

Н.А. Козырев, Н.В. Кибко, В.М. Шурупов, Р.Е. Крюков, А.А. Уманский

Сибирский государственный индустриальный университет

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩЕГО НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ

Для ремонтных операций широкое распространение при наплавке получили порошковые проволоки различного химического состава [1 – 7]. Особая роль отводится наплавочным материалам, обладающим наивысшей износостойкостью – вольфрамсодержащим порошковыми проволоками, в которых используют восстановленный вольфрам в виде ферросплавов, лигатур и металлического порошка различной степени чистоты [8 – 11]. В работах [12 – 14] проведено изучение возможности восстановления вольфрама при наплавке порошковыми вольфрамсодержащими проволоками.

В настоящей работе изучали влияние замены в порошковой проволоке порошкообразного вольфрама на оксид вольфрама и углеродсодержащий восстановитель на микроструктуру и микротвердость структурных составляющих наплавленного слоя.

Исследовали две партии образцов: *I* – порошковые вольфрамсодержащие проволоки, типа Н по классификации МИС (образцы 1 и 2), *II* типа Е (образцы 3 и 4). В состав шихты проволоки вводили порошок вольфрама (образцы 1 и 3) и оксид вольфрама с углеродсодержащим восстановителем (образцы 2 и 4).

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, железного порошка ПЖВ-1 по ГОСТ 9849 – 86, вольфрама ПВТ по ТУ 48-19-72 – 92. В качестве оксида вольфрама использовали вольфрамовый концентрат марки КШ-4 по ГОСТ 213 – 83 производства ОАО «Горнорудная компания «АИР», а в качестве углеродсодержащего восстановителя – пыль газоочистки алюминиевого производства, содержащую 21 – 43,27 % Al_2O_3 ; 18 – 27 % F; 8 – 13 % Na_2O ; 0,4 – 6,0 % K_2O ; 0,7 – 2,1 % CaO; 0,5 – 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). Химический состав наплавленных с использованием порошковых проволок слоев приведен в табл. 1.

Химический состав наплавленного металла определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71.

Металлографический анализ наплавленного слоя проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 с автоматическим структурным анализатором «EPIQUANT» в светлом поле при увеличении 100 и 500 после травления в спиртовом растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639 – 82 при увеличении 100 методом сравнения с эталонными шкалами. Исследования продольных образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений осуществляли в соответствии с ГОСТ 1778 – 70 (при увеличении 100) методом сравнения с эталонными шкалами.

Микротвердость структурных составляющих определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 9450 – 76 с использованием цифрового микротвердомера модели HVS-1000 с автоматической поворотной головкой и цифровым отображением данных. Для каждого образца проводили 10 измерений микротвердости. Расчет твердости по Виккерсу, отображение значения на экране компьютера и сохранение изображения с отпечатком выполнялись автоматически с помощью подключенной CCD-камеры к компьютеру с платой видеозахвата и соответствующим программным обеспечением анализа изображений.

Металлографический анализ образцов 1 и 2 (партия *I*) показал, что микроструктура наплавленного слоя представляет собой игольчатый бейнит и аустенит остаточный или феррит и перлит (рис. 1, *a – z*).

В результате оценки загрязненности неметаллическими включениями наплавленного слоя установлено присутствие оксидных неметаллических включений, в частности силикатов недеформирующихся и оксидов точечных (рис. 2, табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Химический состав наплавленного металла

Проба	Содержание элемента, % (по массе)														
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	Co	S	P
1	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
2	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
3	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
4	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

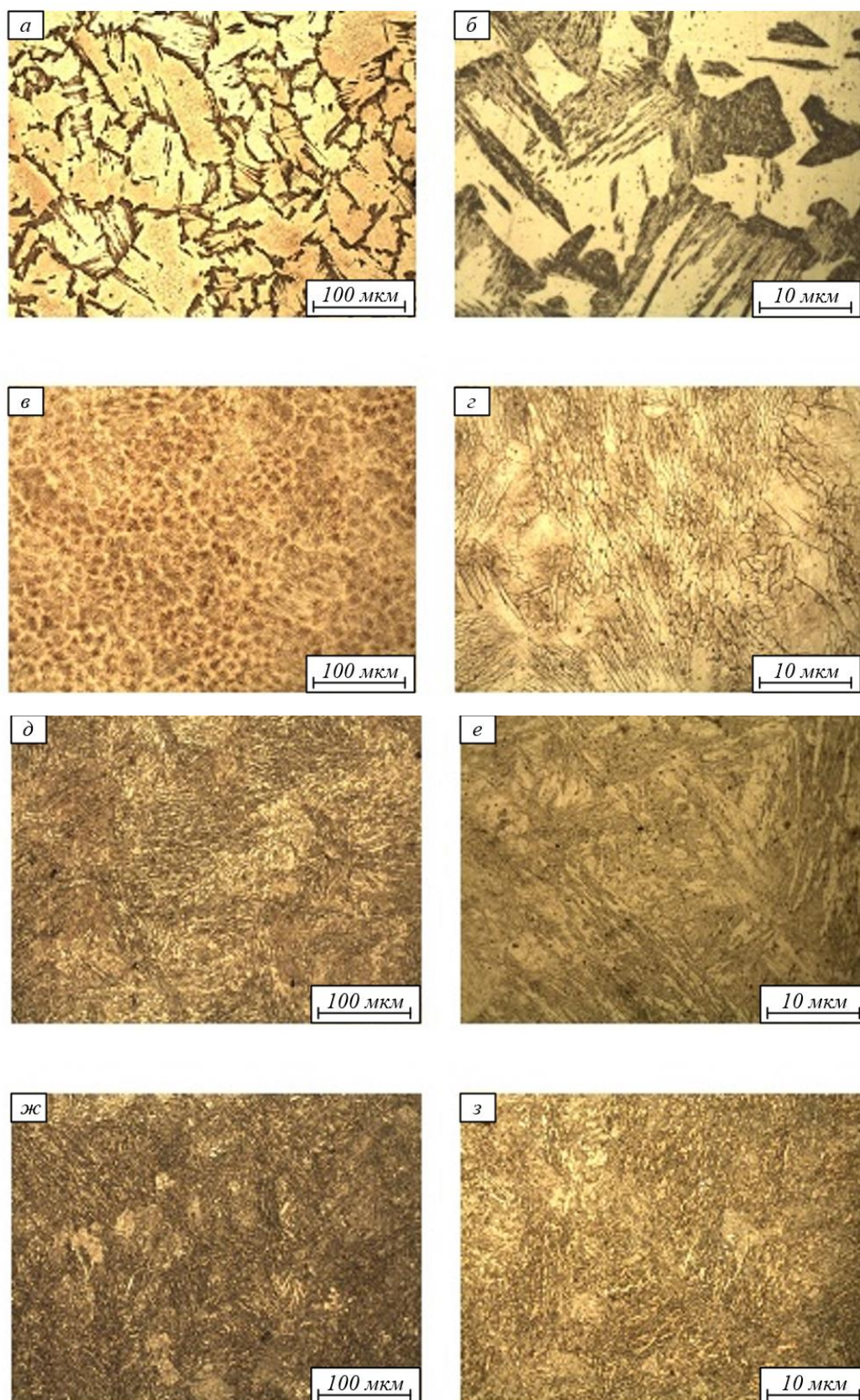


Рис. 1. Микроструктура наплавленного слоя образца 1 (а, б), образца 2 (в, г), образца 3 (д, е), образца 4 (ж, з)

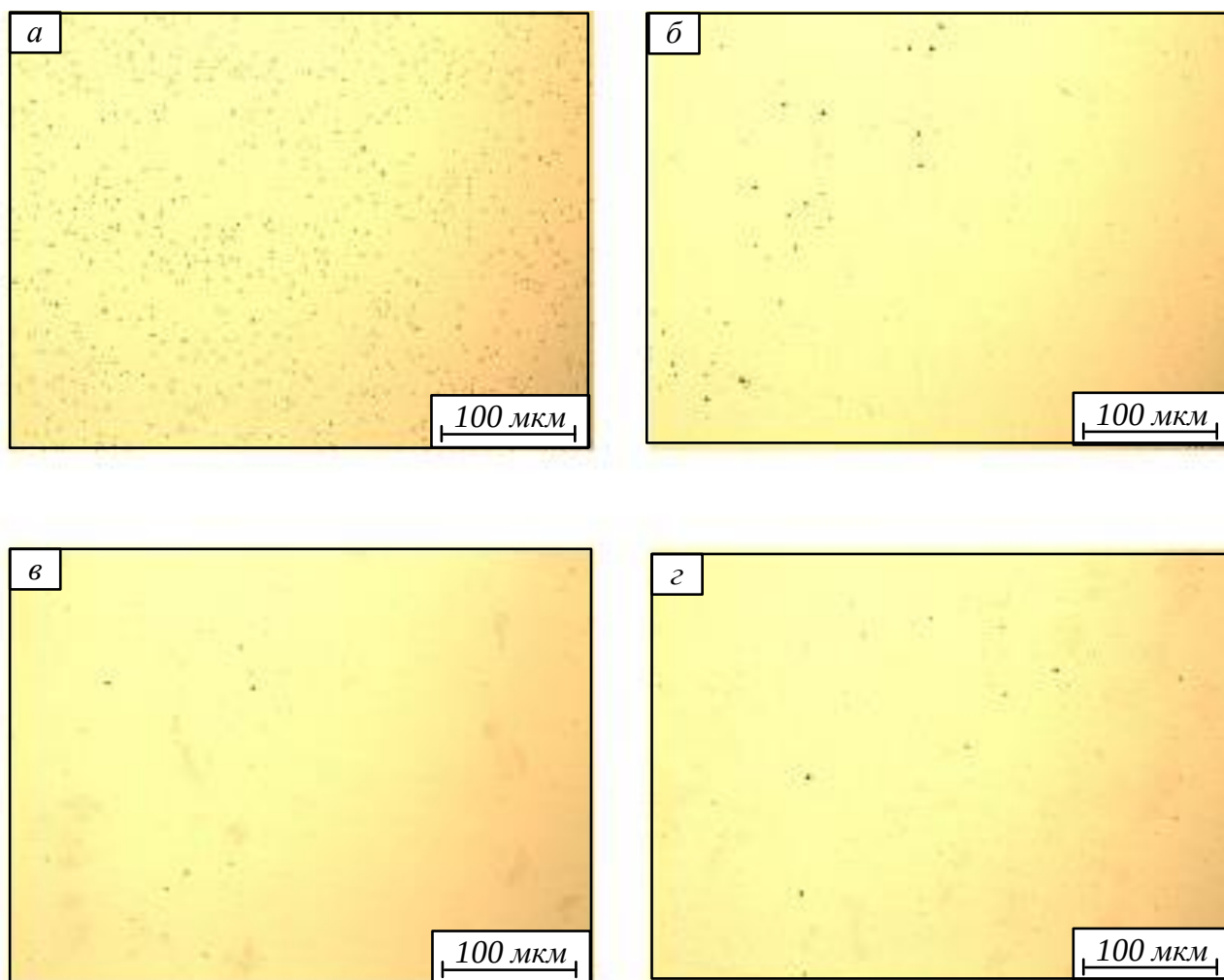


Рис. 2. Характер неметаллических включений в наплавленном слое образцов 1 – 4 (а – г)

Средняя микротвердость структурных составляющих наплавленного металла находится в пределах 464 – 474 HV (табл. 2, рис. 3).

При использовании в шихте проволоки порошка вольфрама (образец 1) металл наплавленного слоя имеет феррито-перлитную структуру (рис. 1, а, б). Величина бывшего зерна

аустенита по шкале зернистости соответствует № 3, 4 (табл. 2). Средняя микротвердость наплавленного металла составляет 464 HV (рис. 3, табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Характеристики структуры, неметаллических включений и микротвердость наплавленного слоя

Образец	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		Величина бывшего зерна аустенита, номер	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	793
4	2б, 1б, 2а	1а	5, 6	920

Использование вольфрамового концентрата вместо порошка вольфрама при изготовлении проволоки приводит к следующим изменени-

ям: наплавленный металл имеет феррито-перлитную структуру, обладающую гораздо меньшей величиной первичного зерна аустени-

та. Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости соответствует № 7 (рис. 1, в, з). Средняя микротвердость перлита в микроструктуре наплавленного металла составляет 474 HV (рис. 3, табл. 2). Использование вольфрамового концентрата вместо порошка вольфрама уменьшает загрязненность наплавленного металла оксидами точечными (табл. 2).

В результате металлографических исследований образцов 3 и 4 (партия II) определено, что микроструктура наплавленного слоя представляет собой крупноиглочатый мартенсит и аустенит остаточный (рис. 1, д – з). При изучении характера загрязненности наплавленного

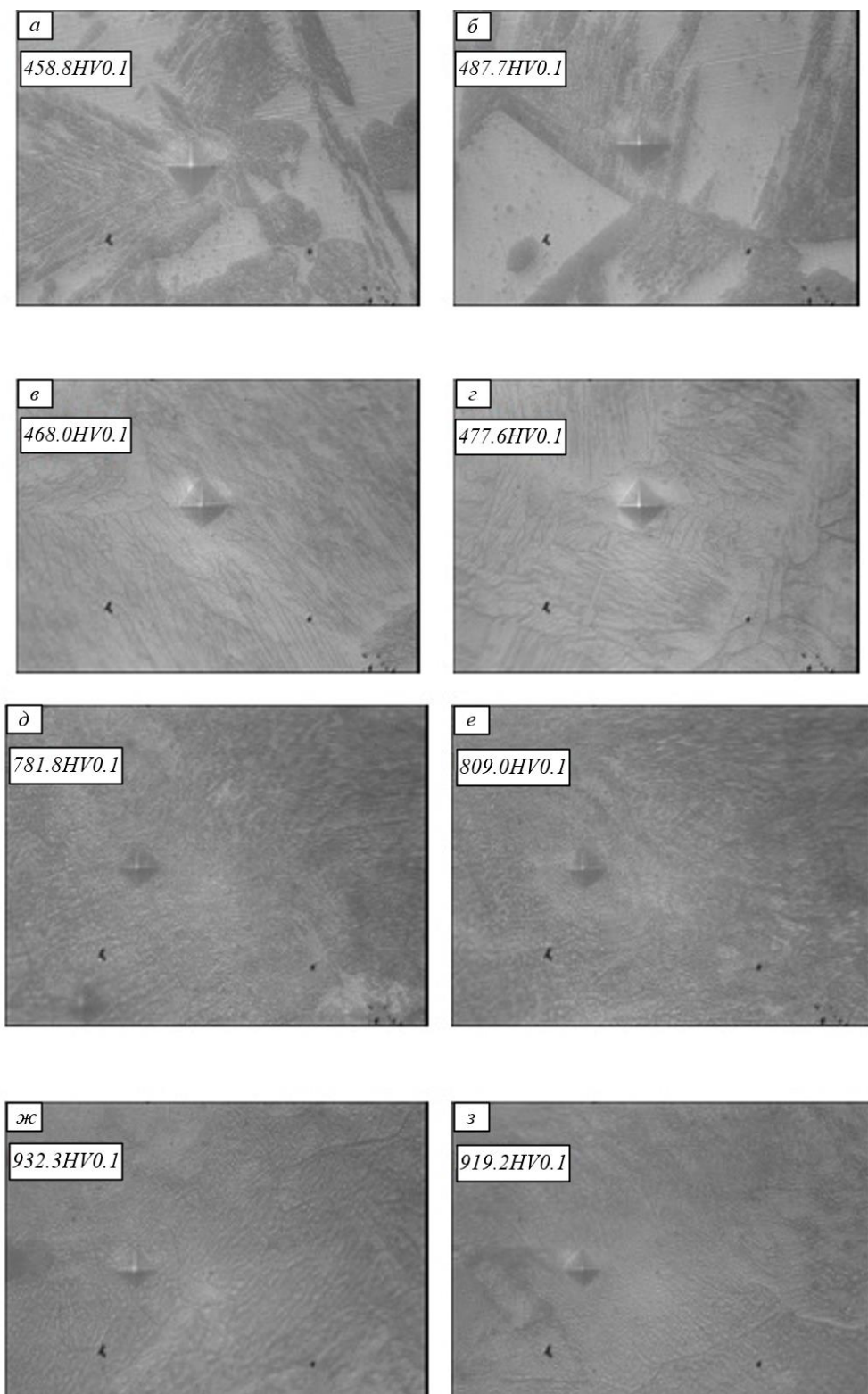


Рис. 3. Микротвердость наплавленного слоя ($\times 400$) образца 1 (а, б), образца 2 (в, г), образца 3 (д, е), образца 4 (ж, з)

слоя неметаллическими включениями установлено присутствие в нем силикатов недеформирующихся и оксидов точечных (рис. 2, табл. 2). Средняя микротвердость мартенсита в структуре наплавленного металла находится в пределах 793 – 920 HV (рис. 3, табл. 2).

После введения в состав шихты проволоки порошка вольфрама в структуре наплавленного слоя (образец 3) присутствует мартенсит с размером игл до 16 мкм (балл 8) (рис. 1, д, е). Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости соответствует № 5 (табл. 2). Средняя микротвердость мартенсита в структуре наплавленного слоя составляет 793 HV (рис. 3, табл. 2).

Использование вольфрамового концентрата вместо порошка вольфрама при изготовлении проволоки способствует незначительному измельчению игл мартенсита и уменьшению величины первичного зерна аустенита (образец 4). В этом случае в структуре наплавленного слоя присутствует мартенсит с размером игл до 12 – 16 мкм (балл 7, 8), а величина бывшего зерна аустенита соответствует № 5, 6 (рис. 1, ж, з). При этом введение вольфрамового концентрата в состав шихты проволоки обеспечивает повышение микротвердости мартенсита до 920 HV (на 14 %) (рис. 3, табл. 2).

Использование вольфрамового концентрата вместо порошка вольфрама практически не оказывает влияния на степень загрязненности наплавленного слоя неметаллическими включениями (рис. 2, табл. 2).

Выводы. Изучено влияние введения в состав порошковой проволоки вольфрама и вольфрамового концентрата на микроструктуру и микротвердость структурных составляющих наплавленного ею слоя. При введении вольфрамового концентрата отмечено значительное уменьшение величины бывшего зерна аустенита в структуре наплавленного слоя порошковой вольфрамсодержащей проволокой типа Н. Использование вольфрамового концентрата обеспечивает незначительное измельчение игл мартенсита и уменьшение величины первичного зерна аустенита в структуре наплавленного слоя порошковой вольфрамсодержащей проволокой типа Е и повышение микротвердости мартенсита на 14 %. Исследован характер неметаллических включений в наплавленном слое. Показано, что использование вольфрамового концентрата не повышает загрязненность наплавленного металла неметаллическими включениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kirchgaßner M., Badisch E., Franek F. Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact // *Wear Journal*. 2008. Vol. 265. P. 772 – 779.
2. 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.
3. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron // *Welding International*. 2008. Vol. 22. P. 796 – 800.
4. Kejžar 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.
5. 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. P. 784 – 790.
6. 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*. 2013. Vol. 30. P. 316 – 322.
7. Lim S.C., Gupta M., Goh Y.S., Seow K.C. Wear resistant WC – Co composite hard coatings // *Surface Engineering*. 1997. Vol. 13. P. 247 – 250.
8. Самсонов Г.В., Винницкий И.М. Тугоплавкие соединения. – М.: Металлургия, 1976. – 560 с.
9. Пацекин В.П., Рахимов К.З. Производство порошковой проволоки. – М.: Металлургия, 1979. – 80 с.
10. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1975. – 584 с.
11. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Металлургия, 1974. – 768 с.
12. Козырев Н.А., Шурупов В.М., Кушнаренко Н.Н., Козырева О.Е., Титов Д.А. Исследование возможности использования вольфрамсодержащих руд и их производных при наплавке стали // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2015. Т. 58. № 8. С. 567 – 571.
13. Козырев Н.А., Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф., Шурупов В.М., Козырева О.Е. Термодинамика реакций восстановления WO_3 углеродом // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2016. № 2 (16). С. 15 – 17.
14. Козырев Н.А., Кибко Н.В., Уманский А.А., Титов Д.А., Башенко Л.П. Совершенствование состава порошковых проволок системы С – Si – Mn – Cr – W – V с целью повышения качества и эксплуатационных характеристик наплавленного слоя // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2016. Т. 59. № 11. С. 806 – 813.

© 2018 г. Н.А. Козырев, Н.В. Кибко,
В.М. Шурупов, Р.Е. Крюков,
А.А. Уманский

Поступила 01 февраля 2018 г.