



УДК 621.762.04:624.567.1:669

DOI 10.17073/0368-0797-2023-4-403-409



Оригинальная статья

Original article

РАЗРАБОТКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ СИСТЕМЫ Fe – C – Si – Mn – Cr – W – V с ПРИСАДКАМИ УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА И ТИТАНА

А. А. Усольцев¹, Н. А. Козырев² , Л. П. Башченко¹,
Р. Е. Крюков¹, А. В. Жуков¹

¹ Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина (Россия, 105005, Москва, ул. Радио, 23/9)

 n.kozyrev@chermet.net

Аннотация. В работе исследуется качество электродугового покрытия, полученного с использованием порошковой проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–W–V с присадками углеродфторсодержащего материала и титана. Формирование электродугового покрытия осуществляется с помощью аппарата для автоматической дуговой сварки ASAW-1250 с применением новой хромсодержащей порошковой проволоки на пластины из стали марки Ст3. Для исключения перемешивания наплавляемого металла со сталью подложки проводят многослойную наплавку. Режим наплавки рассчитывается и уточняется экспериментальным путем. Авторы исследовали состав и свойства поверхности электродугового покрытия после наплавки. В качестве заменителя аморфного углерода используется углеродфторсодержащий материал (пыль газоочистки алюминиевого производства). Наплавку осуществляли под флюсом, изготовленным из шлака производства силикомарганца с повышенным содержанием серы. Проведенный регрессионный анализ показывает влияние химического состава наплавленного слоя на его твердость и скорость износа. В работе получены математические модели исследуемых эксплуатационных характеристик электродугового покрытия. При увеличении содержания хрома, вольфрама, углерода и кремния повышаются твердость наплавленного металла и устойчивость его к абразивному износу. Результаты проведенных исследований позволяют выработать мероприятия для обеспечения требуемого уровня эксплуатационных характеристик электродугового покрытия и могут использоваться для составления прогноза твердости наплавленного слоя и его износостойкости при изменении химического состава металла, прогнозировать эксплуатационную стойкость прокатных валков, наплавленных проволоками типа ПП-Нп-35В9Х3СФ. Математические модели твердости наплавленного слоя и его износостойкости позволяют уточнить механизм упрочнения и формирования защитных свойств поверхностных слоев прокатных валков посредством электродуговых покрытий, наплавленных порошковыми проволоками.

Ключевые слова: порошковая проволока, электродуговое покрытие, многослойная наплавка, прокатные валки, твердость, скорость износа

Для цитирования: Усольцев А.А., Козырев Н.А., Башченко Л.П., Крюков Р.Е., Жуков А.В. Разработка порошковой проволоки системы Fe – C – Si – Mn – Cr – W – V с присадками углеродфторсодержащего материала и титана. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2023;66(4):403–409. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-4-403-409>

DEVELOPMENT OF FLUX-CORED WIRE OF Fe – C – Si – Mn – Cr – W – V SYSTEM WITH ADDITIVES OF CARBON-FLUORINE-CONTAINING MATERIAL AND TITANIUM

A. A. Usol'tsev¹, N. A. Kozyrev² , L. P. Bashchenko¹,
R. E. Kryukov¹, A. V. Zhukov¹

¹ Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

² I.P. Bardin Central Research Institute of Ferrous Metallurgy (23/9 Radio Str., Moscow 105005, Russian Federation)

 n.kozyrev@chermet.net

Abstract. The paper considers research of quality of the electric arc coating obtained using flux-cored wire of the Fe–C–Si–Mn–Cr–W–V system with additives of carbon-fluorine-containing material and titanium. The formation of an electric arc coating was carried out using an automatic arc

welding machine ASAW-1250 with a new chromium-containing flux-cored wire on plates made of St3 steel. To exclude mixing of the deposited metal with the substrate steel, multilayer surfacing was conducted. The surfacing mode was calculated and refined experimentally. The authors studied the composition and properties of the surface of the electric arc coating after surfacing. As a substitute for amorphous carbon they used a carbon-fluorine-containing material (dust of gas purification of aluminum production). Surfacing was carried out under a flux made from slag produced by silicomanganese with a high content of sulfur. A regression analysis of influence of the deposited layer's chemical composition on its hardness and wear rate was carried out and mathematical models of the investigated performance characteristics of the electric arc coating were obtained. With an increase in the content of chromium, tungsten, carbon and silicon, hardness of the deposited metal and its resistance to abrasive wear increase. The results of the conducted research make it possible to develop measures ensuring the required level of performance characteristics of the electric arc coating and can be used to make a forecast of hardness of the deposited layer and its wear resistance when the chemical composition of the metal changes, to predict the operational resistance of rolling rolls deposited with wires of the PP-Np-35V9Kh3SF type. Mathematical models of hardness of the deposited layer and its wear resistance help to clarify the mechanism of hardening and formation of protective properties of the surface layers of rolling rolls by means of electric arc coatings deposited with flux-cored wires.

Keywords: flux-cored wire, electric arc coating, multilayer surfacing, rolling rolls, hardness, wear rate

For citation: Usol'tsev A.A., Kozыrev N.A., Bashchenko L.P., Kryukov R.E., Zhukov A.V. Development of flux-cored wire of Fe – C – Si – Mn – Cr – W – V system with additives of carbon-fluorine-containing material and titanium. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2023;66(4):403–409.

<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-4-403-409>

ВВЕДЕНИЕ

Основной технологический инструмент в прокатном переделе металлургических предприятий – прокатные валки. В процессе эксплуатации при пластической деформации металла валки испытывают значительные удельные давления, термические воздействия и, соответственно, подвергаются интенсивному изнашиванию [1 – 3]. В связи с этим обостряется проблема качества проведения ремонтов валков. В последнее время широкое распространение получила восстановительная электродуговая наплавка прокатных валков с использованием порошковых проволок [2; 4; 5]. Однако использование порошковых проволок для наплавки не лишено ряда недостатков, и для обеспечения качественных ремонтных операций необходимо совершенствование состава шихты для этих проволок и технологии их использования [6 – 8]. В связи с этим проведение теоретических и экспериментальных исследований физической природы, процессов и механизмов упрочнения и формирования защитных свойств поверхностных слоев прокатных валков посредством электродуговых покрытий, наплавленных порошковыми проволоками, актуально и имеет большое научно-практическое значение.

Следует отметить, что использование применяемых в настоящее время порошковых проволок при наплавке прокатных валков связано с рядом образующихся при наплавке дефектов, высокой стоимостью и дефицитностью наплавочных материалов, а также несовершенством технологий наплавки [9 – 11]. При этом большое значение имеют выявление и устранение дефектной структуры покрытий, приводящей к их преждевременному разрушению [12 – 14]. Представляет интерес разработка технологичных наплавочных материалов [15 – 17], обеспечивающих в наплавленном металле структуры низкоуглеродистого мартенсита.

Для наплавки прокатных валков широкое распространение получили порошковые проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–W–V [18 – 20]. При этом

для ремонта валков, работающих в наиболее тяжелых условиях при эксплуатации, чаще всего используются порошковые проволоки типа ПП-Нп-35В9Х3СФ по ГОСТ 26101 – 84 [19 – 21]. При изменении состава шихты этих порошковых проволок и введении в их состав ряда элементов возможно увеличение износостойкости наплавленного слоя и повышение эксплуатационной стойкости наплавляемых прокатных валков. Совершенствование и изменение химического состава используемых при наплавке порошковых проволок является сложной научно-производственной задачей, решение которой связано с выполнением требований экономичности и экологичности процесса [21 – 23].

Целью настоящей работы является установление закономерностей повышения износостойкости и твердости электродуговых покрытий прокатных валков, наплавленных порошковыми проволоками системы Fe–C–Si–Mn–Cr–W–V, с введением в их состав титана и углеродфторсодержащего материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Процессы наплавки и изготовления порошковой проволоки, а также состав наполнителя для исследуемой порошковой проволоки и сварочного флюса описаны в работах [20 – 22].

В исследованиях при разработке новой порошковой проволоки в качестве сравнения за аналог принимали проволоку ПП-Нп-35В9Х3СФ, изготовленную с использованием графита марки ГЛ-1 (образец 1). Далее осуществляли изменение концентрации титана (образцы 2 – 4) и углеродфторсодержащего материала (образцы 5 – 9).

Перед изготовлением порошковых проволок проводили предварительный расчет количества порошковых материалов. Взвешивание материалов осуществляли на лабораторных аналитических весах АУХ 120. Смешение порошков проводили на лабораторных вращательных смесителях в течение не менее 30 мин. Изготовление порошковой проволоки проводилось на

лабораторном станке: сворачивание ленты путем волочения через фильеру и намотка полученной порошковой проволоки на барабан.

Наплавку электродуговых покрытий проводили сварочным трактором ASAW-1250 с использованием изготовленной порошковой проволоки на пластины из стали в пять слоев для исключения перемешивания наплавляемого металла со сталью подложки. Режим наплавки рассчитывали и уточняли экспериментально. После наплавки исследовали состав и свойства электродугового покрытия.

Химический состав наплавленных покрытий определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. В ряде образцов определение химического состава металла проводили химическими методами: на содержание углерода по ГОСТ 12344 – 2003, серы по ГОСТ 12345 – 2001 и фосфора по ГОСТ 12347 – 77.

Образцы для проведения исследований макро- и микроструктуры, твердости, износостойкости были подготовлены по методике, включающей вырезку образцов на отрезном станке KKS 315L, шлифование на плоскошлифовальном станке 3Д725, полирование на полировальном станке FROMMIA 835 SE.

Схема вырезки образцов для исследования представлена на рис. 1.

Для определения механических свойств из вырезанных образцов изготавливали макрошлифы разме-

ром 20×55×14 мм. Измерение твердости выполняли по методу Роквелла на твердомере модели ТК-14-250 в соответствии с требованиями ГОСТ 9013 – 59 путем вдавливания конического алмазного наконечника с углом при вершине 120°.

Испытания на износ в настоящее время проводят согласно ГОСТ 23.208 – 79. Стандарт распространяется на металлические материалы и покрытия и регламентирует метод их испытаний на абразивное изнашивание при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы. Сущность метода состоит в том, что при одинаковых условиях осуществляют трение образцов исследуемого и эталонного материалов об абразивные частицы, подаваемые в зону трения и прижимаемые к образцу вращающимся резиновым роликом. Измеряют износ образцов испытуемого и эталонного материалов, износостойкость испытуемого материала оценивают путем сравнения износа эталонного и исследуемого образцов. Обработку результатов проводят по данным взвешивания образцов до и после испытаний, определяя среднеарифметические значения потерь массы эталонного образца и образцов исследуемого материала.

Для анализа оценки влияния химического состава порошковых проволок на скорость (степень) износа и твердость электродуговых покрытий использовали многофакторный корреляционный анализ, который позволяет изучить закономерности изменения того или иного показателя в зависимости от поведения различных факторов. Для этого определяли факторы, которые оказывают воздействие на изучаемый показатель, и отбирали наиболее существенные из них, после чего выполняли проверку исходной информации на достоверность, однородность и соответствие закону нормального распределения. Далее строили модель факторной системы. Поскольку в приведенных системах имеют место независимые факторные признаки, использовали детерминированный факторный анализ.

Скорость истирания наплавленного слоя опытных образцов определяли путем испытаний на износ на машине 2070 СМТ-1, принципиальная кинематическая схема которой приведена на рис. 2. Диапазон измерения частоты вращения вала нижнего образца (диапазон *A*) составлял 75 – 750 мин⁻¹; диапазон измерения момента трения (диапазон *I*) 1 – 10 Н·м. Машина трения 2070 СМТ-1 может работать по схеме с замкнутым и открытым силовым контуром и имеет следующее устройство: от электродвигателя 2 посредством ременной передачи 10 вращение одновременно передается на нижний 5 и верхний 6 образцы. Образец 6 устанавливается на валу откидной каретки 7. Каретка уравнивается пружинным механизмом 8. На приводе вала нижнего образца установлен упругий торсион датчика 9 момента трения с бесконтактным токосъемом, сигнал с которого выводится на пульт.

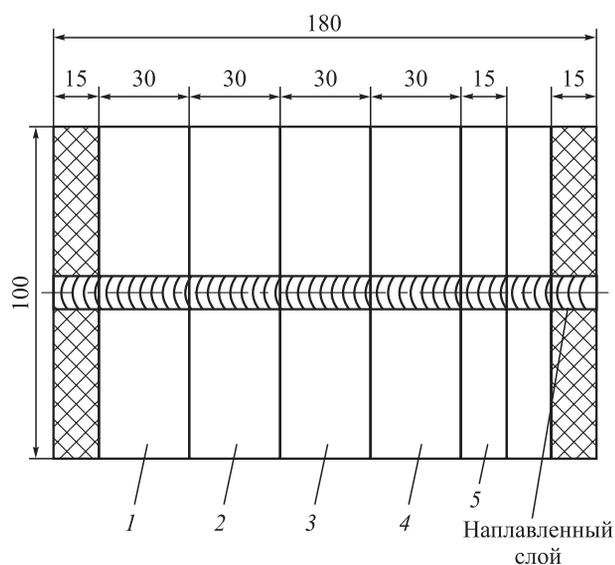


Рис. 1. Схема вырезки образцов для проведения испытаний и анализа:

- 1 и 2 – для изготовления макро- и микрошлифов;
- 3 и 4 – для испытаний на твердость и износостойкость;
- 5 – для определения содержания водорода

Fig. 1. Scheme of samples cutting for testing:

- 1 and 2 – for obtaining macro- and micro-plates;
- 3 and 4 – for tests on hardness and wear resistance;
- 5 – for hydrogen content determination

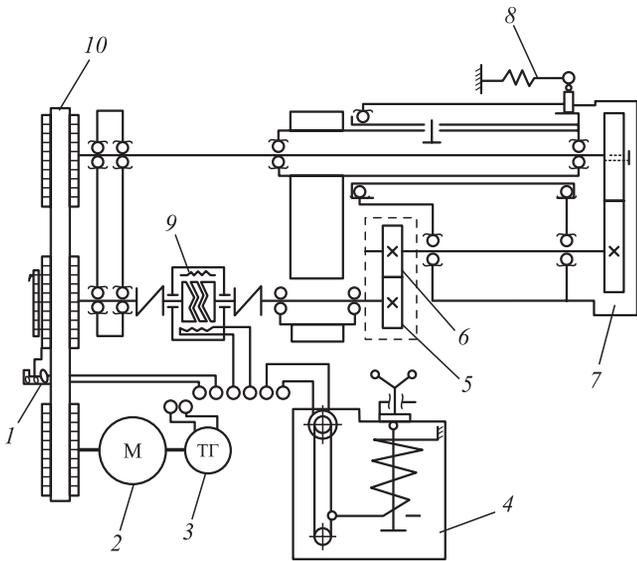


Рис. 2. Принципиальная кинематическая схема машины 2070 CMT-1:

- 1 – бесконтактный датчик количества оборотов;
- 2 – электродвигатель; 3 – тахогенератор;
- 4 – узел нагружения (пружинный механизм);
- 5 и 6 – нижний и верхний образцы; 7 – каретка;
- 8 – пружинный механизм; 9 – датчик момента трения;
- 10 – плоскозубая ременная передача

Fig. 2. Basic kinematic scheme of the 2070 CMT-1 machine:
 1 – contactless speed sensor; 2 – electric motor; 3 – rate generator;
 4 – loading unit (spring mechanism);
 5 and 6 – lower and upper samples; 7 – carriage;
 8 – spring mechanism; 9 – friction torque sensor;
 10 – flat-toothed belt drive

Нагружение образцов проводится с помощью пружинного механизма 4. Величина нормальной силы регулируется поворотом рукоятки узла нагружения, а передача показаний на пульт осуществляется через гибкую связь от резистора, размещенного в данном узле.

Частота вращения измеряется с помощью тахогенератора 3, размещенного на валу двигателя, а число оборотов нижнего образца 5 – с помощью бесконтактного датчика 1. Вал-колотка, которым проводилось истирание образцов, изготовлен из стали марки P18.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав наплавленного слоя, полученного с применением опытной порошковой проволоки, представлен в табл. 1, значения скорости износа образцов приведены в табл. 2.

Зависимости твердости и скорости износа от содержания различных элементов показаны на рис. 3.

Применение математико-статистических методов позволило построить математическую модель влияния химического состава наплавленного слоя на его твердость и скорость износа.

Полученные зависимости проверяли по показателю средней ошибки аппроксимации

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

где m – количество наблюдений; \tilde{Y}_i – вычисленное значение результирующего показателя; Y_i – фактическое значение результирующего показателя.

Регрессионный анализ влияния химического состава наплавленного слоя на его твердость и скорость износа представлен следующими уравнениями:

– твердость HRC:

$$-39,056 + 58,725C + 4,983Si + 37,87Mn + 6,058Cr - 7,096Cu - 107,503Mo - 0,341V - 0,435W$$

(ошибка аппроксимации составляет 0,0012 %);

Таблица 1

Химический состав наплавленных слоев

Table 1. Chemical composition of the deposited layers

Образец	Содержание элементов, % (по массе)															HRC
	C	Si	Mn	Cr	Cu	Mo	V	W	Ni	P	S	Al	Co	Nb	Ti	
1	0,39	1,26	1,69	3,43	0,14	0,11	0,21	8,76	0,12	0,037	0,022	0,060	0,04	0,010	0,020	58,2
2	0,37	1,31	1,74	3,25	0,13	0,11	0,20	8,19	0,12	0,034	0,021	0,110	0,04	0,010	0,030	58,4
3	0,39	1,23	1,76	3,35	0,17	0,10	0,20	8,38	0,10	0,032	0,022	0,100	0,03	0,020	0,030	54,5
4	0,35	1,18	1,73	3,03	0,18	0,09	0,19	7,42	0,13	0,031	0,021	0,090	0,04	0,020	0,030	57,0
5	0,17	0,92	1,76	1,43	0,06	0,05	0,06	3,68	0,07	0,018	0,029	0,020	0,02	0,010	0,006	43,4
6	0,18	0,83	1,55	0,84	0,06	0,03	0,04	2,23	0,06	0,014	0,033	0,009	0,01	0,010	0,007	34,8
7	0,15	0,96	1,66	1,12	0,07	0,03	0,06	3,31	0,07	0,017	0,036	0,008	0,01	0,006	0,007	39,0
8	0,09	0,76	1,46	0,60	0,06	0,02	0,03	1,50	0,06	0,013	0,033	0,004	0,01	0,006	0,006	25,7
9	0,10	1,03	1,75	1,12	0,07	0,05	0,05	3,48	0,07	0,019	0,046	0,004	0,02	0,007	0,006	37,6

Скорость износа образцов

Table 2. Wear rate of the samples

Образец	Масса образца, г			Количество оборотов ($V_{об}$)	Износостойкость $\Delta m \cdot 10^{-5}$
	до изнашивания m_1	после изнашивания m_2	разница до и после		
1	86,0384	85,9819	0,0565	2500	2,26
2	90,1120	90,0561	0,0559	2445	2,29
3	102,6680	102,5870	0,0810	2780	2,91
4	105,5680	105,5010	0,0668	2580	2,59
5	85,6461	85,4218	0,2243	2300	9,75
6	100,0260	99,8323	0,1939	2300	8,43
7	115,5400	115,4650	0,0757	3380	2,24
8	94,4399	94,3375	0,1024	2570	3,98
9	112,6090	112,3920	0,2170	2500	8,68

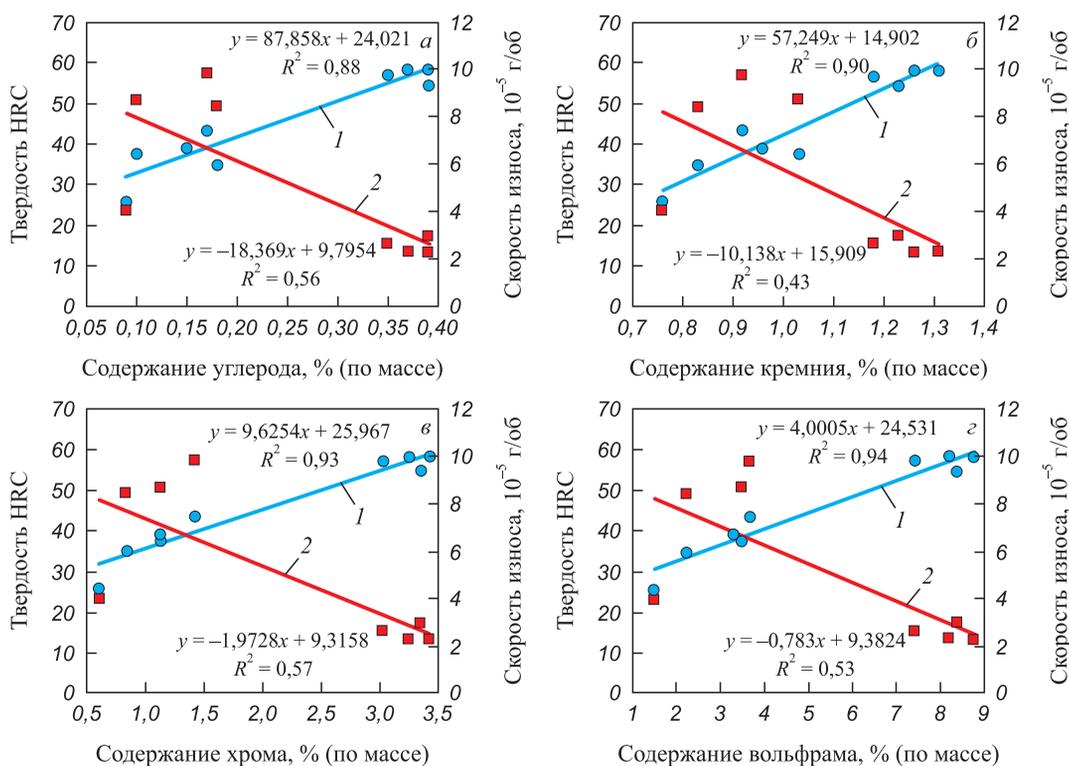


Рис. 3. Зависимости свойств наплавленного металла от содержания углерода (а), кремния (б), хрома (в) и вольфрама (з): ■ – твердость; ● – скорость износа; 1 – линейная твердость; 2 – линейная скорость износа

Fig. 3. Dependences of the deposited metal properties on content of carbon (a), silicon (b), chromium (v) and tungsten (z): ■ – hardness; ● – wear rate; 1 – linear hardness; 2 – linear wear rate

– скорость износа, г/об.:

$$\begin{aligned}
 & -0,0000741 + 0,00042C - 0,00043Si + \\
 & + 0,000258Mn - 0,00022Cr + 0,000398Cu + \\
 & + 0,00419Mo - 0,00019V + 0,0000372W
 \end{aligned}$$

(ошибка аппроксимации составляет 0,0011 %).

При увеличении содержания хрома, вольфрама, углерода и кремния повышаются твердость и устойчивость к абразивному износу наплавленного металла. Построенные зависимости позволяют осуществлять прогноз по получению результатов твердости и скорости износа при изменении химического состава наплавленных слоев.

Выводы

Проведен регрессионный анализ влияния химического состава наплавленного слоя на его твердость и скорость износа и получены математические модели исследуемых эксплуатационных характеристик электродугового покрытия. При увеличении содержания хрома, вольфрама, углерода и кремния повышаются твердость наплавленного металла и устойчивость его к абразивному износу.

Результаты проведенных исследований позволяют выработать мероприятия для обеспечения требуемого уровня эксплуатационных характеристик электродугового покрытия и могут использоваться для составления прогноза твердости наплавленного слоя и его износостойкости при изменении химического состава наплавленного металла и прогнозировать эксплуатационную стойкость прокатных валков, наплавленных проволоками типа ПП-Нп-35В9Х3СФ.

Математические модели твердости наплавленного слоя и его износостойкости позволяют уточнить механизм упрочнения и формирования защитных свойств поверхностных слоев прокатных валков посредством наплавленных порошковыми проволоками электродуговых покрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron. *Welding International*. 2008;22(11):796–800. <https://doi.org/10.1080/09507110802593646>
- 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;29(10):819–822. <https://doi.org/10.1080/09507116.2014.986891>
- Liu D.S., Liu R.P., Wei Y.H. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hardfacing alloy. *Materials Science and Technology*. 2014;30(3):316–322. <https://doi.org/10.1179/1743284713Y.0000000359>
- 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;20(6):961–976. <https://doi.org/10.1081/AMP-200060424>
- 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;30(11):784–790. <https://doi.org/10.1179/1743294414Y.0000000331>
- 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;33(1):56–62. <https://doi.org/10.1080/02670844.2016.1176718>
- Lim S.C., Gupta M., Goh Y.S., Seow K.C. Wear resistant WC – Co composite hard coatings. *Surface Engineering*. 1997;13(3):247–250. <https://doi.org/10.1179/sur.1997.13.3.247>
- Zhuk Yu. Super-hard wear-resistant coating systems. *Materials Technology*. 1999;14(3):126–129. <https://doi.org/10.1080/10667857.1999.11752827>
- Hardell J., Yousfi A., Lund M., Pelcastre L., Prakash B. Abrasive wear behaviour of hardened high strength boron steel. *Tribology – Materials, Surfaces and Interfaces*. 2014;8(2):90–97. <https://doi.org/10.1179/1751584X14Y.0000000068>
- 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;32(4):320–327. <https://doi.org/10.1080/02670836.2015.1137410>
- Kirchgaßner M., Badisch E., Franek F. Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact. *Wear*. 2008;265(5-6):772–779. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.01.004>
- Хасуи А., Моригаки О. *Наплавка и напыление*. Москва: Машиностроение; 1985:240.
- Патон Б.Е. *Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением*. Москва: Книга по Требованию; 2021:769.
- Гуляев А.П. *Металловедение. Учебник для вузов*. Москва: Металлургия; 1986:544.
- Хрущов М.М., Бабичев М.А. *Абразивное изнашивание*. Москва: Наука; 1970:251.
- Елагина О.Ю. *Технологические методы повышения износостойкости деталей машин*. Москва: Логос; 2009:488.
- Тылкин М.А. *Повышение долговечности деталей металлургического оборудования*. Москва: Металлургия; 1971:608.
- Данильченко Б.В. Выбор износостойкого наплавленного металла для работы в условиях абразивного изнашивания. *Сварочное производство*. 1992;(5):31–35. Danil'chenko B.V. Selection of wear-resistant deposited metal for operation under abrasive wear. *Svarochnoe proizvodstvo*. 1992;(5):31–35. (In Russ.).
- Гусев А.И., Романов Д.А., Козырев Н.А., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф. Структура сварного шва износостойкой наплавки порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2021;(2(36)):3–10. Gusev A.I., Romanov D.A., Kozyrev N.A., Gromov V.E., Ivanov Yu.F. Structure of weld of wear-resistant surfacing by flux-cored wire of Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo system. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2021;(2(36)):3–10. (In Russ.).
- Козырев Н.А., Титов Д.А., Кибко Н.В. Изучение влияния состава порошковой проволоки ПП-Нп-35В9Х3СФ на свойства наплаваемого валика. *Актуальные проблемы в машиностроении*. 2016;3(3):60–64. Kozyrev N.A., Titov D.A., Kibko N.V. The study of the influence of the composition of flux-cored wire ПП-Нп-35В9Х3СФ on the properties surfaced roller. *Actual Problems in Machine Building*. 2016;3(3):60–64. (In Russ.).
- Уманский А.А., Козырев Н.А., Титов Д.А. Экспериментальные исследования влияния состава порошковых проволок систем легирования C–Si–Mn–Cr–V–Mo и C–Si–Mn–Cr–W–V на структуру наплавленного слоя прокатных валков. *Черная металлургия. Бюллетень*

научно-технической и экономической информации. 2016;(4):74–78.

Umanskii A.A., Kozyrev N.A., Titov D.A. The experimental investigations into the influence of the compositions of the cored wires of the C–Si–Mn–Cr–V–Mo and C–Si–Mn–Cr–W–V alloying systems on the build-up mill roll layer structure. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2016;(4):74–78. (In Russ.).

22. Уманский А.А., Козырев Н.А., Титов Д.А. Исследование и разработка новых составов порошковой проволоки для наплавки прокатных валков, обеспечивающих повыше-

ние эксплуатационных характеристик наплавленного металла. *Производство проката*. 2016;(5):43–47.

Umanskii A.A., Kozyrev N.A., Titov D.A. Research and development of new compositions of flux-cored wire for surfacing of rolling rolls providing an increase in operational characteristics of the deposited metal. *Proizvodstvo prokata*. 2016;5:43–47. (In Russ.).

23. Пат. 2641590 РФ. МПК⁸ В23 К35/36 В 23 К35/36 *Порошковая проволока* / Н.А. Козырев, А.И. Гусев, Г.В. Галевский, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский и др. Заявл. 22.06.2016; опубл. 18.01.2018.

Сведения об авторах

Information about the Authors

Александр Александрович Усольцев, к.т.н., доцент кафедры металлургии черных металлов, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0001-6220-7910

E-mail: a.us@rambler.ru

Николай Анатольевич Козырев, д.т.н., заместитель директора научного центра качественных сталей, Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина

ORCID: 0000-0002-7391-6816

E-mail: n.kozyrev@chermet.net

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

Роман Евгеньевич Крюков, д.т.н., доцент кафедры металлургии черных металлов, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-3394-7941

E-mail: rek_nzrmk@mail.ru

Андрей Владимирович Жуков, аспирант кафедры металлургии черных металлов, Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: Svarka42@mail.ru

Aleksandr A. Usol'tsev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair of Ferrous Metallurgy, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0001-6220-7910

E-mail: a.us@rambler.ru

Nikolai A. Kozyrev, Dr. Sci. (Eng.), Deputy Director of the Scientific Center for High-Quality Steels, I.P. Bardin Central Research Institute of Ferrous Metallurgy

ORCID: 0000-0002-7391-6816

E-mail: n.kozyrev@chermet.net

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

Roman E. Kryukov, Dr. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair of Ferrous Metallurgy, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-3394-7941

E-mail: rek_nzrmk@mail.ru

Andrei V. Zhukov, Postgraduate of the Chair of Ferrous Metallurgy, Siberian State Industrial University

E-mail: Svarka42@mail.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

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

Н. А. Козырев – формирование основной идеи исследований, разработка плана исследований, постановка задач, анализ результатов исследований.

Л. П. Бащенко – сбор данных исследований, анализ результатов исследований, подготовка материалов для статьи.

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

А. В. Жуков – организация испытаний образцов, сбор данных исследований, анализ результатов исследований.

A. A. Usol'tsev – formation of the main research idea, development of the work methodology, analysis of research results.

N. A. Kozyrev – formation of the main research idea, development of the research plan, setting the tasks, analysis of the research results.

L. P. Bashchenko – collection of the research data, analysis of the research results, preparation of materials for the article.

R. E. Kryukov – development of the research plan, organization of samples testing, collection of the research data, analysis of the research results.

A. V. Zhukov – organization of samples testing, collection of the research data, analysis of the research results.

Поступила в редакцию 20.04.2022

После доработки 31.10.2022

Принята к публикации 12.12.2022

Received 20.04.2022

Revised 31.10.2022

Accepted 12.12.2022