ВЛИЯНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ХРОМА И УГЛЕРОДА В ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКЕ СИСТЕМЫ Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАПЛАВЛЯЕМОГО МЕТАЛЛА

*Н. А. КОЗЫРЕВ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения, литейного и сварочного производства, kozurev_na@mtsp.sibsiu.ru; А. Н. ПРУДНИКОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства; А. Р. МИХНО, аспирант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства; И. В. ОСЕТКОВСКИЙ, аспирант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства; А. А. КОМАРОВ, бакалавр кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства
(Сибирский государственный индустриальный университет, Россия, Кемеровская обл., г. Новокузнецк)*

Аннотация. Наиболее перспективным направлением ремонта и восстановления изнашивающихся поверхностей горно-шахтного оборудования является наплавка на них слоя, обладающего высокой твердостью, абразивной и ударно-абразивной износостойкостью. Для этих целей применяются специальные наплавочные порошковые проволоки, разработка и производство которых осуществляется как в России, так и за рубежом. Целью исследования являлось изучение влияния содержания хрома и углерода в составе шихты новой порошковой проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V на микроструктуру, износ и твердость наплавленного металла. В качестве наполнителя (шихты) использовали порошкообразные материалы: железо ПЖВ1, ферросилиций ФС75, высокоуглеродистый феррохром ФХ900А, углеродистый ферромарганец ФМн78(А), никель ПНК-1Л5, ферромolibден ФМо60, феррованадий ФВ50У0,6, кобальт ПК-1У, вольфрам ПВН. Образцы проволоки изготавливали на лабораторном станке путем многократного пропускания через фильеры. Наплавку с применением изготовленной проволоки осуществляли в три слоя под флюсом АН-26С на сварочном тракторе АСАВ-1250 при режиме наплавки: $I = 500$ А, $U = 29$ В, $V_{св} = 15$ м/ч. Представлены результаты исследования химического состава, твердости и износостойкости наплавленных слоев. Установлена зависимость твердости наплавленного слоя и его износостойкости от массовой доли элементов, входящих в состав исследуемых порошковых проволок. Показано, что увеличение его твердости и уменьшение скорости износа происходит за счет как формирования мартенситной структуры наплавленного металла, так и увеличения объемной доли карбидной фазы хрома при повышении содержания хрома с 1,8 до 5,2 %, а углерода с 0,20 до 0,28 %.

Ключевые слова: ремонт и восстановление изнашивающихся поверхностей, наплавочные порошковые проволоки, состав порошковых проволок, износ и твердость наплавленного металла, физико-механические свойства наплавленного металла.

Ссылка для цитирования: Козырев Н.А., Прудников А.Н., Михно А.Р., Осетковский И.В., Комаров А.А. Влияние увеличения содержания хрома и углерода в порошковой проволоке системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V на физико-механические свойства наплавленного металла // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76. № 5. С. 488-495.

Doi: 10.32339/0135-5910-2020-5-488-495

EFFECT OF INCREASE OF CHROME AND CARBON CONTENT IN THE CORED WIRE OF Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V SYSTEM ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BUILT-UP METAL

N. A. KOZYREV, HD (Tech.), Prof., Head of Dpt. "Material science, foundry and welding production", kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru; A. N. PRUDNIKOV, HD (Tech.), Prof., Dpt. "Material science, foundry and welding production"; A. R. MIKHNO, postgraduate, Dpt. "Material science, foundry and welding production"; I. V. OSETKOVSKII, postgraduate, Dpt. "Material science, foundry and welding production"; A. A. KOMAROV, bachelor, Dpt. "Material science, foundry and welding production" (Siberian State Industrial University, Russia, Kemerovo rgn., Novokuznetsk)

Abstract. Building-up of a layer, having high hardness, abrasive and shock-abrasive wear resistance on worn surfaces of mining equipment is the most perspective direction of their repair and restoration. For these purposes special building-up cored wires are used, development and production of which is made in both Russia and abroad. The aim of the research was to study the effect of chrome and carbon content in the blend of a new Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V system cored wire on microstructure, wear and hardness of built-up metal. As a filler (blend) powdered materials were used: iron ПЖВ1, ferrosilicon ФС75, high-carbon ferrochrome ФХ900А, carbonaceous ferromanganese ФМн78(А), nickel ПНК-1Л5, ferromolybdenum ФМо60, ferrovanadium ФВ50У0,6, cobalt ПК-1У, tungsten ПБН. Samples of the wire were made at a laboratory facility by multiple drawing through draw plate. The building-up by the manufactured wire was made in three layers under flux АН-26С at a welding machine АSAW-1250 with the following parameters: $I = 500$ А, $U = 29$ V, $V_{\text{weld}} = 15$ m/h. Results of the study of chemical composition, hardness and wear resistance of the built-up layers presented. A dependence of built-up layer hardness and its wear resistance on mass share of elements comprising the composition of the studied cored wires. It was shown, that the increase of hardness and decrease of wear speed takes place due to forming of martensitic structure of the built-up metal and due to increase of volume share of carbide phase of chrome when increasing chrome content from 1.8 until 5.2%, and carbon from 0.20 until 0.28%.

Key words: repair and restoration of worn surfaces, building-up cored wires, composition of cored wires, wear and hardness of the built-up metal, physical and mechanical properties of built-up metal.

For citation: Kozyrev N.A., Prudnikov A.N., Mikhno A.R., Osetkovskii I.V., Komarov A.A. Effect of increase of chrome and carbon content in the cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V system on physical and mechanical properties of built-up metal. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2020, vol. 76, no. 5, pp. 488-495. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2020-5-488-495.

Механизмы и машины горно-шахтного оборудования испытывают абразивный и ударный износ при эксплуатации и в результате этого могут преждевременно выходить из строя. Износ их рабочих поверхностей вызывает необходимость в проведении восстановления. Поэтому разработка материалов для ремонтных работ, значительно повышающих износостойкость таких деталей, и использование технологии их восстановления является важной и актуальной задачей. При разработке нового наплавочного материала определяющим является выбор системы легирования сплава, который учитывает условия работы детали. Благодаря оптимально подобранному химическому составу порошковой проволоки и полученному при наплавке покрытию возможно получение наплавленного слоя, обладающего высокими значениями твердости, абразивной и ударно-абразивной износостойкости [1–10].

Наиболее перспективным для ремонтно-восстановительных работ является использование наплавки порошковой проволокой на изнашивающиеся поверхности деталей. Для этих целей в нашей стране и за рубежом ведется разработка и производство специальных наплавочных порошковых проволок. 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 [11].

Данная работа продолжает исследования по разработке новых составов порошковых проволок, используемых для наплавки изделий, работающих в условиях абразивного износа в горно-рудной промышленности. Причем ряд работ посвящен созданию новых типов проволок системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V, исследованию твердости и износостойкости наплавленных слоев, выполненных опытными порошковыми проволоками [12–27]. Наиболее перспективные составы порошковых проволок защищены патентами [28, 29].

В представленной работе изучалось влияние изменения содержания хрома и углерода в составе шихты новой порошковой проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V на микроструктуру, износ и твердость наплавленного металла.

Изготовление порошковой хромсодержащей проволоки проводили с использованием следующих порошковых материалов: железо ПЖВ1 по ГОСТ 9849–86, ферросилиций ФС75 по ГОСТ 1415–93, высокоуглеродистый феррохром ФХ900А по ГОСТ 4757–91, углеродистый ферромарганец ФМн78(А) по ГОСТ 4755–91, никель ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722–97, ферромolibден ФМо60 по ГОСТ 4759–91, феррованадий ФВ50У0,6 по ГОСТ 27130–94, кобальт ПК-1У по ГОСТ 9721 феррованадий ФВ50У 0,6 по ГОСТ

27130–9479, вольфрам ПВН по ТУ 48-19-72–92, в качестве углеродсодержащего материала использовали пыль газоочистки алюминиевого производства следующего состава, % (мас.): 21–46 Al_2O_3 ; 18–27 F; 8–15 Na_2O ; 0,4–6 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.

Порошковую проволоку производили на лабораторном станке для изготовления порошковых проволок. С помощью станка проводили сворачивание ленты, а дальнейшее уменьшение диаметра свернутой заготовки выполняли путем волочения через фильеру с последующей намоткой полученной порошковой проволоки на барабан.

Наплавку металла осуществляли в лабораторных условиях на пластины из стали Ст3 в три

слоя под флюсом АН-26С с использованием сварочного трактора АСАВ-1250 при режиме наплавки: сила тока $I = 500$ А, напряжение $U = 29$ В, скорость сварки $V_{\text{св}} = 15$ м/ч.

Определение химического состава наплавленного металла проводили атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71 и рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800. Для измерения твердости исследуемых образцов использовали ультразвуковой твердомер УЗИТ-3 по ГОСТ 9013–59. Скорость износа наплавленных слоев определяли путем проведения испытаний на износ на машине 2070 СМТ-1 по схеме диск – колодка. Результаты определения химического состава наплавленных образцов, их твердости и скорости износа представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

TABLE 1. CHEMICAL COMPOSITION OF THE BUILT-UP METAL

Номер образца	Массовая доля элементов %												Твердость HRC	Скорость износа, г/об.×10 ⁵
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	V	Mo	Al	S	P		
1	0,20	0,67	0,77	1,78	0,54	0,08	0,004	1,20	0,52	0,028	0,042	0,019	42	3,29
2	0,22	0,72	0,73	2,62	0,52	0,06	0,001	1,27	0,56	0,028	0,045	0,016	47	3,18
3	0,24	0,72	0,78	3,42	0,52	0,06	0,002	1,26	0,51	0,030	0,042	0,013	48	3,16
4	0,26	0,84	0,75	4,48	0,58	0,06	0,006	1,36	0,55	0,031	0,043	0,013	49	3,10
5	0,28	0,82	0,64	5,22	0,52	0,06	0,001	1,33	0,54	0,031	0,046	0,014	51	3,09

Металлографический анализ наплавленных слоев проводили в светлом поле при увеличениях ×100, 500 с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX51.

Наличие неметаллических включений в наплавленных образцах определяли согласно ГОСТ 1778–70. Полученные результаты представлены в табл. 2 и на рис. 1.

Установлено, что увеличение содержания хрома с 1,8 до 5,2 % и углерода с 0,20 до 0,28 % в наплавленном металле практически не влияет на уровень его загрязненности неметаллическими включениями, а также на их состав и морфологию.

Анализ микроструктуры наплавленных слоев (рис. 2) показал, что при одновременном увеличении содержания хрома с 1,8 до 5,2 % в наплавленном металле и повышении количества углерода с 0,20 до 0,28 % в структуре всех наплавленных слоев указанного состава содер-

жатся участки мартенситной или трооститной структуры, ферритные межзеренные прослойки, а также выделения карбидов преимущественно хрома.

ТАБЛИЦА 2. СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ, ПРИСУТСТВУЮЩИХ В НАПЛАВЛЕННЫХ ОБРАЗЦАХ

TABLE 2. COMPOSITION AND CHARACTERISTICS OF NONMETALLIC INCLUSIONS IN THE BUILT-UP SAMPLES

Номер образца	Силикаты недеформирующиеся	Оксиды точечные
1	1б, 2б, 3а	1а
2	1б, 2б, 2а	1а, 2а
3	1б, 2б, 2а	1а
4	2б, 3а	1а
5	2б, 2а, 3а	1а

Рис. 1. Микроскопическое изображение наплавленных слоев, полученных опытными порошковыми проволоками с различным содержанием хрома (образцы без травления), $\times 100$

Fig. 1. Microscopical image of built-up layers, obtained by usage of test cored wires with various chrome content (samples without etching), $\times 100$

Рис. 2. Микроструктура наплавленного слоя образцов с различным содержанием хрома, $\times 500$

Fig. 2. Microstructure of the built-up layer of samples with various chrome content, $\times 500$

С увеличением в наплавленном металле содержания хрома в его структуре уменьшается объемная доля феррита, что выражается в снижении размеров ферритных участков и толщины прослоек феррита, выделившегося по границам бывших аустенитных зерен. Причем при малых содержаниях хрома (образцы № 1 и 2) участки феррита характеризуются грубой пластинчатой формой со средним размером 15–40 мкм. Кроме того, при небольших содержаниях хрома в струк-

туре наплавленного слоя имеются участки пластинчатого мартенсита, троостита и перлита. Увеличение содержания хрома в наплавленном металле до 4–5 % приводит к появлению в металле только мартенситной структуры с прослойками феррита по границам зерен бывшего аустенита. При этом мартенсит имеет мелко-игльчатый тип со значительно меньшим размером игл. Для наплавленного образца с 5,2 % Cr и 0,28 % C (образец № 5) средний размер мартенситных игл составляет 3–8 мкм.

Следует отметить, что в структуре более легированных хромом образцов (образцы № 4 и 5) присутствует повышенная объемная доля карбидной фазы, в состав которой входят преимущественно монокарбиды хрома, а также сложные карбиды, содержащие железо, хром, ванадий. Размер таких частиц, расположенных равномерно по сечению образца, не превышает 2 мкм.

Математико-статистическими методами проведена оценка влияния химического состава порошковых проволок на скорость износа и твердость наплавленного слоя, позволившая изучить закономерности изменения результирующего показателя в зависимости от поведения различных факторов. Таким образом, углерод, хром, а также кремний и ванадий в исследуемых пределах одновременно повышают твердость наплавленного слоя и уменьшают скорость износа образцов (рис. 3–6), при этом концентрации углерода и хрома обеспечивают качественное нанесение наплавленного слоя (без пор, раковин и трещин) без применения специальных мероприятий — дополнительного подогрева обрабатываемой детали и нанесения переходной подложки для наплавки.

Полученные зависимости использованы при разработке химического состава новых порошковых проволок.

Рис. 3. Влияние содержания углерода на твердость и скорость истирания наплавленных слоев

Fig. 3. Effect of carbon content on hardness and abrasion speed of built-up layers

Рис. 5. Влияние изменения концентрации кремния на твердость и скорость истирания

Fig. 5. Effect of silicon concentration variation on hardness and abrasion speed

Рис. 4. Влияние содержания хрома на твердость и скорость истирания наплавленных слоев

Fig. 4. Effect of chrome content on hardness and abrasion speed of built-up layers

Рис. 6. Влияние изменения концентрации ванадия на твердость и скорость истирания

Fig. 6. Effect of vanadium concentration on hardness and abrasion speed

Выводы

1. Установлено, что при увеличении содержания хрома и углерода в наплавленных слоях металла повышается их твердость и снижается абразивный износ.

2. Определенно, что с повышением содержания хрома с 1,8 до 5,2 % в наплавленном метал-

ле и повышении количества углерода с 0,20 до 0,28 % увеличивается твердость образцов и уменьшается скорость износа за счет формирования мартенситной структуры наплавленного металла, а также за счет увеличения объемной доли карбидной фазы хрома.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макиенко В.М., Романов И.О., Строитель Д.В., Клиндух В.Ф. Порошковая проволока для наплавки зубьев ковшей экскаваторов с использованием минерального сырья Дальневосточного региона // Ремонт, восстановление, модернизация. 2008. № 1. С. 7–13.
2. Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П. Исследование структуры и ударно-абразивной износостойкости покрытий системы Fe–C–Cr–Mn–Si, дополнительно легированных азотом // Сварочное производство. 2011. № 10. С. 18–22.
3. Нефедьев С.П., Дёма Р.Р., Котенко Д.А. Абразивная и ударно-абразивная износостойкость твердых наплавленных покрытий // Вестник ЮУрГУ. Сер. Metallurgy. 2015. Т. 15. № 1. С. 103–106.
4. Башмакова Т.Н. Влияние легирования на образование карбидной фазы, структуру и свойства наплавленного металла системы Fe–C–Cr // Автоматическая сварка. 1998. № 12. С. 39–42.
5. Wei S., Zhu J., Xu L. Research on wear resistance of high speed steel with high vanadium content // Materials Science and Engineering A. 2005. V. 404. № 1–2. P. 138–145.
6. Андрущенко М.И., Рузов О.Э., Куликовский Р.А., Брыков Н.Н. Влияние углерода и хрома на способность к упрочнению и износостойкость бескарбидных сталей в условиях абразивного изнашивания // Проблемы трибологии. 2003. № 2. С. 112–116.
7. Куликовский Р.А., Андрущенко М.И., Брыков Н.Н. Изменение способности сталей к упрочнению в процессе изнашивания в зависимости от структуры и химического состава // Проблемы механики горно-металлургического комплекса: тезисы докладов междунар. научно-техн. конф. — Д.: НГУ, 2004. С. 79–80.
8. Filippov M.A., Shumiyakov V.I., Balin S.A. etc. Structure and wear resistance of deposited alloys based on metastable chromium-carbon austenite // Welding International. 2015. V. 29. № 10. P. 819–822.
9. Deng X.T., Fu T.L., Wang Z.D. etc. Epsilon carbide precipitation and wear behavior of low alloy wear resistant steels // Materials Science and Technology. 2016. V. 32. № 4. P. 320–327.
10. 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.
11. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б.Е. Патона. — М.: Metallurgy, 1974. — 768 с.
12. 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.
13. 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.
14. Козырев Н.А., Гусев А.И., Крюков 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.
15. 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.
16. Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В. и др. Влияние введения вольфрама и хрома на свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co // Заготовительные производства в машиностроении. 2019. Т. 17. № 2. С. 56–60.
17. Осетковский И.В., Козырев Н.А., Гусев А.И. и др. Сравнительный анализ абразивной износостойкости металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe–C–Si–Mn–Ni–Mo–W–V и Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V // Заготовительные производства в машиностроении. 2019. Т. 17. № 5. С. 198–202.
18. Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е. и др. 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. 860–866.
19. 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 // Key engineering materials. 2017. V. 736. P. 23–28. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.23.
20. 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.
21. 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 (KTD-MUR2017), 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation. 2017. V. 84. P. 1–7. doi: 10.1088/1755-1315/84/1/012017.
22. 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 (KTD-MUR2017), 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation. 2017. V. 84. P. 1–5. doi: 10.1088/1755-1315/84/1/012018.
23. 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.
24. 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.
25. 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 Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. 206 (1): 012034. P. 1–6. doi: 10.1088/1755-1315/206/1/012034.

26. Gusev A.I., Usoltsev A.A., Kozyrev N.A. etc. Flux-Cored Wire for the Surfacing of Parts Subject to Wear // *Steel in Translation*. 2018. V. 48. № 11. P. 724–731.
27. Kozyrev N.A., Usoltsev A.A., Kryukov R.E. etc. Operational factors of new flux cored wires of the Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo system for surfacing of protective plates of shearer cutting drums // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental / Science International Scientific and Research Conference on Knowledge-based technologies in development and utilization of mineral resources 4–7 June 2019, SibSIU, Novokuznetsk, Russia*. 2019. V. 377. 0121022. P. 1–12. doi: 10.1088/1755-1315/377/1/012022.
28. Пат. 2632505 РФ, МПК 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. 05.10.2017. Бюл. № 28.
29. 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.

Поступила 21 января 2020 г.

REFERENCES

1. Makienko V.M., Romanov I.O., Stroitelev D.V. etc. Cored wire for building-up excavator bucket cogs by application mineral raw materials of Far-East region. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya*, 2008, no. 1, pp. 7–13. (In Russ.).
2. Emelyushin A.N., Petrochenko E.V., Nefediev S.P. Study of structure and shock-abrasive wear resistance of Fe–C–Cr–Mn–Si, system coatings additionally alloyed by nitrogen. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2011, no. 10, pp. 18–22. (In Russ.).
3. Nefediev S.P., Dyema R.R., Kotenko D.A. Abrasive and shock-abrasive wear resistance of hard built-up coatings. *Vestnik YuUrGU. Ser. Metallurgiya*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 103–106. (In Russ.).
4. Bashmakova T.N. Effect of alloying on formation of carbide phase, structure and properties of built-up metal of Fe–C–Cr system. *Avtomaticheskaya svarka*, 1998, no. 12, pp. 39–42. (In Russ.).
5. Wei S., Zhu J., Xu L. Research on wear resistance of high speed steel with high vanadium content. *Materials Science and Engineering A*, 2005, vol. 404, no. 1–2, pp. 138–145.
6. Andruschenko M.I., Rusov O.E., Kulikovskiy R.A. etc. Effect of carbon and chrome on ability to harden and wear resistance of carbide-free steels under conditions of abrasive wear. *Problemy tribologii*, 2003, no. 2, pp. 112–116. (In Russ.).
7. Kulikovskiy R.A., Andruschenko M.I., Brykov N.N. Variation of steels ability to hardening in the process of wear depending on structure and chemical composition. *Problemy mekhaniki gorno-metallurgicheskogo kompleksa: tezisy dokladov mezhdunar. nauchno-tekhn. konf.* D.: NGU, 2004, pp. 79–80. (In Russ.).
8. Filippov M.A., Shumyakov V.I., Balin S.A. etc. Structure and wear resistance of deposited alloys based on metastable chromium-carbon austenite. *Welding International*, 2015, vol. 29, no. 10, pp. 819–822.
9. Deng X.T., Fu T.L., Wang Z.D. etc. Epsilon carbide precipitation and wear behavior of low alloy wear resistant steels. *Materials Science and Technology*, 2016, vol. 32, no. 4, pp. 320–327.
10. 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, pp. 1056–1061.
11. Technology of electrical welding of metals and alloys by fusion / Edited by B.E. Paton. Moscow: Metallurgiya, 1974, 768 p. (In Russ.).
12. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Kibko N.V. etc. Study of structure and properties of 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.).
13. Gusev A.I., Kibko N.V., Popova M.V. etc. Building-up by cored wires of C–Si–Mn–Mo–V–B and C–Si–Mn–Cr–Mo–V systems on details of mining equipment. *Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya*, 2017, vol. 60, no. 4, pp. 318–323. (In Russ.).
14. Kozyrev N.A., Gusev A.I., Kryukov R.E. etc. Elaboration of new cored 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.).
15. Gusev A.I., Usoltsev A.A., Kozyrev N.A. etc. Elaboration of a cored wire for building-up details, operating under wear conditions. *Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya*, 2018, vol. 61, no. 11, pp. 898–906. (In Russ.).
16. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Kibko N.V. etc. Effect of tungsten and chrome addition on properties of metal, built-up by a cored wire of Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co system. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*, 2019, vol. 17, no. 2, pp. 56–60. (In Russ.).
17. Osetkovskaya I.V., Kozyrev N.A., Gusev A.I. etc. Comparative analysis of abrasive wear resistance of 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. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*, 2019, vol. 17, no. 5, pp. 198–202. (In Russ.).
18. Kozyrev N.A., Usoltsev A.A., Kryukov R.E. etc. Operation indices of new cored wires of system Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 7, pp. 860–866. (In Russ.).
19. 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. *Key engineering materials*, 2017, vol. 736, pp. 23–28. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.23.
20. 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, vol. 736, pp. 63–67. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.63.
21. 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 (KTDMUR2017)*, 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation, 2017, vol. 84, pp. 1–7. doi: 10.1088/1755-1315/84/1/012017.

22. 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 (KTD-MUR2017)*, 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation, 2017, vol. 84, pp. 1–5. doi: 10.1088/1755-1315/84/1/012018.
23. 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, vol. 253, pp. 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/253/1/012008.
24. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Osetkovskiy I.V., Usoltsev A.A. Developing New Powder Wire for Surfacing Details Which Works in the Wear Resistace Conditions. *Materials and processing Technology. Materials science forum*, 2018, vol. 927, pp. 126–133. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.927.126.
25. 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 Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018, 206 (1): 012034, pp. 1–6. doi: 10.1088/1755-1315/206/1/012034.
26. Gusev A.I., Usoltsev A.A., Kozyrev N.A. etc. Flux-Cored Wire for the Surfacing of Parts Subject to Wear. *Steel in Translation*, 2018, vol. 48, no. 11, pp. 724–731.
27. Kozyrev N.A., Usoltsev A.A., Kryukov R.E. etc. Operational factors of new flux cored wires of the Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo system for surfacing of protective plates of shearer cutting drums. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental / Science International Scientific and Research Conference on Knowledge-based technologies in development and utilization of mineral resources*. 4–7 June 2019, SibSIU, Novokuznetsk, Russia, 2019, vol. 377, 0121022, pp. 1–12. doi: 10.1088/1755-1315/377/1/012022.
28. Kozyrev N.A., Osetkovskiy I.V., Galevsky G.V. etc. *Poroshkovaya provoloka* [A cored wire]. Patent RF no. 2632505. IPC B 23 K 35/36, B 23 P 6/00. *Byulleten' izobretenii*, 2017, no. 28.
29. Kozyrev N.A., Gusev A.I., Galevsky G.V. etc. *Poroshkovaya provoloka* [A cored wire]. Patent RF no. 2641590. IPC B 23 K 35/36, B 23 K 35/36. *Byulleten' izobretenii*, 2018, no. 2.

Received January 21, 2020