiO_2, 0,025 Cr_2O_3. Проведенные ранее исследования [6-10] показали, что для данных флюсов наиболее приемлемым является использование фракции 0,45-2,5мм.

Сварка образцов из стали 09Г2С толщиной 20мм, производилась встык без разделки кромок, сварочной проволокой Св-08ГА с помощью сварочного трактора ASAW-1250. Были исследованы различные режимы сварки, обеспечивающие необходимую глубину провара и отсутствие внешних дефектов (пор, трещин, раковин).

После проведения сварочных работ образцы вырезались по схеме представленной на рисунке 1 для проведения следующих исследовании: определение химического состава

сварных швов (таблица 1), изучение макро и микроструктуры, изучение твердости НВ, определение содержания водорода и кислорода (таблица 3), проведение механических испытаний (таблица 2). В качестве образцов сравнения также была выполнена сварка образцов с использованием флюса марки АН-348А.



1 – макрошлифы; 2 – микрошлифы; 3 –твердость; 4 –износостойкость;
5- определение содержания водорода

Рисунок 1 – Схема вырезки образцов для испытаний

Полученные результаты проведенных исследований показали влияния изменения энерготехнологических режимов на изменения химического состава, физико-механических свойств сварных швов.

Таблица 1 – Химический состав сварных швов

№ образца	Массовая доля элементов, мас.%											H, см^3/100г
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	Mo	Al	S	P	
0	0,11	0,41	1,16	0,05	0,31	0,15	0,002	0,10	0,009.	0,014	0,014	1,1
1	0,07	0,48	1,24	0,05	0,43	0,16	0,001	0,14	0,012	0,013	0,016	1,2
2	0,08	0,54	1,38	0,06	0,28	0,17	0,003	0,08	0,018	0,014	0,014	1,1
3	0,08	0,51	1,31	0,06	0,32	0,15	0,001	0,10	0,014	0,014	0,013	1,4
4	0,08	0,49	1,20	0,05	0,45	0,17	0,002	0,16	0,013	0,011	0,015	1,1
5	0,07	0,50	1,26	0,05	0,43	0,17	0,003	0,14	0,002	0,012	0,018	1,1
6	0,07	0,49	1,25	0,05	0,40	0,16	0,002	0,13	отс.	0,012	0,015	1,0
7	0,09	0,50	1,23	0,04	0,41	0,13	0,001	0,14	0,014	0,011	0,011	1,3
8	0,09	0,50	1,31	0,06	0,31	0,17	0,001	0,09	0,019	0,014	0,013	1,0
9	0,07	0,53	1,27	0,05	0,37	0,15	0,002	0,12	0,010	0,015	0,016	0,9

Таблица 2 – Механические свойства сварных швов

№ эксперимента	Временное сопротивление разрыву $\sigma_{в,}$ Н/мм^2	Предел текучести условный, $\sigma_т$, Н/мм^2	Относительное удлинение δ, %	KCV +20˚C	KCV -20˚C
0	576	482	21	68* 63-75**	22,3* 20-26**
1	563	470	21	59,6 49-81	20,3 15-31
2	582	481	22	64,3 60-69	20,6 17-25
3	560	430	21	66,3 52-77	32 27-35
4	570	459	21	59,33 56-62	30 27-32
5	570	466	22	67,3 59-73	32 31-33
6	563	462	21	59,3 53-65	29,6 27-34
7	572	456	21	70,6 63-85	30,6 27-33
8	570	464	21	58,3 53-67	29,3 23-33
9	553	440	22	62 55-68	23,3 18-27
Флюс АН-348А (Образец сравнения)	543	368	25	55 52-58	18 16-21
Сталь 09Г2С по ГОСТ 19282-73	≥470	≥325	≥21	≥59	≥34
* - средние значения; ** - минимальные и максимальные значения.					

Механические испытания сварных образцов указывают на увеличение механических свойств сварного шва: Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$ 553-582 Н/мм^2; Предел текучести условный $\sigma_т$ 430-482 Н/мм^2; Относительное удлинение δ, 21-22 %; KCV+20˚C 49-81 Дж/см^2; KCV -20˚C 15-35 Дж/см^2. Механические свойства образов сравнения (АН-348А) находятся на уровне: Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$ 543Н/мм^2; Предел текучести условный $\sigma_т$ 368 Н/мм^2; Относительное удлинение δ, 25 %; KCV+20˚C 52-58 Дж/см^2; KCV -20˚C 16-21 Дж/см^2.

Результаты исследования механических свойств указывают что применение флюса на основе шлака производства силикомарганца не уступают значениям при использовании сварочного флюса марки АН-348А

Содержание водорода в сварных швах указывает, что при прочих равных условиях, концентрация водорода зависит от силы тока, напряжения и скорости сварки. Все отобранные пробы удовлетворяют требованиям по содержанию водорода - концентрация водорода во всех пробах менее 2 см3/100г.

Металлографические исследования сварных швов проводилось с использованием оборудования ЦКП «Материаловедение». Загрязненность сварного шва неметаллическими включениями схожа с загрязненностью при использовании флюса марки АН-348А: оксиды точечные балл 1а-2а, силикаты недеформирующиеся балл 2б.

Структура сварных швов имеет феррито-перлитную структуру видманштеттовой направленности в сторону отвода тепла.

Твердость по Бринеллю (НВ) исследуемых сварных образцов измерялась по схеме,

представленной на рисунке 2. Результаты замеров приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Содержание кислорода, азота в сварном шве, ppm

№ образца	Кислород	Азот	Кислород в соединениях	Силикаты	Алюминаты	Алюмосиликаты кальция, силикаты кальция, магниевые шпинели
0	0,091	0,01325	0,1167	0,05234	0,06185	0,00251
1	0,089	0,012	0,1175	0,05801	0,05614	0,00335
2	0,087	0,0133	0,0973	0,04656	0,04783	0,00291
3	0,097	0,0149	0,0965	0,04635	0,04802	0,00213
4	0,083	0,0112	0,0964	0,04054	0,05425	0,00161
5	0,091	0,0117	0,1102	0,0185	0,07186	0,01984
6	0,087	0,0128	0,0941	0,04553	0,04702	0,00155
7	0,087	0,01415	0,1217	0,05535	0,06442	0,00193
8	0,092	0,01195	0,1167	0,05995	0,05563	0,00112
9	0,096	0,01335	0,1128	0,04518	0,06541	0,00221

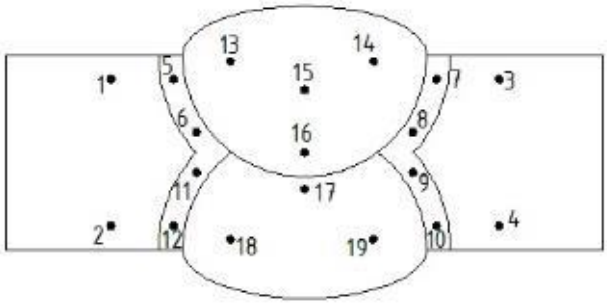


Рисунок 2 – Схема замера твердости сварных образцов

Таблица 4 – Замеры твердости сварных образцов, НВ

№ образца	Основной металл, точки												Сварной шов, точки						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	176	160	181	168	178	194	169	186	184	179	185	174	191	186	186	192	174	168	178
1	196	200	172	193	194	186	191	205	204	169	161	191	188	147	193	215	230	220	196
2	162	189	179	185	172	206	197	206	214	210	202	188	199	220	246	237	229	237	235
3	192	235	180	196	234	181	208	189	187	172	235	211	270	247	230	238	209	187	214
4	221	164	170	176	207	223	193	188	205	201	203	229	227	185	212	245	205	228	218
5	215	198	203	182	234	220	253	257	255	262	221	258	204	224	227	276	213	249	265
6	158	172	179	175	173	203	189	185	155	205	195	187	218	264	247	210	194	178	212
7	158	150	187	202	164	175	177	166	188	188	167	185	195	219	225	201	205	213	229
8	180	208	230	186	221	224	318	317	318	298	167	280	240	305	284	187	178	280	209
9	142	176	164	133	147	161	177	163	175	207	190	181	166	218	211	203	212	159	201

Вывод:

Проведенные исследования использования в качестве защитного сварочного флюса шлака производства ферросиликомарганца указывают на хорошие сварочно-технологические свойства флюса. Использование разработанного флюса обеспечивает необходимые укрывные свойства сварного шва, низкие показатели газонасыщенности, хорошую твердость, высокие показатели механических свойств.

Библиографический список

1. Новые сварочные флюсы на основе техногенных отходов металлургического производства / Р. Е. Крюков, Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, А. Р. Михно // XV международный конгресс сталеплавильщиков и производителей металла : сборник трудов, 15-19 октября 2018 г. – Москва–Тула, 2018. – С. 484–488.

2. Липатова, У. И. Влияние фракционного состава флюса на основе шлака производства силикомарганца на качество сварного шва / У. И. Липатова, Р. И. Акимченко, А. И. Кислов ; науч. рук.: Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении : сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, 7–9 апреля 2016 г. – Томск, 2016. – Т. 1. – С. 91–92.

3. Опыт использования техногенных материалов для производства флюсов, применяемых при наплавке прокатных валков / А.А. Уманский, Н.А. Козырев, Р.Е. Крюков, П.Д. Соколов, Л.В. Думова //Металлургия: технологии, инновации, качество. Металлургия – 2017 : труды XX Международной научно-практической конференции, 15-16 ноября 2017 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2017. – Ч. 2. – С. 327-332.

4. Производство новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца / Н. Е. Крюков, О. Е. Козырева, Р. Е. Крюков, Н. А. Козырев, А. А. Усольцев // Сварочное производство. – 2017. – № 5. – С. 42-48. – Библиогр.: с. 48.

5. Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. А. Усольцев, А. Р. Михно, Л. П. Бащенко // Сварка и контроль – 2018 : материалы международной научно-технической конференции, посвященной 130-летию изобретения Н. Г. Славяновым электродуговой сварки плавящимся электродом, 18-21 сентября 2018 г. – Пермь, 2018. – С. 168–182. – Библиогр.: с. 179

6. Влияние газонасыщенности на физико-механические свойства сварного шва, выполненного под флюсом, изготовленным из шлака, получаемого при производстве силикомарганца / Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, А. Р. Михно, Р. А. Шевченко. – DOI 10.32339/0135-5910-2020-10-1043-1050 // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2020. – Т. 76, № 10. – С. 1043–1050.

7. Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. А. Усольцев, А. Р. Михно, Л. П. Бащенко // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – № 6 (1422). – С. 55–66. – Библиогр.: с. 63 (32 назв.).

8. Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца и ковшевого электросталеплавильного шлака / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. Р. Михно, А. А. Усольцев, А. А. Уманский // Сварочное производство. – 2020. – № 2 (1023). – С. 16–21. – Библиогр.: с. 20–21 (26 назв.).

9. Разработка сварочных флюсов с использованием барий-стронциевого модификатора и шлака силикомарганца / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. Р. Михно, А. А. Усольцев, А. А. Проводова // Сварочное производство. – 2020. – № 3 (1024). – С. 3–8. – Библиогр.: с. 8 (13 назв.).

10. Влияние введения добавок углерода и фтора во флюсы, изготовленные из шлака силикомарганца / Р. Е. Крюков, Н. А. Козырев, А. Р. Михно, Л. П. Бащенко, А. Н. Калиногорский // Известия вузов. Черная металлургия. – 2020. – Т. 63, № 1. – С. 34–39.