



Оригинальная статья

УДК 621.762.04:624.567.1:669

DOI 10.17073/0368-0797-2021-12-863-869



РАЗРАБОТКА НОВОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ОСНОВЕ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ СИЛИКОМАРГАНЦА

Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. А. Усольцев,
Н. В. Кибко, Л. П. Бащенко

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Изучена возможность применения порошковой проволоки для износостойкой наплавки, содержащей отходы (пыли газоочистки) производств силикомарганца и алюминия. Наплавку осуществляли с помощью сварочного трактора под флюсом, изготовленным из шлака силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода. Скорость износа на образцах определяли на машине 2070 СМТ-1. Метод определения скорости износа основан на изменении массы образца при испытании диск – колодка. Химический состав наплавленного металла определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Твердость наплавленных слоев измеряли с помощью твердомера МЕТ-ДУ. Оценку количества неметаллических включений проводили по ГОСТ 1778 – 70 с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51. В работе показана возможность применения для износостойкой наплавки порошковой проволоки, содержащей техногенные отходы производства силикомарганца и алюминия. Определен коэффициент усвоения марганца при различных соотношениях компонентов. Коэффициент усвоения марганца связан с восстановлением оксида марганца из марганецсодержащего флюса (за счет содержащегося в порошковой проволоке углерода). При значительном избытке углерода в порошковой проволоке из марганецсодержащего флюса усвоение марганца превышает 100 %. Процесс усвоения марганца определяется коэффициентом заполнения порошковой проволоки, количеством углеродсодержащего материала, находящегося в составе шихты, и содержанием углерода в самом электродуговом покрытии. В наплавленном металле присутствуют силикаты недеформирующиеся и оксиды точечные. Загрязненность оксидными неметаллическими включениями наплавленного металла небольшая. Присутствие данных неметаллических включений не оказывает существенного влияния на эксплуатационные характеристики наплавленного слоя.

Ключевые слова: порошковая проволока, наплавка, образцы, неметаллические включения, микроструктура, твердость, скорость истирания

Для цитирования: Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Кибко Н.В., Бащенко Л.П. Разработка новой порошковой проволоки на основе пыли газоочистки силикомарганца // Известия вузов. Черная металлургия. 2021. Т. 64. № 12. С. 863–869.
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-12-863-869>

Original article

DEVELOPMENT OF A NEW CORED WIRE BASED ON SILICA MANGANESE GAS-CLEANING DUST

N. A. Kozyrev, R. E. Kryukov, A. A. Usol'tsev,
N. V. Kibko, L. P. Bashchenko

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass, 654007, Russian Federation)

Abstract. The paper describes the possibility of using cored wire for wear-resistant hardfacing containing waste (dust of gas-cleaners) from the production of silica manganese and aluminum. Hardfacing was carried out using a submerged welding tractor made of silica manganese slag produced by the West Siberian Electrometallurgical Plant. The wear rate on the samples was determined on 2070 CMT-1 machine. The method for it is based on change in the sample mass during the disc – pad test. Chemical composition of the deposited metal was determined by X-ray fluorescence method on XRF-1800 spectrometer and by the atomic emission method on DFS-71 spectrometer. The hardness of the deposited layers was measured using METH-DO hardness tester. Evaluation of the quantity of nonmetallic inclusions was made according to GOST 1778 – 70 using an OLYMPUS GX-51 optical microscope. The coefficient of manganese recovery was found at different ratios of components. This coefficient is associated with the reduction of manganese oxide from manganese-containing flux (due to the carbon contained in the cored wire). With a significant excess of carbon in the cored wire from manganese-containing flux, recovery of manganese exceeds 100 %. The process of manganese recovery was determined by filling coefficient of the cored wire, amount of the carbon-containing material in the charge, and carbon content in the electric-arc coating itself. The deposited metal contains non-deformable silicates and point oxides. Contamination by oxide nonmetallic inclusions of the deposited metal is small. The presence of these non-metallic inclusions does not significantly affect the operational characteristics of the deposited layer.

Keywords: cored wire, hardfacing, samples, nonmetallic inclusions, microstructure, hardness, abrasion rate

For citation: Kozыrev N.A., Kryukov R.E., Usol'tsev A.A., Kibko N.V., Bashchenko L.P. Development of a new cored wire based on silica manganese gas-cleaning dust. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2021, vol. 64, no. 12, pp. 863–869. (In Russ.).
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-12-863-869>

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации и за рубежом большое внимание уделяется вопросам разработки новых материалов. Одним из направлений является разработка порошковых проволок для наплавки [1 – 4]. Представляют интерес [5 – 8] экономно легированные технологичные наплавочные материалы, которые обеспечивают получение в наплавленном металле структуры низкоуглеродистого мартенсита (наблюдается эффект самозакалки при охлаждении). При применении таких экономичных наплавочных материалов в наплавленном металле формируется бейнитно-аустенитная структура. Такая структура обладает более высокой износостойкостью, чем получаемая при наплавке широко применяемой порошковой проволоки ПП-Нп-18Х1Г1М, содержащей дорогостоящий молибден [9 – 12].

Проволоки на основе марганца и марганецсодержащих компонентов играют важную роль для износостойкости наплавки. Особенностью низкоуглеродистого марганцевого наплавленного металла мартенситного класса является увеличение абразивной износостойкости, несмотря на снижение твердости [13 – 16].

Одним из перспективных направлений в создании технологий формирования износостойких покрытий и наплавов электродуговым способом является применение порошковых проволок, содержащих в качестве флюсов техногенные отходы металлургических производств. Однако развитие рассматриваемого направления сдерживается из-за отсутствия данных о зависимостях и закономерностях влияния различных факторов на структуру и свойства покрытий. Именно поэтому исследования, в которых в качестве составляющих проволок используют отходы метал-

лургического производства [17 – 20], представляют особый интерес.

Целью настоящей работы являлась разработка новой порошковой проволоки на основе пыли газоочистки производства силикомарганца. Для этого изучали возможности применения для износостойкой наплавки порошковых проволок, содержащих пыль газоочисток производств силикомарганца (в качестве восстанавливаемого компонента – оксида марганца) и алюминия (в качестве восстановителя).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изготовление порошковой проволоки осуществляли на лабораторном станке, на котором производилось сворачивание ленты путем волочения через фильеру и намотка полученной порошковой проволоки на барабан. При переустановке фильер различных диаметров возможно уменьшение диаметра получаемой проволоки. От обычного волочильного барабана станок отличается измененной конструкцией захвата конца проволоки, малой скоростью волочения, наличием устройства для подачи смеси на ленту перед волокой и специальным приспособлением для смазки наружной поверхности ленты. Оболочка порошковой проволоки изготовлена из ленты мягкой малоуглеродистой стали марки Ст3 холодного проката (ширина ленты 20 мм, толщина 0,5 мм), диаметр проволоки 6 мм. Степень заполнения проволоки составляет (по объему): 68 – 70 % порошок, 30 – 32 % металлическая лента. В качестве наполнителя использовалась пыль газоочисток производства алюминия и силикомарганца. Химический состав пыли производства алюминия следующий, % (по массе): 21,00 – 46,23 Al_2O_3 ; 18 – 27 F; 8 – 15 % Na_2O ;

Т а б л и ц а 1

Параметры порошковых проволок

Table 1. Parameters of cored wires

Образец	Количество пыли газоочистки производства силикомарганца		Количество пыли газоочистки производства алюминия		Общая масса, г	Масса оболочки, г	Масса порошка, г	Коэффициент заполнения, %	Усвоение марганца, %
	г	%	г	%					
1	100	89,89	11,25	10,11	19,759	18,333	1,426	7,217	73
2	100	81,63	22,50	18,37	17,816	16,523	1,293	7,258	82
3	100	74,77	33,75	25,23	18,975	17,735	1,240	6,535	88
4	100	68,96	45,00	31,04	19,510	18,501	1,009	5,172	126
5	100	59,70	67,50	40,30	19,089	17,983	1,106	5,794	124
6	100	50,00	100,00	50,00	19,428	18,082	1,346	6,928	124

0,4 – 6,0 % K_2O ; 0,7 – 2,3 CaO ; 0,50 – 2,48 Si_2O_3 ; 2,10 – 3,27 Fe_2O_3 ; 12,5 – 30,2 $C_{общ}$; 0,07 – 0,90 MnO ; 0,06 – 0,90 MgO ; 0,09 – 0,19 S ; 0,10 – 0,18 P . Пыль газоочистки производства силикомарганца содержала, % (по массе): 2,43 Al_2O_3 ; 1,32 Na_2O ; 5,56 K_2O ; 6,4 CaO ; 29,19 SiO_2 ; 0,137 BaO ; 7,54 MgO ; 0,23 S ; 0,04 P ; 1,067 Fe ; 27,69 Mn ; 2,687 Zn ; 3,833 Pb . В табл. 1 приведены компонентные составы исследуемых проволок и полученные коэффициенты заполнения и усвоения марганца (используется погонная масса материалов, длина образца 0,25 м).

Наплавка проводилась с помощью сварочного трактора ASAW – 1250 на стальные пластины толщиной 14 – 16 мм размером 10×500 мм. Наплавку осуществляли под флюсом, изготовленным из шлака силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода. Состав шлака следующий, % (по массе): 6,91 – 9,62 Al_2O_3 ; 22,85 – 31,70 CaO ; 46,46 – 48,16 SiO_2 ; 0,27 – 0,81 FeO ; 6,48 – 7,92 MgO ; 8,01 – 8,43 MnO ; 0,28 – 0,76 F ; 0,26 – 0,36 Na_2O ; 0,6 – 2,0 K_2O ; 0,15 – 0,17 S ; 0,01 P . Режим наплавки: сила тока 520 А; напряжение 28 В; скорость сварки 18 м/ч. Химический состав электродугового покрытия определяли рентгенофлюоресцентным методом на спектрометре XRF-

1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71 (табл. 2). Твердость электродуговых покрытий измеряли с помощью твердомера МЕТ-ДУ [17, 18].

Для определения скорости износа использовался метод, основанный на изменении массы образца при испытании диск – колодка [17, 18]. Скорость износа образцов определяли на машине 2070 СМТ-1. Испытания на скорость износа проводились при нагрузке 78,4 Н и частоте 20 об/мин. Частоту вращения измеряли тахогенератором, установленным на валу двигателя. Количество оборотов вращения определяли бесконтактным способом. Образец при испытаниях взаимодействует с колодкой, которая изготовлена из стали марки Р18.

Неметаллические включения оценивались согласно ГОСТ 1778 – 70. С помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 были изучены микрошлифы без травления [17, 18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящей работе рассмотрена возможность применения для износостойкой наплавки порошковых проволок, содержащих пыль газоочисток производств алюминия (в качестве восстановителя) и силикомарган-

Т а б л и ц а 2

Химический состав слоя наплавленного металла

Table 2. Chemical composition of the deposited metal layer

Образец	Содержание, % (по массе)												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	V	Mo	Al	Nb	S	P
1	0,08	0,38	1,31	0,03	0,08	0,11	0,001	0,003	0,02	0,001	0,006	0,079	0,017
2	0,08	0,57	1,35	0,05	0,06	0,19	–	0,004	–	0,052	0,012	0,074	0,014
3	0,08	0,40	1,19	0,04	0,07	0,01	–	–	–	0,011	0,009	0,063	0,015
4	0,09	0,49	1,25	0,03	0,08	0,09	0,001	0,003	0,01	0,011	0,006	0,076	0,017
5	0,16	0,46	1,19	0,02	0,07	0,07	0,001	0,003	0,01	0,011	0,006	0,073	0,016
6	0,22	0,50	1,19	0,03	0,07	0,07	0,001	0,003	0,01	0,006	0,006	0,083	0,014

Т а б л и ц а 3

Химический состав шлаковых корок

Table 3. Chemical composition of slag crusts

Образец	Содержание, % (по массе)													
	FeO	MnO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	S	P	ZnO	Cr_2O_2	F	TiO_2
1	1,80	8,37	29,95	43,65	7,27	5,30	0,39	0,16	0,17	0,010	0,040	0,048	0,63	0,07
2	2,25	8,16	30,05	44,45	7,70	5,47	0,39	0,13	0,14	0,012	0,038	0,059	0,62	0,06
3	1,77	8,13	30,17	43,84	7,51	5,17	0,37	0,07	0,17	0,011	0,014	0,050	0,62	0,08
4	2,75	7,52	31,62	43,12	7,56	5,33	0,30	0,09	0,15	0,011	0,012	0,053	0,47	0,08
5	2,11	7,93	30,57	42,95	8,41	5,58	0,46	0,08	0,18	0,011	0,016	0,043	0,77	0,07
6	2,11	7,75	30,30	42,47	8,47	5,42	0,46	0,05	0,17	0,011	0,011	0,036	0,83	0,07

Таблица 4

Твердость НВ и износ образцов

Table 4. HB hardness and wear of the samples

Образец	Начальная масса, г	Масса после истирания, г	Количество бортов	Потеря массы образца, г	Износ, г/об.	НВ
1	82,587	82,139	3070	0,448	0,000146	126
2	92,395	91,960	3300	0,435	0,000132	136
3	89,288	88,780	4990	0,508	0,000102	132
4	84,935	84,495	3500	0,440	0,000126	133
5	113,299	112,974	3410	0,325	0,000095	143
6	115,758	115,338	3300	0,420	0,000127	167

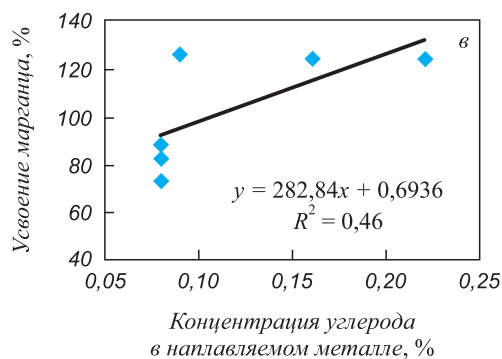
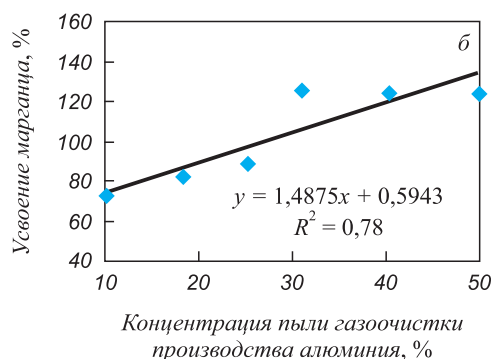
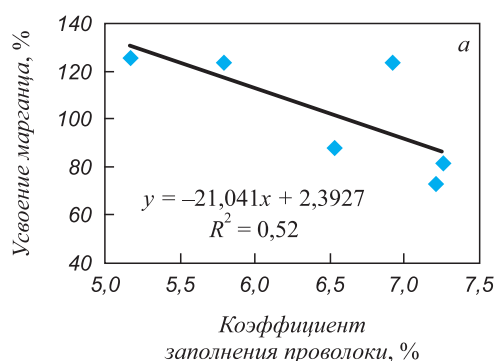


Рис. 1. Зависимость усвоения марганца от коэффициента заполнения порошковой проволоки (а), от концентрации пыли газоочистки производства алюминия (б) и от концентрации углерода в наплавляемом металле (в)

Fig. 1. Dependence of manganese recovery on the cored wire filling coefficient (a), on the concentration of dust from the gas-cleaning of aluminum production (b) and on carbon concentration in the deposited metal (v)

ца (в качестве восстанавливаемого компонента – оксида марганца).

В табл. 2, 3 приведены химический состав электродугового покрытия и состав шлаковых корок. Твердость и результаты испытания на скорость износа представлены в табл. 4.

Коэффициент усвоения марганца определяли как отношение содержания марганца в наплавленном металле к общему количеству введенного марганца. Этот коэффициент связан с восстановлением оксида марганца из марганецсодержащего флюса (за счет содержащегося в порошковой проволоке углерода). При значительном избытке углерода в порошковой проволоке из марганецсодержащего флюса усвоение марганца превышает 100 % (табл. 1). Процесс усвоения марганца определяется коэффициентом заполнения порошковой проволоки, количеством углеродсодержащего материала, находящегося в составе шихты, и содержанием углерода в самом электродуговом покрытии и содержанием марганца во флюсе (рис. 1). В качестве углеродсодержащего материала использовалась пыль газоочистки производства алюминия [17 – 20].

Таблица 5

Оценка неметаллических включений в зоне сварных швов

Table 5. Evaluation of non-metallic inclusions in the weld area

Образец	Неметаллические включения, балл	
	Силикаты недеформирующиеся	Оксиды точечные
1	16,26	1а, 2а, 3а
2	16	1а, 2а, 3а
3	26, редко 46	1а, 2а
4	26, 16	1а
5	26, 16	1а
6	16, редко 46	1а

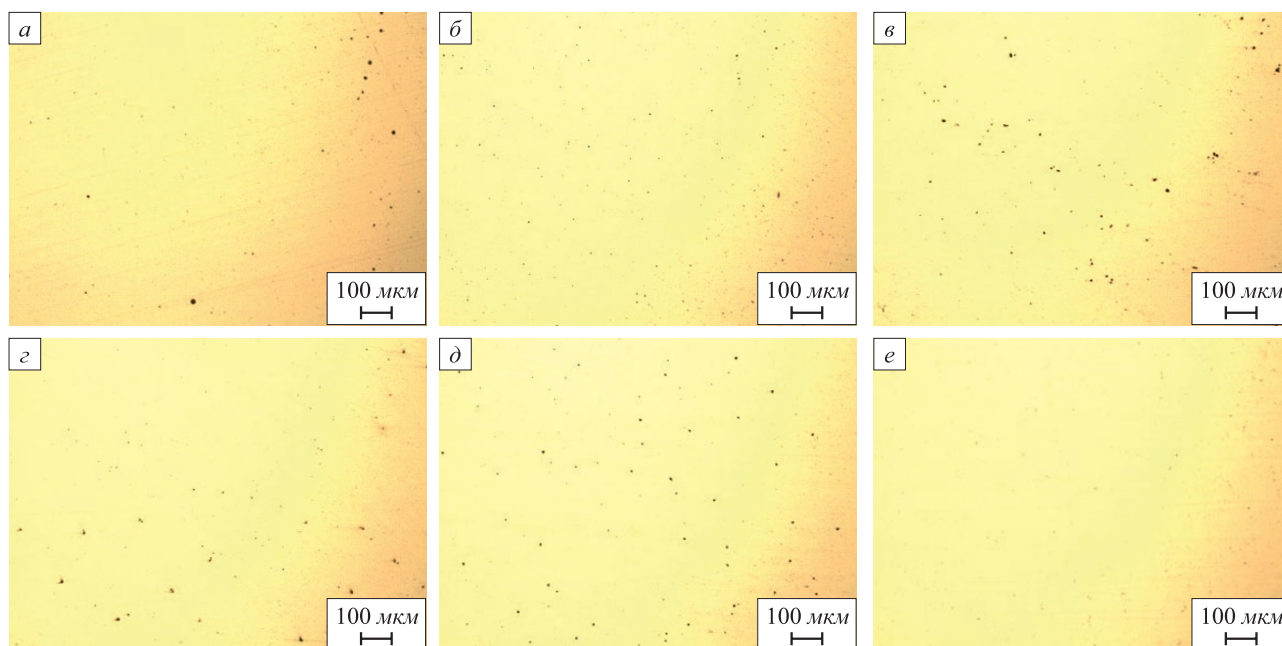


Рис. 2. Неметаллические включения в зоне наплавленных образцов 1 (а), 2 (б), 3 (в), 4 (г), 5 (д), 6 (е)

Fig. 2. Nonmetallic inclusions in the zone of deposited samples 1 (a), 2 (b), 3 (v), 4 (z), 5 (d), 6 (e)

Количество неметаллических включений в электродуговом покрытии определяли по ГОСТ 1778 – 70. Результаты оценки неметаллических включений представлены в табл. 5. На рис. 2 приведены неметаллические включения в электродуговом покрытии: присутствуют силикаты недеформирующиеся и оксиды точечные. Загрязненность оксидными неметаллическими включениями электродугового покрытия незначительная. Присутствие этих неметаллических включений не оказывает существенного влияния на эксплуатационные характеристики наплавленного слоя [16 – 20].

Для обработки результатов исследований были использованы методы статистической обработки экспериментальных данных, с помощью которых были построены зависимости влияния химического состава на свойства наплавленного слоя.

Выводы

Подтверждена возможность применения для износостойкой наплавки порошковых проволок, содержа-

щих пыль газоочисток производств алюминия (в качестве восстановителя) и силикомарганца (в качестве восстанавливаемого компонента – оксида марганца). Установлены параметры и режимы износостойкой наплавки. Определено усвоение марганца при различных соотношениях компонентов. В наплавленном металле выявлены силикаты недеформирующиеся и оксиды точечные. Загрязненность оксидными неметаллическими включениями наплавленного металла небольшая. Присутствие неметаллических включений не оказывает существенного влияния на эксплуатационные характеристики наплавленного слоя. Применение предлагаемой порошковой проволоки для износостойкой наплавки под слоем флюсом из шлака силикомарганца позволяет частично утилизировать техногенные отходы металлургического производства и уменьшить стоимость сварочных и наплавочных материалов, обеспечивая при этом хорошие эксплуатационные характеристики наплавленного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron // *Welding International*. 2008. Vol. 22. No. 11. P. 796–800. <https://doi.org/10.1080/09507110802593646>
2. Filippov M.A., Shumyakov V.I., Balin S.A., Zhilin A.S., Lehchilo V.V., Rimer G.A. Structure and wear resistance of deposited alloys based on metastable chromium-carbon austenite // *Welding International*. 2015. Vol. 29. No. 10. P. 819–822. <https://doi.org/10.1080/09507116.2014.986891>
3. Liu D.S., Liu R.P., Wei Y.H. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hardfacing alloy // *Materials Science*
1. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron. *Welding International*. 2008, vol. 22, no. 11, pp. 796–800. <https://doi.org/10.1080/09507110802593646>
2. Filippov M.A., Shumyakov V.I., Balin S.A., Zhilin A.S., Lehchilo V.V., Rimer G.A. Structure and wear resistance of deposited alloys based on metastable chromium-carbon austenite. *Welding International*. 2015, vol. 29, no. 10, pp. 819–822. <https://doi.org/10.1080/09507116.2014.986891>
3. Liu D.S., Liu R.P., Wei Y.H. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hardfacing alloy. *Materials Science*

- ce and Technology. 2013. Vol. 30. No. 3. P. 316–322.
<https://doi.org/10.1179/1743284713Y.0000000359>
4. Kejžar R., Grum J. Hardfacing of wear-resistant deposits by MAG welding with a flux-cored wire having graphite in its filling // *Materials and Manufacturing Processes*. 2005. Vol. 20. No. 6. P. 961–976.
5. 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.
<https://doi.org/10.1179/1743294414Y.0000000331>
6. 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*. 2017. Vol. 33. No. 1. P. 56–62. <https://doi.org/10.1080/02670844.2016.1176718>
7. Lim S.C., Gupta M., Goh Y.S., Seow K.C. Wear resistant WC–Co composite hard coatings // *Surface Engineering*. 1997. Vol. 13. No. 3. P. 247–250. <https://doi.org/10.1179/sur.1997.13.3.247>
8. Zhuk Yu. Super-hard wear-resistant coating systems // *Materials Technology*. 1999. Vol. 14. No. 3. P. 126–129.
<https://doi.org/10.1080/10667857.1999.11752827>
9. Hardell J., Yousfi A., Lund M., Pelcastre L., Prakash B. Abrasive wear behaviour of hardened high strength boron steel // *Tribology – Materials, Surfaces & Interfaces*. 2014. Vol. 8. No. 2. P. 90–97.
<https://doi.org/10.1179/1751584X14Y.0000000068>
10. Deng X.T., Fu T.L., Wang Z.D., Misra R.D.K., Wang G.D. Epsilon carbide precipitation and wear behaviour of low alloy wear resistant steels // *Materials Science and Technology*. 2016. Vol. 32. No. 4. P. 320–327. <https://doi.org/10.1080/02670836.2015.1137410>
11. Kirchgaßner M., Badisch E., Franek F. Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact // *Wear*. 2008. Vol. 265. No. 5–6. P. 772–779. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.01.004>
12. Пацекин В.П., Рахимов К.З. Производство порошковой проволоки. М.: Металлургия, 1979. 80 с.
13. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. М.: Металлургия, 1974. 768 с.
14. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1975. 584 с.
15. 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.
16. Тепляшин М.В., Комков В.Г., Старенко В.А. Разработка экономнолегированного сплава для восстановления бил молотковых мельниц // *Ученые заметки ТОГУ*. 2013. Т. 4. № 4. С. 1543–1549.
17. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Кибко Н.В., Непомнящих А.С. Разработка новой износостойкой порошковой проволоки для наплавки брони ковшей горнодобывающего оборудования // *Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. 2018. № 4. С. 288–292.
18. Козырев Н.А., Усольцев А.А., Прудников А.Н., Крюков Р.Е. Изучение свойств порошковой проволоки на основе пыли газочистки феррохрома // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2019. Т. 75. № 3. С. 365–373. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-3-365-372>
19. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Уманский А.А., Соколов П.Д. Разработка новых порошковых проволок для наплавки. Порошковые проволоки с использованием углерод-фторсодержащих материалов для ремонта прокатных валков // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2018. № 1. С. 77–86.
20. Osetkovsky 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. In: *Int. Sci. and Research Conf. on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDMUR2017)*, 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation. 2017. Vol. 84. Article 012017.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/84/1/012017>
- and Technology. 2013, vol. 30, no. 30, pp. 316–322.
<https://doi.org/10.1179/1743284713Y.0000000359>
4. Kejžar R., Grum J. Hardfacing of wear-resistant deposits by MAG welding with a flux-cored wire having graphite in its filling. *Materials and Manufacturing Processes*. 2005, vol. 20, no. 6, pp. 961–976.
5. 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, no. 11, pp. 784–790.
<https://doi.org/10.1179/1743294414Y.0000000331>
6. 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*. 2017, vol. 33, no. 1, pp. 56–62. <https://doi.org/10.1080/02670844.2016.1176718>
7. Lim S.C., Gupta M., Goh Y.S., Seow K.C. Wear resistant WC–Co composite hard coatings. *Surface Engineering*. 1997, vol. 13, no. 3, pp. 247–250. <https://doi.org/10.1179/sur.1997.13.3.247>
8. Zhuk Yu. Super-hard wear-resistant coating systems. *Materials Technology*. 1999, vol. 14, no. 3, pp. 126–129.
<https://doi.org/10.1080/10667857.1999.11752827>
9. Hardell J., Yousfi A., Lund M., Pelcastre L., Prakash B. Abrasive wear behaviour of hardened high strength boron steel. *Tribology – Materials, Surfaces & Interfaces*. 2014, vol. 8, no. 2, pp. 90–97.
<https://doi.org/10.1179/1751584X14Y.0000000068>
10. Deng X.T., Fu T.L., Wang Z.D., Misra R.D.K., Wang G.D. Epsilon carbide precipitation and wear behaviour of low alloy wear resistant steels. *Materials Science and Technology*. 2016, vol. 32, no. 4, pp. 320–327. <https://doi.org/10.1080/02670836.2015.1137410>
11. Kirchgaßner M., Badisch E., Franek F. Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact. *Wear*. 2008, vol. 265, no. 5–6, pp. 772–779. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.01.004>
12. Patsek V.P., Rakhimov K.Z. *Production of Cored Wire*. Moscow: Metallurgiya, 1979, 80 p. (In Russ.).
13. *Technology of Electrical Welding of Metals and Alloys by Melting*. Paton B.E. ed. Moscow: Metallurgiya, 1974, 768 p. (In Russ.).
14. Geller Yu.A. *Tool Steel*. Moscow: Metallurgiya, 1975, 584 p. (In Russ.).
15. Teplyashin M.V., Komkov V.G. Effect of alloying elements on wear resistance in alloys for electric slag hardfacing of hammer mills. *Uchenye zametki TOGU*. 2013, vol. 4, no. 4, pp. 1554–1561. (In Russ.).
16. Teplyashin M.V., Komkov V.G., Starienko V.A. Development of a sparingly doped alloy for restoration of hammer mill bits. *Uchenye zametki TOGU*. 2013, vol. 4, no. 4, pp. 1543–1549. (In Russ.).
17. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kibko N.V., Nepomnyashchikh A.S. Development of a new wear-resistant cored wire for hardfacing of armor buckets for mining equipment. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*. 2018, no. 4, pp. 288–292. (In Russ.).
18. Kozyrev N.A., Usoltsev A.A., Prudnikov A.N., Kryukov R.E. Study of properties of cored wire based on ferrochrome gas-cleaning dust. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2019, vol. 75, no. 3, pp. 365–373. (In Russ.).
<https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-3-365-372>
19. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Usoltsev A.A., Umanskii A.A., Sokolov P.D. The development of the new cored wires for surfacing. The new cored wires with the use of the carbon and fluorine containing materials for the repair of the mill. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2018, no. 1, pp. 77–86. (In Russ.).
20. Osetkovsky 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. In: *Int. Sci. and Research Conf. on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDMUR2017)*, 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation. 2017, vol. 84, article 012017.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/84/1/012017>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Николай Анатольевич Козырев, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет
ORCID: 0000-0002-7391-6816

E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru

Роман Евгеньевич Крюков, к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: rek_nzrmk@mail.ru

Александр Александрович Усольцев, к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0001-6220-7910

E-mail: a.us@rambler.ru

Наталья Валерьевна Кибко, к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: krivicheva_nv@mail.ru

Людмила Петровна Бащенко, к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики и экологии, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0003-1878-909X

E-mail: luda.baschenko@gmail.com

Nikolai A. Kozyrev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University
ORCID: 0000-0002-7391-6816

E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru

Roman E. Kryukov, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University

E-mail: rek_nzrmk@mail.ru

Aleksandr A. Usol'tsev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0001-6220-7910

E-mail: a.us@rambler.ru

Natal'ya V. Kibko, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University

E-mail: krivicheva_nv@mail.ru

Lyudmila P. Bashchenko, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Thermal Power and Ecology", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0003-1878-909X

E-mail: luda.baschenko@gmail.com

ВКЛАД АВТОРОВ

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Козырев Н.А. – формирование основной идеи исследований, разработка методологии работы, анализ результатов исследований.

Крюков Р.Е. – организация испытаний образцов, сбор данных исследований, анализ результатов исследований.

Усольцев А.А. – разработка плана исследований, постановка задач, анализ результатов исследований.

Кибко Н.В. – исследование образцов на электронном микроскопе, анализ результатов исследований.

Бащенко Л.П. – выполнение металлографических исследований, анализ результатов исследований, подготовка материалов для статьи.

Kozyrev N.A. – formation of the research main idea, development of the methodology, analysis of the research results.

Kryukov R.E. – organization of the sample tests, collection of the research data, analysis of the research results.

Usol'tsev A.A. – development of the research plan, tasks statement, analysis of the research results.

Kibko N.V. – samples examination with an electron microscope, analysis of the research results.

Bashchenko L.P. – performing the metallographic studies, analysis of the research results, preparing materials for the article.

Поступила в редакцию 30.06.2020

После доработки 08.07.2020

Принята к публикации 28.08.2021

Received 30.06.2020

Revised 08.07.2020

Accepted 28.08.2021