

УДК 621.791.01:669.27

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОЛЬФРАМА ИЗ ОКСИДА ПРИ НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ\*

**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)

**Шурупов В.М.**, аспирант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства (grand1966@yandex.ru)

**Кибко Н.В.**, к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства (krivicheva\_nv@mail.ru)

**Бащенко Л.П.**, к.т.н., старший преподаватель кафедры теплоэнергетики и экологии (luda.baschenko@gmail.com)

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

**Аннотация.** Изучено влияние введения в состав порошковой проволоки для наплавки порошка вольфрама и вольфрамового концентрата на структуру, микротвердость структурных составляющих, твердость и износ наплавленного слоя. Для наплавки в лабораторных условиях были изготовлены порошковые вольфрамсодержащие проволоки типа Н и Е по классификации МИС. В качестве наполнителя использовали порошки кремния КР-1 по ГОСТ 2169 – 69, марганца МР-0 по ГОСТ 6008 – 82, хрома ПХА-1М по ТУ 14-1-1474 – 75, ванадия ВЭЛ-1 по ТУ 48-0533 – 71, никеля ПНК-1л5 по ГОСТ 9722 – 97, алюминия ПАП-1 по ГОСТ 5494 – 95, вольфрама ПВТ по ТУ 48-19-72 – 92, железного порошка ПЖВ-1 по ГОСТ 9849 – 86. В ряде проволок взамен порошка вольфрама применяли вольфрамовый концентрат марки КШ-4 по ГОСТ 213 – 83 производства ОАО «Горнорудная компания «АИР»». В качестве углеродсодержащего восстановителя использовали пыль газоочистки алюминиевого производства следующего химического состава: 21,00 – 43,27 %  $Al_2O_3$ ; 18 – 27 % F; 8 – 13 %  $Na_2O$ ; 0,4 – 6,0 %  $K_2O$ ; 0,7 – 2,1 % CaO; 0,50 – 2,48 %  $SiO_2$ ; 2,1 – 2,3 %  $Fe_2O_3$ ; 12,5 – 28,2 %  $C_{общ}$ ; 0,03 – 0,90 % MnO; 0,04 – 0,90 % MgO; 0,09 – 0,46 % S; 0,10 – 0,18 % P (по массе). Проволоку диам. 5 мм изготавливали на лабораторной установке. Для наплавки использовали трактор ASAW 1250. Режимы наплавки:  $I_n = 400 \div 450$  А;  $U_d = 32 \div 36$  В;  $V_n = 24 \div 30$  м/ч. Наплавку проводили под слоем флюса АН-26С и флюса, изготовленного из шлака производства силикомарганца; количество наплавленных слоев – 5. Определен химический состав наплавленного металла, а также выполнен металлографический анализ наплавленного слоя: определены величина бывшего зерна аустенита, размер игл мартенсита, степень загрязненности неметаллическими включениями, проведены испытания на износ, сделаны замеры на твердость и микротвердость. Показана принципиальная возможность использования вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама в исследуемых проволоках, проведен расчет степени извлечения вольфрама. Показано, что для проволоки типа Н введение вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама в шихту проволоки не повышает загрязненности наплавленных слоев неметаллическими включениями и обеспечивает уменьшение величины первичного зерна аустенита. Использование вольфрамового концентрата при изготовлении порошковой проволоки типа Е способствует уменьшению величины первичного зерна аустенита и размера игл мартенсита, а также повышению микротвердости мартенсита в структуре наплавленного слоя. Введение вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама в состав шихты проволоки класса Н обеспечивает значительное повышение твердости и износостойкости наплавленного слоя.

**Ключевые слова:** проволока, наплавка, анализ, структура, неметаллические включения, микротвердость, твердость, скорость истирания.

DOI: 10.17073/0368-0797-2019-3-215-221

### ВВЕДЕНИЕ

Для наплавки сталей широкое распространение получили порошковые проволоки различного химического состава [1 – 14], причем особая роль отводится вольфрамсодержащим проволокам, которые обладают наивысшей износостойкостью. В этих проволоках в качестве наполнителей используют восстанов-

ленный вольфрам в виде ферросплавов, лигатур и металлического порошка различной степени чистоты [15 – 17].

Рациональное использование вольфрама является одной из актуальных задач. Для практического применения представляет интерес технология так называемого прямого восстановления вольфрама из оксидного сырья, минуя получение восстановленного вольфрама и его производных. Такой процесс может быть организован при дуговом разряде во время наплавки порош-

\* Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Материаловедение» СибГИУ.

ковой проволокой, в которой в качестве наполнителя используется оксид вольфрама с различными восстановителями.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В настоящей работе изучена возможность восстановления вольфрама при использовании порошковых вольфрамсодержащих проволок типа Е и Н по классификации МИС [18].

В качестве наполнителя использовали порошки кремния КР-1 по ГОСТ 2169 – 69, марганца МР-0 по ГОСТ 6008 – 82, хрома ПХА-1М по ТУ 14-1-1474 – 75, ванадия ВЭЛ-1 по ТУ 48-0533 – 71, никеля ПНК-1л5 по ГОСТ 9722 – 97, алюминия ПАП-1 по ГОСТ 5494 – 95, вольфрама ПВТ по ТУ 48-19-72 – 92, железного порошка ПЖВ-1 по ГОСТ 9849 – 86. В ряде проволок взамен порошка вольфрама применяли вольфрамовый концентрат марки КШ-4 по ГОСТ 213 – 83 производства ОАО «Горнорудная компания “АИР”». В качестве углеродсодержащего восстановителя использовали пыль газоочистки алюминиевого производства следующего химического состава: 21,00 – 43,27 %  $Al_2O_3$ ; 18 – 27 % F; 8 – 13 %  $Na_2O$ ; 0,4 – 6,0 %  $K_2O$ ; 0,7 – 2,1 % CaO; 0,50 – 2,48 %  $SiO_2$ ; 2,1 – 2,3 %  $Fe_2O_3$ ; 12,5 – 28,2 %  $C_{общ}$ ; 0,03 – 0,90 % MnO; 0,04 – 0,90 % MgO; 0,09 – 0,46 % S; 0,10 – 0,18 % P (по массе).

Пыль газоочистки производства алюминия позволяет, как было показано в работах [19, 20]:

- проводить удаление водорода за счет фторсодержащих соединений (типа  $Na_3AlF_6$ ,  $CF_x$  ( $1 \leq x > 0$ ) и т.д.) с образованием газообразного соединения HF;

- осуществлять раскисление сварочной ванны углеродом за счет CO и  $CO_2$ , образующихся при взаимодействии фтористого углерода  $CF_x$  ( $1 \leq x > 0$ ) с растворенным в стали кислородом;

- повышать устойчивость горения дуги за счет элементов (калия и натрия), облегчающих ионизацию в столбе дуги.

Проволоку диам. 5 мм изготавливали на лабораторной установке. Для наплавки использовали трактор ASAW 1250. Режимы наплавки:  $I_n = 400 \div 450$  А;  $U_d = 32 \div 36$  В;  $V_n = 24 \div 30$  м/ч.

Наплавку выполняли под слоем флюса АН-26С и флюса, изготовленного из шлака производства силикомарганца; количество наплавленных слоев – 5. Химический состав наплавленного металла определяли рентгенофлюоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Металлографические исследования микрошлифов проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений 100 – 1000. Шлифовку образцов выполняли согласно ГОСТ 235050 – 79. Образцы полировали с применением шлифовального станка FORCIPOL2

с использованием шлифовальной шкурки и войлочного покрытия, обрабатываемого хромсодержащим 2 %-ным раствором. Травление проводили по методике ГОСТ 25336 – 82 в 2 %-ном растворе азотной кислоты ( $HNO_3$ ). Время травления составляло 0,5 мин. Промывку осуществляли в холодной проточной воде. Величину зерна определялся по ГОСТ 5639 – 82 (увеличение 100) методом сравнения с эталонными шкалами. Определение размера игл мартенсита и балла мартенсита выполняли согласно ГОСТ 8233 – 56 (увеличение 1000) с использованием программного обеспечения микроскопа и пакета прикладных программ для металлографических исследований Siam Photolab 700 и методом сравнения с эталонными шкалами. Загрязненность наплавленного слоя неметаллическими включениями оценивали согласно ГОСТ 1778 – 70 (увеличение 100) методом сравнения с эталонными шкалами.

Твердость определяли по методу Роквелла и Виккерса. Измерение твердости по методу Роквелла осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 9013-59. С целью изучения свойств отдельных участков микроструктуры стали использовали метод определения микротвердости структурных составляющих в соответствии с требованиями ГОСТ 9450 – 76. Исследования проводили на цифровом микротвердомере модели HVS-1000 с автоматической поворотной головкой и цифровым отображением данных. Для каждого образца выполняли десять измерений микротвердости, которые осуществляли следующим образом. В поверхность предварительно протравного металлографического шлифа вдавливали наконечник, имеющий форму четырехгранной алмазной пирамиды. Нагрузка составляла 1 Н. После снятия нагрузки определяли число твердости в соответствии с длинами диагоналей полученного отпечатка. Расчет числа твердости по Виккерсу, его отображение на экране компьютера и сохранение изображения с отпечатком были выполнены автоматически благодаря подключению CCD-камеры к компьютеру с платой видеозахвата и соответствующим программным обеспечением анализа изображений.

Испытания на износ проводили по методике согласно ГОСТ 23.208 по схеме диск – колодка на испытательной машине 2070 СМТ-1.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для исследования были изготовлены две партии образцов (табл. 1): первая партия – порошковые вольфрамсодержащие проволоки по классификации МИС типа Н (образцы 789 и 22); вторая партия – типа Е (образцы 721 и 722). В состав шихты проволоки вводили порошок вольфрама ПВТ (металлический вольфрам) (образцы 789 и 721) и вольфрамовый концентрат марки КШ-4 (вольфрам в виде оксидов) (образцы 22 и 722).

Т а б л и ц а 1

## Состав шихты порошковых проволок

Table 1. Composition of the cored wires charge

Шихтовый материал	Массовая доля шихтовых материалов, % (в образце)			
	789	22	721	722
Пыль газоочистки производства алюминия	3	2	2	2
КР-1	3	2	2	2
МР-0	3,5	5,5	0,5	0,5
ПХА-1М	16	25	15	15
ПНК-1л5	2	15	1	1
ПВТ	30,5	–	10	–
Вольфрамовый концентрат марки КШ-4	–	6,5	–	26,5
ВЭЛ-1	1	3	1	1
МПЧ	–	11	–	–
ПЖВ-1	41,0	30,0	68,5	52,0

Характеристики полученных проволок приведены ниже:

Образец	Коэффициент заполнения проволоки, %	Степень извлечения вольфрама, %
789	32,011	67,45
22	23,120	58,68
721	19,307	72,24
722	13,568	97,93

Химический состав наплавленного металла приведен в табл. 2.

Оценка уровня загрязненности неметаллическими включениями исследуемых наплавленных слоев выявила присутствие оксидных неметаллических включений, в частности силикатов недеформирующихся и оксидов точечных (табл. 3, рис. 1). Для всех образцов отмечено наличие оксидов точечных и силикатов недеформиру-

ющихся, не оказывающих сильного негативного влияния на свойства и допустимых при использовании исследуемой порошковой проволоки.

Использование вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама в составе шихты проволоки типа Е и Н практически не влияет на уровень загрязненности наплавленного слоя неметаллическими включениями.

Металлографический анализ наплавленного слоя показал, что при введении в состав шихты проволоки порошка вольфрама (образец 789) структура наплавленного слоя представляет собой бейнит игольчатого строения и аустенит остаточный (рис. 1, а, б). Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости соответствует № 3, 4 (табл. 3).

В результате использования вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама (образец 22) структурными составляющими наплавленного металла являются феррит и перлит. Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости соответствует № 7 (рис. 1, в, г).

Таким образом, введение в шихту проволоки вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама способствует значительному уменьшению величины первичного зерна аустенита.

Металлографические исследования наплавленного слоя порошковой проволокой типа Е (образцы 721 и 722) показали, что его микроструктура представляет собой крупноигольчатый мартенсит и аустенит остаточный (рис. 2, д – з). В данном случае использование вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама способствует незначительному измельчению игл мартенсита и уменьшению величины бывшего зерна аустенита.

В структуре наплавленного слоя проволокой, содержащей в шихте порошок вольфрама, присутствует мартенсит с размером игл до 16 мкм (балл 8) (рис. 2, д, е). Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости соответствует № 5 (табл. 3). В результате введения в состав шихты проволоки вольфрамового концентрата в структуре наплавленного слоя наблюдается мартенсит с размером игл до 12 – 16 мкм (балл 7, 8), а величина первичного зерна аустенита соответствует № 5, 6 (рис. 2, ж, з, табл. 3).

При этом, по-видимому, использование вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама практически

Т а б л и ц а 2

## Химический состав наплавленного металла

Table 2. Chemical composition of the welded metal

Образец	Доля элементов, % (по массе)														
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	Co	S	P
789	0,08	0,31	1,21	0,10	0,46	0,16	0,003	6,07	0,11	0,07	0,023	0,010	0,001	0,054	0,007
22	0,08	0,32	1,60	0,13	4,52	0,19	0,009	11,21	0,38	3,78	0,022	0,010	0,002	0,052	0,007
721	0,10	0,69	0,67	5,14	0,25	0,06	0,007	3,41	0,17	0,01	0,041	0,010	0,001	0,051	0,007
722	0,09	0,39	0,55	3,99	0,21	0,07	0,002	3,32	0,09	0,01	0,021	0,013	0,001	0,083	0,008

Т а б л и ц а 3

**Характеристики структуры, неметаллических включений и микротвердость наплавленного слоя**

*Table 3. Properties of structure, non-metallic inclusions and microhardness of the welded layer*

Образец	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		Величина бывшего зерна аустенита, номер	Мартенсит, балл	Микротвердость, HV
	силикаты недеформирующиеся	оксиды точеные			
1	2б, 1б, 3б	1а, 2а	3, 4	—	464
2	1б, 2б, 3б	1а	7	—	474
3	1б, 2б, 2а	1а	5	8	793
4	2б, 1б, 2а	1а	5, 6	7, 8	920

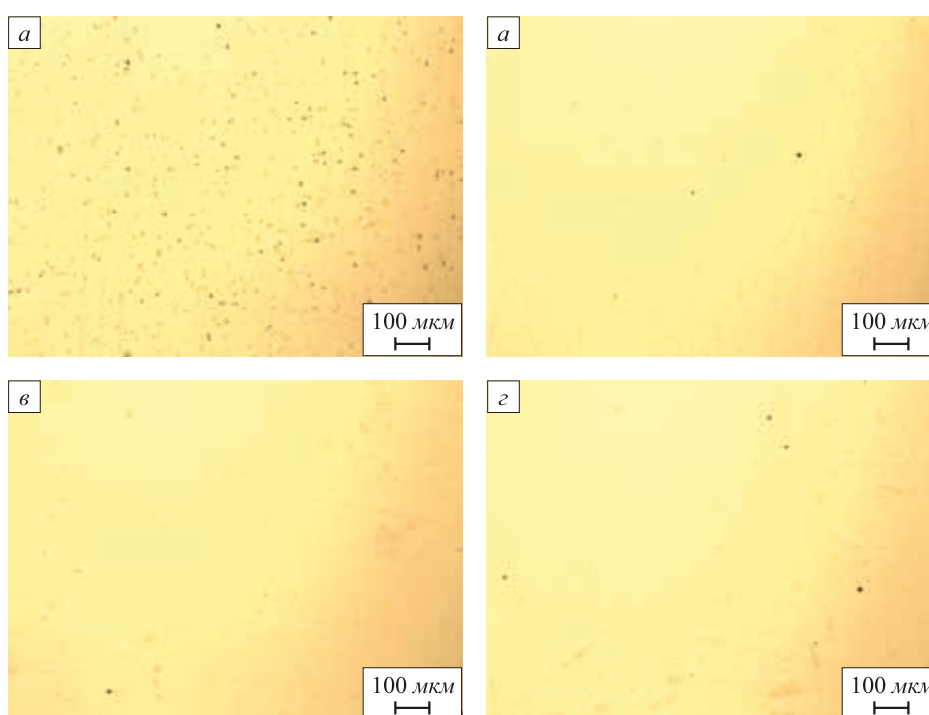


Рис. 1. Характер неметаллических включений в наплавленном слое образцов: 789 (а); 22 (б); 721 (в); 722 (г)

Fig. 1. Non-metallic inclusions in deposited layer of the samples: 789 (a); 22 (б); 721 (в); 722 (г)

не влияет на микротвердость структурных составляющих образцов первой партии и повышает микротвердость мартенсита в структуре образцов второй партии на 14 %.

Проведены испытания на износ, результаты показаны ниже:

Образец	Скорость истирания, г/об.	HRC
789	0,00079	26
22	0,00036	35
721	0,00012	42
722	0,00017	42

Введение вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама в состав шихты проволоки типа Н

способствует повышению твердости наплавленного слоя на 26 % и уменьшению скорости его истирания более, чем в два раза.

Использование вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама в составе шихты проволоки типа Е не оказывает влияния на твердость наплавленного слоя, однако при этом повышает скорость его истирания на 29 %, что, по-видимому, связано с изменением химического состава.

### **Выводы**

Показана принципиальная возможность использования оксида вольфрама взамен восстановленного металлического порошка вольфрама в порошковых



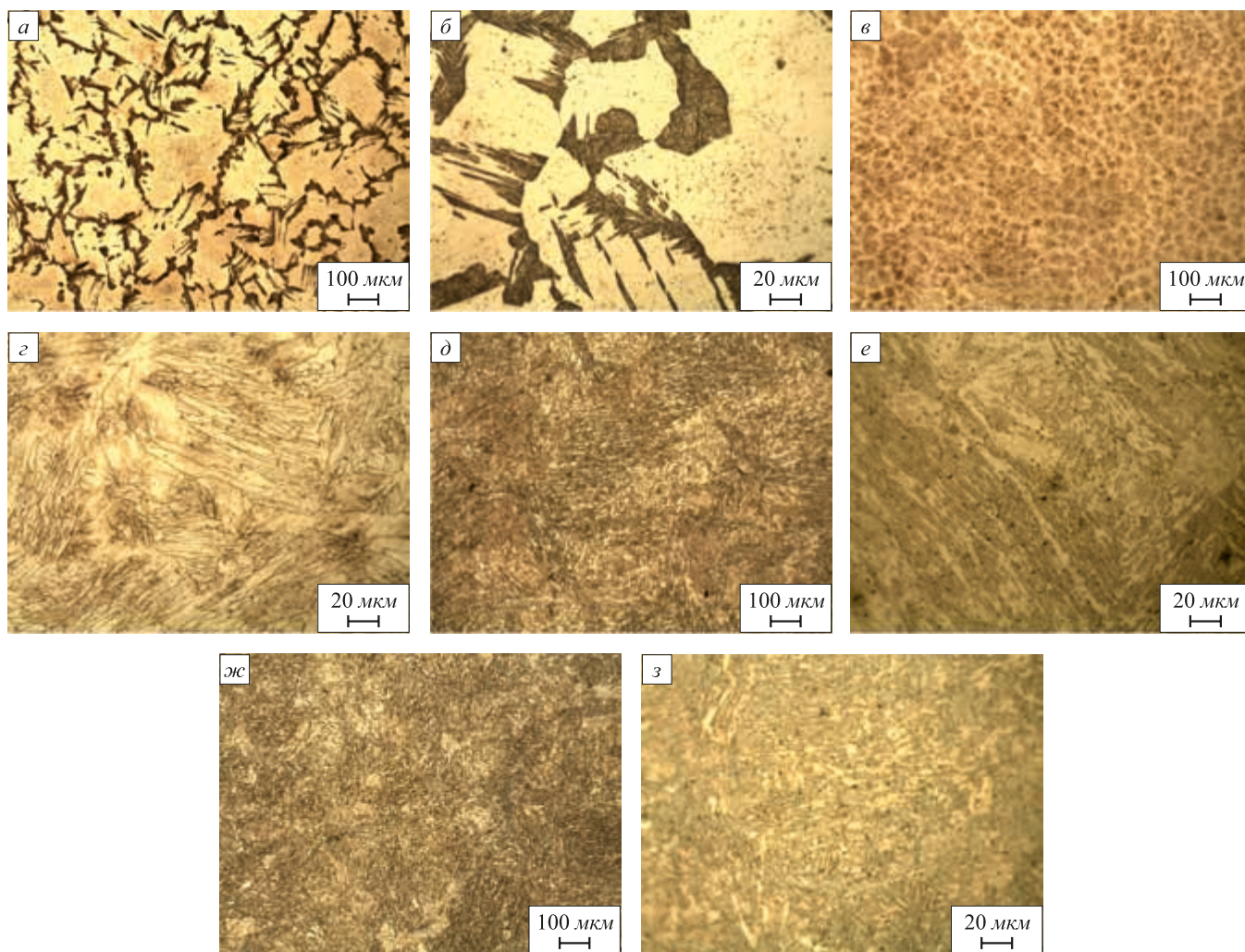


Рис. 2. Микроструктура наплавленного слоя образцов:  
789 (а, б); 22 (в, г); 721 (д, е); 722 (ж, з)

Fig. 2. Microstructure of the deposited layer samples:  
789 (a, б); 22 (в, г); 721 (д, е); 722 (ж, з)

проволоках типа Е и Н. Проведена оценка степени загрязненности наплавленного слоя неметаллическими включениями. Установлено, что использование вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама в шихте проволоки не повышает загрязненность наплавленного металла оксидами точечными и силикатами недеформирующимися. Исследовано влияние порошка вольфрама и вольфрамового концентрата в составе шихты проволоки на структуру и микротвердость структурных составляющих наплавленного слоя. Показано, что использование вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама обеспечивает значительное уменьшение величины бывшего зерна аустенита в структуре наплавленного слоя вольфрамсодержащей проволокой типа Н. Введение вольфрамового концентрата в шихту порошковой проволоки типа Е способствует незначительному измельчению игл мартенсита, уменьшению величины первичного зерна аустенита и повышению микротвердости мартенсита в структуре наплавленного слоя. Проведены испытания

на износ наплавленного слоя. Показано, что введение вольфрамового концентрата взамен порошка вольфрама в состав шихты проволоки класса Н способствует значительному повышению твердости наплавленного слоя и уменьшению скорости его истирания.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kirchgassner M., Badisch E., Franek F. Behavior of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact // *Wear Journal*. 2008. Vol. 265. P. 772 – 779.
2. Azzoni M. Directions and developments in the types of hard phases to be applied in abrasive deposits against abrasion // *Weld International*. 2009. Vol. 23. P. 706 – 716.
3. Klimpel A., Dobrzanski L.A., Janicki D., Lisiecki A. Abrasion resistance of GMA metal cored wires surfaced deposits // *Materials Processing Technology*. 2005. Vol. 164 – 165. P. 1056 – 1061.
4. Wang Q., Li X. Effects of Nb, V, and W on microstructure and abrasion resistance of Fe–Cr–C hardfacing alloys // *Welding*. 2010. Vol. 89. P. 133 – 139.
5. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron // *Welding International*. 2008. Vol. 22. P. 796 – 800.

6. Kejzar R., Grum J. Hardfacing of wear-resistant deposits by MAG welding with a flux-cored wire having graphite in its filling // *Welding International*. 2005. Vol. 20. P. 961 – 976.
7. Li R., He D.Y., Zhou Z. etc. Wear and high temperature oxidation behavior of wire arc sprayed iron based coatings // *Surface Engineering*. 2014. Vol. 30. P. 784 – 790.
8. Ma H.R., Chen X.Y., Li J.W. etc. Fe-based amorphous coating with high corrosion and wear resistance // *Surface Engineering*. 2016. Vol. 46. P. 1 – 7.
9. Filippov M.A., Shumyakov V.I., Balin S.A. etc. Structure and wear resistance of deposited alloys based on metastable chromium-carbon austenite // *Welding International*. 2015. Vol. 29. P. 819 – 822.
10. Liu D.S., Liu R.P., Wei Y.H. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hardfacing alloy // *Materials Science and Technology*. 2014. Vol. 30. No. 3. P. 316 – 322.
11. Lim S.C., Gupta M., Goh Y.S., Seow K.C. Wear resistant WC-Co composite hard coatings // *Surface Engineering*. 1997. Vol. 13. No. 3. P. 247 – 250.
12. Zhuk Yu. Super-hard wear-resistant coating systems // *Materials Technology*. 1999. Vol. 14. P. 126 – 129.
13. Hardell J., Yousfi A., Lund M. etc. Abrasive wear behavior of hardened high strength boron steel // *Tribology – Materials, Surfaces & Interfaces*. 2014. Vol. 8. No. 2. P. 90 – 97.
14. Deng X.T., Fu T.L., Wang Z.D. etc. Epsilon carbide precipitation and wear behavior of low alloy wear resistant steels // *Materials Science and Technology*. 2016. Vol. 32. No. 4. P. 320 – 327.
15. Самсонов Г.В., Винницкий И.М. Тугоплавкие соединения. – М.: Металлургия, 1976. – 560 с.
16. Пацекин В.П., Рахимов К.З. Производство порошковой проволоки. – М.: Металлургия, 1979. – 80 с.
17. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1975. – 584 с.
18. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Металлургия, 1974. – 768 с.
19. Козырев Н.А., Крюков Н.Е., Крюков Р.Е. и др. Технологические аспекты использования углеродфторсодержащей добавки при сварке под флюсом // *Сварочное производство*. 2015. № 4. С. 43 – 47.
20. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е. и др. Углеродсодержащие флюс-добавки для сварочных флюсов // *Сварочное производство*. 2016. № 5. С. 9 – 14.

Поступила в редакцию 23 января 2018 г.

После доработки 30 марта 2018 г.

Принята к публикации 16 апреля 2018 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2019. Vol. 62. No. 3, pp. 215–221.

## TUNGSTEN RECOVERY FROM OXIDE DURING FLUX CORD WIRE SURFACING

*N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov, V.M. Shurupov, N.V. Kibko, L.P. Bashchenko*

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

**Abstract.** Influence of introduction of tungsten powder and tungsten concentrate into surfacing flux-cored wire on structure, structural components microhardness, hardness and wear of the surfacing layer has been studied. Flux cored tungsten-containing wires of H- and E-types according to the IIW classification were manufactured for surfacing in laboratory. Powders of silicon KR-1 (GOST 2169 – 69), manganese MR-0 (GOST 6008 – 82), chromium PKhA-1M (industrial standard TU 14-1-1474 – 75), vanadium VEL-1 (industrial standard TU 48-0533 – 71), nickel PNK-115 (GOST 9722 – 97), aluminum PAP-1 (GOST 5494 – 95), tungsten PVT (industrial standard TU 48-19-72 – 92) and iron powder PZhV-1 (GOST 9849 – 86) were used as fillers. In some wires tungsten concentrate KSh-4 (GOST 213 – 83) produced by “AIR” mining company” JSC was used instead of tungsten powder. Gas cleaning dust of aluminum production of the following chemical composition: 21.00 – 43.27 %  $Al_2O_3$ ; 18 – 27 % F; 8 – 13 %  $Na_2O$ ; 0.4 – 6.0 %  $K_2O$ ; 0.7 – 2.1 %  $CaO$ ; 0.50 – 2.48 %  $SiO_2$ ; 2.1 – 2.3 %  $Fe_2O_3$ ; 12.5 – 28.2 %  $C_{gen}$ ; 0.03 – 0.90 %  $MnO$  %; 0.04 – 0.90 %  $MgO$ ; 0.09 – 0.46 % S; 0.10 – 0.18 % P (by weight) was used as a carbon-containing reducing agent. Wire with diameter of 5mm manufactured at laboratory installation ASAW 1250 tractor was used for surfacing. Surfacing modes were:  $I_s = 400 – 450$  A;  $U_d = 32 \div 36$  V;  $V_s = 24 \div 30$  m/h. Surfacing was performed under a layer of AN-26S flux and flux made of silicomanganese slag; number of deposited layers – 5. Chemical composition of deposited metal was determined, metallographic analysis of deposited layer was carried out: size of the former austenite grain, size of martensite needles, degree of contamination by nonmetallic inclusions were stated and wear tests were carried out, hardness and microhardness were measured. The possibility in principal of using tungsten concentrate instead of tungsten powder in studied flux cored wires is shown, degree of tungsten extraction was calculated. For H-type flux-cored wire, introduction of tungsten concentrate instead of tungsten powder into the charge of wire does not increase contamination of de-

posited layers with nonmetallic inclusions and reduces size of the primary austenite grain. Use of tungsten concentrate in E-type flux-cored wire manufacturing helps to reduce size of the primary austenite grain and size of martensite needles, increasing microhardness of martensite in structure of deposited layer. Introduction of tungsten concentrate instead of tungsten powder into the composition of the charge of H-type wire provides a significant increase in hardness and wear resistance of deposited layer.

**Keywords:** wire, surfacing, analysis, structure, non-metallic inclusions, microhardness, hardness, abrasion rate.

DOI: 10.17073/0368-0797-2019-3-215-221

## REFERENCES

1. Kirchgassner M., Badisch E., Franek F. Behavior of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact. *Wear Journal*. 2008, vol. 265, pp. 772–779.
2. Azzoni M. Directions and developments in the types of hard phases to be applied in abrase deposits against abrasion. *Weld International*. 2009, vol. 23, pp. 706–716.
3. Klimpel A., Dobrzanski L.A., Janicki D., Lisiecki A. Abrasion resistance of GMA metal cored wires surfaced deposits. *Materials Processing Technology*. 2005, vol. 164-165, pp. 1056–1061.
4. Wang Q., Li X. Effects of Nb, V, and W on microstructure and abrasion resistance of Fe–Cr–C hardfacing alloys. *Welding*. 2010, vol. 89, pp. 133–139.
5. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron. *Welding International*. 2008, vol. 22, pp. 796–800.
6. Kejzar R., Grum J. Hardfacing of Wear-Resistant Deposits by MAG Welding with a Flux-Cored Wire Having Graphite in Its Filling. *Welding International*. 2005, vol. 20, pp. 961–976.
7. Li R., He D.Y., Zhou Z., Wang Z.J., Song X.Y. Wear and high temperature oxidation behavior of wire arc sprayed iron based coatings. *Surface Engineering*. 2014, vol. 30, pp. 784–790.
8. Ma H.R., Chen X.Y., Li J.W., Chang C.T., Wang G., Li H., Wang X.M., Li R.W. Fe-based amorphous coating with high corrosion and wear resistance. *Surface Engineering*. 2016, vol. 46, pp. 1–7.
9. Filippov M.A., Shumyakov V.I., Balin S.A., Zhilin A.S., Lehchilo V.V., Rimer G.A. Structure and wear resistance of deposited al-

- loys based on metastable chromium-carbon austenite. *Welding International*. 2015, vol. 29, pp. 819–822.
10. Liu D.S., Liu R.P., Wei Y.H. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hardfacing alloy. *Materials Science and Technology*. 2014, vol. 30, no. 3, pp. 316–322.
  11. Lim S.C., Gupta M., Goh Y.S., Seow K.C. Wear resistant WC–Co composite hard coatings. *Surface Engineering*. 1997, vol. 13, no. 3, pp. 247–250.
  12. Zhuk Yu. Super-hard wear-resistant coating systems. *Materials Technology*. 1999, vol. 14, pp. 126–129.
  13. Hardell J., Yousfi A., Lund M., Pelcastre L., Prakash B. Abrasive wear behavior of hardened high strength boron steel. *Tribology – Materials, Surfaces & Interfaces*. 2014, vol. 8, no. 2, pp. 90–97.
  14. Deng X.T., Fu T.L., Wang Z.D., Misra R.D.K., Wang G.D. Epsilon carbide precipitation and wear behavior of low alloy wear resistant steels. *Materials Science and Technology*. 2016, vol. 32, no. 4, pp. 320–327.
  15. Samsonov G.V., Vinnitskii I.M. *Tugoplavkie soedineniya* [Refractory compounds]. Moscow: Metallurgiya, 1976, 560 p. (In Russ.).
  16. Patsekin V.P., Rakhimov K.Z. *Proizvodstvo poroshkovoï provoloki* [Cored wire production]. Moscow: Metallurgiya, 1979, 80 p. (In Russ.).
  17. Geller Yu.A. *Instrumental'nye stali* [Tool steel]. Moscow: Metallurgiya, 1975, 584 p. (In Russ.).
  18. *Tekhnologiya elektricheskoi svarki metallov i splavov plavleniem* [Technology of electric welding of metals and alloys by melting]. Paton B.E. ed. Moscow: Metallurgiya, 1974, 768 p. (In Russ.).
  19. Kozyrev N.A., Kryukov N.E., Kryukov R.E., Igushev V.F., Koval'skii I.N. Technological aspects of carbon-fluorine-containing additives application in submerged arc welding. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2015, no. 4, pp. 43–47. (In Russ.).
  20. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kryukov N.E., Koval'skii I.N., Bendre Yu.V. Carbon flux additives for welding fluxes. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2016, no. 5, pp. 9–14. (In Russ.).
- Acknowledgements.** The work was performed on the equipment of the CCP “Materials Science” of SibSIU.
- Information about the authors:**
- N.A. Kozyrev**, Dr Sci. (Eng), Professor, Head of the Chair “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)
- V.M. Shurupov**, Post Graduate Student of the Chair “Materials, Foundry and Welding Production” (grand1966@yandex.ru)
- N.V. Kibko**, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Materials, Foundry and Welding Production” (krivicheva\_nv@mail.ru)
- L.P. Bashchenko**, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair “Thermal Power and Ecology” (luda.baschenko@gmail.com)
- Received January 23, 2018  
Revised March 30, 2018  
Accepted April 16, 2018