



**III Международная III International
научно-практическая scientific and practical
конференция conference
«ИННОВАЦИИ В «INNOVATIONS IN FUEL
ТОПЛИВНО- AND ENERGY COMPLEX
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ AND MECHANICAL
КОМПЛЕКСЕ ENGINEERING»
И МАШИНОСТРОЕНИИ» (FEC-2022)
(ТЭК-2022)**

*посвященная 30-летию
Национального Агентства Контроля Сварки*

Сборник трудов Materials

19-21 апреля/April, 19–21

**Кемерово, Россия / Kemerovo, Russia
2022**

Администрация Кемеровской области
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
Национальное Агентство Контроля Сварки
Кузбасский центр сварки и контроля
Томский политехнический университет
Ассоциация машиностроителей Кузбасса

**ИННОВАЦИИ В ТОПЛИВНО-
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ
КОМПЛЕКСЕ
И МАШИНОСТРОЕНИИ
(ТЭК-2022)**

**INNOVATIONS IN FUEL AND
ENERGY COMPLEX AND
MECHANICAL ENGINEERING
(FEC-2022)**

**III Международная научно-
практическая
конференция**

**III International
scientific and practical
conference**

Сборник трудов

Materials

19-21 апреля / April 2022 г.
Кемерово, Россия / Kemerovo, Russia

УДК 330:621.0(05)

ББК У305.4-551

Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении: сборник трудов III Международной научно-практической конференции, 19-21 апреля 2022 года / под ред. А. Н. Смирнова. – Кемерово : КузГТУ, 2022. – 235 с.

ISBN 978-5-00137-295-0

В сборнике представлены труды Международной научно-практической конференции «Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении», отражающие актуальные проблемы ТЭК и машиностроения, вопросы импортозамещения, эксплуатации, ремонта и восстановления деталей и узлов потенциально опасного оборудования, развитию сварочного производства, технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ).

Ответственный редактор

Смирнов А.Н.

Редакционная коллегия

Останин О.А.

Абабков Н.В.

За содержание предоставленной информации ответственность несут авторы.
Незначительные исправления и дополнительное форматирование было вызвано приведением материалов к требованиям печати

©Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, 2022

ISBN 978-5-00137-295-0

©Авторы, 2022

Содержание

Приветственные слова	10	Words of Welcome
СЕКЦИЯ 1	19	SECTION 1
УГОЛЬНОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ, ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ		COAL AND POWER ENGINEERING, IMPORT SUBSTITUTION
<i>Клишин Владимир Иванович</i> Механизированная крепь с управляемым выпуском межслоевой толщи угля	20	<i>Klishin Vladimir Ivanovich</i> Mechanized support with controlled release of interlayer coal
<i>Стародубов Алексей Николаевич</i> <i>Пылов Петр Андреевич</i> Модернизация архитектуры скрытой марковской модели как новая основа эффективного решения задачи интеллектуального учета энергопотребления	28	<i>Starodubov Alexey Nikolaevich</i> <i>Pylov Petr Andreevich</i> Modernization of Hidden Markov Model Architecture as a New Basis for Efficient Solution of the Problem of Intelligent Energy Metering
<i>Петренко Константин Петрович,</i> <i>Малышкин Дмитрий Александрович</i> Закономерности формирования параметров шероховатости при ППД	37	<i>Petrenko Konstantin Petrovich,</i> <i>Malyshkin Dmitry Alexandrovich</i> Patterns of formation of roughness parameters during SPD
СЕКЦИЯ 2	43	SECTION 2
ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭК, ИННОВАЦИИ В СВАРКЕ/НАПЛАВКЕ И УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ		THE RESTORATION OF THE EQUIPMENT OF TEK, INNOVATIONS IN WELDING/CLADDING AND HARDENING TECHNOLOGIES, FUNCTIONAL COATINGS
<i>Ковтунов Александр Иванович,</i> <i>Хохлов Юрий Юрьевич, Никитин</i> <i>Дмитрий Николаевич</i> Влияние ниобия на жаростойкость алитированных покрытий на титане	44	<i>Kovtunov Alexander Ivanovich,</i> <i>Khokhlov Yury Yuryevich, Nikitin Dmitry</i> <i>Nikolaevich</i> Influence of niobium on the heat resistance of aluminized coatings on titanium
<i>Комаров Андрей Андреевич, Киселев</i> <i>Павел Владимирович, Козырев</i> <i>Николай Анатольевич, Михно</i> <i>Алексей Романович, Усольцев</i> <i>Александр Александрович</i>	50	<i>Komarov Andrey Andreevich, Kiselev</i> <i>Pavel Vladimirovich, Kozyrev Nikolay</i> <i>Anatolievich, Mikhno Alexey</i> <i>Romanovich, Usoltsev Alexander</i> <i>Alexandrovich</i>

Повышение надежности деталей, работающих в условиях интенсивного износа, путем дуговой наплавки порошковой проволокой, дополнительно содержащей порошок титана		Improving the reliability of parts operating under conditions of intense wear by arc surfacing with flux-cored wire additionally containing titanium powder
<i>Михно Алексей Романович, Козырев Николай Анатольевич, Усольцев Александр Александрович, Жуков Андрей Владимирович</i> Исследования сварочного флюса, изготовленного из техногенного сырья металлургического производства, при проведении ремонтно-восстановительных работ металлургического оборудования	56	<i>Mikhno Alexey Romanovich, Kozyrev Nikolay Anatolievich, Usoltsev Alexander Alexandrovich, Zhukov Andrey Vladimirovich</i> Studies of the welding flux made from technogenic raw materials of metallurgical production during the repair and restoration work of metallurgical equipment
<i>Орлов Александр Семенович, Рубцова Елена Григорьевна, Сизинцев Сергей Валерьевич, Власова Екатерина Андреевна</i> Применение наноструктур (УНТ) для модифицирования сварочной ванны	61	<i>Orlov Alexander Semenovich, Rubtsova Elena Grigorievna, Sizintsev Sergey Valerievich, Vlasova Ekaterina Andreevna</i> The use of nanostructures (CNTs) for modifying the weld pool
<i>Мандров Борис Иванович, Лебедев Максим Николаевич, Ощепков Алексей Александрович, Маценко Илья Александрович, Хомутов Георгий Станиславович</i> Определение технических характеристик порошковой проволоки марки E71T-1 Ø 1,2 мм	66	<i>Mandrov Boris Ivanovich, Lebedev Maxim Nikolaevich, Oshchepkov Alexey Alexandrovich, Matsenko Ilya Alexandrovich, Khomutov Georgy Stanislavovich</i> Determination of the technical characteristics of the flux-cored wire grade E71T-1 Ø 1,2 mm
<i>Коротин Владимир Олегович</i> Поверхностное пластическое деформирование образцов с напыленным покрытием	72	<i>Korotin Vladimir Olegovich</i> Surface Plastic Deformation of Specimens with a Sputtered Coating
<i>Блюменштейн Валерий Юрьевич, Учайкин Сергей Евгеньевич</i> Анализ процессов ППД переходных поверхностей сложнопрофильными деформирующими инструментами	78	<i>Blumenstein Valery Yurievich, Uchaikin Sergey Evgenievich</i> Analysis of SPD processes of transitional surfaces with complex- profile deforming tools

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ИЗНОСА ПУТЕМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНО СОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОШОК ТИТАНА

IMPROVING THE RELIABILITY OF PARTS WORKING UNDER CONDITIONS OF INTENSE WEAR BY ARC SURFACING WITH FLUX-CORED WIRE ADDITIONALLY CONTAINING TITANIUM POWDER

Комаров Андрей Андреевич.¹

Komarov A.A.

Киселев Павел Владимирович¹

Kiselev P.V.

Козырев Николай Анатольевич¹

Kozyrev N.A.

Михно Алексей Романович¹

Mikhno A.R.

Усольцев Александр Александрович¹

Usoltsev A.A.

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State
Industrial University"

e-mail: torg_123@mail.ru

Аннотация: На основе анализа опыта эксплуатации механизмов машин горношахтного оборудования в горнорудной промышленности показано, что в сложных условиях быстро развиваются процессы деградации поверхностных слоев контактирующих деталей. Это приводит к выводу из строя механизмов машин горношахтного оборудования. В работе рассмотрены некоторые структурные особенности наплавленного слоя и их связь с износостойкостью при проведении восстановительных работ.

Ключевые слова: наплавка; порошковая проволока; порошок титана; микроструктура; твердость, износостойкость.

Abstract: Based on the analysis of the operating experience of the mechanisms of mining equipment machines in the mining industry, it is shown that in difficult conditions, the processes of degradation of the surface layers of contacting parts develop rapidly. This leads to the failure of the mechanisms of mining equipment machines. The paper considers some structural features of the deposited layer and their relationship with wear resistance during restoration work.

Key words: surfacing; flux cored wire; titanium powder; microstructure; hardness, wear resistance.

Введение

Механизмы машин горношахтного оборудования, испытывающие абразивное и ударное изнашивание при эксплуатации, преждевременно выходят из строя. Износ их

рабочих поверхностей вызывает необходимость в проведении восстановления. Поэтому разработка материалов для ремонтных работ, значительно повышающих износостойкость таких деталей и использование технологии их восстановления, является важной и актуальной задачей [1-3].

Важным вопросом при разработке нового наплавочного материала является выбор системы легирования сплава [4-6]. При выборе системы легирования следует учитывать условия работы детали, стоимость наплавочного материала, результаты испытания различных материалов в лабораторных и натурных условиях, а также характер и твердость различных фаз, их количество и т.д. Благодаря оптимально подобранному химическому составу порошковой проволоки и полученному при наплавке покрытию возможно получение наплавленного слоя, обладающего высокими значениями твердости, абразивной и ударно-абразивной износостойкости.

Наиболее перспективным для ремонтно восстановительных работ является использование наплавки порошковой проволокой на изнашивающиеся поверхности деталей [7-8]. Для этих целей в нашей стране и за рубежом ведётся разработка и изготовление специальных наплавочных порошковых проволок. Широкое распространение для наплавки абразивно-изнашивающихся изделий получили наплавочные проволоки систем Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo типа А и В по классификации МИС. В настоящее время порошковые проволоки такой системы фирмы DRATEC (Германия) марки DT-SG 600 F и порошковые проволоки фирмы ESAB марок ОК Tubrodur 15.52, ОК Tubrodur 58 O/G М широко используются для ремонтных работ на горно - шахтном оборудовании в нашей стране.

Данная работа продолжает исследования по разработке новых составов порошковых проволок используемых для наплавки изделий, работающих в условиях абразивного износа в горнорудной промышленности, в частности изучение влияния введения в порошковые проволоки углеродфторсодержащих компонентов, а также введения в состав порошка титана на степень износа и твердость наплавленного слоя.

Целью настоящей работы является исследование закономерности влияния введения в состав порошковых проволок для восстановительной наплавки изделий, работающих в условиях абразивного износа в горнорудной промышленности.

Материалы и экспериментальные процедуры

Изготовление новых составов порошковых проволок проводилось путем расчета и подготовки шихтовых материалов, их перемешивания, сушки в печи в течение 4-х часов и засыпки в бункер стана по производству порошковых проволок. В качестве шихтовых материалов использовались следующие порошковые материалы: углеродфторсодержащий материал – пыль газоочистки алюминиевого производства (в замен углерода аморфного) [9], порошок титана ПТС по ТУ 14-22-57-92, железный порошок ПЖВ-1 по ГОСТ 9849-86, никеля ПНК 1Л5 по ГОСТ 9722-97, хрома ПХ-1С по ТУ 14-1-1474-75, марганца МР-0 по ГОСТ 6008-82, кремния КР-1 по ГОСТ 2169-69. В качестве оболочки порошковой проволоки использовалась лента из Ст3. Диаметр получаемой порошковой проволоки составлял 5 мм.

Наплавка исследуемых образцов выполнялась с использованием оборудования НПЦ «Сварочные процессы и технологии» на подложку из стали 09Г2С методом автоматической наплавки под слоем флюса на следую режимах: сила тока 500А, напряжение 28В, скорость наплавки 15 см/мин. В качестве флюса использовался ранее разработанный флюс, изготовленный из техногенного сырья производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода, флюс марки НФП по ТУ 20.59.56.120-001-14796818-2020 [10].

Исследование химического состава исследуемых наплавленных слоев проводили с использованием оборудования центра коллективного пользования «Материаловедение»

рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС -71.

Металлографические исследования наплавленных слоев проводилось с использованием металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений от $\times 100$ до $\times 1000$ с использованием пакета прикладных программ для металлографических исследований Siam Photolab 700. Оценка уровня загрязненности неметаллическими включениями проводилась по ГОСТ 1778-70. Подготовка к исследованиям микроструктуры наплавленного слоя проводилось путем химического травления полированных образцов 4-х % раствором азотной кислоты. Величину зерна и характеристики структур определяли по ГОСТ 5639-82 при увеличении $\times 100$ и по ГОСТ 8233-56 при увеличении $\times 1000$ методом сравнения с эталонными шкалами.

Измерение твердости наплавленных слоев выполняли по методам Бринелля и Роквелла в соответствии с требованиями ГОСТ 9012-59 и ГОСТ 9013-59.

Трибологические испытания проводились на испытательной машине 2070 СМТ-1 по схеме диск – колодка по режиму: нагрузка 30 мА (78,4Н), частота 20 об/мин. в течение 4-х часов.

Результаты и обсуждение

Результат исследования химического состава наплавленных образцов порошковыми проволоками представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав наплавленного слоя

№ образца	Массовая доля элементов, %												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	V	Mo	Al	Nb	S	P
1Т	0,18	0,38	1,10	2,40	0,05	0,05	0,005	0,006	0,06	0,028	0,001	0,094	0,013
2Т	0,15	0,36	1,01	2,25	0,04	0,06	0,005	0,004	0,04	0,021	0,002	0,089	0,012
3Т	0,35	0,29	0,96	2,65	0,04	0,06	0,017	0,004	0,05	0,020	0,002	0,101	0,015
4Т	0,38	0,65	1,40	2,45	0,05	0,06	0,053	0,005	0,06	0,011	0,003	0,085	0,014
5Т	0,41	0,79	1,50	2,23	0,05	0,06	0,075	0,002	0,04	0,017	0,003	0,077	0,015

Коэффициент извлечения титана составил 6,2-8,6%. Результаты проведения испытаний наплавленного слоя на твердость и износ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты проведения испытаний на твердость и износ

№ образца	Твердость HRC (Среднее значение)	Твердость HB (Среднее значение)	Интенсивность изнашивания, г/об
1Т	35,61	348,32	$7,8 \cdot 10^{-5}$
2Т	37,16	310,16	$10,2 \cdot 10^{-5}$
3Т	42,46	391,4	$2,6 \cdot 10^{-5}$
4Т	52,73	531,7	$3,4 \cdot 10^{-5}$
5Т	53,11	555,94	$2,7 \cdot 10^{-5}$

Исследование образцов наплавленного слоя на загрязненность неметаллическими включениями показало, что в образцах преимущественно наблюдаются оксиды точечные балл 1а, 2а, представляющие собой включения в виде отдельных частиц, а также во всех исследуемых образцах присутствуют силикаты недеформирующиеся в виде отдельных включений балла 1а, 2а.

Таблица 3 – Неметаллические включения наплавленных образцов

№ образца	Загрязненность неметаллическими включениями, балл	
	Оксиды точечные	Силикаты недеформирующиеся
1Т	1а	1а
2Т	1а, 2а	1а
3Т	1а, 2а	1а, 2а
4Т	1а, 2а	1а, 2а
5Т	1а, 2а	1а

Установлено, что повышение содержания титана в составе порошковой проволоки при одинаковом содержания остальных химических элементов в составе наплавленного слоя незначительно влияет на степень загрязненности неметаллическими включениями.

Для всех исследуемых образцов отмечена незначительная загрязненность неметаллическими включениями, не оказывающая негативное влияние на свойства наплавленного слоя и допустима для использования исследуемой порошковой проволоки.

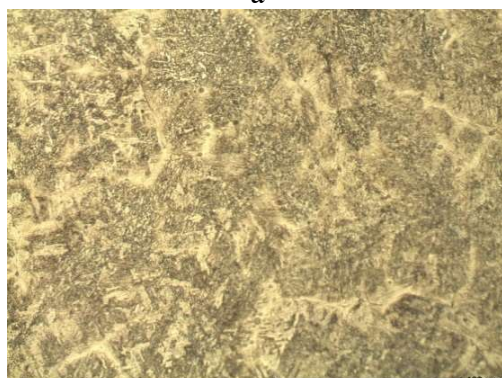
Микроструктура наплавленного металла (рис. 1.) имеет в основном дендритное строение и представляет собой мелкоигольчатый и среднеигольчатый мартенсит (балл 3-7) с размером игл (3 – 7) мкм, сформировавшийся внутри границ бывшего зерна аустенита, небольшое количество аустенита остаточного в виде отдельных участков и тонкие прослойки δ-феррита.



а



б



в



г



д

Рисунок 1 – Микроструктура наплавленного металла в зависимости от содержания титана в порошковой проволоке, $\times 500$.

а – образец 1Т, б – образец 2Т, в – образец 3Т, г – образец 4Т, д – образец 5Т

Регрессионные модели, описывающие влияние концентрации массовой доли химических элементов, входящих в наплавленный слой металла на степень износа и твердость наплавленного слоя:

- скорость износа ($\text{г/об} \cdot 10^{-5}$): $0,000257 + 0,003031 \cdot C + 0,006191 \cdot Si - 0,00265 \cdot Mn - 0,03179 \cdot Ti$ (ошибка аппроксимации составляет 0,00012%);
- $HRC = 47,4078 + 1344,28 \cdot C + 2358,56 \cdot Si - 989,44 \cdot Mn - 12327,4 \cdot Ti$ (ошибка аппроксимации составляет 0,00011%).

Выводы

1. Полученные результаты исследования влияния введения в состав порошковых проволок порошка титана указывают на небольшое изменение микроструктуры наплавленного слоя, снижается размер игл мартенсита и величина зерна.
2. Увеличение содержания в наплавленном слое титана способствует увеличению твердости и снижению степени износа исследуемых образцов.

Работа выполнена в рамках государственного задания: 0809-2021-0013

Список литературы

1. D.B. Slinko, R.Yu.Solovev, A.B.Kaveshnik. Experience in the use of plasma powder surfacing in the reduction of the semi-axes stages subway escalators. Trudy GOSNITI – Moscow . 2015 Vol. 121. p. 243 – 249.
2. Дураков В.Г., Гнусов С.Ф., Дампилов Б.В., Дехонова С.З. Влияние технологических параметров электронно-лучевой наплавки на структуру медно-хромовых композитов // Известия ТПУ. – 2012. – Т. 320. – № 2. – С. 80–86.
3. A study on the properties of the deposited metal by flux cored wires 40GMFR and 40H3G2MF / A. I. Gusev, N. V. Kibko, N. A. Kozyrev, M. V. Popova, I. V. Osetkovsky // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 1–7 (012033).
4. Особенности фазового состава и строение слоев на основе диборида TiB_2 , сформированных в поверхностных слоях углеродистых сталей при воздействии интенсивных электронных пучков в вакууме / З.М. Халтаров, А.С. Милонов, Н.Н. Смирнягина, В.М. Халтанова // ВЕСТНИК БУРЯТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА. – 2011. – С. 203-209.

5. Малушин Н.Н., Осетковский В.Л., Осетковский И.В. Наплавка с низкотемпературным подогревом теплостойкими сталями деталей металлургического оборудования // Заготовительные производства в машиностроении. 2014. № 10. С. 6–10
6. Громов В.Е., Капралов Е.В., Райков С.В., Иванов Ю.Ф., Будовских Е.А. Структура и свойства износостойких покрытий, наплавленных электродуговым методом на сталь порошковыми проволоками // Успехи физики металлов. – 2014. – Т.15. – С. 211–232.
7. Капралов Е.В., Будовских Е.А., Громов В.Е., Райков С.В., Иванов Ю.Ф. Формирование наноструктурно-фазовых состояний и свойств износостойкой наплавки на стали // Наноинженерия. – 2015. – №4(46). – С. 14–23.
8. Влияние введения вольфрама и хрома на свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co / А. И. Гусев, Н. А. Козырев, Н. В. Кибко, Р. Е. Крюков, И. В. Осетковский // Заготовительные производства в машиностроении (Литейное и сварочное производства). – 2019. – Т. 17, № 2. – С. 56–60.
9. Капралов Е.В., Будовских Е.А., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф. Наноструктурные состояния и свойства наплавки, сформированной на стали порошковой проволокой // Изв. вузов. Физика. – 2015. – Т.58, №4. – С. 39–45.
10. Влияние введения в шихту для производства порошковой проволоки системы C-Si-Mn-Cr-V-Mo углеродфторсодержащей добавки и никеля / Н. А. Козырев, Д. А. Титов, С. Н. Старовацкая, О. Е. Козырева, В. М. Шурупов // Известия вузов. Черная металлургия. – 2014. – № 4. – С. 34–37.