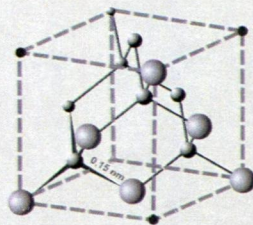
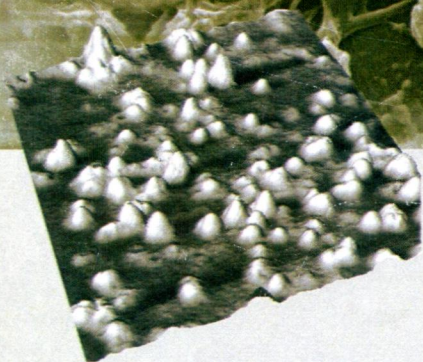
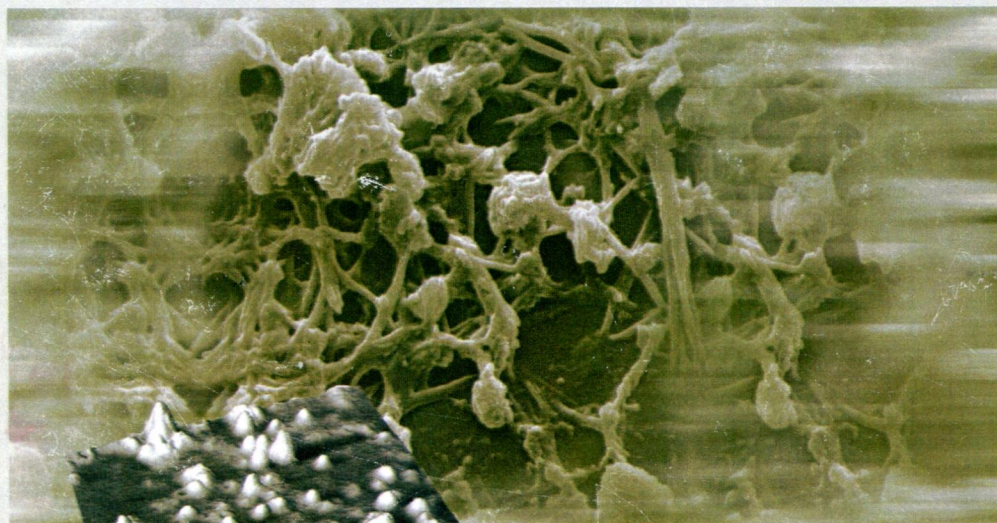


МОДИФИЦИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

НАНОРАЗМЕРНЫМИ
АЛМАЗСОДЕРЖАЩИМИ ДОБАВКАМИ



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Объединенный институт машиностроения

МОДИФИЦИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ НАНОРАЗМЕРНЫМИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИМИ ДОБАВКАМИ

Под общей редакцией академика П. А. Витязя



Минск
«Беларуская навука»
2011

Модифицирование материалов и покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками / П. А. Витязь [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 527 с. – ISBN 978-985-08-1247-6.

В книге обобщены экспериментальные результаты по влиянию наноразмерных алмазосодержащих добавок на процессы структурообразования и свойства материалов и покрытий, формируемых различными технологическими методами. Приведены сведения об общих закономерностях влияния размерного фактора на некоторые механические и физические свойства материалов, рассмотрены основные методы получения и подготовки наноразмерных алмазосодержащих материалов. Подробно рассмотрены особенности получения консолидированных нанокomпозиционных материалов триботехнического и инструментального назначения, формируемых методами электроимпульсного спекания и термобарического синтеза с их модифицированием наноразмерными алмазосодержащими добавками. Приведены данные о формировании модифицированных наноразмерными алмазосодержащими добавками поверхностных слоев с использованием методов электрохимического осаждения, газотермического напыления, микроплазменной обработки, трибомеханического модифицирования. Рассмотрены вопросы создания макронеоднородных материалов с бронзовой матрицей, обладающей эффектом наноструктурирования поверхностного слоя в процессе трибозаимодействия. Изложены принципы создания пластичных смазочных материалов с наноразмерными твердыми компонентами

Предназначена для научных, инженерно-технических работников, аспирантов и студентов, занимающихся вопросами материаловедения, инженерии поверхности, повышения долговечности быстроизнашиваемых деталей машин.

Ил. 237. Табл. 77. Библиогр.: 745 назв.

А в т о р ы:

П. А. Витязь, В. И. Жорник, В. А. Кукареко, А. И. Комаров, В. Т. Сениוך

Р е ц е н з е н т ы:

академик НАН Беларуси, лауреат Государственной премии СССР С. А. Астапчик,
член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук,
профессор Ю. М. Плескачевский

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Глава 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ. . .	7
1.1. Влияние размера зерна на свойства компактных нанокристаллических материалов	7
1.1.1. Механические свойства нанокристаллических материалов	7
1.1.2. Теплофизические свойства нанокристаллических материалов	10
1.1.3. Электрофизические свойства нанокристаллических материалов	12
1.1.4. Магнитные свойства нанокристаллических материалов	15
1.2. Методы получения нанокompозиционных материалов	18
1.2.1. Спекание порошковых материалов с наноразмерными добавками.....	19
1.2.2. Модифицирование покрытий наноразмерными компонентами (электрохимические и химические покрытия, газотермические покрытия, ионно-лучевое осаждение, микродуговое оксидирование).....	29
1.2.3. Получение полимерных композитов с наноразмерными добавками	41
1.2.3.1. Основные принципы получения полимерных нанокompозитов.....	41
1.2.3.2. Свойства композитных материалов на основе полимерных матриц и наноразмерных модификаторов.....	44
1.2.3.3. Получение ровинговых экструдатов на основе термопластичных нанокompозитов.....	50
1.2.4. Модифицирование смазочных материалов наноразмерными добавками ..	59
1.3. Общая характеристика наноразмерного алмазосодержащего модификатора	63
1.3.1. Технология получения алмаза детонационного синтеза	63
1.3.1.1. Общая характеристика алмаза детонационного синтеза и особенности технологии его получения	63
1.3.1.2. Методы извлечения алмаза из продуктов синтеза	65
1.3.2. Структура, фазовый состав, поверхностные свойства наноалмазов	68
1.3.2.1. Характеристика структуры алмазного порошка детонационного синтеза	68
1.3.2.2. Элементный и примесный состав.....	70
1.3.2.3. Поверхностные свойства наноалмазов	71
1.3.3. Методы модифицирования поверхности наноалмаза	72
1.3.3.1. Термическая обработка наноалмазов в нормальных условиях и вакууме	72
1.3.3.2. Газофазное модифицирование наноалмазов.....	73
1.3.4. Сопоставление свойств алмазов различной природы.....	74

Глава 2. СОЗДАНИЕ КОМПАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИМИ КОМПОНЕНТАМИ	77
2.1. Получение алмазосодержащих наноструктурных материалов методом электроспекания	77
2.1.1. Технологические схемы получения композиционных алмазосодержащих материалов методом электроспекания	77
2.1.2. Физические аспекты электроконтактного спекания металлоалмазных композитов	80
2.1.2.1. Физические основы процесса электроконтактного спекания порошковых материалов	80
2.1.2.2. Теплофизические особенности процесса электроконтактного спекания	84
2.1.2.3. Специфика процесса получения алмазосодержащих композитов методом электроконтактного спекания	88
2.1.3. Формирование структуры и свойств алмазосодержащих композитов при электроспекании	89
2.1.3.1. Процессы структурообразования в системах алмаз–медь–олово и алмаз–кобальт при электроспекании	89
2.1.3.2. Исследование микроструктуры металлических связей, модифицированных добавками ультрадисперсных алмазов	93
2.1.3.3. Влияние добавок ультрадисперсной алмазно-графитовой шихты на физико-механические и триботехнические свойства металлических связей	96
2.1.4. Эксплуатационные свойства алмазного инструмента с модифицированной наноразмерными компонентами связкой	104
2.1.5. Методы стабилизации температурного режима при нанесении алмазосодержащих покрытий электроконтактным спеканием	108
2.1.6. Повышение работоспособности алмазосодержащих композитов низкотемпературной химической обработкой	112
2.1.6.1. Методы упрочнения металлической связки алмазосодержащих композитов	112
2.1.6.2. Исследование элементного состава и триботехнических свойств поверхностной пленки	113
2.1.6.3. Влияние низкотемпературной химической обработки на напряженное состояние поверхностного слоя металлоалмазного композита	116
2.1.6.4. Оценка влияния низкотемпературной химической обработки металлоалмазного слоя на работоспособность алмазного инструмента	120
2.2. Получение алмазосодержащих наноструктурных материалов в условиях высоких статических давлений и температур	124
2.2.1. Особенности спекания наноалмазов в условиях высоких давлений и температур	124
2.2.2. Аппаратно-методическое оснащение спекания наноалмазов в условиях высоких статических давлений (АВД, контейнеры и нагревательные элементы, методики определения давления и температуры в АВД)	128
2.2.2.1. Общие положения	128
2.2.2.2. Контейнеры и нагревательные элементы	129
2.2.2.3. Выбор материала матрицы аппаратов высокого давления	130
2.2.2.4. Методики определения давления и температуры в АВД	130
2.2.3. Методы подготовки порошков наноалмазов детонационного синтеза перед спеканием (химическое и термовакуумное модифицирование поверхности наноалмазов)	131

2.2.3.1. Химическое модифицирование поверхности наноалмазов	131
2.2.3.2. Термовакuumное модифицирование наноалмазов.	135
2.2.4. Спекаемость наноалмазов в условиях высоких температур и давлений без добавок связующих	137
2.2.5. Исследование влияния добавок стекол на спекание наноалмазов в условиях высоких давлений и температур	142
2.2.6. Исследование спекаемости в условиях высоких давлений и температур наноалмазов, модифицированных катализаторами и карбидообразующими элементами	144
2.2.7. Исследование спекаемости наноалмазов с нитридом алюминия в условиях высоких давлений и температур	148
2.2.8. Получение при высоких давлениях композиционных материалов на основе наноалмазов и связующих	150
2.3. Создание легкоплавких подшипниковых сплавов повышенной работоспособности на основе модифицирования наноалмазами.	157
2.3.1. Общие принципы модифицирования легкоплавких подшипниковых сплавов.	157
2.3.2. Компьютерное моделирование процесса получения легкоплавких подшипниковых сплавов с наноразмерными алмазосодержащими добавками	159
2.3.2.1. Формирование исходного пространства технологических режимов получения подшипникового сплава, модифицированного ультрадисперсными алмазами	159
2.3.2.2. Установление взаимосвязи технологических параметров с эксплуатационными свойствами подшипникового сплава, модифицированного ультрадисперсными алмазами.	161
2.3.3. Структурные и фазовые превращения в баббитах, модифицированных наноразмерными алмазосодержащими добавками.	168
2.3.4. Триботехнические свойства легкоплавких подшипниковых сплавов, модифицированных наноразмерными алмазосодержащими добавками	170
2.3.5. Разработка состава легкоплавкого подшипникового сплава с повышенными триботехническими свойствами	173
2.3.6. Определение областей рационального применения легкоплавких подшипниковых сплавов, модифицированных ультрадисперсными алмазами	176
Глава 3. ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОРАЗМЕРНЫЕ АЛМАЗЫ.	179
3.1. Электрохимическое осаждение хромовых покрытий с наноразмерными алмазосодержащими компонентами.	179
3.1.1. Влияние добавок наноразмерных алмазов на процесс формирования электрохимических хромовых покрытий.	179
3.1.2. Структура и свойства электрохимических хромалмазных покрытий	189
3.1.3. Повышение триботехнических свойств электрохимических покрытий низкотемпературной химической обработкой.	208
3.1.3.1. Метод низкотемпературного поверхностного упрочнения электрохимических покрытий	208
3.1.3.2. Триботехнические свойства электрохимического хромалмазного покрытия с антифрикционной оксидной пленкой	211
3.1.4. Оптимизация процесса электрохимического осаждения хромового покрытия, модифицированного наноразмерными алмазами	213

3.1.4.1. Построение аппроксимирующих регрессионных моделей технологической системы электрохимического нанесения хромалмазного покрытия	213
3.1.4.2. Выбор оптимальных режимов получения композиционных покрытий методом многомерного синтеза	220
3.1.4.3. Экспериментальная проверка воспроизводимости прогнозируемых свойств композиционного покрытия	221
3.1.5. Применение хромалмазных электрохимических покрытий для повышения ресурса узлов трения	223
3.2. Газотермические покрытия, модифицированные наноразмерными алмазами	229
3.2.1. Газотермические покрытия, импрегнированные наноразмерными углеродсодержащими материалами	229
3.2.1.1. Технологическая схема модифицирования газотермических покрытий их импрегнированием наноразмерными углеродсодержащими материалами	229
3.2.1.2. Отработка режимов термомеханической электроимпульсной обработки газотермических покрытий, импрегнированных наноразмерными углеродсодержащими материалами	232
3.2.1.3. Триботехнические свойства газотермических покрытий, импрегнированных наноразмерными углеродсодержащими материалами	242
3.2.1.4. Технологические рекомендации по термомеханической обработке газотермических покрытий, импрегнированных наноразмерными углеродсодержащими материалами	246
3.2.2. Модифицирование газотермических покрытий приработкой в смазке с наноразмерными алмазами	248
3.2.2.1. Триботехнические свойства газотермических покрытий в присутствии смазки с наноразмерными алмазами	248
3.2.2.2. Структурно-фазовые превращения в поверхностном слое газотермических покрытий при трении в смазке, модифицированной наноразмерными алмазами	250
Глава 4. МЕТОДЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОРАЗМЕРНЫХ АЛМАЗОВ	257
4.1. Формирование поверхностных оксидокерамических слоев с их наноразмерными компонентами	257
4.1.1. Микродуговое оксидирование алюминиевых сплавов	257
4.1.2. Особенности формирования оксидокерамического слоя на алюминий-кремниевых сплавах	259
4.1.3. Принципы модифицирования оксидокерамических слоев алмазосодержащими наноразмерными компонентами	265
4.1.4. Структурные и фазовые превращения в модифицированных оксидокерамических слоях	268
4.1.5. Физико-механические и триботехнические свойства оксидокерамических слоев, модифицированных алмазосодержащими наноразмерными компонентами	272
4.1.5.1. Влияние модифицирования покрытия углеродными наноматериалами на диэлектрические свойства	272
4.1.5.2. Влияние модифицирования покрытия углеродными наноматериалами на триботехнические свойства	274
4.1.5.3. Исследование упругих характеристик оксидокерамического покрытия, модифицированного углеродными наноматериалами	278
4.1.6. Области применения модифицированных оксидокерамических слоев	282

4.1.6.1. Износостойкие модифицированные углеродными наноконпонентами керамические покрытия на деталях тормозных систем транспортных средств	282
4.1.6.2. Модифицированные композиционные покрытия на зеркале цилиндра двигателя внутреннего сгорания	283
4.1.6.3. Повышение ресурса микроплазменным окислением быстроизнашиваемых деталей технологического оборудования по выпуску синтетических волокон.	284
4.1.6.4. Применение износостойких модифицированных углеродными наноматериалами керамических покрытий для упрочнения формообразующих деталей штамповой оснастки	286
4.1.5.5. Повышение ресурса работы крупногабаритных деталей сопряжений из алюминиевых сплавов	288
4.2. Трибомеханическое модифицирование поверхности трения приработкой в среде смазки с наноразмерными алмазами	289
4.2.1. Триботехнические свойства поверхностных слоев, формируемых трибомеханическим модифицированием	289
4.2.1.1. Триботехнические свойства полимерных композитов в присутствии пластичной смазки с наноразмерными добавками.	289
4.2.1.2. Триботехнические свойства металлических материалов в присутствии пластичной смазки с наноразмерными добавками	297
4.2.2. Структурно-фазовые превращения в поверхностном слое пар при трении в смазке, модифицированной наноразмерными алмазами.	303
4.2.3. Изменение топографии поверхности трения при фрикционном взаимодействии в смазке с наноразмерными алмазосодержащими добавками	308
4.2.4. Модель фрикционного разрушения поверхности трения в присутствии смазки с наноразмерными алмазосодержащими частицами	312
4.2.5. Отработка режимов формирования износостойких поверхностных структур фрикционной обработкой	317
4.2.6. Разработка технология трибомеханического модифицирования поверхности (на примере шарнирных сопряжений жатки)	320
4.2.6.1. Отработка режимов предварительного формирования поверхностного слоя	320
4.2.6.2. Разработка технологической схемы формирования антифрикционного износостойкого покрытия на поверхностях трения шарниров методом трибомеханического модифицирования	325
4.2.6.3. Ресурсные испытания шарнирных сопряжений жатки с покрытиями, сформированными трибомеханическим модифицированием	328
Глава 5. КОМПОЗИТЫ НА БРОНЗОВОЙ ОСНОВЕ С НАНОСТРУКТУРИРУЕМЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ ТРЕНИЯ	332
5.1. Принципы создания макрогетерогенных композитов триботехнического назначения	332
5.1.1. Компоненты макрогетерогенного композита триботехнического назначения	332
5.1.2. Изменение структуры компонентов макрогетерогенного материала в процессе пропитки	333
5.2. Взаимосвязь физико-механических характеристик макрогетерогенных композитов с концентрацией и геометрическими параметрами армирующих элементов	338
	525

5.3. Формирование износостойких поверхностных структур при граничном трении макрогетерогенных композитов	343
5.3.1. Структура пленки трения, образуемой при фрикционном контакте макрогетерогенных композитов на основе кремний-марганцевой бронзы	343
5.3.2. Механизм образования пленки трения при фрикционном контакте кремний-марганцевой бронзы	346
5.3.3. Влияние режимов фрикционного взаимодействия на процесс формирования пленки трения	350
5.3.4. Трансформация пленки трения в процессе фрикционного взаимодействия	355
5.3.5. Анализ термодинамики структурных превращений при трении макрогетерогенных композитов	360
5.4. Макрогетерогенные композиты с эффектом наноструктурирования поверхностного слоя при сухом трении	362
5.4.1. Структурно-фазовые превращения в поверхностных слоях кремний-марганцевой бронзовой матрицы при сухом трении	362
5.4.2. Процессы контактного взаимодействия кремний-марганцевой бронзы при сухом трении	365
5.5. Триботехнические свойства композиционных материалов на медной основе	370
5.5.1. Износостойкость макрогетерогенных композитов в условиях сухого трения	370
5.5.2. Триботехнические свойства макрогетерогенных композитов в присутствии смазки, модифицированной ультрадисперсными алмазами	372
5.6. Повышение антифрикционных свойств псевдосплавов системы железо–медь–графит	381
5.6.1. Использование модифицированных смазок для борированных псевдосплавов системы железо–медь–графит	381
5.6.2. Трибомеханическое модифицирование псевдосплавов системы железо–медь–графит, полученных магнитно-импульсной пропиткой	382
5.7. Области применения антифрикционных композитов на бронзовой основе и смазочного покрытия с наноалмазами	387
5.7.1. Повышение ресурса тяжело нагруженных узлов трения теплоэнергетического оборудования	387
5.7.1.1. Определение ресурса макрогетерогенных композитов в парах трения, работающих при различных схемах нагружения	387
5.7.2. Повышение работоспособности станочных узлов на основе применения материалов системы железо–медь–графит	396
5.7.2.1. Использование материалов системы железо–медь–графит для изготовления деталей станочных узлов	396
1.1.1.2. Стендовые испытания биметаллических червячных колес	398
Глава 6. ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫМИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИМИ ДОБАВКАМИ	401
6.1. Принципы модифицирования пластичных смазочных материалов наноразмерными добавками	401
6.1.1. Компоненты пластичных смазочных материалов	401
6.1.2. Критерии выбора твердых добавок в пластичный смазочный материал	405
6.1.3. Основные принципы создания смазочных материалов, модифицированных наноразмерными добавками	407

6.2. Получение пластичных смазок с наноразмерными алмазосодержащими добавками	409
6.2.1. Формирование структуры дисперсной фазы в присутствии наноразмерно-го модификатора.	409
6.2.2. Методы определения основных физических и трибологических свойств пластичных смазок	419
6.2.3. Модифицирование пластичных смазок наноразмерными алмазосодержащими добавками	424
6.2.4. Модифицирование смазочных композиций алмазосодержащим пакетом добавок	427
6.3. Физические и триботехнические свойства пластичных смазок с наноразмерными алмазосодержащими добавками	441
6.3.1. Оценка модифицирующего действия наноразмерных добавок на основе определения физических и триботехнических свойств пластичных смазок	441
6.3.2. Эволюция структуры дисперсной фазы пластичной смазки в процессе трения.	448
6.4. Перспективы применения смазочных материалов, модифицированных алмазосодержащим пакетом добавок	456
6.4.1. Определение диапазона температурно-нагрузочных режимов эксплуатации пластичной смазки, модифицированной алмазосодержащим пакетом добавок	456
6.4.2. Области применения смазочных материалов, модифицированных алмазосодержащим пакетом добавок	458
6.4.3. Разработка рекомендаций по применению модифицированной пластичной смазки в узлах трения карьерных самосвалов БелАЗ	464
6.4.3.1. Критерии выбора смазочного материала.	464
6.4.3.2. Прогнозная оценка ресурса шаровой опоры цилиндра подвески по результатам лабораторных испытаний	467
Заключение	469
Литература	478