

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

Секция 1. Передовые технологии упрочняющей поверхностной обработки.....	7
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. Муканов, 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 ₃ 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 гранецентрированной кубической решётке М.Д. Старостенков, А.С. Кочкин, К.А. Теников, А.Ю. Варавина ³ , 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
Секция 2. Проблемы прочности, пластичности материалов при внешних энергетических воздействиях.....	29
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. Konovalov.....	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. Смарикина.....	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. Загibalова, 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
Секция 3. Проблемы эксплуатации материалов в экстремальных условиях.....	79
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 заэвтектоидной стали при долговременной эксплуатации М.А. Порфирьев, В.Е. Громов*, Р.Е. Крюков, А.А. Юрьев, Г.И. Черепанова.....	105
Секция 4. Материалы на основе высоко- и среднеэнтропийных сплавов, высоколегированные сплавы, методы их получения, структура, механические и функциональные свойства, механизмы деформации.....	107
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. Kononov.....	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 82K3XCP и полимеров А.Д. Ошоров, И.В. Ушаков.....	122
Влияние старения на водородное охрупчивание высокоэнтропийных сплавов Fe ₂₀ Cr ₂₀ Ni ₂₀ Mn ₂₀ Co _{20-x} N _x 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. Потеев, 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. Потеев.....	128
Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние длительно эксплуатируемой стали 12X1МФ 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
Секция 5 Методы получения и обработки металлических и неметаллических материалов конструкционного и функционального применения.....	135
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 BT1-0 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

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ НА СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛА

А.Н. Гостевская¹, А.В. Маркидонов^{1,2}, В.К. Дробышев¹, И.А. Панченко¹

¹Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

²Кузбасский гуманитарно-педагогический институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк, Россия
e-mail: lokon1296@mail.ru

Аннотация. В представленной работе приведены результаты молекулярно-динамического моделирования изменений поверхности ячейки при кратковременных высокоэнергетических воздействиях. Интерес к исследуемой теме обусловлен тем, что процессы, происходящие в поверхностном слое жидкости, влияют на ее кристаллизацию, приводя к различным физическим и геометрическим свойствам поверхности и причинам этого во всем материале.

Ключевые слова: ОЦК-кристалл, молекулярно-динамическое моделирование, лазерная абляция, высокоинтенсивное воздействие.

Короткоимпульсная лазерная абляция металлических мишеней лежит в основе многих практических приложений, начиная от высокоточной резки и сверления [1], заканчивая наноструктурированием поверхности и генерацией наночастиц с узким распределением по размерам и хорошо контролируемым композициям [2, 3]. Вычислительное описание этого разнообразного диапазона процессов является сложной задачей и требует сочетания различных вычислительных подходов, начиная от расчетов электронной структуры на основе квантовой механики [4] и заканчивая классическим моделированием молекулярной динамики [5], а также к кинетическому и гидродинамическому моделированию на уровне континуума [6].

Исследования структурных изменений структуры металлов при влиянии высоких температур исследовалось в рамках молекулярно-динамического моделирования. Ячейка для проведения расчетов представляется в форме параллелепипеда со сторонами $15a_0 \times 100a_0 \times 10a_0$, где a_0 – параметр исследуемой кристаллической решетки. При построении модели использовалось 30000 ед. частиц, которые образуют модель кристаллографической ячейки, раздвоенная на 10 слоев по оси Y, каждый из которых имел определенное значение температуры и уменьшался по мере удаления от поверхности. После достижения равновесия температуры между электроном и фононом модель теплопереноса применяется для описания теплопереноса.

Для расчета температуры применялись параметры, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры, применяемые при расчетах

A	q , МВт/см ²	λ , Вт/м·К	a , м ² /с	τ , с
0.68	3.5...6.5	80	$2.621 \cdot 10^{-5}$	$10 \cdot 10^{-12}$

Неровный нагрев образца, построенного при помощи моделирования, создает у поверхности сжатую область, которая может распространяться внутрь в виде волн давления и достигать противоположной границы при использовании свободных граничных условий, способствует высвобождению частиц.

После возрастания локальной температуры выше температуры плавления происходит фазовый переход, который приводит к росту в расчетной ячейке границы жидкой фазы. Следующий рост температуры приводит к отрыву частиц от расчетной ячейки. Исследование выявило что, отрыв частиц от поверхностного слоя происходит при температуре близкой к 4200 К.

На рисунке 1 показаны изменения в структуре расчетных ячеек.

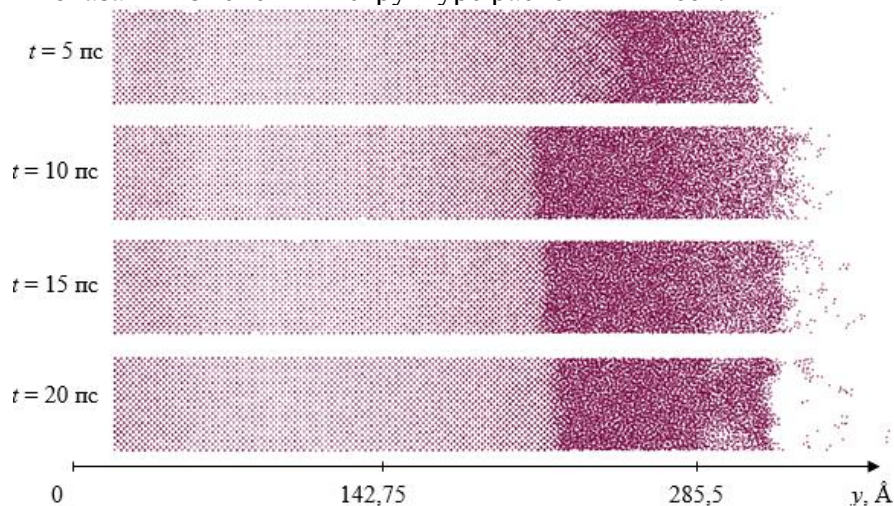


Рисунок 1 – Изображение кристаллической ячейки в различные моменты времени моделирования ($q = 5 \text{ МВт/см}^2$)

На рисунке 1 можно наблюдать распределение частиц около поверхности образца, построенного при помощи компьютерного моделирования в различные периоды времени. Частицы вне начальных границ кристаллической ячейки предположительно находятся в газообразном состоянии. При оценке было определено, что при 5 пс доля частиц насчитывает 3,31%, а ко времени окончания нагрева возрастает до 4,91%. При моделировании процесса охлаждения доля частиц, которые были за пределами начальной границы расчетной ячейки изменяются не сильно, но они влияют на образование агломерации около поверхности.

В результате проведенного исследования была построена модель с помощью метода молекулярной динамики, которая дает возможность провести изучение процесс абляции, происходящего под действием ультракоротких лазерных импульсов с низкими пиковыми плотностями излучения.

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

Библиографический список

1. Гостевская А.Н. Молекулярно-динамическое моделирование лазерной абляции – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2021. – Вып. 25. Ч. I. – С. 14 – 18.
2. Гостевская, А. Н., Маркидонов А.В. Исследование методом молекулярно-динамического моделирования процесса лазерной абляции – Ижевск: Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН, 2021. – С. 131 – 132.
3. Гостевская, А. Н. Молекулярно-динамическое моделирование лазерной абляции – Новокузнецк : Сибирский государственный индустриальный университет, 2021. – С. 14 – 18.
4. Гостевская А. Н., Маркидонов А.В. Изменение внутреннего строения металлов при воздействии лазерных импульсов – Пермь : Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2021. – С. 60 – 63.
5. Гостевская А. Н., Маркидонов А.В., Коваленко В.В. Молекулярно–динамическое моделирование лазерной абляции – Минск : Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации», 2021. – С. 21 – 22
6. Kuo J.-K., Huang P.-H., Chien S.-K., Huang K.-Y., Chen K.-T. Molecular Dynamics Simulations of Crater Formation Induced by Laser Ablation on the Surface of α -Fe Substrate – MATEC Web of Conferences, 2018. – V.167. – 03011.

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