ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК СИСТЕМЫ Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo

Н. А. КОЗЫРЕВ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения, литейного и сварочного производства, kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru; А. А. УСОЛЬЦЕВ, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства; Р. Е. КРЮКОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства; А. И. ГУСЕВ, аспирант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства; И. В. ОСЕТКОВСКИЙ, аспирант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства (Сибирский государственный индустриальный университет, Россия, Кемеровская обл., г. Новокузнецк)

Аннотация. Для защиты и ремонта деталей оборудования, подверженного абразивному и ударно-абразивному изнашиванию, повышения износостойкости деталей, работающих на истирание, широко применяется наплавка из твердого сплава. Основными порошковыми проволоками для износостойкой наплавки в России являются проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo типа А и В по классификации МИС. Для эффективного применения наплавочных проволок необходимо знание зависимости твердости наплавленного слоя и его износостойкости от массовой доли элементов, входящих в состав порошковых проволок системы. Изучено влияние химического состава наплавленного слоя, полученного наплавкой с использованием новых, защищенных патентами РФ порошковых проволок системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo, на его физико-механические свойства. 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–Ni–Mo. Полученные зависимости использованы для прогнозирования твердости наплавленного слоя и его износостойкости при изменении химического состава наплавленного металла. Испытания на штахтах Кемеровской области защитных пластин шнеков очистного комбайна JOY 4LS20, наплавленных разрабатанной порошковой проволокой, показали увеличение стойкости на 19,3 % по сравнению с аналогичными пластинами, наплавленными проволокой DRATEK.

Ключевые слова: повышение износостойкости деталей, износостойкая наплавка, порошковая проволока системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo, состав порошковых проволок, твердость и износостойкость наплавленного слоя.

Ссылка для цитирования: Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Гусев А.И., Осетковский И.В. Эксплуатационные показатели новых порошковых проволок системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 7. С. 860–868.

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-7-860-868

OPERATING INDICES OF THE NEW CORED WIRES OF Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo SYSTEM

N. A. KOZYREV, HD (Tech), Prof., Head of Dpt "Material science, foundry, and welding production", kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru; A. A. USOL'TSEV, PhD (Tech), Prof. Ass., Dpt "Material science, foundry, and welding production"; R. E. KRYUKOV, PhD (Tech), Prof. Ass., Dpt "Material science, foundry, and welding production"; A. I. GUSEV, postgraduate, Dpt "Material science, foundry, and welding production"; I. V. OSETKOVSKII, postgraduate, Dpt "Material science, foundry, and welding production" (Siberian State Industrial University, Russia, Kemerovo rgn., Novokuznetsk)

Abstract. To protect and repair details of equipment, subjected to abrasive and shock-and-abrasive wear, a build-up of hard alloy is widely used to increase the wear resistance of details, operating under abrasion conditions. Cored wires of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo system of type A and B by MIS classification are the main wires used for wear-resistant build-up in Russia. For effective application of building-up wires it is necessary to know the dependence of built-up layer hardness and its wear resistance on mass share of elements included into the composition of the cored wires systems. Influence of chemical composition of the built-up layer, obtained by the building-up with application of new powder systems of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo, protected by RF patents, on its physical and mechanical properties studied. Based on the results of the multifactor correlation analysis accomplished, dependences of the built-up layer hardness and its wear resistance on mass share of elements included into the composition of the cored wires of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo system determined. The dependences obtained were used for forecasting of the built-up

layer hardness and its wear resistance at changes of the chemical composition of the built-up layer. The tests of JOY 4LS20 mining machine screw protective plates at Kemerovo region mines, built-up by the elaborated cored wire, showed an increase of the resistance by 19.3% comparing with the analog plates built-up by DRATEC wire.

Key words: increase of details wear resistance, wear resistant built-up, cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo system, cored wires composition, hardness and wear resistance of built-up layer.

For citation: Kozyrev N.A., Usol'tsev A.A., Kryukov R.E., Gusev A.I., Osetkovskii I.V. Operation indices of the new cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo system. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 7, pp. 860–868. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-7-860-868

Основными порошковыми проволоками для износостойкой наплавки горношахтного оборудования в Российской Федерации являются проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo типа А и В по классификации МИС [1], причем для этих целей широко используются отечественные проволоки 40ГМФР и 40Х3Г2МФ [2–4], а также импортные проволоки фирмы DRATEC, Германия, марки DT-SG 600F и порошковые проволоки фирмы ESAB марок ОК Tubrodur 15.52, ОК Tubrodur 58 O/G M, основанные на тех же принципах легирования [5–8].

В работах [9–23], проведенных в Сибирском государственном индустриальном университете, определялось влияние введения различных элементов в порошковую проволоку системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo на эксплуатационную стойкость полученного при наплавке слоя металла. В данной работе изучалось влияние изменения концентрации различных элементов в разработанных проволоках в системе Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo на износ и твердость наплавленного металла.

Лабораторные исследования проводили по следующей схеме. Наплавку на пластины из стали 09Г2С осуществляли сварочным трактором ASAW-1250 с использованием изготовленной порошковой проволоки. Изготовление проволоки проводилось на лабораторной машине. Диаметр изготовленной проволоки 6 мм, оболочка выполнена из ленты Ст3. В качестве наполнителя использовались 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 по ТУ 48-19-72–92. В состав ряда образцов проволоки взамен аморфного углерода вводилась пыль газоочистки алюминиевого про-

изводства со следующим химическим составом, % (мас.): 21–46 Al_2O_3 ; 18–27 F; 8–15 Na_2O ; 0,4–6,0 K_2O ; 0,7–2,3 CaO ; 0,5–2,5 SiO_2 ; 2,1–3,3 Fe_2O_3 ; 12,5–30,2 $\text{C}_{\text{общ}}$; 0,07–0,9 MnO; 0,06–0,9 MgO; 0,09–0,19 S; 0,10–0,18 P.

Химический состав наплавленного металла определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Измерение твердости исследуемых образцов выполняли по методу Роквелла в соответствии с требованиями ГОСТ 9013–59. Металлографическое исследование микрошлифов осуществляли с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX51 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. 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 ЛабoМет-1И.

Скорость истирания наплавленного слоя опытных образцов определяли путем проведения испытаний на износ на машине 2070 СМТ-1 по схеме диск – колодка со следующими параметрами: диапазон измерения частоты вращения вала нижнего образца (диапазон А) — 75–750 мин^{-1} ; диапазон измерения момента трения (диапазон I) — 1–10 Н·м.

Для исследования были отобраны две серии образцов с близким химическим составом и величиной зерна аустенита, но с различным содержанием хрома (табл. 1): первая серия (образцы 5Г–24Г) — более 3 % хрома (3,94–7,1 %), вторая серия (образцы 1–16) — менее 2 % хрома (1,32–1,83 %), причем с одинаковой структурой — мартенсит (табл. 2).

ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА, %

TABLE 1. CHEMICAL COMPOSITION OF BUILT-UP METAL, %

Номер образца	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Co	Cu	W	V	S	P
5Г	0,4	0,72	0,84	5,26	0,52	0,42	0,1	0,07	0,02	0,05	0,037	0,025
6Г	0,45	0,8	0,77	4,98	0,5	0,56	0,11	0,07	0,02	0,04	0,044	0,023
7Г	0,27	0,78	0,77	5,5	0,48	0,61	0,08	0,1	0,02	0,04	0,042	0,019
8Г	0,38	0,62	0,8	4,98	0,47	0,82	0,09	0,07	0,02	0,04	0,038	0,020
9Г	0,19	0,77	0,61	4,17	0,38	0,34	0,051	0,07	0,02	0,02	0,054	0,024
10Г	0,19	0,63	0,65	4,06	0,38	0,3	0,056	0,08	0,02	0,03	0,056	0,019
11Г	0,2	0,59	0,61	4,12	0,38	0,3	0,121	0,06	0,02	0,02	0,049	0,019
12Г	0,2	0,64	0,6	4,03	0,39	0,3	0,199	0,08	0,02	0,03	0,058	0,021
131Г	0,26	0,78	1,49	7,1	0,39	0,32	0,003	0,07	0,02	0,02	0,033	0,009
141Г	0,22	0,73	1,38	5,95	0,32	0,29	0,003	0,09	0,02	0,03	0,029	0,014
151Г	0,26	0,75	1,23	6,3	0,32	0,3	0,003	0,09	0,02	0,02	0,034	0,012
161Г	0,26	0,75	1,16	6,06	0,34	0,3	0,003	0,09	0,02	0,04	0,033	0,016
17Г	0,13	0,56	0,91	3,94	0,25	0,26	0,003	0,08	0,03	0,006	0,033	0,017
18Г	0,17	0,61	1,2	6	0,37	0,39	0,002	0,1	0,025	0,006	0,033	0,015
20Г	0,1	0,49	0,92	4,15	0,23	0,25	0,004	0,09	0,025	0,03	0,033	0,017
21Г	0,19	0,54	1,15	6,21	0,38	0,4	0,002	0,09	0,025	0,04	0,031	0,015
22Г	0,23	0,67	0,94	4,18	0,4	0,27	0,013	0,07	0,04	0,005	0,029	0,015
24Г	0,205	0,78	1,01	4,12	0,37	0,26	0,19	0,07	0,08	0,008	0,030	0,015
Среднее содержание элемента в первой серии	0,24	0,68	0,95	5,06	0,38	0,37	0,06	0,08	0,03	0,03	0,038	0,02
1	0,24	0,19	0,93	1,83	0,69	0,14	0,001	0,87	0,02	0,6	0,036	0,017
2	0,25	0,27	0,96	1,65	0,68	0,33	0,001	0,09	0,08	0,6	0,033	0,01
3	0,25	0,28	0,93	1,67	0,57	0,54	0,001	0,06	0,02	0,58	0,029	0,014
4	0,29	0,15	0,92	1,65	0,6	0,65	0,001	0,06	0,05	0,59	0,034	0,012
5	0,23	0,12	0,85	1,45	0,51	0,53	0,08	0,05	0,001	0,68	0,033	0,017
6	0,21	0,23	0,89	1,45	0,55	0,54	0,03	0,07	0,001	0,54	0,031	0,015
7	0,17	0,18	0,85	1,4	0,54	0,52	0,05	0,06	0,001	0,63	0,029	0,016
8	0,17	0,28	0,91	1,32	0,46	0,45	0,06	0,06	0,001	0,59	0,032	0,015
13	0,22	0,18	0,64	1,59	0,08	0,46	0,001	0,09	0,003	0,48	0,031	0,017
14	0,21	0,23	0,73	1,73	0,23	0,53	0,001	0,09	0,001	0,55	0,033	0,017
15	0,22	0,2	0,84	1,7	0,52	0,58	0,001	0,08	0,001	0,63	0,035	0,016
16	0,21	0,19	0,79	1,62	0,77	0,59	0,001	0,09	0,001	0,61	0,033	0,02
Среднее содержание элемента во второй серии	0,22	0,21	0,85	1,59	0,52	0,49	0,02	0,14	0,02	0,59	0,03	0,02

ТАБЛИЦА 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ, ВЕЛИЧИНЫ ЗЕРНА, ИЗНОСА И ТВЕРДОСТИ НАПЛАВЛЕННЫХ ОБРАЗЦОВ

TABLE 2. CHARACTERISTICS OF STRUCTURE, GRAIN SIZE, WEAR AND HARDNESS OF BUILT UP SAMPLES

Номер образца	Структура	Величина зерна аустенита	HRC	Износ, г/об.
Г5	Мартенсит	7	49	0,000014
Г6	Мартенсит	6,5	52	0,0000056
Г7	Мартенсит	6	50	0,000071
Г8	Мартенсит	6,5	52	0,000014
Г9	Мартенсит	6,5	44,5	0,000071
Г10	Мартенсит	6,5	42,5	0,000039
Г11	Мартенсит	6,5	42,5	0,000044
Г12	Мартенсит	6,5	37	0,000073
Г131	Мартенсит	7	55	0,000028
Г141	Мартенсит	7	41	0,000055
Г151	Мартенсит	7	45	0,0000074
Г161	Мартенсит	7	45	0,000034

Номер образца	Структура	Величина зерна аустенита	HRC	Износ, г/об.
Г17	Мартенсит	6,5	40	0,000028
Г18	Мартенсит	6	45	0,000054
Г20	Мартенсит	6,5	38	0,000142
Г21	Мартенсит	6	48	0,000055
Г22	Мартенсит	6	43	0,000033
Г24	Мартенсит	6,5	42	0,00003
Средние		6,53	45,08	0,00004433
1	Мартенсит	6,5	41	0,000029
2	Мартенсит	6,5	40	0,000037
3	Мартенсит	5,6	40	0,0000358
4	Мартенсит	5,6	41	0,0000359
5	Мартенсит	6,5	25	0,000136
6	Мартенсит	6	21	0,000165
7	Мартенсит	5,6	21	0,000115
8	Мартенсит	5,6	21	0,0000888
13	Мартенсит	6,5	20	0,00015
14	Мартенсит	6	25	0,000134
15	Мартенсит	6	29	0,00015
16	Мартенсит	6	28	0,000092
Средние			29,33	0,000097

Для оценки совместного влияния химического состава порошковых проволок на износ и твердость наплавленного слоя использовали математико-статистические методы, которые позволяют выявить закономерности изменения результирующего показателя в зависимости от поведения различных факторов по известным методикам [24–26].

На рис. 1–3 приведено влияние различных элементов в наплавленном слое с использованием рассматриваемых порошковых проволок на твердость и износ отдельно для каждой из серий

и общее для данных серий. Полученные графики указывают, что степень влияния различных химических элементов на твердость наплавленного слоя и износ образцов различная. В исследуемых пределах (как для каждой из серий, так и на общем графике) углерод, кремний, марганец, хром и молибден одновременно повышают твердость наплавленного слоя и уменьшают износ образцов, ванадий имеет такую же тенденцию для каждой из серий. Никель повышает твердость и износ.

Рис. 1. Влияние содержания углерода на твердость и износ

Fig. 1. Effect of carbon content on hardness and wear

Рис. 2. Влияние содержания марганца на твердость и износ

Fig. 2. Effect of manganese content on hardness and wear

Рис. 3. Влияние содержания хрома на твердость и износ

Fig. 3. Effect of chrome content on hardness and wear

При выборе оптимального химического состава для наплавки в состав порошковой проволоки осуществлялось введение вольфрама и кобальта. Поэтому в полученных сериях присутствуют данные элементы. При исследовании влияния использования вольфрама и кобальта на свойства наплавленного слоя установлено, что повышение концентрации вольфрама несколько увеличивает твердость наплавленного металла, однако при этом снижается износостойкость. Кобальт же снижает и твердость, и износ. 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, поэтому износ осуществляется не по схеме равномерного истирания поверхности, а по схеме выкрошивания высокопрочных частиц карбидов из матрицы, в результате чего в матрице образуются трещины, способствующие дополнительному износу матрицы. Введение в состав шихты кобальта, по-

видимому, связано с получением более вязкой, но менее твердой матрицы. В случае отсутствия твердых частиц карбидов, вмонтированных в матрицу, эффект от введения кобальта отрицательный. Опыты указали на нецелесообразность введения в состав шихты разработанных проволок в исследованных пределах вольфрама и кобальта.

Отдельно следует остановиться на влиянии хрома. При сравнении первой и второй серий плавок определено, что повышение концентрации хрома в наплавленном слое в 3 раза позволяет увеличить твердость в среднем в 1,5 раза и снизить износ на 45 %.

Для проведения анализа были определены факторы, которые оказывают воздействие на изучаемый показатель, и отобраны наиболее существенные из них (см. табл. 1, 2). После этого выполнена проверка исходной информации на достоверность, однородность, соответствие закону нормального распределения. Далее была построена математическая модель много-

факторной 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:

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

где m — количество 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:

$HRC = 17,03 + 19,49C - 2,27Si - 9,43Mn + 4,25Cr + 15,67Mo + 8,35Ni - 33,56Co + 12,41Cu + 191,12W - 10,69V - 22,45S + 46,16P$ (ошибка аппроксимации 1,09 %);

скорость износа наплавленного слоя образцов:

$I = 0,000106 - 0,000268C + 0,0000179Si - 0,0000447Mn + 0,0000108Cr - 0,0000984Mo + 0,000036Ni + 0,000121Co - 0,0000362Cu - 0,000647W + 0,000186V - 0,000229S + 0,000722P$ (ошибка аппроксимации 2,94 %).

Анализ полученных данных лег в основу разработки химического состава новых порошковых проволок, защищенных патентами РФ [27, 28].

Следует особо отметить, что выбор порошковой проволоки для процесса должен осуществляться исходя из экономических предпосылок, в частности эксплуатационного периода работы оборудования. При использовании проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo [27] для наплавки защитных пластин шнеков очистного комбайна JOY 4LS20 на шахтах Кемеровской области стойкость по сравнению с аналогичными пластинами, наплавленными проволокой DRATEK, увеличилась на 19,3 %. При этом наработка шнеков с наплавкой разработанной проволокой за период испытания составила 253654 т угля, а с использованием пластин, наплавленных проволокой DRATEK, — 204698,7 т угля.

Выводы

1. Разработаны новые, защищенные патентами РФ порошковые проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo для наплавки горношахтного оборудования.

2. По результатам проведенного многофакторного корреляционного анализа были определены зависимости твердости наплавленного слоя и его износостойкости от массовой доли элементов, входящих в состав порошковых проволок системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo. Полученные зависимости использованы для прогнозирования твердости наплавленного слоя и его изно-

стойкости при изменении химического состава наплавленного металла.

3. Апробация на шахтах Кемеровской области защитных пластин шнеков очистного комбайна JOY 4LS20, наплавленных разработанной порошковой проволокой, показала увеличение стойкости на 19,3 % по сравнению с аналогичными пластинами, наплавленными проволокой DRATEK. При этом наработка шнеков с наплавкой разработанной проволокой за период испытания составила 253654 т угля, а с использованием пластин, наплавленных проволокой DRATEK, — 204698,7 т угля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. — М.: Металлургия, 1974. — 768 с.
2. Тепляшин М.В., Комков В.Г. Исследование влияния легирующих элементов на износостойкость в сплавах, предназначенных для электрошлаковой наплавки бил молотковых мельниц // Ученые заметки ТОГУ. 2013. Т. 4. № 4. С. 1554–1561.
3. Тепляшин М.В., Комков В.Г., Стариенко В.А. Разработка экономнолегированного сплава для восстановления бил молотковых мельниц // Ученые заметки ТОГУ. 2013. Т. 4. № 4. С. 1543–1549.
4. Чейлях Я.А., Чигарев В.В. Разработка состава экономнолегированной Fe–Cr–Mn стали с регулированием содержания и метастабильности аустенита // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2011. № 22. С. 103–108.
5. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron // Welding International. 2008. V. 22. P. 796–800.

6. 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. V. 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. V. 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. V. 46. P. 1–7.
9. Kozyrev N.A., Osetkovskiy I.V., Kozyreva O.A. etc. Influence of Filler Metals in Welding Wires on the Phase and Chemical Composition of Weld Metal // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 125. P. 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/125/1/01/012027.
10. Осетковский И.В., Козырев Н.А., Кибко Н.В. и др. Изучение влияния кобальта на структуру и свойства наплавленного порошковой проволокой системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V металла // Актуальные проблемы в машиностроении. 2017. Т. 4. № 2. С. 100–106.
11. Osetkovskiy I.V., Kozyrev N.A., Gusev A.I. etc. Influence of the cobalt additive on the flux cored wire of system Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V // Key engineering materials. 2017. V. 736. P. 63–67. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.63.
12. Osetkovskiy I.V., Kozyrev N.A., Kryukov R.E. Abrasive Wear Resistance Comparative Analysis of the Metal Surfaced by Flux Cored Wires Systems Fe–C–Si–Mn–Ni–Mo–W–V and Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V // Materials and processing Technology. Materials science forum. 2017. V. 906. P. 1–7. doi: 10.428/www.scientific.net/MSF.906.1.
13. Osetkovskiy I.V., Kozyrev N.A., Kryukov R.E. Studying the Influence of Tungsten and Chromium Additives in Flux Cored Wire System Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co on Surfaced Metal Properties // Materials and processing Technology. Materials science forum. 2017. V. 906. P. 107–113. doi: 10.428/www.scientific.net/MSF.906.107.
14. 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.
15. Osetkovskiy I.V., Kozyrev N.A., Kryukov R.E. etc. Development of a wear-resistant flux cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V system for deposit welding of mining equipment parts // International Scientific and Research Conference on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDUMUR2017), 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation. 2017. V. 84. P. 1–7. doi: 10.1088/1755-1315/84/1/012017.
16. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Usoltsev A.A. etc. Study of the properties of flux cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co system for the strengthening of nodes and parts of equipment used in the mineral mining // International Scientific and Research Conference on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDUMUR2017), 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation. 2017. V. 84. P. 1–5. doi: 10.1088/1755-1315/84/1/012018.
17. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Osetkovskiy I.V. etc. Quality of Metal Deposited Flux Cored Wire With the System Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co // International Scientific-Practical Conference: Innovations in Fuel and Energy Complex and Mechanical Engineering (FEC-2017), 18–21 April 2017, Kemerovo, Russian Federation IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. V. 253. P. 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/253/1/012008.
18. Осетковский И.В., Козырев Н.А., Гусев А.И. и др. Износостойкость металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe–C–Si–Mn–Ni–Mo–W–V и Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. № 4 (22). С. 21–24.
19. Козырев Н.А., Гусев А.И., Крюков Р.Е. и др. Разработка новых порошковых проволок для наплавки деталей, работающих в условиях ударно-абразивного износа // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 7 (1423). С. 70–77.
20. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Osetkovskiy I.V., Usoltsev A.A. Developing New Powder Wire for Surfacing Details Which Works in the Wear Resistance Conditions // Materials and processing Technology. Materials science forum, 2018. V. 927. P. 126–133. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.927.126.
21. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Usoltsev A.A. etc. Development of a flux-cored wire for surfacing mining equipment operating in the conditions of shock-abrasive wear // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. V. 206. P. 1–6. doi: 10.1088/1755-1315/206/1/012034.
22. Гусев А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А. и др. Разработка порошковой проволоки для наплавки деталей, работающих в условиях износа // Изв. вузов. Черная металлургия. 2018. Т. 61. № 11. С. 898–906.
23. Гусев А.И., Козырев Н.А., Хомичева В.Е. и др. Разработка порошковой проволоки для наплавки деталей, работающих в условиях износа // Вестник РАЕН (Западно-Сибирское отделение). 2018. Вып. 21. С. 109–123.
24. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. — М.: Высшая школа, 1999. — 576 с.
25. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: издательский центр «Академия», 2003. — 464 с.
26. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика. — М.: Высшая школа, 2003. — 479 с.
27. Пат. 2641590 РФ, МПК⁸ 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.
28. Пат. 2632505 РФ, МПК⁸ В 23 К 35/36, В 23 Р 6/00. Порошковая проволока / Н.А. Козырев, И.В. Осетковский, Г.В. Галевский, Р.Е. Крюков, А.И. Гусев, О.Е., Козырева А.А. Усольцев // Заявл. 22.06.2016; опубл. 5.10.2017. Бюл. № 28.

Поступила 28 января 2019 г.

REFERENCES

1. *Tekhnologiya elektricheskoi svarki metallov i spлавov plavleniem* [Technology of electric welding of metals and alloys by fusion]. Paton B.E. ed. Moscow: Metallurgiya, 1974, 768 p. (In Russ.).
2. Teplyashin M.V., Komkov V.G. Study of effect of alloying elements on wear resistance in alloys, intended for electro-slag building-up of hammer mills beaters. *Uchenye zametki TOGU*, 2013, vol. 4, no. 4, pp. 1554–1561. (In Russ.).
3. Teplyashin M.V., Komkov V.G., Starienko V.A. Elaboration of thrifty-alloyed alloy for restoration of hammer mills beaters. *Uchenye zametki TOGU*, 2013, vol. 4, no. 4, pp. 1543–1549. (Russ.).
4. Cheilyakh Ya.A., Chigarev V.V. Elaboration of hrifty-alloyed Fe–Cr–Mn steel composition with control of content and meta-stability of austenite. *Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, 2011, no. 22, pp. 103–108. (Russ.).
5. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron. *Welding International*, 2008, vol. 22, pp. 796–800.
6. 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, 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. 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, pp. 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/125/1/01/012027.
10. Osetkovskii I.V., Kozyrev N.A., Kibko N.V., Popova M.V., Kryukov R.E. Study of cobalt influence on the structure and properties of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V metal system, built-up by a cored wire. *Aktual'nye problemy v mashinostroenii*, 2017, vol. 4, no. 2, pp. 100–106. (In Russ.).
11. Osetkovskiy I.V., Kozyrev N.A., Gusev A.I., Kozyreva O.A., Gizatulina R.A., Valuev D.V. Influence of the cobalt additive on the flux cored wire of system Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V. *Key engineering materials*, 2017, vol. 736, pp. 63–67. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.63.
12. Osetkovskiy I.V., Kozyrev N.A., Kryukov R.E. Abrasive Wear Resistance Comparative Analysis of the Metal Surfaced by Flux Cored Wires Systems Fe–C–Si–Mn–Ni–Mo–W–V and Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V. *Materials and processing Technology. Materials science forum*, 2017, vol. 906, pp. 1–7. doi: 10.428/www.scientific.net/MSF.906.1.
13. Osetkovskiy I.V., Kozyrev N.A., Kryukov R.E. Studying the Influence of Tungsten and Chromium Additives in Flux Cored Wire System Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co on Surfaced Metal Properties. *Materials and processing Technology. Materials science forum*, 2017, vol. 906, pp. 107–113. doi: 10.428/www.scientific.net/MSF.906.107.
14. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Kibko N.V., Popova M.V., Kryukov R.E. Study of the structure and properties of the metal, built-up by a cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co system. *Aktual'nye problemy v mashinostroenii*, 2017, vol. 4, no. 2, pp. 113–119. (In Russ.).
15. Osetkovskiy I.V., Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Usoltsev A.A., Gusev A.I. Development of a wear-resistant flux cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V system for deposit welding of mining equipment parts. *International Scientific and Research Conference on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDMUR2017), 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation*, 2017, vol. 84, pp. 1–7. doi: 10.1088/1755-1315/84/1/012017.
16. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Usoltsev A.A., Kryukov R.E., Osetkovskiy I.V. Study of the properties of flux cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co system for the strengthening of nodes and parts of equipment used in the mineral mining. *International Scientific and Research Conference on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDMUR2017), 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation*, 2017, vol. 84, pp. 1–5. doi: 10.1088/1755-1315/84/1/012018.
17. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Osetkovskiy I.V., Kryukov R.E., Kozyreva O.A. Quality of Metal Deposited Flux Cored Wire With the System Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co. *International Scientific-Practical Conference: Innovations in Fuel and Energy Complex and Mechanical Engineering (FEC-2017), 18–21 April 2017, Kemerovo, Russian Federation IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 253, pp. 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/253/1/012008.
18. Osetkovskii I.V., Kozyrev N.A., Gusev A.I., Kryukov R.E., Popova M.V. Wear-resistance of the metal built-up by cored wires of Fe–C–Si–Mn–Ni–Mo–W–V and Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V systems. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*, 2017, no. 4 (22), pp. 21–24. (In Russ.).
19. Kozyrev N.A., Gusev A.I., Kryukov R.E., Usol'tsev A.A., Bashchenko L.P. Elaboration of new cores wires for building-up details, operating under conditions of shock-abrasive wear. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2018, no. 7 (1423), pp. 70–77. (In Russ.).
20. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Osetkovskiy I.V., Usoltsev A.A. Developing New Powder Wire for Surfacing Details Which Works in the Wear Resistance Conditions. *Materials and processing Technology. Materials science forum*, 2018, vol. 927, pp. 126–133. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.927.126.
21. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Usoltsev A.A., Kryukov R.E., Mikhno A.R. Development of a flux-cored wire for surfacing mining equipment operating in the conditions of shock-abrasive wear. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 206, pp. 1–6. doi: 10.1088/1755-1315/206/1/012034.

22. Gusev A.I., Usol'tsev A.A., Kozyrev N.A., Kibko N.V., Bashchenko L.P. Elaboration of a cored wire for building-up details, operating under wear conditions. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya*, 2018, vol. 61, no. 11, pp. 898–906. (In Russ.).
23. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Khomicheva V.E., Usol'tsev A.A., Kryukov R.E. Elaboration of a cored wire for building-up details, operating under wear conditions. *Vestnik RAEN (Zapadno-Sibirskoe otделение)*, 2018, no. 21, pp. 109–123. (In Russ.).
24. Venttsel' E.S. *Teoriya veroyatnostei* [Theory of probabilities]. Moscow: Vysshaya shkola, 1999, 576 p. (In Russ.).
25. Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya veroyatnostei i ee inzhenernye prilozheniya* [Theory of probabilities and its engineer applications]. Moscow: izdatel'skii tsentr "Akademiya", 2003, 464 p. (In Russ.).
26. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika* [Theory of probabilities and mathematical statistic]. Moscow: Vysshaya shkola, 2003, 479 p. (In Russ.).
27. Kozyrev N.A., Gusev A.I., Galevskii G.V., Kryukov R.E., Osetkovskii 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. *Byulleten' izobretenii*, 2018, no. 2. (In Russ.).
28. Kozyrev N.A., Osetkovskii I.V., Galevskii G.V., Kryukov R.E., Gusev A.I., Kozyreva O.E., Usol'tsev A.A. *Poroshkovaya provoloka* [Cored wire]. Patent RF no. 2632505. IPC B 23 K35/36, B 23 P 6/00. *Byulleten' izobretenii*, 2017, no. 28. (In Russ.).

Received January 28, 2019