

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.791.927.5

doi: 10.30987/2782-5957-2025-8-12-26

ВЛИЯНИЕ ТУГОПЛАВКИХ КОМПОНЕНТОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЛАВОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Александр Петрович Новоточинов^{1✉}, Александр Андреевич Владимиров²

^{1,2} Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ МИСИС, Россия, Старый Оскол

¹ alexander.nowotochinov@yandex.ru

² vladimirov.al.an@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7992-1694>

Аннотация

Цель работы заключается в исследовании износостойкости наплавочных материалов.

Задача, решению которой посвящена статья, состоит в том, чтобы увеличить межремонтный период эксплуатации роликов рольгангов, работающих в тяжелых условиях.

Представлен метод восстановления изношенных деталей методом электродуговой наплавки порошковой проволокой с тугоплавкими компонентами под слоем флюса. Известно, что при добавлении в состав шихты тугоплавких компонентов таких как вольфрам (W), карбид вольфрама (WC) и нитрид бора (BN₄) повышается твердость и износостойкость восстановленных поверхностей. Для наплавки экспериментальных образцов использовались подложки из стали марки 30ХГСА ГОСТ 4543-2016 диаметром 80 мм и толщиной 20 мм. Образцы наплавлялись в лаборатории восстановления и упрочнения деталей горного и металлургического оборудования СТИ НИТУ «МИСИС». Наплавка осуществлялась под слоем флюса керамакс марки UF-02. Для снятия внутренних напряжений образцов проводилась термическая обработка. Вырезка образцов осуществлялась на многофункциональном отрезном станке. Далее образцы

подвергались истиранию на абразивный износ и истиранию в условиях трения скольжения на специальных лабораторных установках. Описана методика проведения испытаний на абразивный износ и истирание в условиях трения скольжения.

Новизна работы заключается в исследовании износостойкости экспериментальных наплавочных материалов при истирании в условиях трения скольжения и абразивном износе, и их сопоставлении с твердостью.

Представлены результаты экспериментальных исследований абразивного износа и истирания в условиях трения скольжения наплавленных материалов. Сформулированы выводы по каждому испытываемому материалу.

Выводы: по результатам испытаний сформулированы дальнейшие направления по исследованию наплавочных материалов на обрабатываемость резанием с последующим определением рационального соотношения тугоплавких компонентов порошковой проволоки.

Ключевые слова: проволока, износ, нитрид бора гексагональный, карбид вольфрама, электродуговая наплавка, трение скольжения.

Ссылка для цитирования:

Новоточинов А.П. Влияние тугоплавких компонентов на износостойкость наплавочного материала / А.П. Новоточинов, А.А. Владимиров // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 8. – С. 12-26. doi: 10.30987/2782-5957-2025-8-12-26.

Original article

Open Access Article

EFFECT OF HIGH-MELTING COMPONENTS ON THE WEAR RESISTANCE OF THE SURFACING MATERIAL

Aleksandr Petrovich Novotochinov^{1✉}, Aleksandr Andreevich Vladimirov²

^{1,2} A.A. Ugarov Stary Oskol Technological College (branch) of NUST MISIS, Stary Oskol, Russia

¹ alexander.nowotochinov@yandex.ru

² vladimirov.al.an@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7992-1694>

Abstract

The study objective is to study the wear resistance of surfacing materials.

The task to which the paper is devoted is to increase the inter-repair operation period of gravity roll carrier elements operating in harsh conditions.

A method is presented for restoring worn parts by electrode surfacing with flux cored wire with high-melting components under a layer of flux. It is known that when high-melting components such as tungsten (W), tungsten carbide (WC) and boron nitride (BN_g) are added to the charge, the hardness and wear resistance of the restored surfaces increase. For surfacing the experimental samples, substrates made of steel grade 30ХГСА GOST 4543-2016 with a diameter of 80 mm and a thickness of 20 mm are used. The samples are deposited in the laboratory for the restoration and hardening of mining and metallurgical equipment parts at NUST MISIS. The surfacing is carried out under a layer of keramax UF-02 grade flux. Thermal treatment is performed to relieve the internal stresses of the samples. The samples are cut on a multifunctional

cutting machine. Further, the samples are subjected to abrasion by abrasive wear and abrasion under sliding friction conditions on special laboratory installations. The method of testing for abrasive wear and abrasion under sliding friction conditions is described.

The novelty of the work is in the study of the wear resistance of experimental surfacing materials when worn under conditions of sliding friction and abrasive wear, and their comparison with hardness.

The results of experimental studies of abrasive wear and abrasion under sliding friction conditions of deposited materials are presented. Conclusions are given for each studied material.

Conclusions: based on the test results, further directions have been formulated for the study of surfacing materials for machinability by cutting, with the subsequent determination of the rational ratio of high-melting components of flux cored wire.

Keywords: wire, wear, hexagonal boron nitride, tungsten carbide, electric arc welding, sliding friction.

Reference for citing:

Novotochinov AP, Vladimirov AA. Effect of high-melting components on the wear resistance of the surfacing material. Transport Engineering. 2025;8: 12-26. doi: 10.30987/2782-5957-2025-8-12-26.

Введение

Детали металлургического оборудования подвергаются повышенному контактному давлению, ударным нагрузкам, высокотемпературному воздействию от контакта с транспортируемой заготовкой, механическому износу в виде абразивного изнашивания и трению скольжения при

высоких скоростях [1, 2]. Эксплуатация деталей в таких условиях влечет за собой частые остановки оборудования в следствии интенсивного изнашивания, в частности таких как ролики рольгангов прокатных цехов (рис. 1) [3, 4].



a)



б)

Рис. 1. Износ рабочих поверхностей роликов рольгангов: а – ролик 1, б – ролик 2
Fig. 1. Wear of the working surfaces of the roller conveyors a – roller 1, b – roller 2

Одним из способов борьбы с износом деталей, работающих в таких условиях, является восстановительно-упрочняющая электродуговая наплавка под слоем флюса. В металлургической промышленности достаточно широко применяется метод восстановительно-упрочняющей наплавки по-

рошковой проволокой с тугоплавкими компонентами [5, 6]. Добавление в состав шихты порошковой проволоки тугоплавких компонентов позволяет повысить как износостойкость, так и твердость наплавленной поверхности.

Одновременно с повышением износостойкости и твердости поверхности, ухудшается обрабатываемость наплавленного материала, что в свою очередь будет вызывать дополнительные трудности при механической обработке после наплавки [7, 8].

Для разработки рационального состава тугоплавких компонентов, обеспечи-

вающего повышение износостойкости и удовлетворительную обрабатываемость наплавленного материала, необходимо произвести комплексные исследования [9]. Целью данной работы является определение наплавочного материала с высокими показателями износостойкости при абразивном изнашивании и в условиях трения скольжения на высоких скоростях.

Материалы, эксперименты и методы

Для изготовления экспериментальных составов порошковых проволок для наплавки образцов, в качестве базовой бы-

ла выбрана проволока, химический состав оболочки которой представлен в табл. 1 [10].

Химический состав оболочки порошковой проволоки в %

Chemical composition of the powder wire shell in %

Fe	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2

Модификация химического состава шихты порошковой проволоки осуществлялась за счет внедрения тугоплавких ком-

понентов, наименование и количество которых представлено в табл. 2.

Таблица 1

Table 1

Количество тугоплавких компонентов в порошковой проволоке в %

Number of high-melting components in the powder wire in %

Наименование компонента	Номер экспериментального состава				
	1	2	3	4	5
W	-	-	5,0	4,5	-
WC	6	10	4,3	2,5	6*
BNг	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3

*Порошок WC нанодисперсный

В качестве модифицирующих тугоплавких компонентов применяли порошок:

- вольфрама W в чистом виде;
- карбида вольфрама WC;
- гексагонального нитрида бора марки A, BNг [10].

Испытуемые образцы были наплавлены на установке автоматической наплавки под слоем флюса модели УСН 60-550/1400 SAW. Для защиты сварочной ванны применялся флюс керамакс марки UF-02. Для наплавки экспериментальных образцов использовались подложки из стали марки 30ХГСА ГОСТ 4543-2016 диаметром 80 мм и толщиной 20 мм. Образцы

наплавлялись в лаборатории восстановления и упрочнения деталей горного и металлургического оборудования СТИ НИТУ «МИСИС». Для снятия внутренних напряжений образцов проводилась термическая обработка. Вырезка образцов осуществлялась на многофункциональном отрезном станке модели LC-250. Далее образцы были испытаны на специальных лабораторных установках в условиях, имитирующих промышленные, и были подвержены следующим видам воздействия: абразивному изнашиванию и истиранию в условиях трения скольжения на высоких скоростях [10].

Абразивное изнашивание

Испытание на абразивное изнашивание осуществляли на экспериментальной

установке по схеме Бринелля-Ховарта (рис. 2, 3).



Рис. 2. Внешний вид установки для испытаний на абразивный износ по схеме Бринелля-Ховарта
Fig. 2. Appearance of a Brinell-Howarth abrasive wear test rig

Подготовленный образец размерами 20x20x30 мм фиксировали в держателе (поз. 3) и устанавливали рычаг (поз. 5) в исходное положение. На конец рычага че-

рез специальную проушину навешивали груз (поз. 6) массой 0,5 кг. Время испытания между взвешиваниями составляло 5 мин, полный цикл испытания, в количестве 200 шт., составил 1000 мин.

В качестве абразивного материала использовали гранатовый песок mesh 80 Standart с зернистостью 0,177...0,178 мм. Окружная скорость колеса составляла 28 м/мин. Сила, прикладываемая на испытываемый образец через нагрузочный рычаг, составляла 0,08 кН. Смазочная среда отсутствовала.

Износостойкость наплавленного материала оценивалась потерей массы образца после каждого цикла испытания. Убыль массы с образца оценивалась по среднему значению из трех измерений. Измерения выполнялись на весах модели ВК-300 [11].

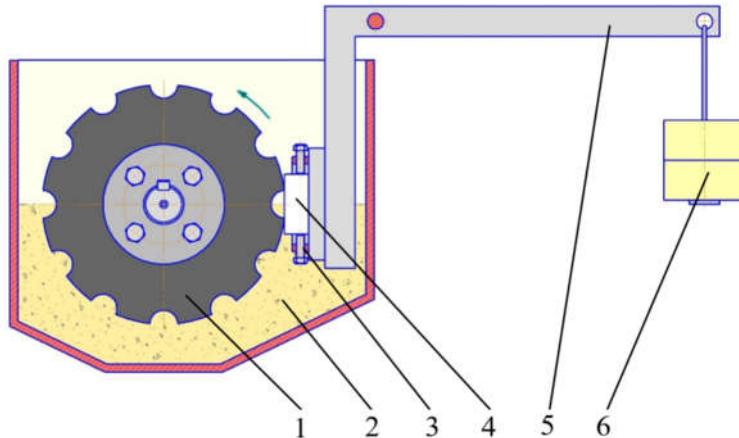


Рис. 3. Схема установки для испытаний на абразивный износ по схеме Бринелля-Ховарта:
1 – резиновое колесо; 2 – абразив; 3 – держатель; 4 – исследуемый образец; 5 – рычаг; 6 – груз
Fig. 3. Scheme of the installation for testing for abrasive wear according to the Brinell-Howarth scheme
1 – rubber wheel; 2 – abrasive; 3 – sample attachment; 4 – test sample; 5 – lever; 6 – load

Истирание в условиях трения скольжения

Испытание на истирание в условиях трения скольжения осуществляли на экспериментальной установке (рис. 4), которая монтировалась на токарно-винторезный станок *JET* модели *GHB-1340A* [12].

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 4. Подготовленный образец размером 20×20×30 мм фиксировали в держателе и устанавливали рычаг в

исходное положение. На конец рычага через специальную проушину навешивали груз массой 3 кг. Время испытания между взвешиваниями составляло 20 мин, полный цикл испытаний, в количестве 10 шт., составил 200 мин.

В качестве контртела (рис. 4, поз. 2), использовалась сталь ШХ15 с твердостью 60...65 HRC, шероховатость поверхности скольжения составляла не более Ra 1,25.

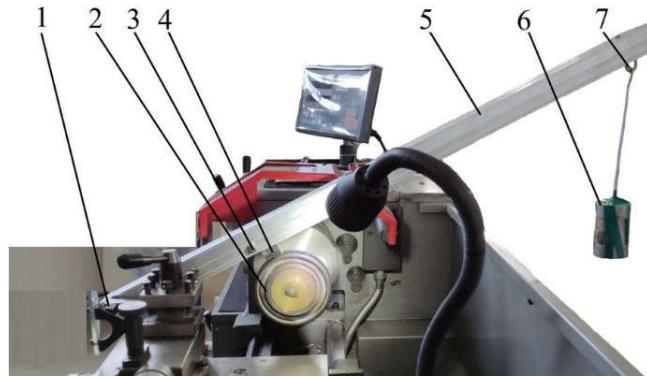


Рис. 4. Установка для испытаний на истирание в условиях трения скольжения:
1 – шарнирное соединение; 2 – контргель; 3 – держатель; 4 – исследуемый образец;
5 – рычаг; 6 – груз; 7 – петля

*Fig. 4. Abrasion Test Apparatus for Sliding Friction: 1 – articulated joint;
2 – counterbody; 3 – holder; 4 – test sample; 5 – lever; 6 – load; 7 – loop*

Шероховатость наплавленных образцов после подготовки соответствовала

значению по параметру Ra в диапазоне от 1,6 до 6,3 мкм.

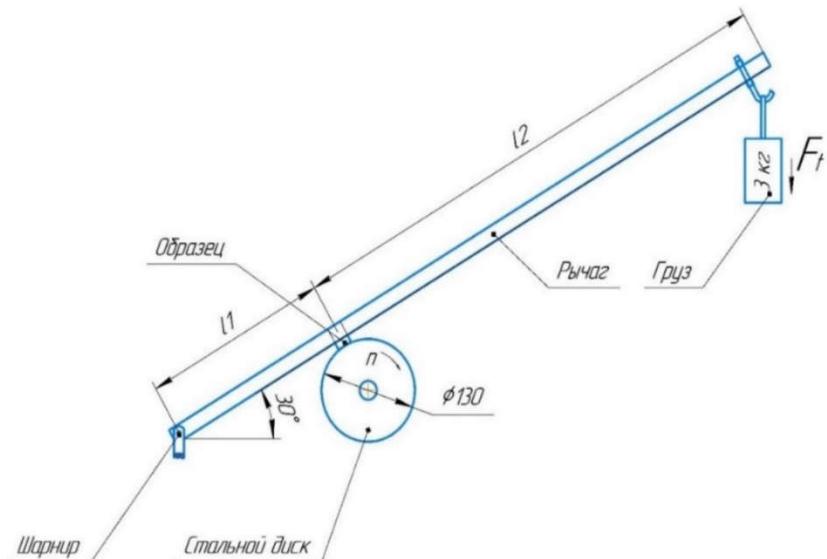


Рис. 5. Схема специальной установки
Fig. 5. Diagram of a special installation

Износостойкость наплавленного материала оценивалась потерей массы образца после каждого цикла испытания. Убыль

массы с образца оценивалась по среднему значению из трех измерений. Измерения выполнялись на весах модели ВК-300 [12].

Результаты

Результаты испытаний на абразивный износ и размеры образцов с геометрическими характеристиками лунок износа, представлены в табл. 3 и 4, соответственно.

Анализ значений, представленных в табл. 3, показал, что за 1000 мин испыта-

ний на абразивный износ наплавленного материала, большее значение потери массы соответствует составу под номером 1, а меньшее – составу под номером 4. Что касается средней убыли массы за цикл испытания, то при округлении до сотых, значения будут равны.

Таблица 3

Результаты испытаний на абразивный износ

Table 3

Results of abrasive wear tests

Номер состава	Начальная масса образца $m_{\text{нач.}}$, г	Конечная масса образца $m_{\text{кон.}}$, г	Убыль массы $m_{\text{изн.}}$, г	Средняя убыль массы за цикл $m_{\text{ср. изн.}}$, г
1	214,915	209,93	4,985	0,02493
2	203,1	198,878	4,222	0,02111
3	247,863	244,247	3,616	0,01808
4	224,442	220,957	3,485	0,01743
5	208,532	203,782	4,75	0,02375

Таблица 4

Размеры образцов для абразивного изнашивания

Table 4

Dimensions of samples for abrasive wear

Номер состава	Площадь образца, мм^2	Площадь лунки износа, мм^2	Глубина лунки, мм	Соотношение глубины к площади лунки
1	822,41	655,38	1,48	$2,26 \cdot 10^{-3}$
2	812,53	662,78	1,54	$2,32 \cdot 10^{-3}$
3	1010,51	692,88	1,59	$2,29 \cdot 10^{-3}$
4	861,43	628,13	1,6	$2,55 \cdot 10^{-3}$
5	641,30	474,77	1,28	$2,7 \cdot 10^{-3}$

Из анализа значений соотношения глубины к площади лунки, полученной при абразивном изнашивании, очевидно, что процесс изнашивания наплавленных образцов происходил пропорционально и в одинаковых условиях.

При этом износ в процессе истирания происходил примерно одинаково для всех составов, что очевидно из графика зависи-

мости абразивного износа, которые представленного на рис. 6. Фото образцов после испытаний представлены на рис. 7.

При этом стоит отметить, что изменение массы после каждого цикла испытания экспериментальных наплавочных материалов происходило нестабильно, о чем свидетельствуют графики, представленные на рис. 8-12.

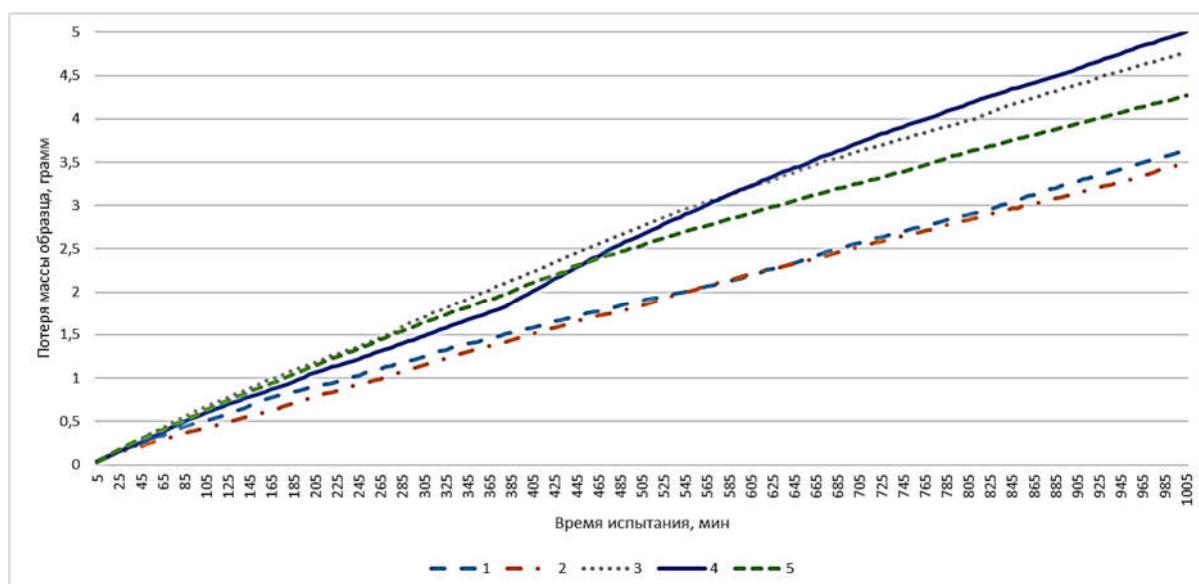


Рис. 6. График зифисимости абразивного износа образца от времени, г/мин
Fig. 6. Graph of the dependence of abrasive wear of the sample on time, g/min



Рис. 7. Фото образцов после абразивного износа (нумерация составов слева направо)
 Fig. 7. Photos of samples after abrasive wear (composition numbers from left to right)

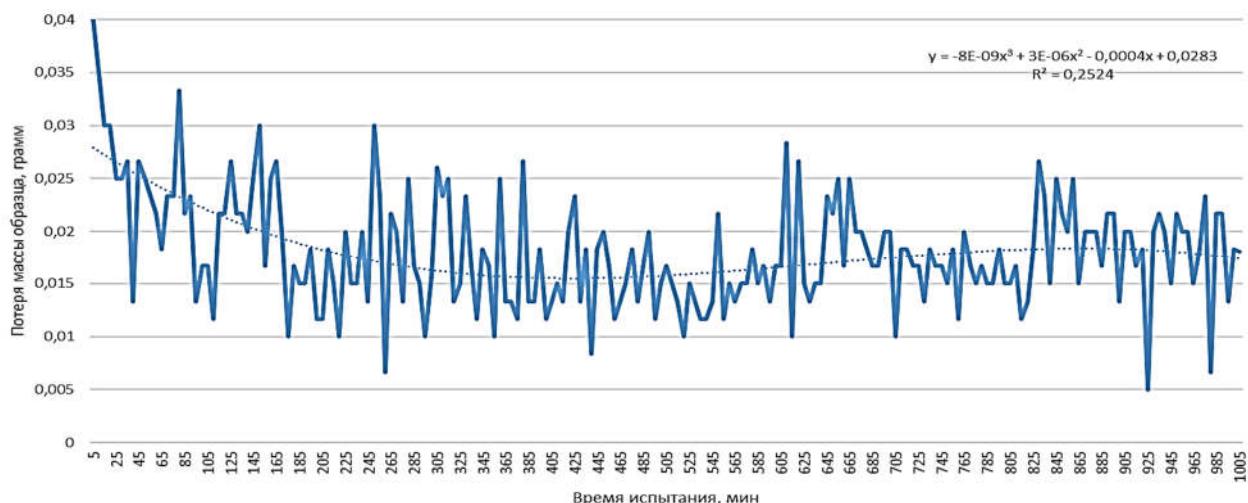


Рис. 8. График изменения массы образца 1 после каждого цикла испытания при абразивном изнашивании, г/мин
 Fig. 8. Graph of the change in mass of sample 1 after each abrasive wear test cycle, g/min

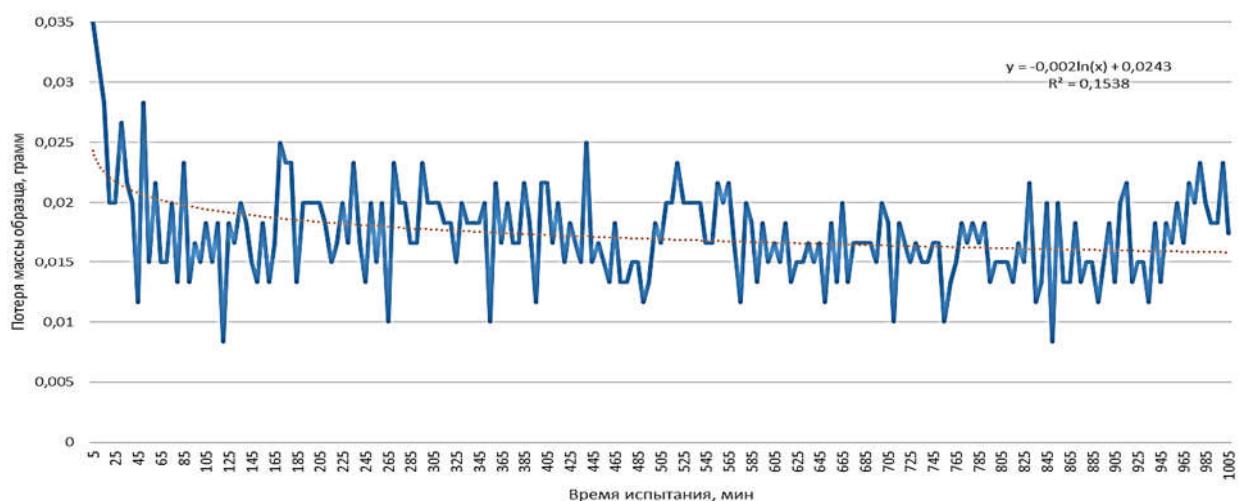


Рис. 9. График изменения массы образца 2 после каждого цикла испытания при абразивном изнашивании, г/мин
 Fig. 9. Graph of the change in mass of sample 2 after each abrasive wear test cycle, g/min

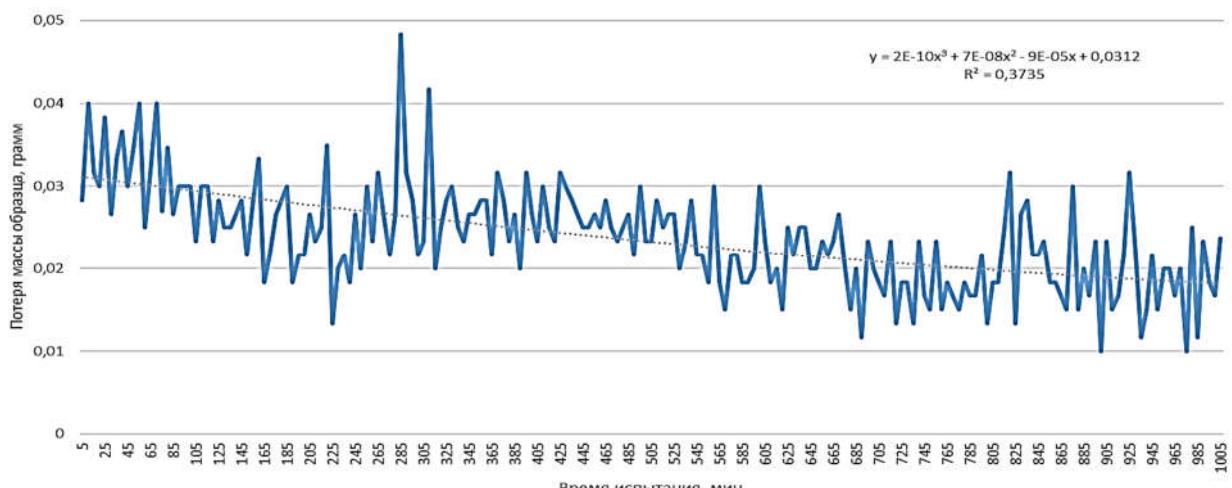


Рис. 10. График изменения массы образца 3 после каждого цикла испытания при абразивном изнашивании, г/мин

Fig. 10. Graph of the change in mass of sample 3 after each abrasive wear test cycle, g/min

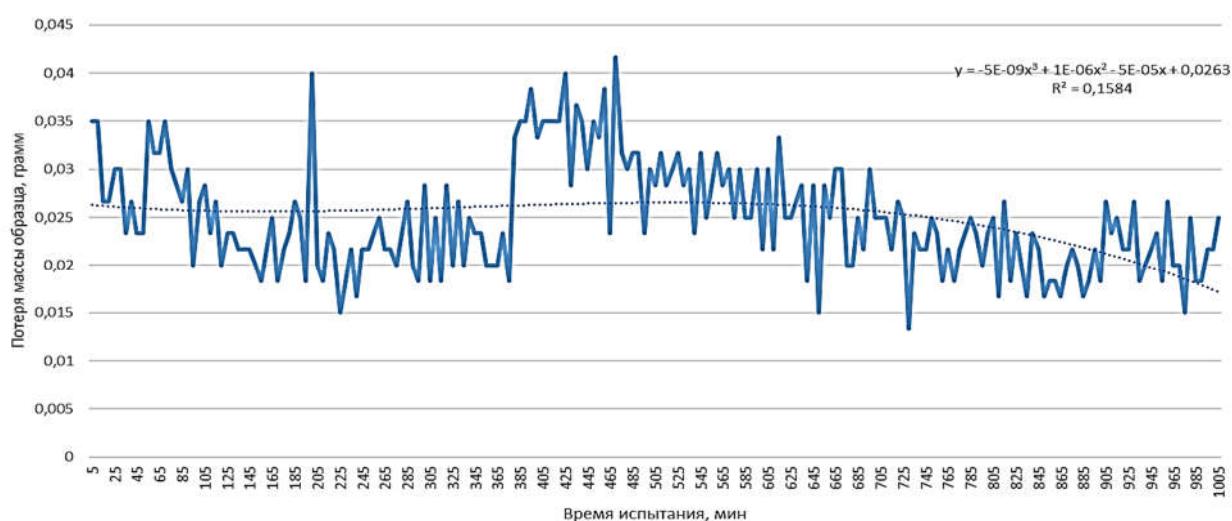


Рис. 11. График изменения массы образца 4 после каждого цикла испытания при абразивном изнашивании, г/мин

Fig. 11. Graph of the change in mass of sample 4 after each abrasive wear test cycle, g/min

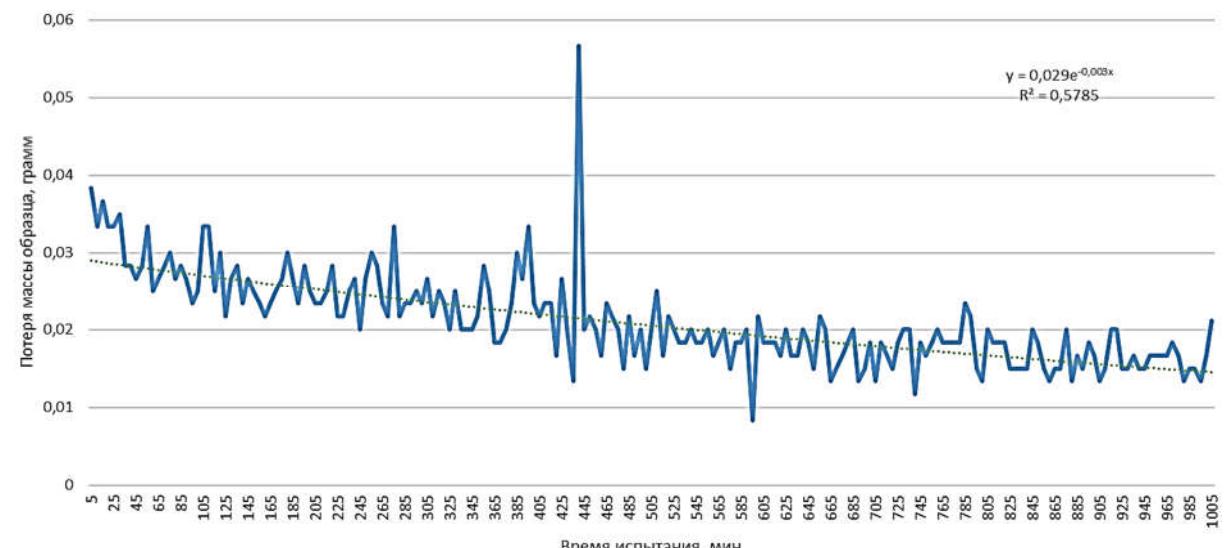


Рис. 12. График изменения массы образца 5 после каждого цикла испытания при абразивном изнашивании, г/мин

Fig. 12. Graph of the change in mass of sample 5 after each abrasive wear test cycle, g/min

Такой характер изменения массы может быть связан с различными причинами, например, неравномерность распределения тугоплавких элементов в наплавленном слое, нестабильный процесс наплавки, неравномерное перемешивание абразивного материала в процессе истирания и т.д. Определение причин нестабильного изнашивания на каждом цикле испытания требует отдельной подготовки образцов и дополнительного изучения.

При этом, коэффициент достоверности аппроксимации уравнений регрессии, так же свидетельствует о низком соответствии уравнений регрессии с действительным процессом абразивного изнашивания.

При этом для каждого наплавочного материала уравнение регрессии основано на различных математических функциях, что также свидетельствует о различиях в свойствах наплавочных материалов. Такое явление, возможно, связано с тем, что количество тугоплавких компонентов в каждом экспериментальном материале отличается, и, соответственно, по-разному сказывается на абразивной износостойкости.

Результаты испытаний на истирание в условиях трения скольжения и размеры образцов с геометрическими характеристиками лунок износа представлены в табл. 5 и 6, соответственно.

Экспериментальные результаты истирания в условиях трения скольжения

Table 5

Experimental results of abrasion under sliding friction conditions

Номер состава	Начальная масса образца $m_{\text{нач.}}$, Г	Конечная масса образца $m_{\text{кон.}}$, Г	Масса износа $m_{\text{изн.}}$, Г	Средняя масса износа за цикл $m_{\text{ср. изн.}}$, Г
1	217,41	214,517	2,893	0,2893
2	245,94	244,698	1,242	0,1242
3	242,745	241,557	1,188	0,1188
4	201,645	200,778	0,867	0,0867
5	170,91	169,432	1,478	0,1478

Анализ значений, представленных в табл. 5, показал, что за 200 мин испытаний на истирание в условиях трения скольжения наплавленного материала, так же показал, что большее значение потери массы соответствует составу под номером 1, а меньшее – составу под номером 4.

Касательно средней убыли массы за цикл испытания, можно отметить, что в

отличие от испытаний на абразивное изнашивание, при истирании в условиях трения скольжения имеет различия. Таким образом, большая величина средней потери массы за цикл испытания соответствует составу под номером 1, а меньшая – составу под номером 4.

Размеры образцов для испытаний в условиях трения скольжения

Table 6

Dimensions of samples for testing under sliding friction conditions

Номер состава	Площадь образца, мм^2	Площадь лунки износа, мм^2	Глубина лунки, мм	Соотношение глубины к площади лунки
1	823,97	550,77	1,8	$3,27 \cdot 10^{-3}$
2	998,46	373,67	1,74	$4,66 \cdot 10^{-3}$
3	939,41	359,97	1,42	$3,94 \cdot 10^{-3}$
4	846,43	331,58	1,37	$4,13 \cdot 10^{-3}$
5	536,06	321,44	1,31	$4,41 \cdot 10^{-3}$

Из анализа значений соотношения глубины к площади лунки, полученной при изнашивании в условиях трения скольжения, очевидно, что процесс изнашивания наплавленных образцов происходил также пропорционально и в одинаковых условиях.

При этом стоит отметить, что соотношение глубины к площади лунки износа имеет значительные отличия в зависимо-

сти от испытываемого наплавочного материала.

При истирании в условиях трения скольжения имеются некоторые отличия от процесса абразивного изнашивания. Графики зависимости износа представлены на рис. 13. Фото образцов после испытаний в условиях трения скольжения представлены на рис. 14.

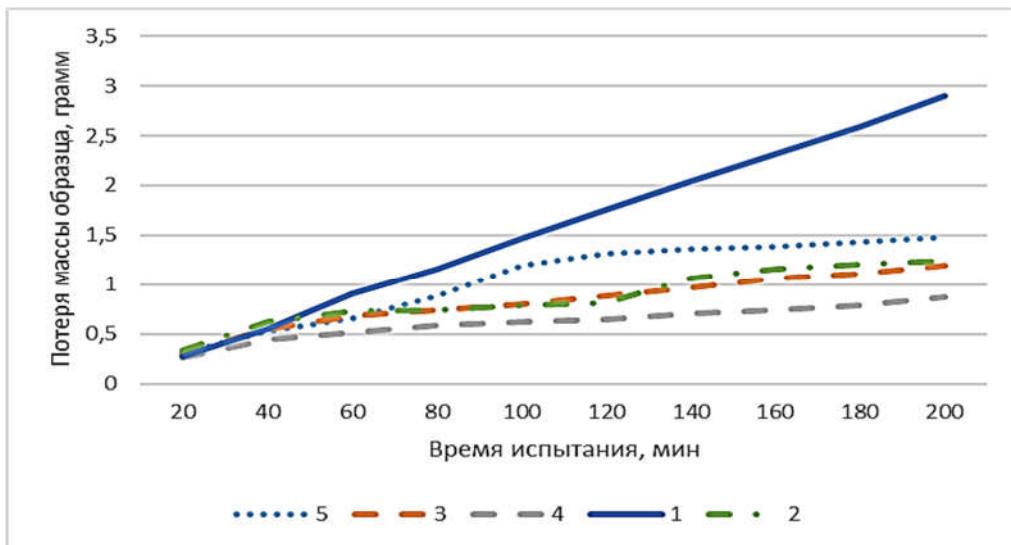


Рис. 13. График зависимости истирания в условиях трения скольжения образца от времени, г/мин
Fig. 13. Graph of the dependence of abrasion under sliding friction conditions on time, g/min



Рис. 14. Фото образцов после истирания в условиях трения скольжения (нумерация составов слева направо)
Fig. 14. Photos of samples after abrasion under sliding friction conditions (composition numbers from left to right)

При истирании в условиях трения скольжения изменение массы после каждого цикла испытания экспериментальных наплавочных материалов происходило также нестабильно. При этом стоит отметить, что характер не такой хаотичный, как при абразивном изнашивании, о чем свидетельствуют графики, представлены на рис. 15-19.

При изнашивании в условиях трения скольжения характер изменения массы также связан с соотношением и количеством тугоплавких компонентов.

При этом, коэффициент достоверности аппроксимации уравнений регрессии, свидетельствует о достаточном соответствии уравнений регрессии с действительным процессом изнашивания в условиях трения скольжения.

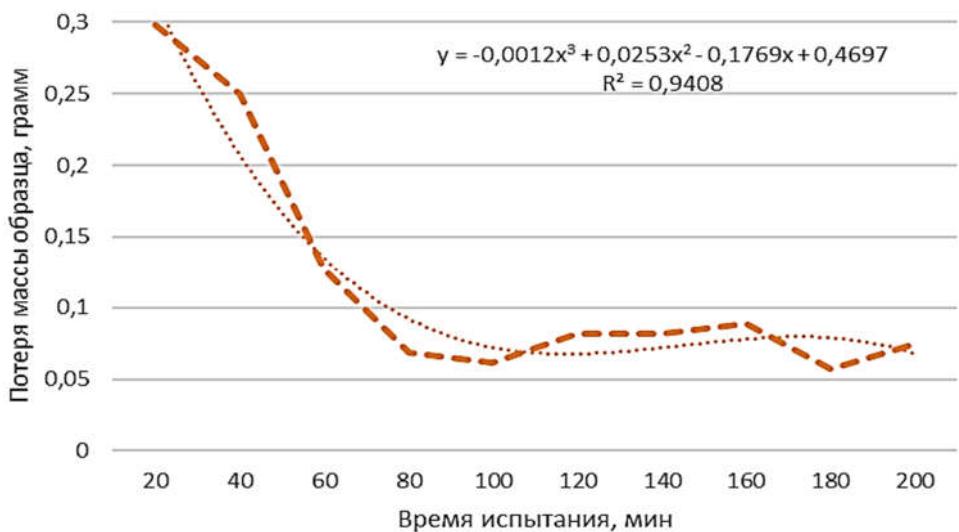


Рис. 15. График изменения массы образца 1 после каждого цикла в условиях трения скольжения образца, г/мин
 Fig. 15. Graph of the change in sample 1 mass after each cycle under sliding friction conditions, g/min

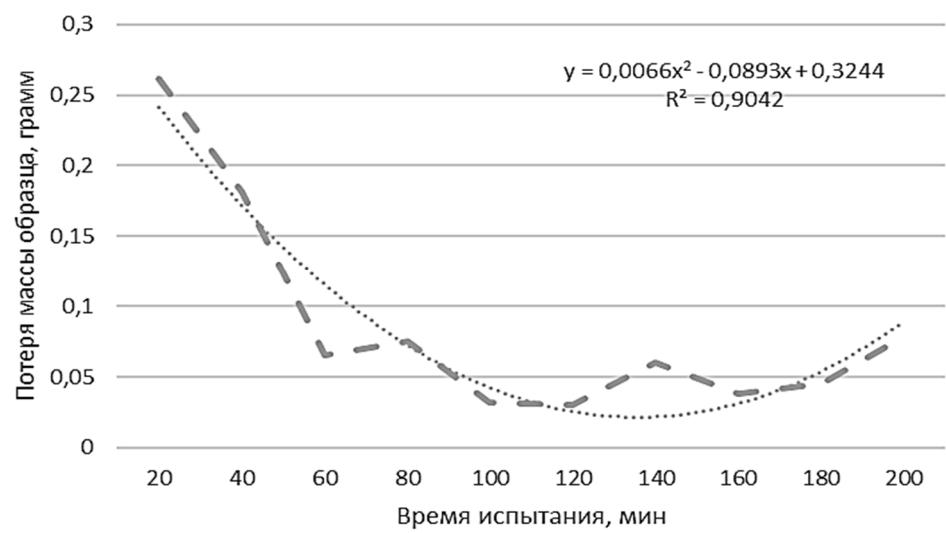


Рис. 16. График изменения массы образца 2 после каждого цикла в условиях трения скольжения образца, г/мин
 Fig. 16. Graph of the change in sample 2 mass after each cycle under sliding friction conditions, g/min

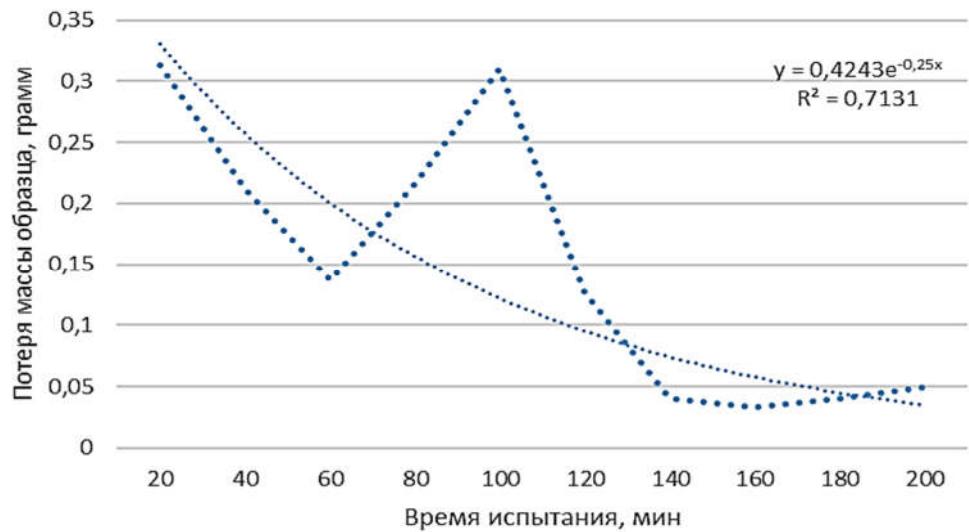


Рис. 17. График изменения массы образца 3 после каждого цикла в условиях трения скольжения образца, г/мин
 Fig. 17. Graph of the change in sample 3 mass after each cycle under sliding friction conditions, g/min

Так же, как и при абразивном изнашивании для каждого наплавочного материала уравнение регрессии основано на

различных математических функциях, что тоже свидетельствует о различиях в свойствах наплавочных материалов.

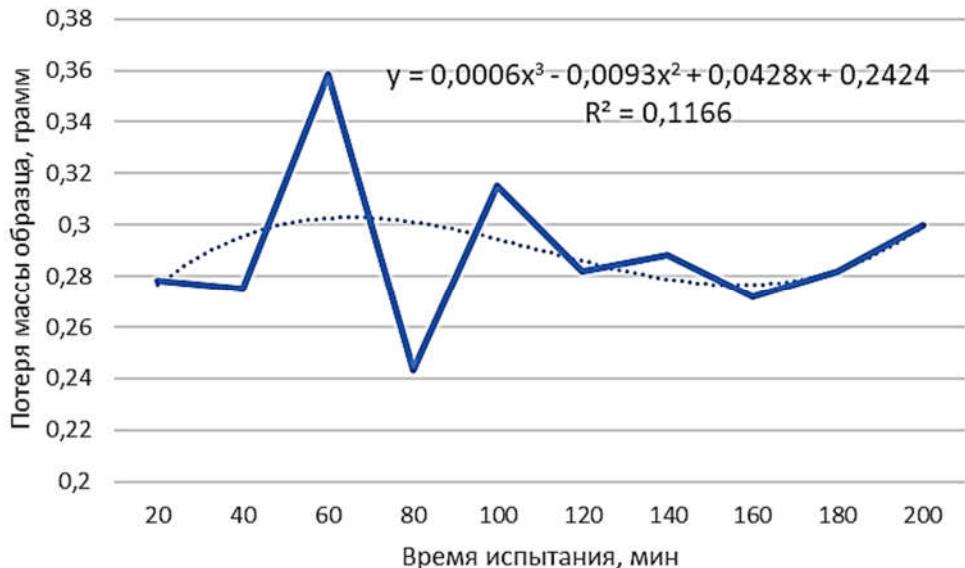


Рис. 18. График изменения массы образца 4 после каждого цикла в условиях трения скольжения образца, г/мин

Fig. 18. Graph of the change in sample 4 mass after each cycle under sliding friction conditions, g/min

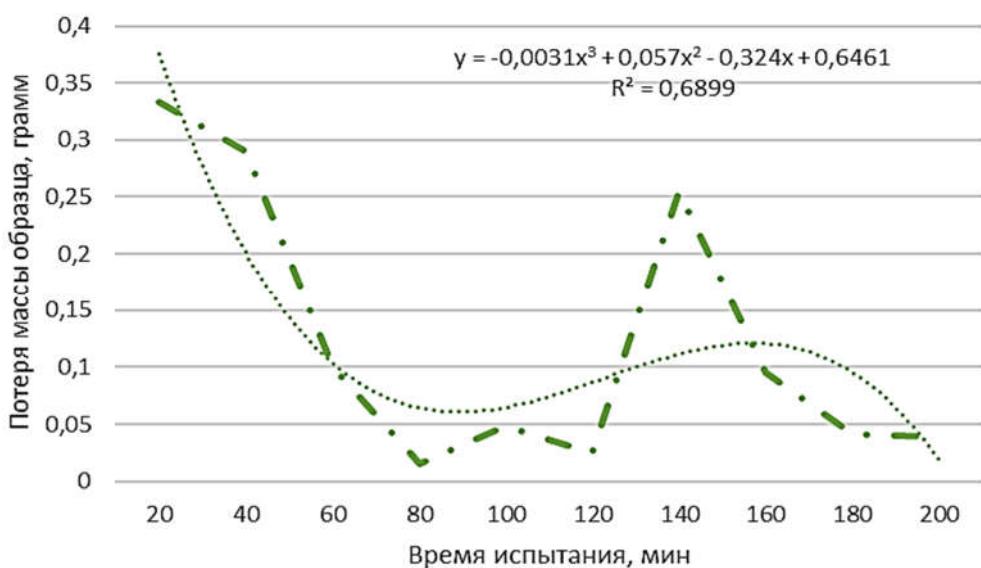


Рис. 19. График изменения массы образца 5 после каждого цикла в условиях трения скольжения образца, г/мин

Fig. 19. Graph of the change in sample 5 mass after each cycle under sliding friction conditions, g/min

Обсуждение

Анализируя полученные результаты при абразивном изнашивании и истирании в условиях трения скольжения, целесообразно отметить, что большую износостойкость имел экспериментальный материал под номером 4. Низкой износостойкостью обладал материал под номером 1. Сравни-

тельные показатели по износу с сопоставлением твердости представлены в табл. 7.

Предположительно, такой характер износа связан с соотношением тугоплавких компонентов, таких как W (вольфрам) и WC (карбид вольфрама). Например, в материале под номером 1 вольфрам отсутствовал, в отличие от материала под номе-

ром 4, где присутствовал как вольфрам, так и карбид вольфрама. Стоит отметить, что в материале под номером 3 вольфрама и карбида вольфрама больше, чем в материале 4, но износостойкость ниже. Данное явление требует дополнительного изучения и определения рационального химического состава

состава тугоплавких компонентов. Касательно неравномерности износов между каждым циклом испытания, можно отметить, что в среднем потеря массы происходила равномерно, а зависимость имеет линейный характер.

Результаты износа и твердости образцов

Таблица 7

Table 7

Results of wear and hardness of samples

Номер со-става	Убыль массы при абразивном износе, г, $m_{изн.}$	Убыль массы при адгезионном износе, г, $m_{изн.}$	Твердость, HRC*
1	4,985	2,893	46,6±1,5
2	4,222	1,242	51,5±1,5
3	3,616	1,188	52,0±1,5
4	3,485	0,867	48,0±1,5
5	4,75	1,478	43,5±1,5

* Показание твердомера 60,0 HRC на контрольном сертифицированном образце 61,1 HRC

Так же стоит отметить, что большей износостойкости соответствовала низкая твердость, по сравнению с материалами, которые обладали меньшей износостойкостью, например, составы под номерами 2 и 3.

Твердость материалов в диапазоне до 50 HRC при высокой износостойкости будет положительно сказываться на обрабатываемости данных материалов резанием. Следовательно, данный факт можно считать перспективным для разработки рационального соотношения тугоплавких компо-

нентов порошковой проволоки с последующим определением комплексной оценки материала, включающей износостойкость и обрабатываемость наплавочных материалов.

Следующим шагом является проведение комплекса экспериментальных исследований наплавочных материалов на обрабатываемость резанием, которые будут включать в себя оценку шероховатости обработанной поверхности, удалаемый объем металла, стойкость режущего инструмента.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Бабинец А.А., Рябцев И.А., Кондратьев И.А., Рябцев И.И., Гордань Г.Н. Исследование термической стойкости наплавленного металла, предназначенного для восстановления прокатных валков // Автоматическая сварка. 2014. № 5. С. 17-21.
- Титаренко В.И., Титаренко А.В., Ткаченко О.В., Голякевич А.А., Орлов Л.Н., Гиук С.П. Наплавочные технологии, оборудование и материалы – эффективный инструмент сокращения расходов на промышленных предприятиях // Сварщик. 2009. №3. С. 22-27.
- Соколов Г.Н., Зорин И.В., Артемьев А.А., Литвиненко-Арьков В.Б., Дубцов Ю.Н., Лысак В.И., Харламов В.О., Самохин А.В., Цветков Ю.В. Особенности формирования структуры и свойств наплавленных сплавов под влиянием наночастиц тугоплавких соединений // Физика и химия обработки материалов. 2014. № 2. С. 38-47.
- Бердников С.Н., Подосян А.А., Вдовин К.Н., Бердников А.С. Причины поломки роликов МНЛЗ и поиск новых материалов и конструкций для их изготовления // Сталь. 2012. № 2. С. 95-98.
- Дубровский С.А., Попов А.В., Горпинченко М.А. Восстановление роликов МНЛЗ методом электрошлакового переплава // Сталь. 2013. № 12. С. 48-50.
- Устименко А.А., Кирнос О.Я., Нерода В.Я., Горелов В.П., Вознянов Е.И., Артемов В.И., Зинковский Г.В. О принципиальных особенностях разработки, производства и применения наплавочных материалов, предназначенных для поверхностного упрочнения роликов МНЛЗ // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2010. №1 (1321). С. 74-77.
- Репников Н.И., Макаров А.В., Кудряшов А.Е., Бойко П.Ф., Мамкин В.А. Определение пер-

- спективных наплавочных материалов для восстановления роликов вторичного охлаждения МНЛЗ с использованием структурных и трибологических методов исследований // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы тридцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 280-284.
8. Соколов Г.Н., Артемьев А.А., Дубцов Ю.Н., Еремин Е.Н. Влияние азота и частиц карбонитрида титана на структуру и свойства металла системы Fe-C-Cr-Ni-Mo, наплавленного порошковой проволокой // Омский научный вестник. 2018. №2 (158). С. 15-19.
 9. Кудряшов А.Е., Макаров А.В., Владимиров А.А. Повышение стойкости роликов рольганга методом электродуговой наплавки с применением перспективных наплавочных материалов, модифицированных тугоплавкими компонентами // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка: Сборник докладов 12-го Международного симпозиума. В 2-х частях. 2021. С. 123-127.

REFERENCES

1. Babinets AA, Ryabtsev IA, Kondratyev IA, Ryabtsev II, Gordan GN. Study of the thermal stability of deposited metal intended for the restoration of forming rolls. Automatic Welding. 2014;5:17-21.
2. Titarenko VI, Titarenko AV, Tkachenko OV, Gol'yakevich AA, Orlov LN, Giyuk SP. Surfacing technologies, equipment and materials – an effective tool for reducing costs in industrial enterprises. Svarshchik. 2009;3:22-27.
3. Sokolov GN, Zorin IV, Artemyev AA, Litvinenko-Arkov VB, Dubtsov YuN, Lysak VI, Kharlamov VO, Samokhin AV, Tsvetkov YuV. Features of forming the structure and properties of deposited alloys under the influence of nanoparticles of refractory compounds. Physics and Chemistry of Materials Treatment. 2014;2:38-47.
4. Berdnikov SN, Podosyan AA, Vdovin KN, Berdnikov AS. Causes of failure of strand casting rolls and the search for new materials and structures for their manufacture. Stal (Steel). 2012;2:95-98.
5. Dubrovsky SA, Popov AV, Gorpchenko MA. Restoration of strand casting rolls by electroslag remelting. Stal (Steel). 2013;12:48-50.
6. Ustimenko AA, Kirnos OY, Neroda VY, Gorelov VP, Vozyanov EI, Artemov VI, Zinkovsky GV. On the fundamental features of the development, production and application of surfacing materials intended for surface hardening of strand casting rolls. Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information. 2010;1(1321):74-77.
7. Repnikov NI, Makarov AV, Kudryashov AE, Boyko PF, Mamkin VA. Determination of promising surfacing materials for the restoration of rolls of secondary cooling strand casting using structural and tribological research methods. Proceedings of the Thirteenth All-Russian Scientific and Practical Conference with International participation, 2016: Modern Problems of Mining and Metallurgical Complex. Science and Production. 2016. p. 280-284.
8. Sokolov GN, Artemyev AA, Dubtsov YuN, Eremin EN. The influence of nitrogen and titanium carbonitride particles on structure and properties of metal FeC-Cr-Ni-Mo system deposited by flux wire. Omsk Scientific Bulletin. 2018;2(158):15-19.
9. Kudryashov AE, Makarov AV, Vladimirov AA. Increasing the durability of gravity roll carrier elements by electric arc surfacing using advanced surfacing materials modified with refractory components. Collection of Reports of the 12th International Symposium Powder Metallurgy, 2021: Surface Engineering, New Powder Composite Materials. Welding; 2021. p. 123-127.
10. Novotochinov AP, Vladimirov A. Rational composition of refractory components of welding wire to ensure wear resistance of working surfaces of parts. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025;2:117-129. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-2-117-129.
11. Novotochinov AP. Investigation of the abrasive wear resistance of ASM-4430 surfacing materials modified with refractory components. Proceedings of the XX All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Postgraduates, 2024: Modern Problems of Mining and Metallurgical Complex. Science and Production; Stary Oskol; 2024.

12. Novotochinov AP. Investigation of adhesive wear resistance of ASM-4430 surfacing materials modified with refractory components Proceedings of the XX All-Russian Scientific and Practical Conference

of Students and Postgraduates, 2024: Modern Problems of Mining and Metallurgical Complex. Science and Production; Stary Oskol; 2024.

Информация об авторах:

Новоточинов Александр Петрович – аспирант кафедры технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта, Author-ID-РИНЦ 1286628, тел.: +79996079769.

Владимиров Александр Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта, международные идентификационные номера автора: Scopus-Author ID 57214578618, Research-ID-Web of Science AAW-8223-2020, Author-ID-РИНЦ 818516, тел. +79205605185.

Novotochinov Aleksandr Petrovich – Postgraduate student of the Department of Technology and Equipment in Metallurgy and Machine Building named after V.B. Krakht, Author-ID-RSCI 1286628, phone: +79996079769.

Vladimirov Aleksandr Andreevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Equipment in Metallurgy and Machine Building named after V.B. Krakht, Scopus-Author ID 57214578618, Research-ID-Web of Science AAW-8223-2020, Author-ID-RSCI 818516, phone: +79205605185.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 28.04.2025; одобрена после рецензирования 14.07.2025; принятая к публикации 28.07.2025. Рецензент – Шалыгин М.Г., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 28.04.2025; approved after review on 14.07.2025; accepted for publication on 28.07.2025. The reviewer is Shaligin M.G., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.