

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российский фонд фундаментальных исследований  
Уральское отделение Российской академии наук  
ФГБУН Институт машиноведения УрО РАН  
ФГБУН Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН  
ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

**XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«МЕХАНИКА, РЕСУРС И ДИАГНОСТИКА  
МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ»**

Сборник материалов

(Екатеринбург, 09–13 ноября 2020 г.)

Екатеринбург  
ИМАШ УрО РАН  
2020

УДК 620.17+620.16:620.18+620.19:620.179  
ББК 34

Оргкомитет:

**Сопредседатели оргкомитета:**

Горкунов Э.С. *Екатеринбург, Россия*; Панин В.Е. *Томск, Россия*;

Швейкин В.П. *Екатеринбург, Россия*; Иршик Х., *Линц, Австрия*

**Зам. председателя оргкомитета:**

Смирнов С.В., *Екатеринбург, Россия*

**Члены оргкомитета:**

Батаев А.А., *Новосибирск, Россия*

Матвеев В.П., *Пермь, Россия*

Беляев А.К., *Санкт-Петербург, Россия*

Мену А., *Касабланка, Марокко*

Богданович А.В., *Минск, Беларусь*

Миронов В.А., *Екатеринбург, Россия*

Брезинова Ж., *Кошице, Словакия*

Миховски М., *София, Болгария*

Буренин А.А., *Комсомольск-на-Амуре, Россия*

Морозов Н.Ф., *Санкт-Петербург, Россия*

Вухерер Т., *Марибор, Словения*

Мулюков Р.Р., *Уфа, Россия*

Головин С.В., *Новосибирск, Россия*

Панин С.В., *Томск, Россия*

Горячева И.Г., *Москва, Россия*

Прентковскис О., *Вильнюс, Литва*

Гутманас Э., *Хайфа, Израиль*

Сундер Р., *Бангалор, Индия*

Дегтярь В.Г., *Миасс, Россия*

Фомин В.М., *Новосибирск, Россия*

Индейцев Д.А., *Санкт-Петербург, Россия*

Ченцов А.Г., *Екатеринбург, Россия*

Ломакин Е.В., *Москва, Россия*

Шиплюк А.Н., *Новосибирск, Россия*

Марущак П.О., *Тернополь, Украина*

Якушенко Е.И., *Санкт-Петербург, Россия*

Программный комитет:

**Председатель:** Швейкин В.П., *Екатеринбург, Россия*

**Зам. председателя программного комитета:**

Кузнецов А.В., *Екатеринбург, Россия*

**Члены программного комитета:**

Буров С.В. *Екатеринбург*

Берестова С.А., *Екатеринбург*

Плехов О.А., *Пермь*

Гладковский С.В., *Екатеринбург*

Поволоцкая А.М., *Екатеринбург*

Дементьев В.Б., *Ижевск*

Просвиряков Е.Ю., *Екатеринбург*

Коновалов А.В., *Екатеринбург*

Пугачева Н.Б., *Екатеринбург*

Костин В.Н., *Екатеринбург*

Радченко В.П., *Самара*

Макаров А.В., *Екатеринбург*

Соболева Н.Н., *Екатеринбург*

Матвиенко Ю.Г., *Москва*

Трусов П.В., *Пермь*

Москвичев В.В., *Красноярск*

Худорожкова Ю.В., *Екатеринбург*

Наймарк О.Б., *Пермь*

XIV Международная конференция «Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций»  
Екатеринбург, 09–13 ноября 2020 г. : сб. материалов. – Екатеринбург : ИМАШ УрО РАН, 2020. –  
429 с. – ISBN 978-5-6040873-2-9.

В сборнике представлены материалы международной конференции «Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций» которая продолжают традиции конференций «Механика микронеоднородных материалов и разрушение» и «Ресурс и диагностика материалов и конструкций», проводимых с 2001 года.

Сборник предназначен для специалистов различных научных специальностей: механиков, физиков, материаловедов и т. д., а также представителей промышленности, что объясняется междисциплинарным характером опубликованных докладов.

Ответственность за содержание и оформление предоставленных материалов несут авторы.

**Организатор конференции:**

МИНОБРНАУКИ России, УрО РАН, ИМАШ УрО РАН, ИФПМ СО РАН, ИФМ УрО РАН при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-08-20007 г).

ISBN 978-5-6040873-2-9



9 785604 087329

© ИМАШ УрО РАН, 2020

# ЧИСЛЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ В КЕРАМИЧЕСКОМ КОМПОЗИТЕ

Микушина В. А.<sup>1,2</sup>, Смолин И. Ю.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
2/4, Академический пр., Томск, 634055, Российская Федерация,  
e-mail: mikushina\_93@mail.ru

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
36, Ленина пр., Томск, 634050, Российская Федерация,  
e-mail: smolin@ispms.ru

Разработка и оценка механических свойств керамических композитов является важной задачей современного материаловедения. Керамические композиты широко применяются в различных областях промышленности благодаря своим свойствам. Так, например, керамический композит «оксид алюминия – диоксид циркония» обладает необходимым комплексом физических и химических свойств, чтобы использовать его в медицине в качестве материала для создания имплантатов. Хорошо известно, что добавление нестабилизированного циркония к оксиду алюминия приводит к повышению вязкости разрушения, а следовательно, и улучшению прочностных свойств [1, 2]. Поэтому такой тип керамических композитов вызывает особый интерес.

В работе было проведено численное исследование диссипативных процессов при деформации и повреждении пористого керамического композита «оксид алюминия – диоксид циркония». Моделирование проводилось в двумерной постановке в условиях одноосного сжатия. Процессы деформации и разрушения исследуемого композита моделировались с использованием определяющих соотношений изотропной упруго-хрупкой повреждаемой среды [3]. Используемые определяющие уравнения учитывали накопление повреждений, вызывающих деградацию упругих модулей. Для описания процесса разрушения использовались два локальных критерия разрушения по предельным значениям: 1) поврежденности и 2) растягивающего (отрицательного) давления. Эти критерии соответствуют двум различным механизмам разрушения.

В ходе выполнения численного моделирования были проанализированы картины разрушения в пористом керамическом композите с многоуровневой структурой при сжатии на различных этапах деформирования и макроскопическая  $\sigma$ - $\epsilon$  диаграмма, а также изучено изменение энергии с ростом деформации образца.

Анализ полученных результатов показал, что с ростом микроповреждений в исследуемом образце происходит увеличение кинетической энергии, а потенциальная энергия замедляет свой рост и затем начинает стремительно падать. При развитии массового разрушения начинает уменьшаться и полная энергия системы. Также можно отметить, что микроповреждения начинают зарождаться в матрице композита, которая является менее прочной. С ростом деформации повреждения накапливаются и распространяются не только в матрице, но и во включениях композита вдоль оси нагружения, формируя трещины.

*Работа выполнена при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ и в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг., направление III.23.*

## Литература

1. Влияние добавок наноразмерного  $ZrO_2$  и технологических параметров процесса прессования на свойства композитов на основе  $Al_2O_3$  и  $ZrO_2$  / О. Ю. Задорожная, О. В. Тиунова, А. А. Богаев, Т. А. Хабас, Ю. К. Непочатов, А. В. Шкодкин // Новые огнеупоры. – 2013. – № 10. – С. 21–26.
2. Wakily H., Mehrali M., Metselaar H. S. C. Preparation of Homogeneous dense composite of zirconia and alumina (ZTA) using colloidal filtration // Engineering and Technology. – 2010. – № 4. – Р. 140–145.
3. Микушина В. А., Смолин И. Ю. Численное моделирование деформирования и разрушения пористой алюмооксидной керамики на мезоуровне // Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. – 2019. – № 58. – С. 99–108.

## СОДЕРЖАНИЕ

ОБОСНОВАНИЕ СВОЙСТВ НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА САМООРГАНИЗАЦИИ Берман А. Ф.	3
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ГЕОМЕТРИИ СТРУКТУРЫ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНО-ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР Хачай О. А, Хачай А. Ю., Хачай О. Ю.	4
ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕРМОУПРОЧНЯЕМЫХ АЛЮМИНИЕВО-ЛИТИЕВЫХ СПЛАВОВ Маликов А. Г., Оришич А. М.	5
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИФЕНИЛГУАНИДИНА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА Дьяконов А. А., Данилова С. Н., Васильев А. П., Охлопкова А. А., Слепцова С. А., Кычкин А. К.	6
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МАТЕРИАЛА СОЕДИНЕНИЯ 12X18H10T/Cu/VT1-0 Пугачева Н. Б., Сенаева Е. И., Макаров А. В.	7
ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ Жачкин С. Ю., Трифонов Г. И., Бирюков А. В.	8
ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ТОЛЩИНОМЕТРИИ Жуков Д. В., Коновалов С. В.	9
ВЛИЯНИЕ СЛУЧАЙНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЗЕРЕН МИКРОСТРУКТУРЫ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА Волков С. С.	11
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УДАРНЫХ ВОЛН С ДВУХФАЗНЫМИ ГАЗОЖИДКОСТНЫМИ СРЕДАМИ Сильников М. В.	12
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОРОДНОСТИ ФАЗОВОГО СОСТАВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА И КОБАЛЬТА Сметанина К. Е., Андреев П. В., Ланцев Е. А., Малехонова Н. В., Востоков М. М.	13
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СОУДАРЕНИЯ СТАЛЬНОГО ШАРИКА С ГЕТЕРОГЕННОЙ СТРУКТУРОЙ ВЫРАЩЕННОЙ МЕТОДОМ ХГН И ЛАЗЕРНЫМ СПЛАВЛЕНИЕМ Фомин В. М., Голышев А. А., Косарев В. Ф., Оришич А. М., Филиппов А. А.	15
ОРИЕНТАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ И АСИММЕТРИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА (COCrFeNi) <sub>94</sub> Ti <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> Сараева А. А., Победенная З. В., Киреева И. В., Чумляков Ю. И.	17
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРИРОДНОГО ФЕРРИТА ЖЕЛЕЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ Иванченко В. С., Глухих И. И.	18

ПОЛИАЛЮМОСИЛИКАТЫ ДЕНДРИМЕРНОЙ МОРФОЛОГИИ И УСТАНОВЛЕНИЕ ПОЛИКОНДЕНСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В ПРОЦЕССЕ ИХ НАНЕСЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ 3D-АЭРОЗОЛЬНОЙ ПЕЧАТИ НА АЛЮМИНИЕВЫЕ ОСНОВАНИЯ Иванов А. А., Чермошенцева А. С.	179
ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА РАЗМЕР ЗЕРНА В СПЛАВЕ АЦ7НЖ Старикова У. С., Соболева Н. Н., Макаров А. В., Бродова И. Г.	180
ИСПЫТАНИЯ СЛОИСТЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПО НОРМАЛИ К СЛОЯМ Адамов А. А., Лаптев М. Ю.	181
ОПИСАНИЕ СВОЙСТВ ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ В ТЕРМИНАХ СОБСТВЕННЫХ УПРУГИХ СОСТОЯНИЙ Берестова С. А.	183
ДИЗАЙН АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ Мамылин Д. А., Пургин А. А., Воронцов М. А., Берестова С. А.	184
ЧИСЛЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ В КЕРАМИЧЕСКОМ КОМПОЗИТЕ Микушина В. А., Смолин И. Ю.	186
БЕЛЫЙ СЛОЙ – ИНИЦИАТОР ТРЕЩИН НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСАХ Жаворонкова Е. Ю., Сарычев В. Д., Громов В. Е.	187
К ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ ПОРИСТЫХ МЕТАЛЛОВ. Черепанов А. Н., Дроздов В. О., Мали В. И., Видюк Т. М.	189
НАНЕСЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ Брусенцева Т. А., Шикалов В. С., Фомин В. М.	190
АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ СЛОИСТОГО УГЛЕПЛАСТИКА ПРИ КВАЗИСТАТИЧЕСКОМ РАСТЯЖЕНИИ Северов П. Б.	192
КИНЕТИКА НАКОПЛЕНИЯ МИКРОПОВРЕЖДЕНИЙ В МАЛО-УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ИСХОДНОМ СОСТОЯНИИ И ПОСЛЕ РКУП-ОБРАБОТКИ Синев И. О., Белецкий Е. Н., Тютин М. Р., Ботвина Л. Р., Рыбальченко О. В., Добаткин С. В.	194
ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО И КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК К ПОРОШКУ ЖЕЛЕЗА НА ВЕЛИЧИНУ ПРЕДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕЗУ Поляков П. А., Поляков А. П.	196
ПЕРСПЕКТИВЫ ФИЗИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТЕКСТУРИРУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ Драгошанский Ю. Н., Пудов В. И.	197
СОПРОТИВЛЕНИЕ ХРУПКОМУ РАЗРУШЕНИЮ И ДЕМПФИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА ТИПА «СТАЛЬ–РЕЗИНА» Гладковский С. В., Недзвецкий П. Д., Вичужанин Д. И., Кутенева С. В.	199

*Научное издание*

Международная конференция  
«МЕХАНИКА, РЕСУРС И ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ»  
сборник материалов (Екатеринбург, 09–13 ноября 2020 г.)

Рекомендовано к изданию  
Ученым советом ИМАШ УрО РАН

Ответственный за выпуск *Худорожкова Ю.В.*  
Компьютерная верстка *Гариева А.В.*  
Редактор: *И.М. Циклина*  
Редактор англ. текста: *Е.Е. Верстакова*  
Корректор: *Г.В. Торлопова*

ISBN 978-5-6040873-2-9



Подписано в печать 02.11.2020. Формат 60×84 1/16  
Бумага писчая. Печать на ризографе. 43,00 п.л.  
Тираж 500 экз.

Оригинал-макет изготовлен в  
Научно-редакционном отделе ИМАШ УрО РАН  
620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34

Отпечатано в типографии