

Сибирский государственный индустриальный университет, Россия  
Международная высшая школа Цинхуа в Шэньчжэне, Китай  
Институт физики прочности и материаловедения  
Сибирского отделения Российской академии наук, Россия  
Алтайский государственный технический университет  
имени И.И. Ползунова, Россия  
Национальный исследовательский Томский  
государственный университет, Россия  
Научно-образовательный центр мирового уровня "Кузбасс", Россия  
Университет науки и технологий Пекина, Китай  
Хуачжунский университет науки и технологий, Китай  
Университет Вэньчжоу, Китай  
TGL Technology LTD, Великобритания

**МАТЕРИАЛЫ ВО ВНЕШНИХ ПОЛЯХ  
(МВП–2023)**

13 – 14 марта 2023

*Труды  
XII МЕЖДУНАРОДНОГО ОНЛАЙН СИМПОЗИУМА*

Новокузнецк, 2023

УДК 669.017:539.2 (06)

ББК 22.9

М 39

Редакционная коллегия:

д-р физ.-мат. наук, профессор В.Е. Громов,

д-р. техн. наук, доцент Д.В. Загуляев,

д-р. техн. наук, доцент С.А. Невский,

аспирант кафедры ЕНД им. проф. В.М. Финкеля А.Н. Гостевская,

аспирант кафедры ЕНД им. проф. В.М. Финкеля А.А. Серебрякова

М 39        Материалы во внешних полях : труды XII Международного онлайн-симпозиума / под ред. В.Е. Громова, Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2023. – 151 с.

Сборник трудов конференции содержит научные доклады в области физики конденсированных сред, основанные на научных достижениях, сгруппированные по разделам: перспективные технологии поверхностной упрочняющей обработки, проблемы прочности, пластичности материалов при внешнем энергетическом воздействии, проблемы эксплуатации материалов в экстремальных условиях, исследования высокоэнтропийных сплавов, методы получения и обработки материалов. В докладах представлены результаты, полученные экспериментальными методами и теоретическим моделированием. Актуальность выбранных направлений обосновывается ежегодно проводимыми международными конференциями, специализированными изданиями, международными проектами, посвященными поднимаемым темам.

Сборник трудов предназначен для специалистов по прочности и пластичности материалов в условиях внешних энергетических воздействий и может быть использован научно-техническими работниками, аспирантами и студентами старших курсов.

УДК 669.017:539.2 (06)

ББК 22.9

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2023

## Содержание

<b>Секция 1. Передовые технологии упрочняющей поверхностной обработки.....</b>	<b>7</b>
Структурно-фазовые состояния поверхности титана после электровзрывного науглероживания совместно с оксидом циркония и электронно-пучковой обработки А.В. Ионина, Е.С. Вашук, Е.А. Будовских, В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов.....	9
Электронно-ионно-плазменный комплексный многоцикловый метод модификации поверхностного слоя высоколегированной стали аустенитного класса Ю.Ф. Иванов, В.В. Шугуров, Е.А. Петрикова, А.Д. Тересов, И.В. Лопатин.....	11
Макроскопическая локализация пластической деформации трехслойного композита С.А. Баранникова, Ю.В. Ли.....	13
Упрочнение и выглаживание аддитивных поверхностей титанового сплава ВТ6 электроискровой обработкой многокомпонентными электродами С.К. Муқанов, П.А. Логинов, М.И. Петржик, А.Е. Кудряшов, Е.А. Левашов.....	15
Изменение механических свойств аморфно-нанокристаллического металлического сплава воздействием лазерного излучения И.С. Сафронов, А.А. Неплюева.....	17
Crystal filling geometry of coordination spheres in the d0 <sub>3</sub> superstructure M.D. Starostenkov, Z. Yang, G. Dong.....	19
Анализ влияния режимов комбинированного упрочнения титановых сплавов на усталостную долговечность и износостойкость М.Д. Романенко, В.В. Баринов, К.А. Бадиков, К.И. Сенцов.....	21
Исследование развития точечных дефектов в кристалле гранцентрированной кубической решётке М.Д. Старостенков, А.С. Кочкин, К.А. Теников, А.Ю. Варавина <sup>3</sup> , Р.Е. Сальникова.....	23
Моделирование локального проплавления в поверхностном слое металлического сплава А.И. Ушаков, И.С. Сафронов.....	25
Микроструктурные и трибологические исследования новых износостойких покрытий для горношахтного оборудования В.К. Дробышев, А.Р. Михно, А. Н. Гостевская.....	26
<b>Секция 2. Проблемы прочности, пластичности материалов при внешних энергетических воздействиях.....</b>	<b>29</b>
Ostwald ripening accelerated by electropulsing Sh. Xia, W. Jie, Q. Li.....	31
Структура и свойства заэвтектического силумина, подвергнутого комплексной обработке Ю.А. Шлярова, В.В. Шляров, Д.В. Загуляев, А.А. Серебрякова, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов.....	35
Modelling of processes during heat treatment of rails V.D. Sarychev, A.D. Filyakov, I.I. Chumachkov, S.V. Kononov.....	36
Молекулярно-динамическое моделирование влияния лазерной абляции на строение металла А.Н. Гостевская, А.В. Маркидонов, В.К. Дробышев, И.А. Панченко.....	40
Влияние параметров получения электронно-лучевой аддитивной технологией образцов интерметаллидов титан-алюминий на микротвердость Л. Юаньсюнь, Ж.Г. Ковалевская.....	42
Анализ причин ускорения насыщения поверхности металлов при электролитно-плазменной и иных видах электро-химико-термической обработки Д.Е. Капуткин, В.Н. Дураджи, Н.А. Капуткина.....	44
Критерий коробления при термической обработке при симметричном распределении температур Д.Е. Капуткин.....	46
Высокопрочные криогенные аустенитные cr-ni-mn стали, легированные азотом Л.М. Капуткина, И.В. Смарыгина.....	48
Mechanical characteristics and fracture surface of lead grade 2 destructed in a constant magnetic field A.A. Serebryakova, V.V. Shlyarov, D.V. Zaguliaev.....	50
Влияние вибрации на процессы усталости конструкционных материалов и элементов О.Б. Скворцов.....	51

Управление свойствами полупроводниковых гетероструктур и мдп-наноструктур с помощью внешних полей Н. Е. Капуткина.....	53
Влияние внешних и собственных электромагнитных полей на пластические свойства металлических проводников В.И. Стащенко, О.Б. Скворцов.....	55
Создание макетных образцов композиционной балки. подготовка образцов к серии предварительных механических испытаний Д.А. Дурасова.....	56
Features of the fracture surface of the AK5M2 alloy modified with Ti and irradiated by an electron beam A. A. Serebryakova, Yu. A. Shliarova, D.V. Zaguliaev, Yu.F. Ivanov.....	58
Влияние температуры на неоднородность пластической деформации Fe-Cr-Ni сплава С.А. Баранникова, П.В. Исакова.....	59
Моделирование консервативного движения дислокационных порогов для оценки интенсивности генерации точечных дефектов Д.Н. Черепанов.....	61
Влияние свойств элемента деформационной среды на формирование различных типов полос суперлокализации пластической деформации Я.Д. Липатникова, Ю.В. Соловьева, И.Г. Вовнова, Л.А. Валуйская, Н.Н.Белов.....	63
Изменение элементного и фазового состава, дефектной субструктуры образцов системы «пленка (титан) / (AK5M2) подложка», подвергнутых облучению электронным пучком В.В. Шляров, Д. В. Загуляев, Ю.А. Шлярова, А.А. Серебрякова, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов.....	65
Ориентационная зависимость характеристик поверхностных упрочненных слоев в монокристаллах аустенитной нержавеющей стали после ионно-плазменного насыщения Е.А. Загибалова, А.С. Нифонтов, Е.Г. Астафурова.....	67
Многоцикловая усталость технически чистого титана в условиях магнито-полевых воздействий В.В. Шляров, К.В. Аксенова, А.А. Серебрякова, Д.В. Загуляев.....	74
Исследование микроструктуры и микротвердости Al-Zn-Mg-Cu сплава, полученного аддитивным способом В.К. Дробышев, Д.Н. Лабунский, И.А. Панченко, С.В. Коновалов.....	76
<b>Секция 3. Проблемы эксплуатации материалов в экстремальных условиях.....</b>	<b>79</b>
Собственные акустические колебания как возможный фактор стресс-коррозии на магистральном газопроводе А.Б. Арабей, И.В. Ряховских, Т.Ю. Истомина, Д.Е. Капуткин, Д.И. Преферансов, С.И. Погуляев, В.А. Степанова.....	83
Механизмы упрочнения рельсовой стали при сжатии К.В. Аксёнова, Е.С. Ващук, В.Е. Громов, Ю.Ф.Иванов.....	85
Взаимное влияние грунтового электролита и углеродистой стали в процессе биологической коррозии при воздействии ультразвуковых колебаний Д. Е. Капуткин, Т. Ю. Истомина, В.А. Степанова, Д.И. Преферансов.....	88
Внутренние напряжения и их источники в рельсовых сталях Н.А. Попова, В.Е. Громов, М.А. Порфирьев, Р.Е. Крюков, В.В. Шляров, А.А. Юрьев.....	89
Динамические механические нагрузки на проводящие элементы электромеханического оборудования, связанные с воздействием электрических и магнитных полей О.Б. Скворцов, В.И. Стащенко.....	90
Сопrotивление ползучести модифицированного сплава TNM-B1 с глобулярной и ламеллярной структурой, полученного методом порошковой металлургии Г.М. Марков, П.А. Логинов, Е.А. Левашов.....	92
Структурно-фазовое состояние и свойства тонких пленок на основе in-sn-o, напыленных на кварцевые стекла методом магнетронного распыления металлической мишени из сплава индия и олова Р.Б. Турсунханова, В.П. Сергеев, М.П. Калашников, О.В. Сергеев, В.В. Нейфельд.....	93
Deformation of different ribbon amorphous alloys under cyclic loading and uniform heating A.D. Berezner, V.A. Fedorov.....	97
Прочностные, трибологические свойства и структурно-фазовые состояния рельсовых сталей М.А. Порфирьев, В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов, Ю.А. Шлярова, Р.Е. Крюков,	

Г.И. Черепанова.....	103
Эволюция структурно-фазового состояния и качеств рельсов из заэвтектидной стали при долговременной эксплуатации М.А. Порфирьев, В.Е. Громов*, Р.Е. Крюков, А.А. Юрьев, Г.И. Черепанова.....	105
<b>Секция 4. Материалы на основе высоко- и среднеэнтропийных сплавов, высоколегированные сплавы, методы их получения, структура, механические и функциональные свойства, механизмы деформации.....</b>	<b>107</b>
Температурная зависимость механических свойств и деформационное поведение образцов, полученных методом электронно-лучевого аддитивного производства с использованием проволоки из аустенитной нержавеющей стали Е.Г. Астафурова, Е.В. Мельников, С.В. Астафуров, М.Ю. Панченко, К.А. Реунова, А.В. Лучин, Е.А. Колубаев.....	109
The mechanical properties of WAAM-CMT Al-5Si alloy C. Su, S. Konvalov.....	110
Структурно-фазовое состояние высокоэнтропийного сплава кантора после испытаний на разрушение А.Н. Гостевская, В.К. Дробышев, И.А. Панченко, С.В. Коновалов.....	112
Температурная зависимость механических свойств многокомпонентных сплавов системы FeMnCrNiCo(N) Д.О. Астапов, К.А. Реунова, Д.Ю. Гуртова, Е.Г. Астафурова.....	114
Изменение микротвердости покрытий из высокоэнтропийных сплавов В.Е. Громов, М.О. Ефимов, Ю.А. Шлярова, И.А. Панченко, С.В. Коновалов.....	115
Теплостойкие сплавы повышенной твердости, сформированные плазмой в азоте Н.Н. Малущин, В.Е. Громов, Л.П. Бащенко.....	116
Влияние легирования водородом на механизмы деформации аустенитной стали при холодной прокатке Е.В. Мельников, Е.Г. Астафурова.....	118
Механизмы формирования структур в материалах при воздействии плазменных потоков электрического взрыва проводника С.А. Невский, В.Д. Сарычев, А.Ю. Грановский, Л.П. Бащенко, В.Е. Громов, Д.В. Шамситдинов.....	120
Испытания на разрыв композиционных материалов на основе аморфных металлических сплавов марки 82К3ХСР и полимеров А.Д. Ошоров, И.В. Ушаков.....	122
Влияние старения на водородное охрупчивание высокоэнтропийных сплавов Fe <sub>20</sub> Cr <sub>20</sub> Ni <sub>20</sub> Mn <sub>20</sub> Co <sub>20-x</sub> N <sub>x</sub> Д.Ю. Гуртова, М.Ю. Панченко, Д.О. Астапов, Е.Г. Астафурова...	124
Эволюция дислокационных субструктур от деформации в медно-марганцевых сплавах Л.И. Тришкина, А. А. Клопотов, Т.В. Черкасова, В.И. Бородин, А.И. Потехаев, Д.А. Иванова.....	126
Структурные исследования влияния легирования переходными металлами Cr, V и смесью на основе тугоплавких металлов на структурно-фазовое состояние в стали гадфильда Н.А. Попова, А. А. Клопотов, Е.Л. Никоненко, В.И. Бородин, А.И. Потехаев.....	128
Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние длительно эксплуатируемой стали 12Х1МФ Н.А. Попова, Е.Л. Никоненко, Н.В. Абабков, А.Н. Смирнов, В.И. Данилов.....	130
Структура и свойства покрытий из высокоэнтропийных сплавов FeCoCrNiMn и FeCoCrNiAl В.Е. Громов, С.В. Коновалов, Ю.Ф. Иванов, М.О. Ефимов, Ю.А. Шлярова, И.А. Панченко, Г.И. Черепанова.....	132
<b>Секция 5 Методы получения и обработки металлических и неметаллических материалов конструкционного и функционального применения.....</b>	<b>135</b>
Research of argon arc surfacing parameters influence on the babbitt intermediate layer structure in the manufacture of functionally organized layered compositions V.Y. Plyukhina, R.S. Mikheev..	137
Получение двухкомпонентных металлических покрытий различной морфологии методом электроосаждения А.Г. Денисова, В.А. Данилов.....	139
Модификация структуры и механических свойств оксидной керамики ионной обработкой С.А. Гынгазов, В.А. Болтуева.....	141
Получение композиционных материалов на основе Ti-Al «Гидридной технологией» Н.И. Каракчиева, В.И. Сачков, И.А. Курзина.....	143

Влияние дозы имплантации ионами Al на упрочнение сплава ВТ1-0 в мелкозернистом состоянии А.В. Никоненко, Н.А. Попова, Е.Л. Никоненко.....	144
Ultrasonic welding of peek plates with cf fabric reinforcement. the process optimization by the neural network simulation S.V. Panin, V. O. Alexenko, D. Yu. Stepanov, A. V. Byakov, A.A. Bogdanov, D. G. Buslovich, D. Tian.....	146
Исследование процесса уплотнения порошков на основе диоксида циркония при спекании в присутствии малых добавок в виде легкоплавких оксидов в условиях термического нагрева и при нагреве пучком электронов С.А. Гынгазов, И.П.Васильев.....	148

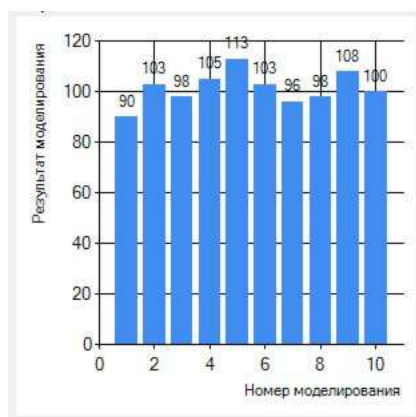


Рисунок 3 – Разброс результатов моделирования при использовании генератора случайных/квазислучайных чисел

Границы применимости модели выбираются исходя из структуры и свойств материала, для которого планируется проведение исследований.

Программа позволяет моделировать специфику лазерного проплавления в композитах и получать информацию о микроструктуре таких материалов.

#### Библиографический список

1. Kaputkin D.E., Kaputkina L.M., Prokoshkin S.D. Transformation of retained austenite during tempering of high carbon steel. // Journal de Physique IV. – 2003. – v. 112, October. – pp. 275-278.
2. Капуткин Д.Е. Способы закалки металлов из жидкости. // Технология металлов. – 2005, №9. – с. 47–53.
3. Ушаков И. В., Ошоров А. Д. Физические закономерности деформирования и разрушения двухслойного композиционного соединения полимер – нанокристаллическая металлическая пленка в условиях локального нагружения пирамидкой Виккерса // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2021. Т. 11, № 4. С. 95–107. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2021-11-4-95-107>
4. Ушаков, И. В. Микроразрушение многослойного композита на основе аморфно-нанокристаллического металлического сплава / И. В. Ушаков, А. Д. Ошоров // Вестник Московского авиационного института. – 2022. – Т. 29. – № 3. – С. 246-252. – DOI 10.34759/vst-2022-3-246-252.

УДК 621.791.042.3

## МИКРОСТРУКТУРНЫЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НОВЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ГОРНОШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В. К. Дробышев, А. Р. Михно, А. Н. Гостевская

*Сибирский государственный индустриальный университетг. Новокузнецк, Россия,*

*e-mail: drobyshhev\_v.k@mail.ru*

**Аннотация:** представлены исследования по разработке новых составов порошковых проволок, используемых для наплавки изделий, работающих в условиях абразивного износа.

**Ключевые слова:** порошковая проволока, порошок титана, микроструктура, трибологические исследования, неметаллические включения, углеродфторсодержащая добавка.

Разработка материалов для проведения ремонтных работ, которые увеличивают срок службы, а также значительно повышают износостойкость вышеуказанных механизмов, кроме того использование технологии восстановления данной техники и механизмов, является важной и актуальной задачей [1-3].

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.

Химический состав наплавленных слоев металла, полученного с использованием изготовленной опытной проволоки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав наплавленного слоя

№ образца	Массовая доля элементов, %												
	C	Cu	Mn	P	Ni	Si	Nb	V	Cr	Mo	Al	Ti	S
1Т	0,18	0,05	1,10	0,013	0,05	0,38	0,001	0,006	2,40	0,06	0,028	0,005	0,094
2Т	0,41	0,79	1,50	2,23	0,05	0,06	0,075	0,002	0,015	0,04	0,017	0,003	0,077

По результатам трибологических исследований наплавленного металла было установлено, что увеличение процентного содержание приводит к существенному изменению данных характеристик. Измерение твердости показало, что увеличение содержания титана в наплавочном слое приводит к линейному увеличению твердости готового изделия с 35,61 до 53,11 HRC. По результатам проведенных трибологических испытаний установлено, что происходит уменьшение интенсивности изнашивания в 3 раза.

При исследовании микроструктуры наплавленного слоя образцов 1Т и 2Т после электролитического травления установлено, что она имеет идентичное друг другу дендритное (столбчатое) строение, характерное для литого металла и представляет собой мартенсит.

При исследовании поверхности шлифов методом сканирующей электронной микроскопии образцов 1Т и 2Т были выявлены включения различной морфологии. Размер выявленных включений не превышает 18 мкм. Анализ химического состава данных включений, показал, что основными составляющими являются оксиды алюминия, кремния, титана и марганца, также присутствуют в незначительном количестве магний, натрий и кальций.

По результатам проведенных исследований, определено, что при увеличении содержания титана в составе шихты порошковой проволоки, способствует увеличению твердости наплавленного слоя металла, однако на основании химического анализа выявлено, что так же происходит увеличение содержания углерода, это связано с вводимой углеродфторсодержащей добавкой в состав шихты порошковой проволоки при этом происходит увеличение содержания неметаллических включений, содержащих, элементы фтора, натрия и алюминия, которые в свою очередь могут неблагоприятно сказываться на физико-механических свойствах наплавленного слоя. Использование данной информации, позволит оптимизировать концентрацию углеродфторсодержащих добавок, позволяющих снизить загрязненность наплавленного слоя неметаллическими включениями.

*Работа выполнена в рамках государственного задания (шифр темы 0809-2021-0013)*

#### **Библиографический список**

1. D.V. Slinko, R.Yu. Solovov, A.B.Kaveshnik. Experience in the use of plasmapowder 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., Дампилон 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. Дробышев, В. К. Разработка порошковой проволоки для наплавки деталей, используемых в условиях интенсивного износа / В. К. Дробышев // КоМУ-2022: Материалы XIV Всероссийской школы-конференции молодых учёных с международным участием, Ижевск, 05–09 декабря 2022 года.



Научное издание

# **Материалы во внешних полях (МВП–2023)**

13 – 14 марта 2023

*Труды*  
**XII МЕЖДУНАРОДНОГО ОНЛАЙН СИМПОЗИУМА**

Под общей редакцией  
Компьютерная верстка  
Технический редактор

В.Е. Громов  
А.Н. Гостевская  
А.А. Серебрякова

Подписано в печать 13.04.2023

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 9,00. Уч.-изд. л. 9,56. Тираж 500 экз. Заказ № 68

Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк,  
ул. Кирова, зд. 42, Издательский центр СибГИУ