

Метизное производство

Козырев Н.А., Гусев А.И., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Басченко Л.П. Разработка новых порошковых проволок для наплавки. Порошковая проволока для наплавки деталей, работающих в условиях ударно-абразивного износа
Веденеев А.В., Музыченко И.В., Панизович В.С. Перспективные направления развития оборудования для производства прядей и металлокорда

Производство и применение огнеупоров

Бершицкий И.М., Кац Я.Л., Краснянский М.В. Разработка и внедрение высокоэффективных электрических установок сушки и нагрева футеровок разливочных ковшей для черной и цветной металлургии

Модернизация оборудования и реконструкция заводов черной металлургии за рубежом**Новости зарубежной периодики****ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ****Статистика****Wire Products Manufacturing**

Kozyrev N.A., Gusev A.I., Kryukov R.E., Usol'tsev A.A., Baschenko L.P. Development of new cored wires for build up. Cored wire for build up of details, functioning under conditions of shock-and-abrasive wear

Vedeneev A.V., Muzychenko I.V., Panizovich V.S. Perspective directions of development of equipment for manufacturing of strands and metal cord

Production and Application of Refractories

Bershitsky I.M., Kats Ya.L., Krasnyansky M.V. Development and implementation of high-efficient electric facilities for drying and heating of steel-ladles lining for ferrous and nonferrous industries

Modernization of Equipment and Reconstruction of the Steel works abroad**News of the Foreign Periodicals****EXPRESS INFORMATION****Statistics**

70

78

85

92

98

101

108

Уважаемые коллеги!

Сердечно поздравляем Вас с профессиональным праздником

ДНЕМ МЕТАЛЛУРГА!

Примите наши искренние пожелания успехов в труде, реализации творческих планов и инженерных замыслов в достижении высоких позиций на российском и мировом рынках.

Желаем Вам и Вашим родным здоровья, любви и благополучия.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ НАПЛАВКИ. ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ УДАРНО-АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА

Н. А. КОЗЫРЕВ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения, литейного и сварочного производства, kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru;

А. И. ГУСЕВ, аспирант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства;

Р. Е. КРЮКОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства;

А. А. УСОЛЬЦЕВ, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства;

Л. П. БАЩЕНКО, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства

(Сибирский государственный индустриальный университет, Россия, г. Новокузнецк)

Аннотация. Разработка новых материалов, значительно повышающих износостойкость деталей, является весьма важной и актуальной задачей. В результате исследований разработан новый состав порошковой проволоки для наплавки горнорудного оборудования, работающего в условиях ударно-абразивного износа.

В лабораторных условиях изготовлены образцы порошковых проволок. Многослойную наплавку образцов производили с предварительным подогревом пластин до 350 °С и последующим (после наплавки) замедленным охлаждением. Проведено измерение твердости и скорости истирания, осуществлены металлографические исследования. Показано, что в исследуемых пределах углерод, хром, молибден, никель, марганец и в незначительной мере ванадий одновременно повышают твердость наплавленного слоя и уменьшают скорость износа образцов. Установлено, что повышение концентрации вольфрама несколько увеличивает твердость наплавленного металла, однако при этом снижается износостойкость. Показано, что введение в состав шихты кобальта не оказывает заметного влияния на твердость и абразивный износ наплавленного слоя, что связано с получением более вязкой, но менее твердой матрицы. В случае отсутствия твердых частиц карбидов, вмонтированных в матрицу, эффект от введения кобальта отрицательный.

Ключевые слова: порошковая проволока; износостойкость деталей; наплавка горнорудного оборудования; ударно-абразивный износ; скорость истирания; микроструктура и твердость наплавленного металла.

Ссылка для цитирования. Козырев Н.А., Гусев А.И., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Башенко Л.П. Разработка новых порошковых проволок для наплавки. Порошковая проволока для наплавки деталей, работающих в условиях ударно-абразивного износа // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 7. С. 70–77.

Разработка новых материалов, значительно повышающих износостойкость деталей, работающих в условиях ударно-абразивного износа, и использование технологии их восстановления является весьма важной и актуальной задачей [1–5]. Сегодня для легирования материалов, используемых в условиях ударно-абразивного износа, в основном применяются сплавы на железоуглеродистой основе, содержащие хром, марганец, никель. В сочетании с перечисленными элементами в наплавочные материалы также вводят карбидообразующие элементы — вольфрам, ванадий, титан и молибден. 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 [6]. В настоящее время порошковые проволоки такой системы фирмы DRATEC, Германия, марки DT-SG 600 F и порошковые проволоки фирмы ESAB марок ОК

Tubrodur 15.52, ОК Tubrodur 58 O/G М широко используются в России для наплавки горношахтного оборудования.

Лабораторные исследования проводили по схеме, приведенной в работах [7–9]. Многослойную наплавку образцов производили с предварительным подогревом пластин до 350 °С и последующим (после наплавки) замедленным охлаждением. Наплавку на пластины осуществляли сварочным трактором ASAW-1250 с использованием изготовленной порошковой проволоки. В состав ряда образцов проволоки вводили никель, кобальт, вольфрам; аморфный углерод заменили на углеродфторсодержащую пыль со следующим химическим составом, % (мас.): 21–46 Al₂O₃; 18–27 F; 8–15 Na₂O; 0,4–6 K₂O; 0,7–2,3 CaO; 0,5–2,5 SiO₂; 2,1–3,3 Fe₂O₃; 12,5–30,2 C_{общ}; 0,07–0,9 MnO; 0,06–0,9 MgO; 0,09–0,19 S; 0,10–0,18 P. Наплавку проводили на пластины из стали 09Г2С в шесть слоев.

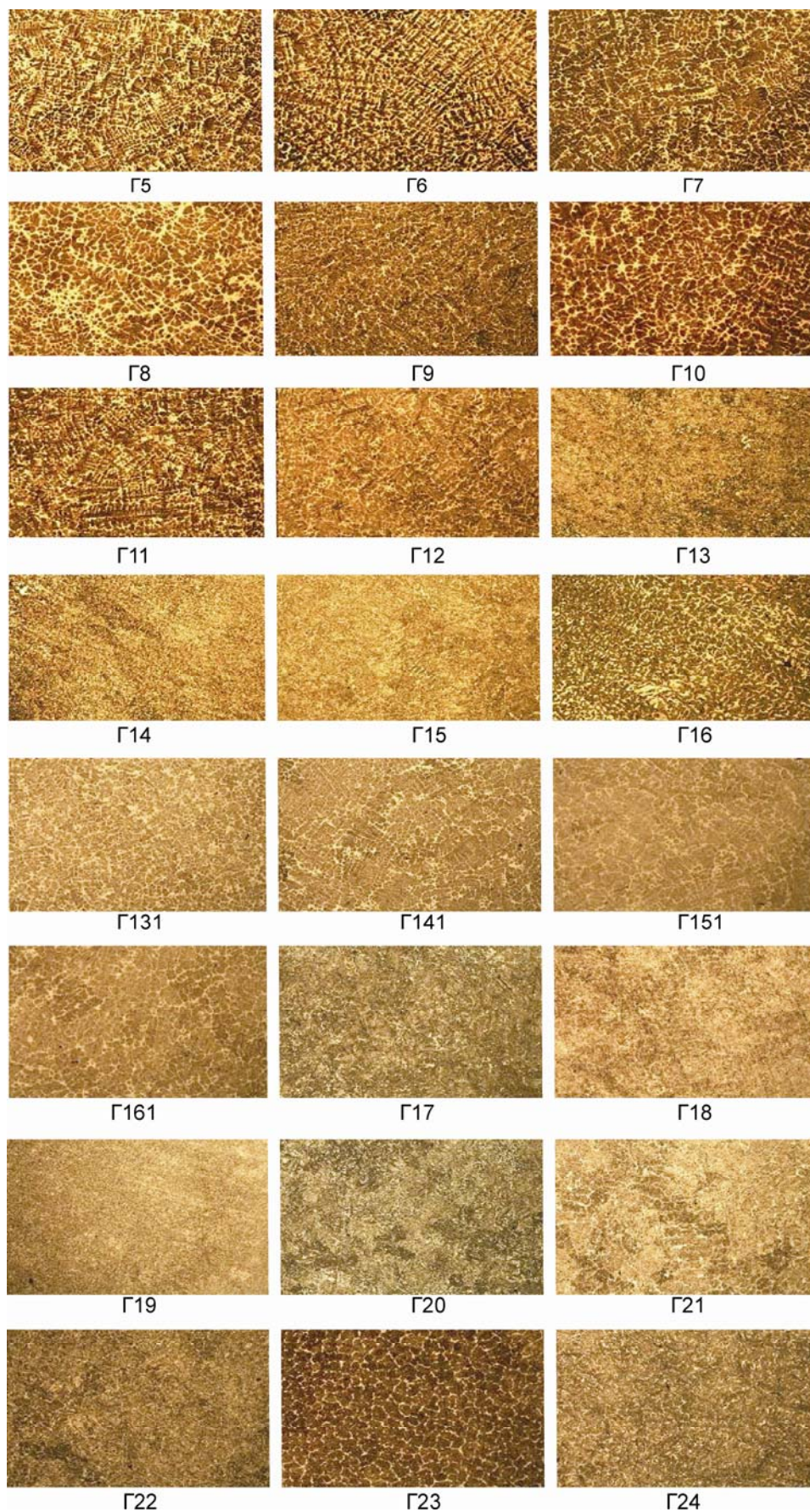


Рис. 1. Микроструктура образцов наплавленного слоя, $\times 100$

Fig. 1. Microstructure of built up layer specimens, $\times 100$

Проволоку изготавливали на лабораторной машине. Диаметр изготовленной проволоки 5 мм, оболочка выполнена из ленты Ст3. В качестве наполнителя использовали порошкообразные материалы: порошок железа ПЖВ1 по ГОСТ 9849–86, порошок ферросилиция ФС75 по ГОСТ 1415–93, порошок высокоуглеродистого феррохрома ФХ900А по ГОСТ 4757–91, порошок углеродистого ферромарганца ФМн78(А) по ГОСТ 4755–91, порошок никеля ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722–97, порошок ферромolibдена ФМо60 по ГОСТ 4759–91, порошок феррованадия ФВ50У0,6 по ГОСТ 27130–94, порошок кобальта ПК-1У по ГОСТ 9721–79, порошок вольфрамовый ПВН ТУ 48-19-72–92.

Химический состав наплавленного металла определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Химический состав наплавленного металла приведен в таблице. Измерение твердости исследуемых образцов выполняли по методу Роквелла в соответствии с требованиями ГОСТ 9013–59.

Металлографическое исследование микрошлифов осуществляли с помощью оптического микроскопа Olympus GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений $\times(100\text{--}1000)$ после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639–82 при увеличении $\times 100$. Дисперсность мартенсита оценивали при сопоставлении структуры с эталонами соответствующих шкал и размеров игл мартенсита с данными таблицы № 6 ГОСТ 8233–56. Определение длины игл мартенсита осуществляли с помощью пакета прикладных программ для металлографических исследований Siam's Photolab 700. Исследование продольных образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений проводили по ГОСТ 1778–70. Полированную поверхность изучали при увеличении $\times 100$ с помощью металлографического микроскопа ЛабоМет-1И. С целью изучения свойств отдельных участков микроструктуры стали, в частности мартенсита, использовали метод определения микротвердости структурных составляющих в соответствии с требованиями ГОСТ 9450–76. По Виккерсу исследования выполняли на цифровом микротвердометре модели HVS-1000 с автоматической поворотной головкой и цифровым отображением данных. Для каждого образца проводили 10 измерений микротвердости мартенсита по следующей методике.

В поверхность испытуемого образца под действием нагрузки 1 Н вдавливался наконечник в форме четырехгранной алмазной пирамиды. После снятия нагрузки число твердости определяли в соответствии с длинами диагоналей полученного отпечатка. Расчет числа твердости по

Виккерсу, его отображение на экране компьютера и сохранение изображения с отпечатком выполнены автоматически благодаря использованию ССD-камеры с соответствующим программным обеспечением анализа изображений.

Скорость истирания наплавленного слоя опытных образцов определяли путем проведения испытаний на износ на машине 2070 СМТ-1 по схеме диск – колодка.

Металлографическое исследование показало (рис. 1), что микроструктура наплавленного слоя порошковой проволокой системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co равномерная, наблюдаются тонкие ветви дендритов. Микроструктура состоит из мартенсита, формирующегося внутри границ бывшего аустенитного зерна; аустенита остаточного, присутствующего в небольшом количестве в виде отдельных островков; тонких прослоек δ -феррита, располагающегося по границам бывших зерен аустенита.

Считается, что наиболее благоприятными основами для износостойких сплавов при восстановлении деталей оборудования являются мартенситная и аустенитная. При этом в зависимости от общего строения сплава и наличия избыточных фаз в разных случаях предпочтительной может оказаться та или другая основа. Совмещение этих двух основ (мартенсита с определенным количеством аустенита) может обеспечить наиболее благоприятное сочетание свойств наплаваемого сплава.

С увеличением количества углерода в сплаве возрастает количество остаточного аустенита, а также количество карбидов и карбидная неоднородность. При высоком содержании хрома в сплаве, кроме образования специальных карбидов хрома, происходит упрочнение хромом аустенита и мартенсита. Хром, как и углерод, в целом способствует повышению не только твердости, но и износостойкости металла.

Введение разного количества марганца и никеля в состав наплавочных материалов позволяет менять количество остаточного аустенита, который, в свою очередь, может по-разному влиять на износостойкость материалов. Марганец и никель сходны в том отношении, что они оба растворяются в аустените, повышают его устойчивость и способствуют тем самым увеличению количества остаточного аустенита. Никель не входит в состав карбидов и в основном легирует твердый раствор (основу). Марганец содержится как в твердом растворе, так частично и в карбидах. С повышением количества марганца в материале возрастает склонность к росту зерна при нагреве, что неблагоприятно сказывается на его свойствах (увеличивается хрупкость). Легирование наплавочных материалов вольфрамом и ванадием приводит к образованию их карбидов, что повышает их износостойкость. К тому же

вольфрам, находясь в твердом растворе, в некоторой степени увеличивает устойчивость аустенита.

Анализ полученных результатов показал, что степень влияния различных химических элементов на твердость наплавленного слоя и скорость износа образцов разная и часто имеет противо-

положное направление воздействия на исследуемое свойство. В исследуемых пределах углерод, хром, молибден, никель, марганец и в незначительной мере ванадий одновременно повышают твердость наплавленного слоя и уменьшают скорость износа образцов (рис. 2–5).

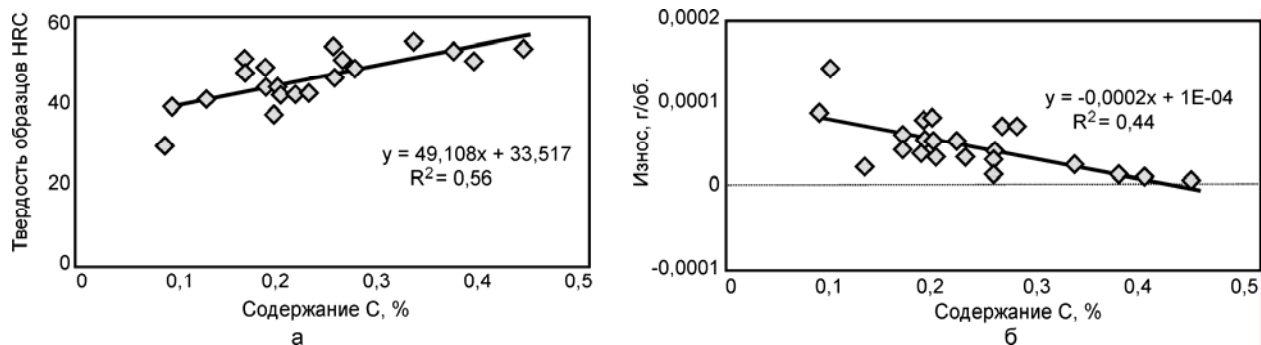


Рис. 2. Влияние содержания углерода на твердость (а) и износ (б) наплавленного слоя

Fig. 2. Influence of carbon content on hardness (a) and wear (b) of built up layer

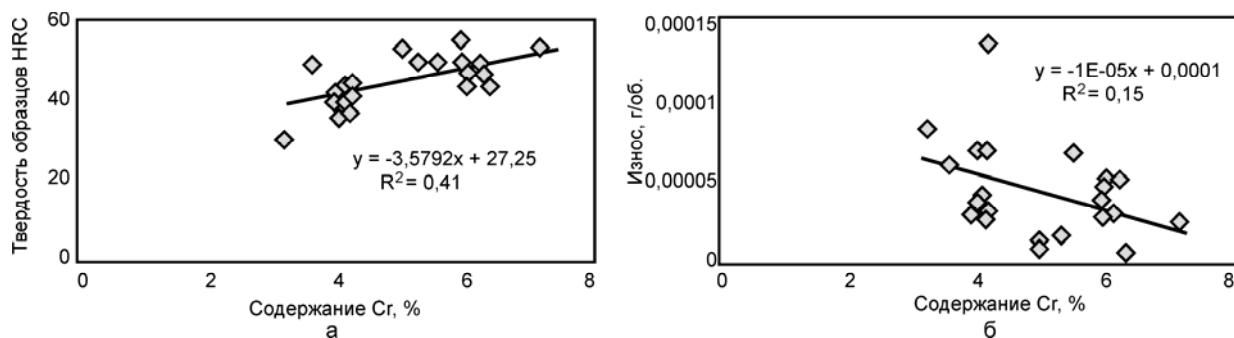


Рис. 3. Влияние содержания хрома на твердость (а) и износ (б) наплавленного слоя

Fig. 2. Influence of chrome content on hardness (a) and wear (b) of built up layer

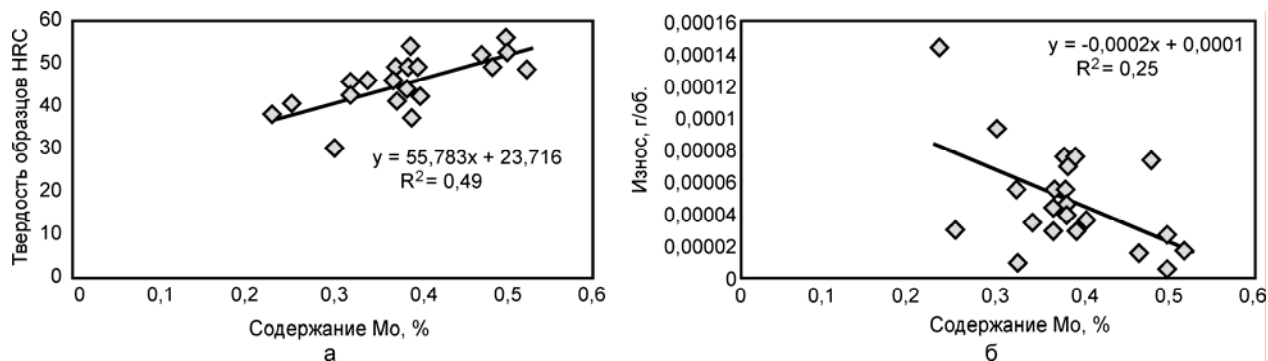


Рис. 4. Влияние содержания молибдена на твердость (а) и износ (б) наплавленного слоя

Fig. 4. Influence of molybdenum content on hardness (a) and wear (b) of built up layer

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЕВ, ТВЕРДОСТЬ И ИЗНОС

Номер образца	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	W	Ti	V	S	P	HRC	Износ, г/об.
Г5	0,40	0,72	0,84	5,26	0,52	0,42	0,020	0,100	0,07	0,001	0,003	0,050	0,037	0,025	49	0,0000140
Г6	0,45	0,80	0,77	4,98	0,50	0,56	0,020	0,110	0,07	0,001	0,005	0,040	0,044	0,023	52	0,0000056
Г7	0,27	0,78	0,77	5,50	0,48	0,61	0,020	0,080	0,10	0,001	0,001	0,040	0,042	0,019	50	0,0000710
Г8	0,38	0,62	0,80	4,98	0,47	0,82	0,020	0,090	0,07	0,001	0,020	0,040	0,038	0,020	52	0,0000140
Г9	0,19	0,77	0,61	4,17	0,38	0,34	0,108	0,051	0,07	0,001	0,012	0,020	0,054	0,024	44,5	0,0000710
Г10	0,19	0,63	0,65	4,06	0,38	0,30	0,066	0,056	0,08	0,001	0,024	0,030	0,056	0,019	42,5	0,0000390
Г11	0,20	0,59	0,61	4,12	0,38	0,30	0,031	0,121	0,06	0,001	0,007	0,020	0,049	0,019	42,5	0,0000440
Г12	0,20	0,64	0,60	4,03	0,39	0,30	0,052	0,199	0,08	0,001	0,020	0,030	0,058	0,021	37	0,0000730
Г13	0,20	0,59	0,56	0,01	0,33	0,30	0,019	0,053	0,10	7,740	0,005	0,005	0,072	0,017	22,5	0,0002060
Г14	0,20	0,55	0,49	0,01	0,34	0,26	0,025	0,071	0,09	7,420	0,001	0,010	0,048	0,014	25,5	0,0000480
Г15	0,20	0,58	0,52	0,01	0,34	0,28	0,057	0,071	0,09	7,550	0,003	0,010	0,038	0,014	22	0,0000360
Г16	0,21	0,55	0,52	0,01	0,35	0,27	0,054	0,061	0,08	7,650	0,001	0,020	0,036	0,017	26	0,0000390
Г131	0,26	0,78	1,49	7,10	0,39	0,32	0,082	0,001	0,07	0,001	0,010	0,020	0,033	0,009	55	0,0000280
Г141	0,22	0,73	1,38	5,95	0,32	0,29	0,095	0,001	0,09	0,001	0,033	0,030	0,029	0,014	41	0,0000550
Г151	0,26	0,75	1,23	6,30	0,32	0,30	0,085	0,001	0,09	0,001	0,003	0,020	0,034	0,012	45	0,0000074
Г161	0,26	0,75	1,16	6,06	0,34	0,30	0,077	0,001	0,09	0,001	0,024	0,040	0,033	0,016	45	0,0000340
Г17	0,13	0,56	0,91	3,94	0,25	0,26	0,020	0,003	0,08	0,030	0,001	0,006	0,033	0,017	40	0,0000280
Г18	0,17	0,61	1,20	6,00	0,37	0,39	0,014	0,002	0,10	0,025	0,002	0,006	0,033	0,015	45	0,0000540
Г19	0,17	0,54	1,19	5,90	0,37	0,38	0,009	0,002	0,01	1,640	0,002	0,002	0,033	0,015	49	0,0000430
Г20	0,10	0,49	0,92	4,15	0,23	0,25	0,009	0,004	0,09	0,025	0,001	0,030	0,033	0,017	38	0,0001420
Г21	0,19	0,54	1,15	6,21	0,38	0,40	0,007	0,002	0,09	0,025	0,002	0,040	0,031	0,015	48	0,0000550
Г22	0,23	0,67	0,94	4,18	0,40	0,27	0,030	0,013	0,07	0,040	0,001	0,005	0,029	0,016	43	0,0000330
Г23	0,28	0,61	0,93	3,57	0,39	0,27	0,020	0,020	0,07	4,66	0,001	0,003	0,032	0,015	49	0,0000650
Г24	0,21	0,78	1,01	4,12	0,37	0,26	0,030	0,190	0,07	0,08	0,001	0,008	0,030	0,015	42	0,0000300

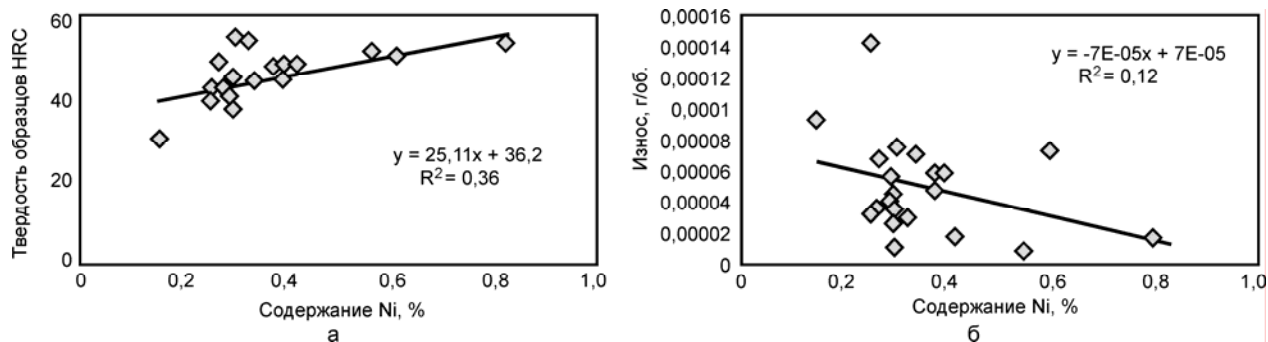


Рис. 5. Влияние содержания никеля на твердость (а) и износ (б) наплавленного слоя

Fig. 5. Influence of nickel content on hardness (a) and wear (б) of built up layer

При исследовании влияния использования вольфрама и кобальта на свойства наплавленного слоя установлено, что введение вольфрама несколько увеличивает твердость наплавленного металла, однако при этом снижается износостойкость. Это, по-видимому, связано с высокопрочной твердой мартенситной матрицей, в которую «вмонтированы» более твердые карбиды вольфрама. Низкая вязкость матрицы не позволяет удерживать на поверхности карбиды вольфрама, в результате чего износ осуществляется не по схеме равномерного истирания поверхности, а по схеме выкрошивания высокопрочных частиц карбидов из матрицы, в результате чего в матрице образуются дополнительные трещины, способствующие дополнительному ее износу.

Введение в состав шихты кобальта не оказывает заметного влияния на твердость и абразивный износ наплавленного слоя, что связано с получением более вязкой, но менее твердой матрицы. В случае отсутствия твердых частиц карбидов, вмонтированных в матрицу, эффект от введения кобальта отрицательный. Следует также отметить, что влияние вольфрама на твердость наплавленного слоя и скорость износа образцов в первую очередь связано со структурой металлической матрицы, причем замена мартенситной структуры в наплавляемом слое на феррито-перлитную также не оказала большого положительного влияния на износостойкость.

Оценка влияния химического состава порошковых проволок на скорость износа и твердость наплавленного слоя проводилась математико-статистическими методами, которые позволяют изучить закономерности изменения результирующего показателя в зависимости от поведения различных факторов по методикам, изложенным в работах [10, 11].

Для проведения анализа были определены факторы, которые оказывают воздействие на изучаемый показатель, и отобраны наиболее существенные из них. После этого выполнена проверка исходной информации на достоверность, однородность, соответствие закону нормального распределения. Далее была построена математическая модель многофакторной системы. Поскольку в приведенных системах имеют место независимые факторные признаки, используется детерминированный факторный анализ.

По результатам вычислений получены зависимости, адекватность которых фактическим значениям проверялась по показателю средней ошибки аппроксимации:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left| \frac{Y_i - \tilde{Y}_i}{Y_i} \right| 100,$$

где m — число наблюдений; $\tilde{Y}_i$ — вычисленное значение результирующего показателя; Y_i — фактическое значение результирующего показателя.

Зависимости твердости наплавленного слоя и его износостойкости от массовой доли элементов, входящих в состав порошковых проволок системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co, полученные в результате проведенного анализа:

– твердость наплавленного слоя

$$\begin{aligned} \text{HRC} = & 35,884 + 22,840\text{C} + 11,079\text{Si} - 15,903\text{Mn} + \\ & + 4,785\text{Cr} + 10,118\text{Mo} + 1,399\text{Ni} - 38,964\text{Al} - \\ & - 24,126\text{Co} - 65,841\text{Cu} - 0,057\text{W} + 17,887\text{Ti} - \\ & - 76,116\text{V} - 76,351\text{S} - 239,206\text{P} \end{aligned}$$

(ошибка аппроксимации 4,2 %);

– износ (И) образцов, г/об.

$$\begin{aligned}
H = & -0,00025 - 0,00034C + 0,000171Si + \\
& + 0,000144Mn - 0,000008Cr - 0,00014Mo + \\
& + 0,0000308Ni - 0,00076Al - 0,000088Co + \\
& + 0,000227Cu + 0,0000074W + 0,00017Ti + \\
& + 0,000633V + 0,002836S + 0,005644P \\
& \text{(ошибка аппроксимации 8,14 \%)}
\end{aligned}$$

Вычисленные значения средней ошибки аппроксимации свидетельствуют о том, что полученные зависимости являются адекватными и их можно использовать для определения результирующих показателей.

Полученные зависимости легли в основу разработки защищенной патентом РФ порошковой проволоки [12]. Апробация новой порошковой проволоки проводилась при наплавке пластин, установленных на шнеках очистного комбайна

JOY 4LS20 (рис. 6).



Рис. 6. Общий вид шнека комбайна JOY 4LS20

Fig. 6. General view of JOY 4LS20 combine auger

Выводы

1. Разработан новый, защищенный патентом состав порошковой проволоки для наплавки горнорудного оборудования, работающего в условиях ударно-абразивного износа.

2. В исследуемых пределах углерод, хром, молибден, никель, марганец и в незначительной мере ванадий одновременно повышают твердость наплавленного слоя и уменьшают скорость износа образцов. Установлено, что повышение концентрации вольфрама несколько увеличивает твердость наплавленного металла, однако при этом снижается износостойкость. Показано, что низкая вязкость матрицы не позволяет удерживать на поверхности карбиды вольфрама, в результате чего износ осуществляется не по схеме равномерного истирания поверхности, а по схеме выкрошивания высокопрочных частиц карбидов из матрицы, при этом в матрице образуются дополнительные трещины,

способствующие дополнительному износу матрицы. Показано, что введение в состав шихты кобальта не оказывает заметного влияния на твердость и абразивный износ наплавленного слоя, что связано с получением более вязкой, но менее твердой матрицы. В случае отсутствия твердых частиц карбидов, вмонтированных в матрицу, эффект от введения кобальта отрицательный.

3. По результатам многофакторного корреляционного анализа определены зависимости твердости наплавленного слоя и его износостойкости от массовой доли элементов, входящих в состав порошковых проволок системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co. Полученные зависимости могут быть использованы для прогнозирования твердости наплавленного слоя и его износостойкости при изменении химического состава наплавленного металла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тепляшин М.В., Комков В.Г. Исследование влияния легирующих элементов на износостойкость в сплавах, предназначенных для электрошлаковой наплавки бил молотковых мельниц // Электронное научное издание "Ученые заметки ТОГУ". 2013. Т. 4. № 4. С. 1554–1561.
2. Тепляшин М.В., Комков В.Г., Стариенко В.А. Разработка экономнолегированного сплава для восстановления бил молотковых мельниц // Электронное научное издание "Ученые заметки ТОГУ". 2013. Т. 4. № 4. С. 1543–1549.
3. 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.
4. 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.
5. Filippov M.A., Shumyakov V.I., Balin S.A., Zhilin A.S., Lechilo V.V., Rimer G.A. Structure and wear resistance of deposited alloys based on metastable chromium-carbon austenite // Welding International. 2015. Vol. 29. P. 819–822.
6. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. — М.: Металлургия, 1974. — 768 с.
7. Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В. и др. Изучение структуры и свойств металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co // Актуальные проблемы в машиностроении. 2017. Т. 4. № 2. С. 113–119.

8. Гусев А.И., Кибко Н.В., Попова М.В. и др. Наплавка порошковыми проволоками C-Si-Mn-Mo-V-B и C-Si-Mn-Cr-Mo-V деталей горнорудного оборудования // Изв. вузов. Черная металлургия. 2017. Т. 60. № 4. С. 318–323.
9. 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. 2016. Vol. 150. P. 1–9. doi: 10.1088/1757-899X/150/1/012033.
10. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: Издательский центр “Академия”, 2003. — 464 с.
11. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика. — М.: Высшая школа, 2003. — 479 с.
12. Пат. 2641590 РФ, МПК В 23 К 35/36, В 23 К 35/36. Порошковая проволока / Н.А. Козырев, А.И. Гусев, Г.В. Галевский, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский, А.А. Усольцев, О.А. Козырева // Заявл. 22.06.2016; опубл. 18.01.2018. Бюл. № 2.

DEVELOPMENT OF NEW CORED WIRES FOR BUILD UP. CORED WIRE FOR BUILD UP OF DETAILS, FUNCTIONING UNDER CONDITIONS OF SHOCK-AND-ABRASIVE WEAR

N. A. KOZYREV, HD (Tech), Head of the Dpt of Metal Science, foundry and welding operations, kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru;

A. I. GUSEV, postgraduate of the Dpt of Metal Science, foundry and welding operations;

R. E. KRYUKOV, PhD (Tech) Associate Professor of the Dpt of Metal Science, foundry and welding operations;

A. A. USOL'TSEV, PhD (Tech), Associate Professor Dpt of Metal Science, foundry and welding operations;

L. P. BASCHENKO, PhD (Tech), Associate Professor Dpt of Metal Science, foundry and welding operations

(Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk)

Abstract. Development of new materials, considerably increasing wear resistance of details, is a rather important and actual task. As a result of the study a new composition of cored wire was developed intended for building up of mining equipment, operating under conditions of shock-and-abrasive wear. Under laboratory conditions specimens of cored wires were made. Multilayer building up of the specimens was made after preliminary heating of plates till 350°C following (after building up) slowed cooling. Measuring of hardness and galling pace made as well as metallographic studies. It was shown, that within the range studied, carbon, chromium, molybdenum, nickel, manganese and to some extent vanadium increase hardness of built up layer and decrease specimens wear rate at the same time. It was determined, that increase of tungsten concentration results in an increase of hardness of built up layer to some extent, but a decrease of wear resistance. It was shown, that inclusion of cobalt into the mixture content has no noticeable effect on the hardness and abrasive wear of the built up layer, that is linked with formation of a ductile, but less hard matrix. In case of absence of hard particles of carbides, introduced into matrix, the effect of cobalt introduction is negative.

Key words: cored wire; details wear resistance; build up of mining equipment; shock-and-abrasive wear; galling pace; microstructure and hardness of built up metal.

For citation. Kozyrev N.A., Gusev A.I., Kryukov R.E., Usol'tsev A.A., Baschenko L.P. Development of a new cored wire for build up. Cored wire build up of details, functioning under conditions of shock-and-abrasive wear. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-technicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*, 2018, no. 7, pp. 70–77. (In Russ.).

REFERENCES

1. Teplyashin M.V., Komkov V.G. Study of the alloying elements influence on wear resistance in alloys, meant for electro-slag building up of hammer mill beaters. *E'lektronnoe nauchnoe izdanie "Ucheny', zametki TOGU"*, 2013, vol. 4, no. 4, pp. 1554–1561. (In Russ.).
2. Teplyashin M.V., Komkov V.G., Starienko V.A. Development of economically alloyed alloy for restoration of hammer mill beaters. *E'lektronnoe nauchnoe izdanie "Ucheny', zametki TOGU"*, 2013, vol. 4, no. 4, pp. 1543–1549. (In Russ.).
3. Kejžar R., Grum J.H. 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.
4. 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.
5. Filippov M.A., Shumyakov V.I., Balin S.A., Zhilin A.S., Lechilo V.V., Rimer G.A. Structure and wear resistance of deposited alloys based on metastable chromium–carbon austenite. *Welding International*, 2015, vol. 29, pp. 819–822.
6. *Texnologiya e'lektricheskoy svarki metallov i spлавov plavlениem* [Technology of electric welding of metals and alloys by fusion]. Paton B.E. ed. Moscow: Metallurgiya, 1974, 768 p. (In Russ.).
7. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Kibko N.V., Popova M.V., Kryukov R.E. Study of structure and properties of the metal, built up by cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co system. *Aktual'ny'e problemy' v mashinostroenii*, 2017, vol. 4, no. 2, pp. 113–119. (In Russ.).
8. Gusev A.I., Kibko N.V., Kozyrev N.A., Osetkovskiy I.V. Building up by C–Si–Mn–Mo–V–B and C–Si–Mn–Cr–Mo–V cored wires of details of mining equipment. *Izv. VUZov. Chernaya metallurgiya*, 2017, vol. 60, no. 4, pp. 318–323. (In Russ.).
9. 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*, 2016, vol. 150, pp. 1–9. doi: 10.1088/1757-899X/150/1/012033.
10. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya veroyatnostej i ee inzhenerny'e prilozheniya* [Theory of probability and its engineering application]. Moscow: izdatel'skij centr “Akademiya”, 2003, 464 p. (In Russ.).
11. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika* [Theory of probability and mathematical statistics]. Moscow: Vysshaya shkola, 2003, 479 p. (In Russ.).
12. Kozyrev N.A., Gusev A.I., Galevskiy G.V., Kryukov R.E., Osetkovskiy I.V., Usol'tsev A.A., Kozyreva O.A. *Poroshkovaya provoloka* [Cored wire]. Patent RF no. 2641590. IPC B 23 K 35/36, B 23 K 35/36. 2016. (In Russ.).