

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.791.92:669.018.25

А.И. Гусев, Н.А. Козырев, Н.В. Кибко, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский

Сибирский государственный индустриальный университет

**ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО
ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co ПРИ
ВВЕДЕНИИ ВОЛЬФРАМА И ХРОМА**

Механизмы машин горного оборудования, испытывающие абразивное и ударное изнашивание при эксплуатации, преждевременно выходят из строя. Износ рабочих поверхностей вызывает необходимость в проведении их восстановления. Поэтому разработка материалов, значительно повышающих износостойкость таких деталей, и использование технологии их восстановления, является важной задачей. Наиболее перспективным является использование наплавки порошковой проволокой на изнашивающиеся поверхности деталей. Для этих целей в нашей стране и за рубежом ведется разработка и изготовление специальных наплавочных порошковых проволок [1 – 6]. Благодаря оптимально подобранному способу легирования наплавленные покрытия обладают высокими значениями твердости, абразивной и ударно-абразивной износостойкости. Широкое распространение для наплавки абразивно-изнашивающихся изделий получили наплавочные проволоки систем Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo типа А и В по классификации МИС [7]. В настоящее время в нашей стране широко используются порошковые проволоки такой системы фирмы DRATEC (Германия) марки DT-SG 600 F и порошковые проволоки фирмы ESAB марок OK Tubrodur 15.52, OK Tubrodur 58 O/G M.

Настоящая работа продолжает начатые исследования по созданию новых составов порошковых проволок, работающих в условиях абразивного износа в горнорудной промышленности [8 – 10], в частности, изучение влияния использования вольфрама и хрома при изготовлении опытных образцов проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co на степень износа и твердость наплавленного слоя.

Проволоку изготавливали на лабораторной машине. Диаметр изготовленной проволоки составил 5 мм, оболочка выполнена из стальной (марки Ст3) ленты. В качестве наполнителя использовали соответствующие порошкообразные материалы: порошок железа марки

ПЖВ1 по ГОСТ 9849–86, порошок ферросилиция марки ФС 75 по ГОСТ 1415–93, порошок углеродистого ферромарганца ФМн 78(А) по ГОСТ 4755–91, порошок никеля ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722–97, порошок ферромolibдена марки ФМо60 по ГОСТ 4759–91, порошок феррованадия марки ФВ50У 0,6 по ГОСТ 27130–94, порошок кобальта ПК-1У по ГОСТ 9721–79. Также использовали порошок со следующим составом компонентов: 21 – 46,23 % Al_2O_3 ; 18 – 27 % F; 8 – 15 % Na_2O ; 0,4 – 6,0 % K_2O ; 0,7 – 2,3 % CaO; 0,5 – 2,48 % Si_2O ; 2,1 – 3,27 % Fe_2O_3 ; 12,5 – 30,2 % $C_{общ}$; 0,07 – 0,9 % MnO; 0,06 – 0,9 % MgO; 0,09 – 0,19 % S; 0,1 – 0,18 % P.

Наплавку изготовленной проволокой проводили под флюсом АН-26С на пластины из стали марки Ст3 в шесть слоев (для исключения перемешивания наплавляемого металла с подложкой) при помощи сварочного трактора ASAW-1250 с режимом наплавки $I = 450$ А, $U = 30$ В, $V = 10$ см/мин. Далее пластины разрезались на соответствующие образцы для испытаний. Химический состав исследуемых наплавленных образцов определяли по ГОСТ 10543–98 рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Твердость изучаемых образцов измерялась с помощью твердомера МЕТ-ДУ. Металлографический анализ с целью определения степени влияния изменения химического состава на параметры микроструктуры проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле при диапазоне увеличений в 100 – 1000 крат после травления в спиртовом растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639–82 при увеличении в 100 раз. Размер игл мартенсита определяли по ГОСТ 8233–56 при увеличении в 1000 раз. Результаты перечисленных выше исследований приведены в табл. 1. Исследование образцов, вырезанных в продольном направлении наплавленного слоя, на наличие неметаллических включений

Химический состав, содержание водорода и твердость наплавленных слоев

Номер образца	Массовая доля элементов %															[H], см ³ /100 г	Твердость образцов HRC
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	B	V	Co	W	Al	Cu	Ti	S	P		
1 Г9	0,19	0,77	0,61	4,17	0,34	0,38	0,01	0,02	0,05	0,002	0,01	0,07	0,02	0,054	0,024	2,4	44,5
2 Г10	0,19	0,63	0,65	4,06	0,30	0,38	0,01	0,03	0,06	0,001	0,01	0,08	0,03	0,056	0,019	1,7	43
3 Г11	0,20	0,59	0,61	4,12	0,30	0,38	0,01	0,02	0,12	0,001	0,02	0,06	0,04	0,049	0,019	1,9	46
4 Г12	0,20	0,64	0,6	4,03	0,30	0,39	0,01	0,03	0,20	0,002	0,01	0,08	0,03	0,058	0,021	2,0	30
5 Г13	0,20	0,59	0,56	0,01	0,30	0,33	0,01	0,01	0,05	7,74	0,01	0,1	0,02	0,072	0,017	1,8	22
6 Г14	0,20	0,55	0,49	0,01	0,26	0,34	0,01	0,01	0,07	7,42	0,02	0,09	0,02	0,048	0,014	2,0	25
7 Г15	0,20	0,58	0,52	0,01	0,28	0,34	0,01	0,01	0,07	7,55	0,05	0,09	0,03	0,038	0,014	1,7	21
8 Г16	0,21	0,55	0,52	0,01	0,27	0,35	0,01	0,02	0,06	7,65	0,05	0,08	0,02	0,036	0,017	1,9	25

Характеристики неметаллических включений и структуры исследуемых образцов

Номер образца	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		Величина зерна аустенита, номер
	силикаты недеформирующиеся	оксиды точечные	
1Г9	1б, 2а	1а	7, 6
2Г10	2б, 1б, 2а, 3а	1а, 2а	6, 7
3Г11	1б, 2б, 2а, 3а	1 а, 2а	6, 7
4Г12	1б, 2б, 3а	1 а, 2а	7, 6
5Г13	1б, 2б, 2, 5а	1а	5, 6
6Г14	1б, 2б, 4б	1а	6
7Г15	1б, 2б, 3б	1а	5
8Г16	2б, 4б	1а, 2а	6

осуществляли в соответствии с ГОСТ 1778–70 при увеличении в 100 крат, результаты приведены в табл. 2.

Металлографический анализ показал, что микроструктура образцов с использованием хрома при их изготовлении (образцы №№ 1Г9 – 4Г12) (рис. 1, а – г) представляет собой мартенсит в первичных зернах аустенита, по границам которых находятся незамкнутые тонкие прослойки, предположительно состоящие из δ-феррита. По телу и границам зерен распределены точечные дисперсные включения. В структуре образцов №№ 1Г9, 3Г11 и 4Г12 наблюдается крупноигльчатый мартенсит (балл 7) с размером игл 3 – 14, 8 – 12 и 3 – 11 мкм соответственно. В структуре образца № 2Г10 присутствует мелкоигльчатый и среднеигльчатый мартенсит (балл 4, 5). Размер игл мартенсита в этом случае составляет 3 – 6 мкм.

Величина бывшего зерна аустенита в структуре образцов №№ 1Г9 – 4Г12 по шкале зернистости соответствует № 7, 6 и № 6, 7 (табл. 2).

При использовании вольфрама (образцы №№ 5Г13 – 8Г16) наплавленный слой имеет феррито-перлитную структуру. По телу зерен и по ферриту распределены точечные включения (рис. 1, д – з). Величина бывшего зерна аустенита соответствует № 6 и № 5, 6 (табл. 2).

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

Установлено, что изменения микроструктуры при варьировании химического состава порошковой проволоки системы Fe – C – Si – Mn – Mo – Ni – V – Co оказывают влияние на свойства наплавленного металла. Так, твердость наплавленного металла с мартенситной структурой, полученной при введении хрома в шихту порошковой проволоки, составляет 30 – 46 HRC (табл. 1, рис. 2). Высокая твердость наплавленного слоя приводит к образованию трещин на поверхности слоя, что оказывает негативное влияние на работу деталей, работающих в условиях ударного износа, сопровождающегося вибрационным воздействием.

Значения твердости наплавленного слоя с феррито-перлитной структурой, обеспеченной использованием вольфрама, ниже (21 – 25 HRC) (табл. 1, рис. 3). Таким образом, наибольшее упрочнение наплавленного слоя наблюдается при мартенситной структуре, по сравнению с феррито-перлитной, что согласуется с литературными данными [11].

Важно отметить, что твердость наплавленного слоя увеличивается при уменьшении размера бывшего зерна аустенита. В результате использования хрома наплавленный металл имеет меньший размер бывшего зерна аустенита (№ 7, 6 и № 6, 7) и более высокие значения твердости, чем при введении в состав шихты порошковой проволоки вольфрама (размер первичного зерна аустенита № 6 и № 5, 6).

Выводы. Введение в систему Fe – C – Si – Mn – Mo – Ni – V – Co хрома и вольфрама раздельно друг от друга оказывает влияние на

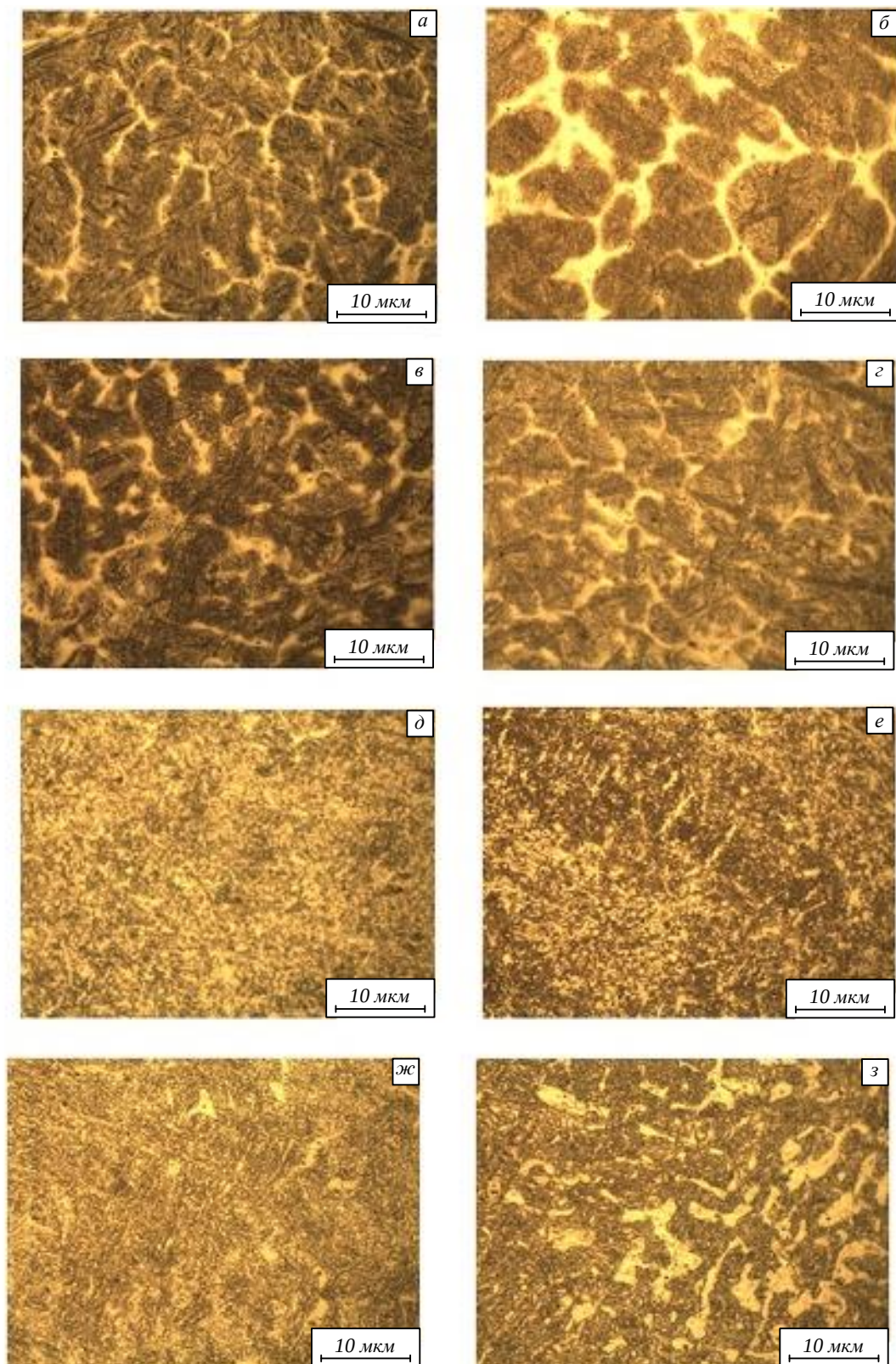


Рис. 1. Микроструктура исследуемых образцов:
a – № 1Г9; *б* – № 2Г10; *в* – № 3Г11; *г* – № 4Г12; *д* – № 5Г13; *е* – № 6Г14; *ж* – № 7Г15; *з* – № 8Г16

микроструктуру наплавленного слоя. Использование хрома обеспечивает получение мартенситной структуры наплавленного металла с тонкими прослойками δ -феррита, расположенными по границам первичных зерен аустени-

та. Выведение из состава шихты порошковой проволоки хрома и введение вольфрама способствует формированию феррито-перлитной структуры наплавленного слоя карбидными включениями вольфрама. Использование хро-

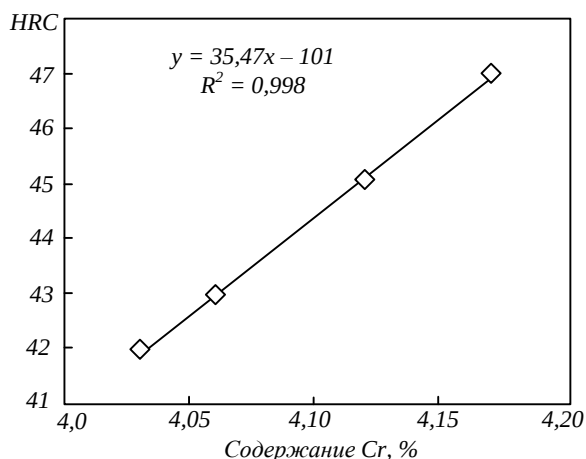


Рис. 2. Твердость образцов №№ 1Г9 – 4Г12

ма обеспечивает уменьшение бывшего зерна аустенита. Размер первичного зерна аустенита при использовании хрома соответствует № 7, 6 и № 6, 7, а при выведении хрома и введении вольфрама – № 6 и № 5, 6. Введение хрома в состав шихты порошковой проволоки обеспечивает получение более высоких значений твердости (30 – 46 HRC) наплавленного слоя, чем без хрома и при использовании вольфрама (21 – 25 HRC). Повышение твердости в результате введения хрома обусловлено формированием мартенситной структуры с меньшей величиной бывшего зерна аустенита (№ 7, 6 и № 6, 7) по сравнению со структурой феррита и перлита с величиной первичного зерна аустенита, соответствующей № 6 и № 5, 6.

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. Azzoni M. Directions and developments in the types of hard phases to be applied in abrase 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 // *Weld. International*. 2010. Vol. 89. P. 133 – 139.
5. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron // *Weld. International*. 2008. Vol. 22. P. 796 – 800.
6. Kejžar R., Grum J. Hardfacing of Wear-Resistant Deposits by MAG Welding with

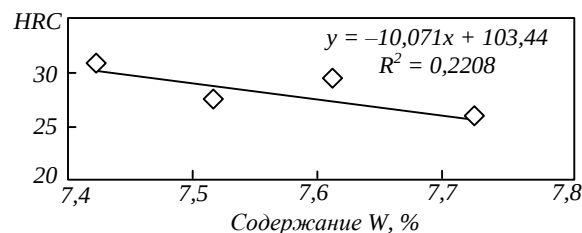


Рис. 3. Твердость образцов №№ 5Г13 – 8Г16

a Flux-Cored Wire Having Graphite in Its Filling // *Welding International*. 2005. Vol. 20. P. 961 – 976.

7. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Металлургия, 1974. – 768 с.
8. Гусев А.И., Осетковский И.В. Изучение свойств металла, наплавленного порошковой проволокой системы С – Mn – Si – Cr – V – Mo – Co // *Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: Сб. тр. VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи. В 2-х томах. Т. 1. – Томск: изд. Томского политехнического университета, 2016. С. 91 – 94.*
9. Gusev A.I., Kibko N.V., Kozyrev N.A., Popova M.V., Osetkovsky I.V. A study on the properties of the deposited metal by flux cored wires 40GMFR and 40H3G2MF // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 150. 2016. P. 1 – 9.
10. Гусев А.И., Кибко Н.В., Попова М.В., Козырев Н.А., Осетковский И.В. Структура и свойства наплавленных слоев, полученных с применением порошковых проволок 40ГМФР и 40ХЗГ2МФ // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии*. 2016. Вып. 36. С. 174 – 181.
11. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Альянс, 2013 – 528 с.
12. Шагара О.Н. Характеристика структуры металлической матрицы и износостойкость поверхностей при микроударном воздействии // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Горная книга*. 2006. № 4. С. 230 – 235.

© 2017 г. А.И. Гусев, Н.А. Козырев, Н.В. Кибко, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский
Поступила 20 марта 2017 г.