

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКИ**

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Под редакцией
члена-корреспондента НАН Беларуси
В. В. Рубаника

Минск
Издательский центр БГУ
2021

УДК 620.22
ББК 30.3
П27

Авторский коллектив:

Алдошин С. М., Андреев В. А., Антанович А. А., Антонов А. С., Аплеснин С. С., Асташинский В. М., Барачевский В. А., Белявин К. Е., Бледнова Ж. М., Бородавченко О. М., Варюхин В. Н., Вегера И. И., Веремейчик А. И., Витязь П. А., Власукова Л. А., Возняковский А. А., Возняковский А. П., Горнакова А. С., Грачев В. П., Григорьева Т. Ф., Гусаков Г. А., Данилова-Третьяк С. М., Девяткина Е. Т., Дёма Р. Р., Евсеева Л. Е., Жарин А. Л., Живулько А. М., Живулько В. Д., Жорник В. И., Зизико А. В., Иванов Д. В., Килмаматов А. Р., Киселева Т. Ю., Ковалева С. А., Колесников С. А., Комаров А. И., Комаров Ф. Ф., Коржов В. П., Кулак М. М., Хина Б. Б., Ливанова Н. О., Лобанов М. Л., Ляхов Н. З., Максимова Д. С., Малашенко В. В., Малашенко Т. И., Марукович Е. И., Масленников К. Б., Мишетьян А. Р., Мишин В. В., Мишин В. М., Мудрый А. В., Муллакаев М. С., Муллакаев Р. М., Мухуров Н. И., Николаев Д. Н., Николаева К. В., Овчинников Е. В., Оковитый В. А., Орда Д. В., Острик А. В., Пайзуллаханов М. С., Пантелеев К. В., Пантелеенко Ф. И., Парпиев О. Р., Пархоменко И. Н., Петрова-Буркина О. А., Платов С. И., Плужникова Т. Н., Покоев А. В., Полякова К. А., Прокофьев С. И., Прохоров Д. В., Реснина Н. Н., Романова О. Б., Рубаник В. В. мл., Рубаник В. В., Русинов П. О., Рыклина Е. П., Садоха М. А., Сазонов М. И., Саркисян С. О., Сдобняков Н. Ю., Семенов В. Н., Семенова Е. М., Сидоров М. М., Синеглазов Д. С., Сосновский И. А., Стеценко А. В., Стеценко В. Ю., Страумал Б. Б., Сурсаева В. Г., Талако Т. Л., Таташев А. Г., Тюфтяев А. С., Тявловский А. К., Удалова Т. А., Урбанович В. С., Уянга Е., Федоров В. А., Федотов Д. Ю., Филиппов В. Г., Филиппов Г. А., Хвисевич В. М., Чевская О. Н., Шаронов Г. В., Янушкевич К. И., Яшина М. В.

Рецензенты:

академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук,
профессор *Н. К. Мышкин*;
академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук,
профессор *Е. И. Марукович*

П27 **Перспективные материалы и технологии** / С. М. Алдошин [и др.] ; под ред. В. В. Рубаника. – Минск : Изд. центр БГУ, 2021. – 658 с. : ил.
ISBN 978-985-553-727-5

В монографии опубликованы результаты исследований конструкционных и функциональных материалов. Представлены инновационные разработки в области материаловедения. Обсуждены механизмы формирования структуры, результаты исследования фазовых состояний и дефектной субструктуры материалов, а также влияние воздействия ультразвуковых колебаний, электромагнитного излучения, интенсивной пластической деформации на свойства различных материалов.

Книга предназначена для широкого круга специалистов: научных работников, инженеров, а также преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области материаловедения и физики конденсированного состояния.

УДК 620.22
ББК 30.3

ISBN 978-985-553-727-5

© Институт технической акустики НАН Беларуси, 2021
© Оформление. РУП «Издательский центр БГУ», 2021

Содержание

Глава 1	Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Стеценко А.В. НАНОСТРУКТУРНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛОВ	3
Глава 2	Муллагаев М. С., Муллагаев Р.М. ТЕРМОАКУСТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ТЯЖЕЛОЙ И ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ	14
Глава 3	Кулак М.М., Хина Б.Б. СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА БОРИДОВ ТИТАНА С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ	28
Глава 4	Грачев В.П., Барачевский В.А., Алдошин С. М. ФОТОХРОМНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОЛНЦЕЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ	46
Глава 5	Мишин В.М., Филиппов Г.А., Мишин В.В. ПРИРОДА ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСЕЙ НЕМЕТАЛЛОВ, ПОЛУМЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ СТАЛИ ЛОКАЛЬНОМУ ЗАМЕДЛЕННОМУ РАЗРУШЕНИЮ	57
Глава 6	Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.А., Асташинский В.М. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАПЫЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЕВЫХ М-КРОЛЕЙ И ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ	72
Глава 7	Сурсаева В.Г., Семёнов В. Н. РОЛЬ ТРОЙНЫХ СТЫКОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ ПОЛИКРИСТАЛЛА	82
Глава 8	Сурсаева В.Г. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСОБЫХ ГРАНИЦ ЗЁРЕН И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РОСТ ЗЁРЕН	98
Глава 9	Горнакова А.С., Страумал Б.Б., Килмаматов А.Р. ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВАХ Ti-Fe ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КРУЧЕНИЯ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ	114
Глава 10	Пантелеев К.В., Тявловский А.К., Жарин А.Л. МЕТОДЫ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ В ИССЛЕДОВАНИИ СВОЙСТВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	125
Глава 11	Белявин К.Е., Комаров А.И., Сосновский И.А., Орда Д.В. СТРУКТУРА И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ	140

Глава 12	Витязь П.А., Жорник В.И., Ковалева С.А. ПОЛУЧЕНИЕ ФЕРРО-АБРАЗИВНЫХ ПОРОШКОВ ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ МЕХАНИЧЕСКОГО СПЛАВЛЕНИЯ	156
Глава 13	Бородавченко О.М., Живулько В.Д., Мудрый А.В. СТРУКТУРА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Cu(In,Ga)(S,Se)_2$ И СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ИХ ОСНОВЕ	172
Глава 14	Марукович Е.И., Садоха М.А. ЛИТЬЕ БЕСПОРИСТЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ОТЛИВОК МЕТОДОМ САМОЗАПОЛНЕНИЯ	189
Глава 15	Острик А.В., Николаев Д.Н. ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ	205
Глава 16	Романова О.Б., Аплеснин С.С., Живулько А.М. КИНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ФЕРРИТА ВИСМУТА ЗАМЕЩЕННОГО $3d$ - ЭЛЕМЕНТАМИ	222
Глава 17	Прокофьев С. И. ЭМПИРИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ГРАНИЦ ЗЕРЕН В МОНОАТОМНЫХ ВЕЩЕСТВАХ И ИХ АЛЛОТРОПАХ	239
Глава 18	Сдобняков Н.Ю., Антонов А.С., Иванов Д.В., Семенова Е.М. ФРАКТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК	253
Глава 19	Яшина М.В., Таташев А.Г. КАЧЕСТВЕННЫЕ СВОЙСТВА МУЛЬТИЧАСТИЧНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА РЕГУЛЯРНОЙ РЕШЕТКЕ - КОЛЬЧУГЕ	275
Глава 20	Гусаков Г.А., Мухуров Н.И., Шаронов Г.В. СИНТЕЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОАЛМАЗАМИ	288
Глава 21	Федоров В.А., Федотов Д.Ю., Плужникова Т.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ АМОРФНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ПРИ МНОГОЦИКЛОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА РАСТЯЖЕНИЕ И ИЗГИБ	304
Глава 22	Антанович А.А., Колесников С.А., Максимова Д.С. ФОРМИРОВАНИЕ УРОВНЯ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ УГЛЕРОДНЫХ МАТРИЦ ПО ИЗОСТАТИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ	320

Глава 23	Ливанова Н.О., Тюфтяев А.С., Филиппов Г.А. НЕОДНОРОДНОСТЬ СТРУКТУРЫ И СКЛОННОСТЬ К ЗАМЕДЛЕННОМУ ХРУПКОМУ РАЗРУШЕНИЮ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ	331
Глава 24	Киселева Т.Ю., Григорьева Т.Ф., Уянга Е. МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ МЕХАНОСИНТЕЗИРОВАННЫХ ФЕРРИТОВ И СОДЕРЖАЩИХ ИХ КОМПОЗИТОВ	345
Глава 25	Григорьева Т.Ф., Ковалева С.А., Девяткина Е.Т. МЕХАНОХИМИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	364
Глава 26	Ляхов Н.З., Талако Т.Л., Удалова Т.А. БЕЗУГЛЕРОДНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВОГО КРЕМНИЯ	377
Глава 27	Варюхин В.Н., Малашенко В.В., Малашенко Т.И. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ДЕФОРМАЦИИ	389
Глава 28	Пайзуллаханов М.С., Парпиев О.Р., Янушкевич К.И. СИНТЕЗ МАТЕРИАЛОВ В ПОТОКЕ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	400
Глава 29	Рыклина Е.П., Полякова К.А., Реснина Н.Н. РОЛЬ СТРУКТУРНОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ В УПРАВЛЕНИИ МАРТЕНСИТНЫМИ ПРЕВРАЩЕНИЯМИ НИКЕЛИДА ТИТАНА	416
Глава 30	Коржов В. П., Прохоров Д. В. ТВЁРДОФАЗНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ	433
Глава 31	Данилова-Третьяк С. М., Евсеева Л. Е., Николаева К. В. ТЕПЛОВОЕ ПОВЕДЕНИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ БАКЕЛИТОВОГО ЛАКА, НАПОЛНЕННОГО УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ	447
Глава 32	Саркисян С.О. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ КОНТИНУАЛЬНОЙ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИЙ ГРАФЕНА	462
Глава 33	Веремейчик А.И., Сазонов М.И., Хвисевич В.М. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ В СРЕДЕ ANSYS WORKBENCH	473
Глава 34	Бледнова Ж.М., Русинов П.О. ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ С ТЕРМОУПРУГИМИ МАРТЕНСИТНЫМИ ПРЕВРАЩЕНИЯМИ	487

Глава 35	Андреев В.А. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КРУГЛЫХ ДЛИННОМЕРНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ МЕТОДОМ ТЁПЛОЙ РОТАЦИОННОЙ КОВКИ	504
Глава 36	Покоев А.В., Синеглазов Д.С. МАГНИТОПЛАСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МЕДНО-БЕРИЛЛИЕВЫХ СПЛАВАХ	517
Глава 37	Овчинников Е.В., Возняковский А.П., Возняковский А.А. НАНОЖИДКОСТИ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ГИБРИДНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ	531
Глава 38	Петрова-Буркина О.А., Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В СПЛАВАХ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ ПРИ ТЕРМОУПРУГИХ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ	547
Глава 39	Чевская О.Н., Мишетьян А.Р., Филиппов В.Г. ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ И ХЛАДОСТОЙКОСТЬ ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ В РАЗЛИЧНОМ СТРУКТУРНОМ СОСТОЯНИИ	570
Глава 40	Пархоменко И.Н., Власукова Л.А., Комаров Ф.Ф. ИОННО-ЛУЧЕВОЙ СИНТЕЗ НАНОКРИСТАЛЛОВ В КРЕМНИИ И ДИОКСИДЕ КРЕМНИЯ ДЛЯ ОПТО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ	584
Глава 41	Урбанович В.С. ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НИТРИДОВ КРЕМНИЯ, БОРА И ТИТАНА СПЕКАНИЕМ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ИХ СВОЙСТВА	599
Глава 42	Лобанов М.Л., Платов С.И., Масленников К.Б., Дёма Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ ТРУБНОГО ПРОКАТА	624
Глава 43	Вегера И.И., Зизико А.В., Сидоров М.М. МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЁТ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	638
Авторский указатель		653
Содержание.....		654