

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК СИСТЕМЫ Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W С ЗАМЕНИТЕЛЕМ КРЕМНЕФТОРИСТОГО НАТРИЯ ПРИ НАПЛАВКЕ ПОД МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИМИ ФЛЮСАМИ

А.А. Усольцев, А.Р. Михно, Н.А. Козырев, Д.Е. Белов, В.Р. Шамрай

E-mail: a.us@rambler.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследования наплавленных образцов, выполненных наплавкой порошковой проволоки системы Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W с заменителем кремнефтористого натрия под марганецсодержащими флюсами. В качестве заменителя кремнефтористого натрия была использована пыль электрофильтров производства алюминия. Наплавка осуществлялась на наплавочные пластины из стали марки 09Г2С с использованием различных марганецсодержащих флюсов. Изучены химические составы наплавленных слоев, построены зависимости влияния оксидов FeO и MnO на извлечение основных элементов. Методами оптической микроскопии исследована и описана структура и неметаллические включения наплавленных образцов, изучены твердость и износостойкость полученных наплавленных поверхностей.

Ключевые слова: шлак силикомарганца, порошковая проволока, наплавка под флюсом, неметаллические включения, структура, твердость, износостойкость.

STUDY OF FLUX CORED WIRES OF THE Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W SYSTEM WITH A SODIUM FLUOROSILICATE SUBSTITUTE USED IN SUBMERGED-ARC WELDING WITH MANGANESE-CONTAINING FLUXES

A.A. Usoltsev, A.R. Mikhno, N.A. Kozyrev, D.E. Belov, V.R. Shamrai

E-mail: a.us@rambler.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The paper presents the study results of deposited samples performed by arc submerged welding with flux-cored electrode of the Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W system with a sodium fluorosilicate substitute under manganese-containing fluxes. The dust from aluminum electrostatic precipitators was used as a substitute for sodium fluorosilicate. Deposition was carried out on the plates made of 09G2S steel using various manganese-containing fluxes. The chemical compositions of the deposited layers were studied, the dependences of the influence of FeO and MnO on the extraction of basic elements were plotted. The structure and nonmetallic inclusions of the deposited samples were investigated and described by the methods of optical microscopy. The hardness and wear resistance of the obtained deposited surfaces were studied.

Keywords: silicomanganese slag, flux-cored wire, submerged arc welding, non-metallic inclusions, structure, hardness, wear resistance.

Введение

Качество наплавляемого металла и угар легирующих элементов во многом зависят от состава сварочных флюсов и физико-химического взаимодействия между собой порошковой проволоки и флюсов.

Ранее в рамках развития направления по совершенствованию составов наплавочных материалов системы Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W в Сибирском государственном индустриальном университете (СибГИУ) был разработан новый состав порошковой проволоки с добавле-

нием углеродфторсодержащего материала – пыли газоочистки производства алюминия [1 – 19]. Применение такого состава проволоки позволяет исключить образование пор, раковин, трещин и проводить удаление водорода. Химический состав порошковых проволок с использованием пыли газоочистки вместо кремнефтористого натрия защищен патентами РФ [20 – 23].

В настоящей работе приведены результаты влияния сварочных флюсов на извлечение основных элементов, на микроструктуру и степень загрязненности неметаллическими включениями, твердость и износостойкость при наплавке порошковой проволоки с использованием различных марганецсодержащих флюсов.

Материалы и методы исследования

Изготовление порошковой проволоки проводили на лабораторном станке. В качестве наполнителя использовали порошкообразные материалы: кремний КР-1 по ГОСТ 2169 – 69, марганец МР-0 по ГОСТ 6008 – 82, хром ПХА-1М по ТУ 14-1-1474 – 75, ванадий ВЭЛ-1 по ТУ 48-0533 – 71, железный порошок ПЖВ-1 по ГОСТ 9849 – 86, вольфрам ПВТ по ТУ 48-19-72 – 92, углеродфторсодержащий материал (пыль газоочистки производства алюминия). Химический состав пыли газоочистки производства алюминия следующий: 21,000 – 46,230 % Al_2O_3 ; 8,000 – 15,000 % Na_2O ; 0,400 – 6,000 % K_2O ; 0,700 – 2,300 % CaO ; 0,500 – 2,480 % SiO_2 ; 2,100 – 3,270 % Fe_2O_3 ;

0,070 – 0,900 % MnO ; 0,060 – 0,900 % MgO ; не более 0,190 % S ; не более 0,180 % P ; 12,500 – 30,200 % $C_{общ}$; 18,000 – 27,000 % F (по массе).

С целью изучения извлечения основных элементов из порошковой проволоки при использовании различных марганецсодержащих флюсов изготовлены два образца порошковой проволоки с разным компонентным составом (табл. 1).

После проведения расчетов состава порошковых проволок и их изготовления проводили наплавку образцов с использованием различных сварочных флюсов, изготовленных из шлакового щебня производства ферросиликомарганца с различным содержанием MnO . В первом варианте использовали шлак производства силикомарганца с содержанием MnO менее 8 %, во втором с содержанием MnO от 8 до 12 %, в третьем с содержанием MnO от 12 до 18 %. В качестве образца сравнения использовали флюс марки АН-348А (флюс 4). Химический состав используемых сварочных флюсов представлен в табл. 2.

Все исследуемые флюсы (табл. 2), изготовленные из шлаков производства силикомарганца, имеют низкую окисленность (содержание FeO и MnO), а значит и угар элементов при наплавке данной порошковой проволокой должен быть ниже. Маркировка исследуемых образцов представлена в табл. 3.

Наплавку исследуемых образцов осуществляли по режиму, рекомендованному ГОСТ 26101 – 84: сила тока 620 А, напряжение 32 В, скорость наплавки 20 см/мин.

Т а б л и ц а 1

Компонентный состав исследуемых порошковых проволок

Проволока	Содержание, г						
	углеродфторсодержащий материал	ПХА-1М	МР-0	КР-1	ВЭЛ-1	ПВТ	ПЖВ-1
1	48,70	17,5	5,5	6,6	2	10	30,50
2	60,66	17,5	5,5	6,6	2	15	18,54

Т а б л и ц а 2

Химический состав используемых флюсов

Флюс	Содержание, % (по массе)														
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S	P	ZnO	C	F	TiO ₂	
1	0,70	6,69	27,99	35,96	14,96	8,02	0,71	1,81	0,64	0,021	0,013	0,020	0,14	0,22	
2	0,41	9,64	35,07	42,57	6,82	1,58	0,14	0,61	0,21	0,022	0,010	0,016	0,15	0,17	
3	0,55	16,41	28,34	41,45	6,64	1,50	0,13	0,58	0,22	0,021	0,013	0,028	0,18	0,15	
4	2,38	4,81	15,25	22,41	13,99	23,58	2,15	0,98	0,041	0,031	0,012	0,020	10,46	2,56	

Маркировка исследуемых образцов

Используемый флюс	Используемая проволока	Номер наплавленного образца
1	1	1
	2	2
2	1	3
	2	4
3	1	5
	2	6
4	1	7
	2	8

Результаты исследования и их обсуждение

Химический состав полученных образцов представлен в табл. 4, усвоение основных элементов в табл. 5.

При использовании флюса АН-348А (табл. 4) угар основных элементов (вольфрама и хрома) значительно выше, чем при использовании флюсов, изготовленных из шлака силикомарганца, что связано с более высокой окисленностью шлака (содержанием FeO), при этом более высокое содержание MnO способствовало дополнительному восстановлению марганца в наплавленном слое (рис. 1).

Исследования образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений (табл. 6, рис. 2) проводили по ГОСТ 1778 – 70. Полированную поверхность изучали при увеличении 100.

Металлографические исследования полированных микрошлифов проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений от 100 до 1000. Микроструктуру (рис. 3) выявляли путем

травления образцов в растворе 4 % HNO₃ в этиловом спирте.

Величину зерна определяли в соответствии с ГОСТ 5639 – 82 при увеличении 500 с помощью пакета прикладных программ для металлографических исследований Siam Photolab 700.

При проведении металлографических исследований были получены следующие структуры образцов: в образцах 1, 2 обнаружена ферритная структура с областями перлита. В образцах 3, 4 видны зерна феррита, которые окружены сеткой перлита. Образец 3 имеет феррито-перлитную структуру (65 % перлита, 35 % феррита) с ферритными зернами вытянутой формы. В образце 4 по границам зерен находятся темно травящиеся участки закалочной структуры. Образец 5 состоит из игольчатого мартенсита, а образец 6 имеет феррито-перлитную структуру (75 % перлита, 25 % феррита). Образец 7 имеет феррито-перлитную структуру (20 % перлита, 80 % феррита), а наплавленный слой (микроструктура) образца 8 состоит из игольчатого мартенсита.

Т а б л и ц а 4

Маркировка исследуемых образцов

Образец	Содержание, % (по массе)													
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	S	P
1	0,22	0,83	1,14	0,60	0,05	0,07	0,001	1,69	0,057	0,009	0,023	0,004	0,141	0,014
2	0,42	0,95	1,28	0,85	0,06	0,08	–	2,47	0,084	0,009	0,037	0,002	0,141	0,015
3	0,29	0,77	1,17	0,76	0,06	0,10	0,004	1,48	0,075	0,014	0,020	0,004	0,079	0,011
4	0,54	0,61	1,29	0,94	0,06	0,09	0,002	2,13	0,084	0,011	0,024	0,004	0,106	0,016
5	0,21	0,67	1,39	0,60	0,04	0,06	–	1,57	0,056	0,010	0,014	0,003	0,068	0,012
6	0,46	0,62	1,71	0,84	0,07	0,08	0,001	2,21	0,080	0,011	0,041	0,002	0,065	0,017
7	0,45	0,57	0,95	0,58	0,05	0,09	0,012	1,31	0,071	0,010	0,035	0,004	0,038	0,017
8	0,56	0,63	1,09	0,76	0,06	0,08	0,014	2,18	0,087	0,011	0,042	0,005	0,043	0,019
1*	0,50	0,80	1,10	0,60	–	–	–	2,00	0,07	–	–	–	–	–
2*	0,60	0,90	1,25	0,80	–	–	–	3,00	0,07	–	–	–	–	–

П р и м е ч а н и е. * – Расчетное значение для проволоки.

Усвоение элементов в наплавленных образцах

Образец	Содержание, % (по массе)					
	C	Si	Mn	Cr	W	V
1	44,0	103,7	103,6	100,0	84,5	81,4
2	70,0	105,5	102,4	106,2	82,3	120,0
3	58,0	96,2	106,3	126,6	74,0	107,1
4	90,0	67,7	103,2	117,5	71,0	120,0
5	42,0	83,7	126,3	100,0	78,5	80,0
6	76,6	68,8	136,8	105,0	73,6	114,2
7	90,0	71,2	86,3	96,6	65,5	101,4
8	93,3	70,0	87,2	95,0	72,6	124,2

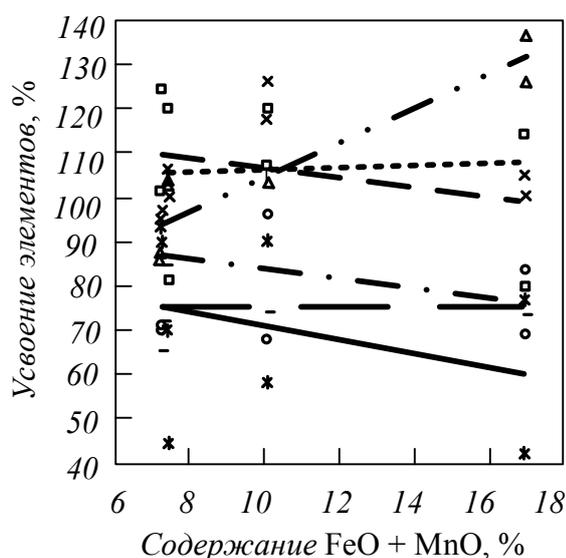


Рис. 1. Зависимость усвоения химических элементов от содержания FeO и MnO в сварочном флюсе:

- *, ————— углерод, $y = -1,6307x + 87,443$, $R^2 = 0,1113$;
 o, - - - - - кремний, $y = -1,1056x + 94,845$, $R^2 = 0,0825$;
 Δ, - · - · - марганец, $y = 3,8207x + 66,786$, $R^2 = 0,8583$;
 ×, - - - - - хром, $y = 0,2062x + 103,72$, $R^2 = 0,0063$;
 -, ————— вольфрам, $y = 0,0253x + 74,987$, $R^2 = 0,0003$;
 □, - - - - - ванадий, $y = -1,0701x + 117,16$, $R^2 = 0,0684$

Измерение твердости наплавленного слоя (табл. 7) исследуемых образцов выполняли по методу Бринелля с помощью ультразвукового твердомера УЗИТ-3 в соответствии с требованиями ГОСТ 9012 – 59.

Скорость истирания наплавленного слоя опытных образцов определяли путем проведения испытаний на износ (δ) на машине 2070 СМТ-1. Результаты износостойкости исследуемых образцов представлены в табл. 7.

На основе полученных данных по химическому составу, износостойкости и твердости исследуемых образцов построены зависимости (рис. 4, 5).

Построенные зависимости указывают на влияние химических элементов на твердость и износостойкость исследуемых образцов.

Таким образом, проведенные исследования показывают возможность применения пыли газоочистки вместо кремнефтористого натрия в порошковых проволоках системы Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W с разработанным флюсом, причем при введении углеродфторсодержащего материала вместо кремнефтористого натрия пор, трещин и раковин в наплавленном слое не наблюдали.

Таблица 6

Неметаллические включения наплавленных образцов

Образец	Типы неметаллических включений по образцам, балл		
	Оксиды точечные	Силикаты недеформирующиеся	Нитриды строчечные
1	3а	5а	2а
2	1а	3б	–
3	1а	3б	3а
4	5а	5б	–
5	1а	3б	–
6	3а	5а	–
7	1а	–	–
8	3а	5а	–

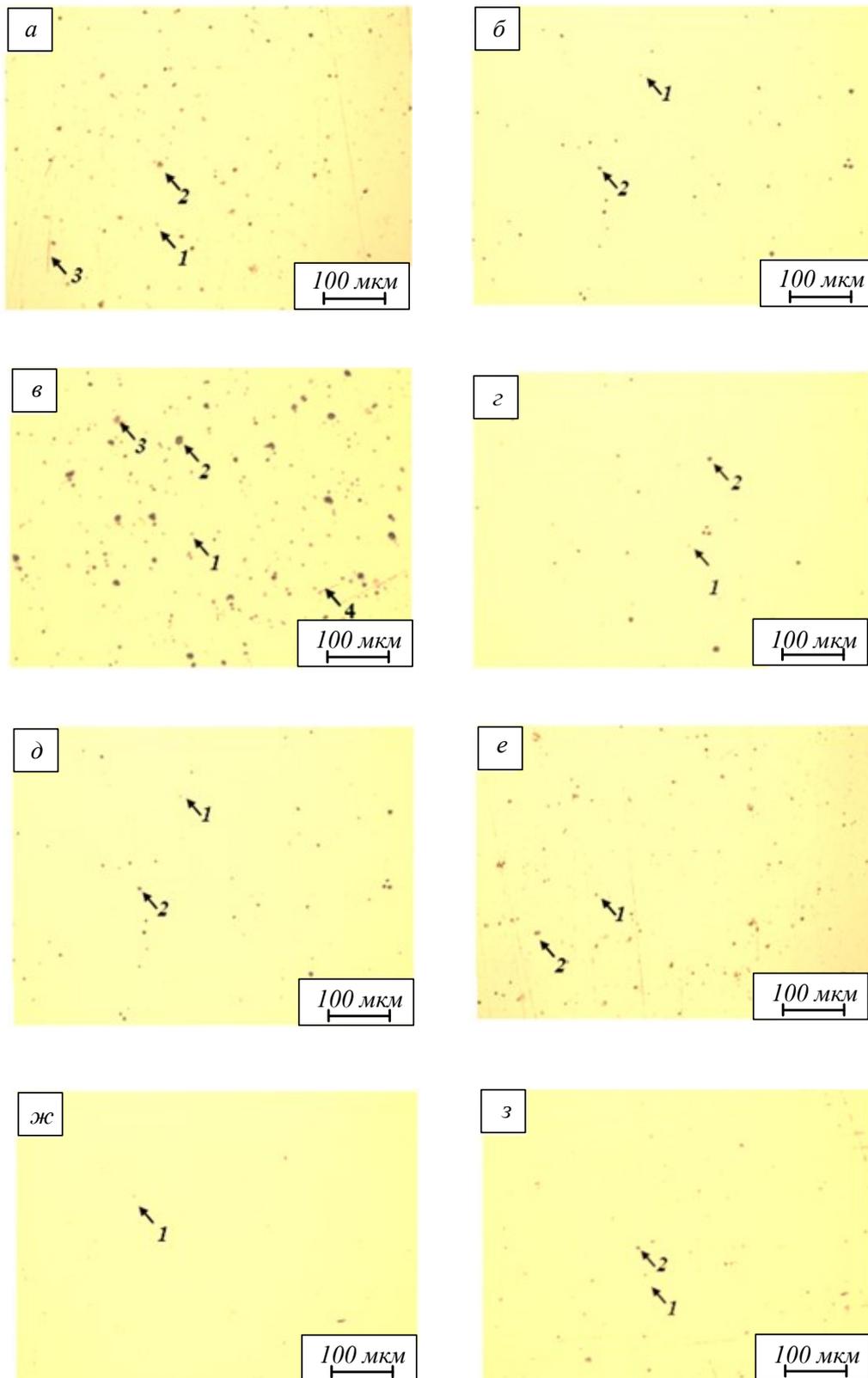


Рис. 2. Неметаллические включения исследуемых образцов 1 – 8 (а – з):
1 – точечные оксиды; 2 – силикаты недеформирующиеся; 3 – нитриды строчечные; 4 – строчечные нитриды

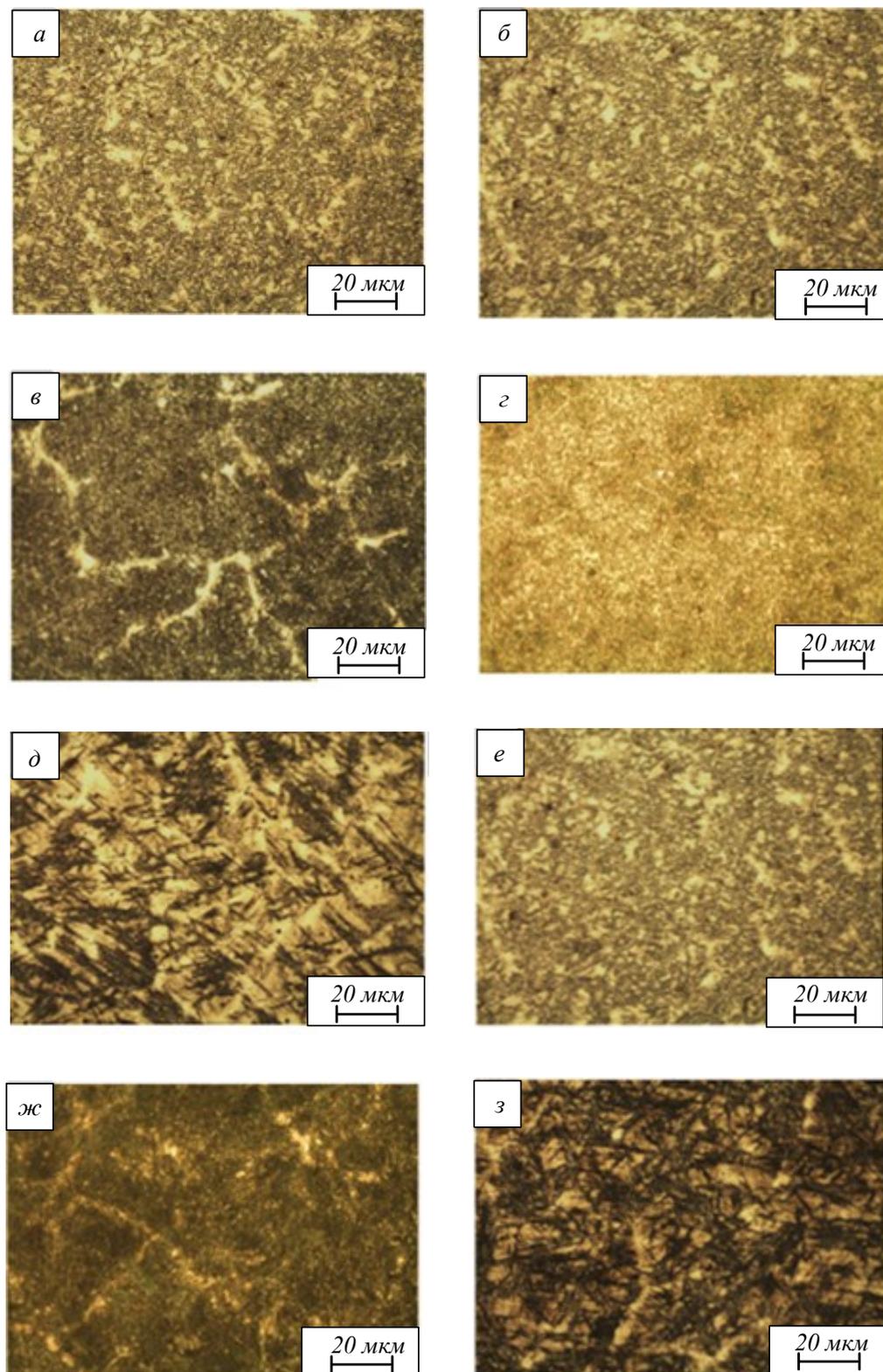


Рис. 3. Микроструктура наплавленных образцов 1 – 8 (а – з)

Основные показатели твердости и износостойкости исследуемых образцов

Образец	Пределы твердости		Средняя твердость		Износ, 10^{-5} г/об.
	НВ	HRC	НВ	HRC	
1	244 – 328	20,5 – 32,0	263	26,5	7,55
2	369 – 513	35,1 – 44,9	414	40,7	5,51
3	264 – 368	31,0 – 41,8	300	35,9	7,72
4	299 – 374	24,1 – 35,1	305	31,3	4,29
5	445 – 518	41,6 – 46,6	449	43,5	2,33
6	488 – 582	45,8 – 50,6	479	48,3	2,20
7	340 – 446	38,1 – 45,0	360	41,6	2,76
8	602 – 810	57,9 – 61,3	619	59,9	2,20

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козырев Н.А., Титов Д.А., Старовацкая С.Н., Козырева О.Е., Шурупов В.М. Влияние введения в шихту для производства порошковой проволоки системы С – Si – Mn – Cr – V – Mo углеродфторсодержащей добавки и никеля // Изв. вуз. Черная металлургия. 2014. № 4. С. 34 – 37.
2. Козырев Н.А., Титов Д.А., Козырева О.Е., Шурупов В.М. Порошкообразная проволока системы С – Si – Mn – Cr – V – Mo. – В кн.: Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика. Материалы 16-й Международной научн.-практич. конф. Т. 1. – СПб.: изд. Санкт-Петербургского политехнического университета, 2014. С. 69 – 71.
3. Козырев Н.А., Титов Д.А., Козырева О.Е. Порошкообразная проволока системы С – Si – Mn – Cr – V – Mo с углеродфторсодержащей добавкой. – В кн.: Инновационные технологии и экономика в машиностроении. Сб. трудов V Международной научн.-практич. конф. с элементами научной школы для молодых ученых. Юргинский технологический институт. Т. 1. – Юрга: изд. Томского политехнического университета, 2014. С. 42 – 43.

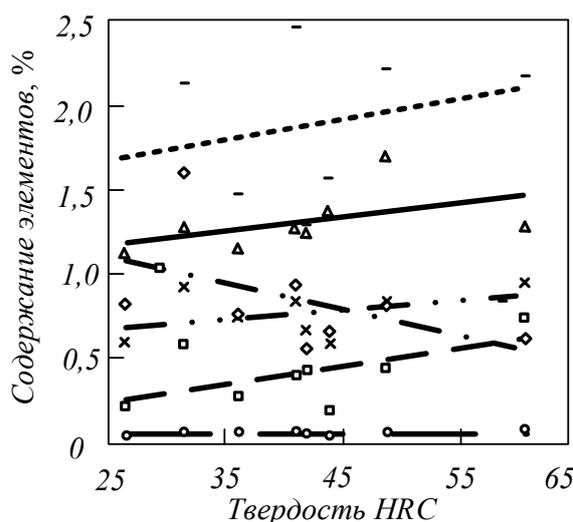


Рис. 4. Влияние химических элементов на твердость HRC исследуемых образцов:

- , - - - - - углерод, $y = 0,0107x - 0,0138$, $R^2 = 0,3434$;
 ◇, - · - · - - кремний, $y = -0,0156x + 1,4972$, $R^2 = 0,2427$;
 Δ, - - - - - марганец, $y = 0,0081x + 0,9813$, $R^2 = 0,2255$;
 ×, - · - · - - хром, $y = 0,006x + 0,5339$, $R^2 = 0,1885$;
 -, - - - - - вольфрам, $y = 0,0122x + 1,3783$, $R^2 = 0,0914$;
 ○, - - - - - ванадий, $y = 0,0005x + 0,0532$, $R^2 = 0,1922$

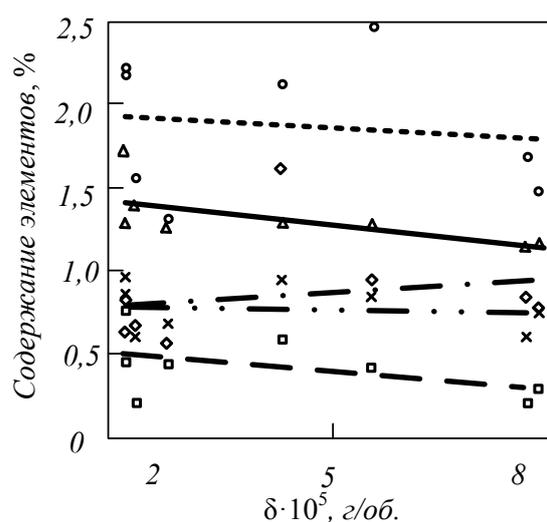


Рис. 5. Влияние химических элементов на скорость износа исследуемых образцов:

- , - - - - - углерод, $y = -3943,8x + 0,5967$, $R^2 = 0,2401$;
 ◇, - · - · - - кремний, $y = 2798,2x + 0,7353$, $R^2 = 0,0403$;
 Δ, - - - - - марганец, $y = -4979,9x + 1,5303$, $R^2 = 0,4372$;
 ×, - · - · - - хром, $y = -1460,9x + 0,8419$, $R^2 = 0,0584$;
 ○, - - - - - вольфрам, $y = -2857,7x + 2,0035$, $R^2 = 0,0258$

4. Козырев Н.А., Титов Д.А., Шурупов В.М. Влияние введения в шихту порошковой проволоки системы $C - Si - Mn - Cr - W - V$ углеродфторсодержащей добавки. – В кн.: Инновационные технологии и экономика в машиностроении. Сб. трудов V Международной научн.-практич. конф. с элементами научной школы для молодых ученых. Юргинский технологический институт. – Юрга: изд. Томского политехнического университета, 2014. Т. 1. С. 43 – 45.
5. Козырев Н.А., Титов Д.А., Старовацкая С.Н., Шурупов В.М., Горюшкин В.Ф. Изучение влияния введения в шихту для производства порошковой проволоки системы $C - Si - Mn - Cr - W - V$ углеродфторсодержащей добавки и никеля // Изв. вуз. Черная металлургия. 2014. № 6. С. 31 – 33.
6. Козырев Н.А., Титов Д.А., Козырева О.Е., Шурупов В.М., Соколов П.Д. Новые порошковые проволоки для наплавки прокатных валков. – В кн.: Современные проблемы электрометаллургии стали. Материалы XVI Международн. конф. В 2 ч. Ч. 2. / Под ред. В.Е. Рощина. – Челябинск: изд. Центр ЮУрГУ, 2015. С. 127 – 132.
7. Козырев Н.А., Галевский Г.В., Титов Д.А., Кибко Н.В., Шурупов В.М. Изучение наплавляемого сталью 35B9X3CF валика // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. Сб. научн. трудов. Вып. 35. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2015. С. 79 – 85.
8. Козырев Н.А., Титов Д.А., Кибко Н.В. Изучение качества наплавленного порошковой проволокой 35B9X3CF валика. – В кн.: Обработка материалов: современные проблемы и пути решения. Сб. трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. – Томск: изд. Томского политехнического университета, 2015. С. 84 – 90.
9. Козырев Н.А., Галевский Г.В., Крюков Р.Е., Титов Д.А., Шурупов В.М. Новые материалы для сварки и наплавки. – В кн.: Металлургия: технологии, управление, инновации, качество. Труды XXIX Международн. научн.-практич. конференции 15 – 16 декабря 2015 г. Ч. 2. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2015. С. 184 – 188.
10. Козырев Н.А., Титов Д.А., Кибко Н.В. Изучение влияния состава порошковой проволоки ПП-Нп-35B9X3CF на свойства наплавляемого валика // Актуальные проблемы в машиностроении. 2016. № 3. С. 60 – 64.
11. Козырев Н.А., Уманский А.А., Титов Д.А. Экспериментальные исследования и обоснование новых составов порошковых проволок для наплавки прокатных валков. – В кн.: Технологии реновации машин и оборудования. Материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XI Промышленного салона и специализированных выставок «Промэкспо, станки и инструмент», «Сварка. Контроль. Диагностика». – Уфа: Башкирский ГАУ, 2016. С. 115 – 119.
12. Kozurev N.A., Galevskiy G.V., Titov D.A., Kolmogorov D.E., Gusarov D.E. On Quality of a Weld Bead Using Power Wire 35v9h3sf. – In book: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 125. P. 1 – 8.
13. Уманский А.А., Козырев Н.А., Титов Д.А. Экспериментальные исследования влияния состава порошковых проволок систем легирования $C - Si - Mn - Cr - V - Mo$ и $C - Si - Mn - Cr - W - V$ // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2016. № 4. С. 74 – 79.
14. Уманский А.А., Козырев Н.А., Титов Д.А. Исследование и разработка новых составов порошковой проволоки для наплавки прокатных валков, обеспечивающих повышение эксплуатационных характеристик наплавленного металла // Производство проката. 2016. № 5. С. 43 – 47.
15. Козырев Н.А., Уманский А.А., Титов Д.А., Гизатулин Р.А. Совершенствование составов порошковых проволок для наплавки прокатных валков. – В кн.: Инновационные технологии и экономика в машиностроении. Сб. трудов VII Международной научн.-практич. конф. Юргинский технологический институт. – Юрга: изд. Томского политехнического университета, 2016. С. 33 – 39.
16. Титов Д.А., Корнев Е.С., Корнева А.В., Козырев Н.А. Применение многофакторного анализа при оценке степени износа наплавленного слоя прокатных валков с использованием порошковых проволок систем $C - Si - Mn - Cr - W - V$ и $C - Si - Mn - Cr - V - Mo$ // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. Сб. научн. трудов. Вып. 36. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2016. С. 189 – 193.
17. Уманский А.А., Козырев Н.А., Титов Д.А. Исследование и разработка новых составов порошковой проволоки для наплавки прокатных валков, обеспечивающих повыше-

- ние эксплуатационных характеристик наплавленного металла. – В кн.: Неделя металлов в Москве. Сборник трудов конференции. 10 – 13 ноября 2015 г.: – М.: изд. ОАО АХК ВНИИМЕТМАШ им. Академика А.И. Целикова, 2016. С. 70 – 76.
18. Kozurev N.A., Galevsky G.V., Kryukov R.E., Titov D.A., Shurupov V.M. New materials for welding and surfacing. – In book: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 150. Article 012031.
19. Kozurev 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. P. 781 – 787.
20. Пат. 2518211 РФ. Порошковая проволока / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Титов Д.А., Козырева О.Е., Старовацкая С.Н. Заявл. 07.05.2013; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16.
21. Пат. 2518035 РФ. Порошковая проволока / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Титов Д.А., Козырева О.Е.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет. Заявл. 24.06.2013; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16.
22. Пат. 2492981 РФ. Шихта порошковой проволоки / Козырев Н.А., Малущин Н.Н., Шурупов В.М., Козырева О.Е.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет. Заявл. 05.03.2012; опубл. 20.09.2013. Бюл. № 26.
23. Пат. 2492982 РФ. Шихта порошковой проволоки / Козырев Н.А., Вострецов Г.Н., Шурупов В.М., Вострецова Т.Н.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет. Заявл. 05.03.2012; опубл. 20.09.2013. Бюл. № 26.

© 2021 г. *А.А. Усольцев, А.Р. Михно, Н.А. Козырев, Д.Е. Белов, В.Р. Шамрай*

Поступила 2 октября 2020 г.