

УДК 669.018.25:519.237

*И.В. Осетковский, Н.А. Козырев, А.И. Гусев, Р.Е. Крюков, М.В. Попова***Сибирский государственный индустриальный университет****ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ СИСТЕМ $Fe - C - Si - Mn - Ni - Mo - W - V$ И $Fe - C - Si - Mn - Cr - Ni - Mo - V$**

Разработка новых материалов и использование инновационных технологий восстановления, значительно повышающих износостойкость изделий, являются актуальными задачами машиностроения. Ведется разработка методов и изготовление специальных материалов для наплавки [1 – 10]. Наибольшее распространение для наплавки абразивно-изнашивающихся изделий получили наплавочные проволоки низкоуглеродистые низколегированные, аустенитные высокомарганцевые типа С, а также быстрорежущие стали типа F по классификации МИС [11]. Широко применяются наплавочные карбидные сплавы типа Р, представляющие собой композиционные материалы и состоящие из армирующих частиц карбидов вольфрама и матрицы. Они отличаются наивысшей износостойкостью в условиях абразивного износа [11]. Характерной особенностью процесса износа таких сплавов является поэтапный износ отдельных элементов композиции. При этом наблюдается так называемый теневой эффект, когда более износостойкие армирующие частицы берут на себя основную нагрузку от разрушающих сил, предохраняя этим матрицу сплава от износа. Таким образом, при равной износостойкости матрицы работоспособность композиционных сплавов определяется их химическим составом, концентрацией, износостойкостью и прочностью армирующих частиц. Однако износостойкость матрицы может быть и определяющим показателем при работе в условиях абразивного износа.

В настоящей работе приведены результаты исследования износостойкости, твердости и микроструктуры наплавленного металла порошковыми проволоками систем $Fe - C - Si - Mn - Cr - Ni - Mo - V$ и $Fe - C - Si - Mn - Ni - Mo - W - V$.

Изготовление проволоки проводили в лабораторных условиях. Диаметр изготовленной проволоки 5 мм. Оболочка выполнена из ленты из стали Ст3. 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 высокоуглероди-

стого феррохрома марки ФХ900А по ГОСТ 4757 – 91; порошок углеродистого ферромарганца ФМн 78(А) по ГОСТ 4755 – 91, порошок никеля ПНК-1Л15 по ГОСТ 9722 – 97; порошок ферромолибдена марки ФМо60 по ГОСТ 4759 – 91; порошок вольфрама марки ПВП-1, порошок феррованадия марки ФВ50У 0,6 по ГОСТ 27130 – 94. В качестве углеродсодержащего компонента использовали ранее опробованный [12 – 15] углеродфторсодержащий материал (УФСМ) следующего химического состава: 21,0 – 46,23 % Al_2O_3 ; 18 – 27 % F; 8 – 15 % Na_2O ; 0,4 – 6,0 % K_2O ; 0,7 – 2,3 % CaO; 0,50 – 2,48 % Si_2O ; 2,10 – 3,27 % Fe_2O_3 ; 12,5 – 30,2 % $C_{общ}$; 0,07 – 0,90 % MnO; 0,06 – 0,90 % MgO; 0,09 – 0,19 % S; 0,10 – 0,18 % P.

Наплавку под флюсом АН-26С проводили на образцах толщиной 16 мм из стали марки 09Г2С в шесть слоев. Процесс вели с использованием сварочного трактора АСАВ-1250; режим наплавки: сила тока 450 А; напряжение 30 В; скорость 10 см/мин.

Измерение твердости проводили с использованием твердомера МЕТ-УД, осуществляли пять измерений на поверхности каждого образца.

Испытания на износостойкость проводили на машине 2070 СМТ-1 по схеме вращающийся диск – образец. Методика проведения испытаний на износостойкость приведена в работе [16]. Суммарный износ определяли по разнице массы образцов до постановки на испытательный стенд и после испытаний. За величину износа принята потеря массы образца за один оборот диска.

Металлографический анализ образцов проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле (диапазон увеличений 100 – 1000). В качестве реактива для травления поверхности образцов использовали спиртовой раствор азотной кислоты. Исследование продольных образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений осуществляли в соответствии с ГОСТ 1778 – 70 (увеличение 100). Величину бывшего зерна аустенита определяли по ГОСТ 5639 – 82 (увеличение 100). Размер игл мар-

тенсита определяли по ГОСТ 8233 – 56 (увеличение 1000).

Химический состав образцов, твердость и износ наплавленного металла приведены в табл. 1.

Металлографический анализ металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V показал, что при содержании углерода 0,17 – 0,23 %, хрома в пределах 1,32 – 1,45 % (образцы 1 – 4) в наплавленном слое образуется равномерная структура с мелкоиглольчатым мартенситом (балл 3) в бывших зернах аустенита, остаточным аустенитом, присутствующим в небольшом количестве в виде отдельных островков, и δ -ферритом в виде тонких прослоек по границам первичных зерен аустенита. Размер игл мартенсита в структуре образцов находится в диапазоне 2 – 5 мкм (табл. 2). Величина бывшего зерна аустенита соответствует № 6.

Применение УФСМ в качестве углеродсодержащего компонента обеспечивает высокое металлургическое качество наплавленного металла. Загрязненность всех исследованных образцов неметаллическими включениями незначительна: установлено небольшое количество мелких неметаллических включений, в частности, силикатов недеформирующихся и оксидов точечных (табл. 2).

Установлено, что содержание хрома в наплавленном слое в количестве 1,32 – 1,45 % препятствует росту зерна аустенита в процессе наплавки и, соответственно, способствует формированию структуры мелкоиглольчатого мартенсита после охлаждения, что подтверждается лучшими показателями твердости и сопротивляемости износу в сравнении с образцами, наплавленными проволокой с повышенным содержанием вольфрама (табл. 1).

Металлографический анализ металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Ni – Mo – W – V показал,

что введение вольфрама в количестве 2,43 – 3,38 % при уменьшении содержания углерода и хрома до 0,12 – 0,15 и 0,07 – 0,09 % соответственно приводит к образованию в наплавленном слое феррито-перлитной структуры. Образцы 5 – 8 имеют феррито-перлитную структуру с размером бывшего зерна аустенита № 4 и 5. Указанные структурные изменения обуславливают снижение твердости и износостойкости наплавленного металла (табл. 2).

Таким образом установлено, что для наплавки деталей и механизмов оборудования, работающего при абразивном изнашивании, более предпочтительной является порошковая проволока системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V.

Выводы. Использование для наплавки низкоуглеродистых экономнолегированных порошковых проволок систем Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V и Fe – C – Si – Mn – Ni – Mo – W – V с применением в качестве углеродсодержащего компонента углеродфторсодержащего материала обеспечивает формирование наплавленных слоев с малой степенью загрязненности неметаллическими включениями. Использование для наплавки порошковой проволоки системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V приводит к формированию в наплавленном слое равномерной структуры мелкоиглольчатого мартенсита с тонкими прослойками δ -феррита и остаточного аустенита, что обеспечивает твердость и износостойкость, достаточные для эксплуатации деталей горного оборудования. Использование для наплавки порошковой проволоки системы Fe – C – Si – Mn – Ni – Mo – W – V приводит к образованию наплавленных слоев, имеющих более низкое содержание углерода и хрома, но повышенное содержание вольфрама, вследствие чего образуется не мартенситная, а феррито-перлитная структура, не обеспечивающая требуемых твердости и износостойкости.

Т а б л и ц а 1

Химический состав, износ и твердость наплавленного металла

Образец	Содержание элементов, %								Твердость HRC	Износ образцов г/об. · 10 ⁻⁴
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W		
1	0,23	0,12	0,85	1,45	0,53	0,51	0,68	0,08	25	1,65
2	0,21	0,23	0,89	1,45	0,54	0,55	0,54	0,03	21	1,15
3	0,17	0,18	0,85	1,40	0,52	0,54	0,63	0,05	21	1,11
4	0,17	0,28	0,91	1,32	0,45	0,46	0,59	0,06	21	1,12
5	0,15	0,20	0,79	0,08	0,56	0,25	0,51	3,38	17	1,15
6	0,14	0,17	0,75	0,07	0,5	0,13	0,47	2,57	16	4,08
7	0,14	0,26	0,78	0,09	0,55	0,68	0,56	2,88	16	1,70
8	0,12	0,21	0,71	0,07	0,52	0,50	0,44	2,43	15	1,79

Характеристики неметаллических включений и структуры исследованных образцов

Образец	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		Величина зерна аустенита, балл	Размер игл мартенсита, мкм
	силикаты недеформирующиеся (хрупкие)	оксиды точечные		
1	1б, 2б, 3а	1 а	6, 5	2 – 5
2	1б, 2б, 2а	1 а, 2а	6	2 – 4
3	1б, 2б, 3а	1 а	6	2 – 5
4	1б, 2б, 3а	1 а	6	2 – 4
5	2б, 1б, 2а	1а	4, 5	–
6	2б, 1б, 2а	1а	4, 5	–
7	1б, 2б, 2а	1 а	4	–
8	2б, 3б	1 а	4	–

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Белый А.И. Износостойкость и прочность карбидов вольфрама WC – W₂C, полученных различными способами // Автоматическая сварка. 2010. № 12. С. 20 – 23.
- Poletaev Y.V., Zubchenko A.S. Structure and properties of welded joints in chromium-manganese steels // Welding International. 1988. Vol. 2. P. 452 – 455.
- Barker K.C., Ball A. Synergistic abrasive-corrosive wear of chromium containing steels // British Corrosion Journal. 1989. Vol. 24. P. 222 – 228.
- El-Mahallawi I., Abdel-karim R., Naguib A. Evaluation of effect of chromium on wear performance of high manganese steel // Materials Science and Technology. 2001. Vol. 17. P. 1385 – 1390.
- Mizoguchi S., Tanigaki T., Tokura M., Koike H., Nishimura H. Multilayer Submerged Arc Surfacing With High Chromium Iron Alloy // Surfaced Engineering. 1987. Vol. 3. P. 313 – 320.
- Liu D.S., Liu R.P., Wei Y.H. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hardfacing alloy // Material Science and Technology. 2014. Vol. 30. P. 316 – 322.
- Rao Z., O'Connor B.H., Sood D.K., Williams J.S. Wear behaviour of carbon implanted hard chromium coatings // Surface Engineering. 1997. Vol. 13. P. 61 – 65.
- Liu D.S., Liu R.P., Wei Y.H. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hardfacing alloy // Material Science and Technology. 2014. Vol. 30. P. 316 – 322.
- Kozyrev N.A., Galevsky G.V., Kryukov R.E., Titov D.A., Shurupov V.M. New materials for welding and surfacing // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 150. 2016. 012031. P. 1 – 8.
- Gusev A.I., Kibko N.V., Kozyrev N.A., Popova M.V., Osetkovskiy 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. 012033. P. 1 – 9.
- Kozyrev N.A., Osetkovskiy I.V., Kozyreva O.A., Zernin E.A., Kartsev D.S. Influence of Filler Metals in Welding Wires on the Phase and Chemical Composition of Weld Metal // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 125. P. 1 – 7
- Kozyrev N.A., Galevskiy G.V., Titov D.A., Kolmogorov D.E., Gusarov D.E. On Quality of a Weld Bead Using Power Wire 35v9h3sf // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 125. P. 1 – 8
- Jiang Y.F., Yang F.Z., Tian Z.Q., Zhou S.M. Effects of iron ion contents on composition, morphology, structure and properties of chromium coatings electrodeposited from novel trivalent chromium sulphate electrolyte // Transaction Of The IMF. 2012. Vol. 19. P. 86 – 91.

14. Casteletti L.C., Rafael Nucci, Lombardi A. Neto, Arnoni E.A.B., Totten G.E. Hard chromium substitution using HVOF coatings // *International Heat Treatment And Surface Engineering*. 2008. Vol. 2. P. 27 – 31.
15. Alejandro Basso, Sebastian Laino & Ricardo C. Dommarco. Wear Behavior of Carbide Ductile Iron with Different Matrices and Carbide Distribution // *Tribology Transactions*. 2013. Vol. 56. P. 33 – 40.
16. Гусев А.И., Кибко Н.В., Попова М.В., Козырев Н.А., Осетковский И.В. Наплавка порошковыми проволоками систем С – Si – Mn – Mo – V – В и С – Si – Mn – Cr – Mo – V деталей горнорудного оборудования // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2017. Т. 60. № 4. С. 318 – 323.

© 2017 г. И.В. Осетковский, Н.А. Козырев,
А.И. Гусев, Р.Е. Крюков, М.В. Попова
Поступила 20 сентября 2017 г.