

УДК 621.791:624

## ПОВЕДЕНИЕ ВОДОРОДА ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ НА ОСНОВЕ ШЛАКА ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКОМАРГАНЦА

*Л.П. Бащенко, Н.А. Козырев, Р.А. Гизатулин, А.Р. Михно, А.А. Усольцев*

*E-mail: kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

**Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия**

**Аннотация.** Рассмотрена возможность использования в качестве сварочного флюса шлака производства силикомарганца. Исследовано влияние режимов сварки на содержание водорода в металле сварных швов. Опытные сварные образцы удовлетворяют требованиям по содержанию водорода.

**Ключевые слова:** сварка, флюс, шлак, водород, силикомарганец, сварной шов.

## BEHAVIOR OF HYDROGEN DURING SUBMERGED ARC WELDING USING FLUX FROM SLAG OF SILICOMANGANESE PRODUCTION

*L.P. Bashchenko, N.A. Kozyrev, R.A. Gizatulín, A.R. Mikhno, A.A. Usol'tsev*

*E-mail: kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

**Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia**

**Abstract.** The possibility of using silicomanganese slag as a welding flux is considered. The influence of welding modes on the hydrogen content in the weld metal is investigated. The experimental welded samples meet the requirements for the hydrogen content.

**Keywords:** welding, flux, slag, hydrogen, silicomanganese, weld.

### **Введение**

При изготовлении крупногабаритных сварных металлоконструкций ведущим технологическим процессом является сварка под флюсом. Основными составляющими этого процесса являются сварочное оборудование, основной металл, сварочные проволоки, флюс. Высокое качество и сварочно-технологические возможности флюса обеспечивают потребителю необходимые технико-экономические показатели сварки. Для производителя флюсов их качество является решающим фактором в сбыте своей продукции.

Важным направлением в сварочном производстве является разработка новых сварочных флюсов, которые обеспечивают требуемые физико-химические показатели с более низкой себестоимостью [1 – 4]. Решение этой проблемы можно осуществить путем использования в качестве сварочных флюсов отходов металлургического производства, которые снизят себестоимость [5 – 8].

### **Материалы и методы исследования**

Ранее рассмотрена возможность использования в качестве сварочных флюсов шлака производства силикомарганца [9 – 13]. Исследование влияния режимов сварки на содержание водорода в металле сварных швов проводили с использованием оборудования НПЦ «Сварочные процессы и технологии».

В качестве сварочного флюса использовали шлак производства силикомарганца фракции от 0,45 до 2,50 мм. Химический состав флюса, % (по массе): FeO 0,42; MnO 16,22; CaO 29; SiO<sub>2</sub> 41,34; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6,53; MgO 1,33; S 0,24; P 0,022; ZnO 0,008; C 0,031; F 0,31; TiO<sub>2</sub> 0,15; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,025.

Сварку образцов проводили после сушки сварочного флюса при температуре 250 – 300 °С в течение 3 ч с использованием стальных пластин из стали марки 09Г2С толщиной 20 мм сварочной проволокой Св-08ГА с помощью автоматического сварочного трактора АСАВ-1250. Режимы сварки образцов ( $I$  – сила тока;  $U$  – напряжение;  $v$  – скорость сварки;  $E$  – погонная энергия) выби-

## Режимы сварки образцов

Эксперимент	$I$ , А	$U$ , В	$v$ , см/мин	$E$ , Дж/см
0	700	30	30	42000
1	600	28	28	36000
2	600	30	32	33750
3	600	32	30	38400
4	650	28	32	34125
5	650	30	30	39000
6	650	32	28	44571
7	700	28	30	39200
8	700	30	28	45000
9	700	32	32	42000

рали методом полнофакторного математического планирования эксперимента (табл. 1). Для сравнения (эксперимент «0») был использован режим сварки: 700 А, 30 В, 30 см/мин.

Химический состав опытных образцов исследовали рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Определение химического состава металла сварных швов проводили химическими методами на содержание углерода по ГОСТ 12344 – 2003, серы по ГОСТ 12345 – 2001 и фосфора по ГОСТ 12347 – 77.

При отработке технологии получения сварных соединений с пониженной газонасыщенностью определяли концентрацию водорода в металле сварного шва (табл. 3). Измерения содержания водорода в металле сварного шва проводили на хроматографе «Газохром 3101».

**Результаты исследования и их обсуждение**

Химический состав металла сварных швов приведен в табл. 2.

Содержание водорода в металле сварных швов опытных образцов (1) – (9) и образца сравнения (0) приведено ниже:

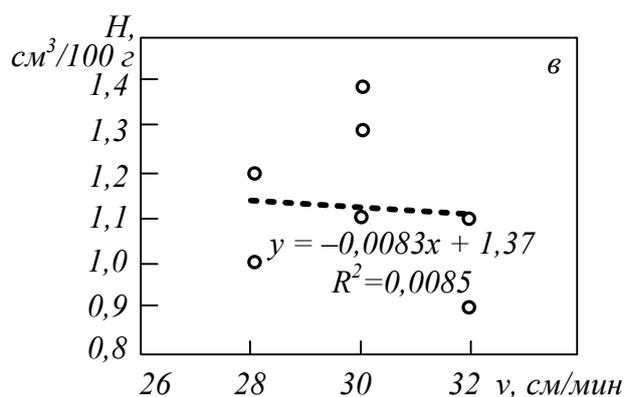
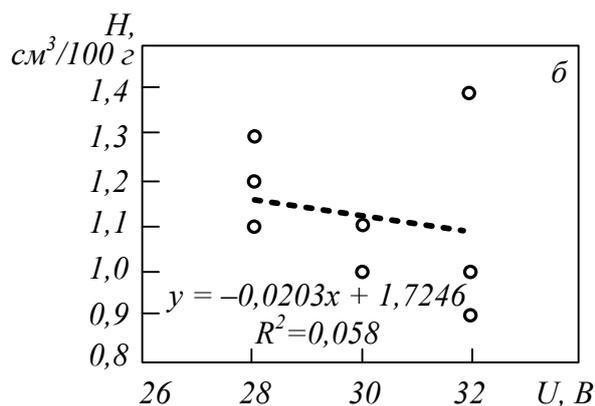
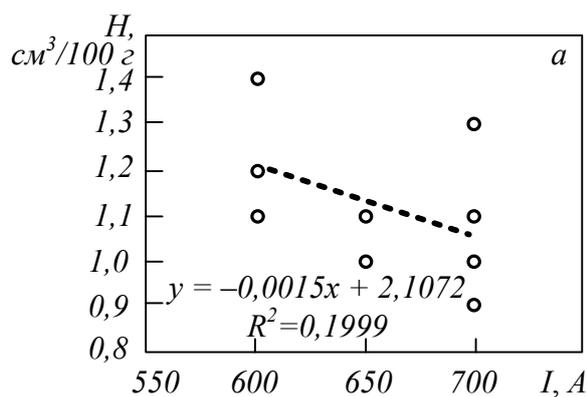
Образец	Содержание H, см <sup>3</sup> /100 г
0	1,1
1	1,2
2	1,1
3	1,4
4	1,1
5	1,1
6	1,0
7	1,3
8	1,0
9	0,9

Содержание водорода в металле сварных швов 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 см<sup>3</sup>/100 г.

## Химический состав металла сварных швов

Образец	Содержание элементов, % (по массе)										
	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	0,07	0,48	1,24	0,05	0,43	0,16	0,001	0,14	0,012	0,013	0,016
2	0,08	0,54	1,38	0,06	0,28	0,17	0,003	0,08	0,018	0,014	0,014
3	0,08	0,51	1,31	0,06	0,32	0,15	0,001	0,10	0,014	0,014	0,013
4	0,08	0,49	1,20	0,05	0,45	0,17	0,002	0,16	0,013	0,011	0,015
5	0,07	0,50	1,26	0,05	0,43	0,17	0,003	0,14	0,002	0,012	0,018
6	0,07	0,49	1,25	0,05	0,40	0,16	0,002	0,13	отс.	0,012	0,015
7	0,09	0,50	1,23	0,04	0,41	0,13	0,001	0,14	0,014	0,011	0,011
8	0,09	0,50	1,31	0,06	0,31	0,17	0,001	0,09	0,019	0,014	0,013
9	0,07	0,53	1,27	0,05	0,37	0,15	0,002	0,12	0,010	0,015	0,016

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК



Зависимость содержания водорода в металле сварных швов от изменения силы тока при сварке (а), от изменения напряжения при сварке (б) и от изменения скорости сварки (в)

Зависимости содержания водорода в металле сварных швов от режимов сварки представлены на рисунке.

**Выводы**

Получены данные о влиянии режимов сварки на содержание водорода в металле сварных швов. Выявлено, что при увеличении силы тока и напряжения при сварке возможно снижение концентрации водорода в металле сварных швов. Полученные сварные образцы удовлетворяют требованиям по содержанию водорода: концентрация водорода во всех пробах менее  $2 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ .

1. Брусницын Ю.Д., Брусницын М.Ю. Использование диаграмм фазовых равновесий неметаллических систем для диагностики и разработки сварочных материалов. – В кн.: Методические рекомендации к программе «Расчет состава сварочных шлаков, электродных покрытий и флюсов». – СПб.: ЦНИИ КМ «Прометей», 2000. – 41 с
2. Карташев М.Ф., Наумов С.В., Юрченко А.Н., Шекшеев М.А. Исследование сварочных свойств плавящего сварочного флюса, полученного электродуговым гранулированием. – В кн.: Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения. Сб. тр. Междунар. науч.-техн. молодеж. конф., г. Томск, 26 – 30 ноября 2018 г. – Томск: изд. ТПУ, 2018. С. 174 – 175.
3. Калинин В.Т., Николаев А.И., Малышевский В.А. Перспективы использования минерального и технического сырья Мурманской области для производства сварочных материалов и флюсов. – В кн.: Доклады международной научно-технической конференции. Петраньевские чтения: «Сварочные материалы» (к 70-летию создания электродов УОНИ-13), Санкт-Петербург, 18 – 22 мая 2009. – СПб., 2009. С. 80 – 89.
4. Кокорин В.Н. Анализ промышленного рециклинга твердых техногенных отходов предприятий черной металлургии. – В кн.: Экономика, экология и общество России в 21-м столетии. – СПб.: изд. СПбГТУ, 2003. С. 273 – 274.
5. 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. Сб. трудов Международной научно-практической конференции 18 – 21 апреля 2017. – Кемерово: изд. КузГТУ, 2017. С. 128 – 133.
6. 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. Вып. 22. Ч. 2. Естественные и технические науки. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2018. С. 208 – 210.
7. 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. – Томск, 2019. С. 187 – 188.

8. 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. – Кемерово: изд. КузГТУ, 2017. С. 134 – 139.
9. 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 Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 150. Article 012032.
10. 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. Article 012034.
11. Kozyrev N.A., Mikhno A.R., Usoltsev A.A., Kryukov R.E., Umanskiy A.A. Use of silicomanganese slag and ladle electric steelmaking slag in manufacturing the welding fluxes for surfacing the mining equipment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 206. Article 012032.
12. Крюков Р.Е., Козырев Н.А. Основы создания углеродсодержащих сварочных и наплавочных материалов. – Томск: изд. Томского политехнического университета, 2019. – 359 с.
13. Козырев Н.А., Михно А.Р., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Попова М.В. Сварочный флюс на основе барий-стронциевого модификатора и шлака силикомарганца. – В кн.: Metallurgy: technologies, innovations, quality. Metallurgy – 2019. Труды XXI Международной научно-практической конференции, 23 – 24 октября 2019. Ч. 1. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2019. С. 322 – 328.

© 2021 г. Л.П. Бащенко, Н.А. Козырев,  
Р.А. Гизатулин, А.Р. Михно, А.А. Усольцев  
Поступила 17 февраля 2021 г.