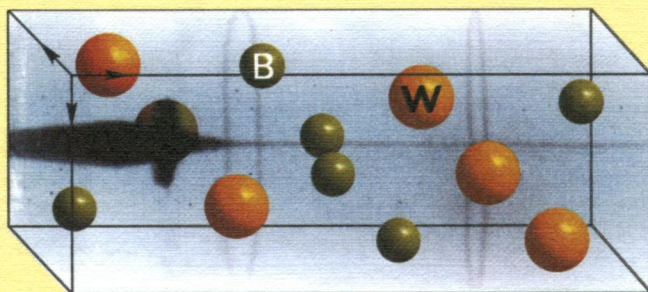


РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

**ДИНАМИКА
СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ
КУМУЛЯТИВНОГО СИНТЕЗА
НАНОКОМПОЗИТОВ**



ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

Вып. 42 | 2012

УДК 538.9+620.22

ББК 22.37+30.3

Д54

Редакционная коллегия серии:

академик В.М. Фомин (главный редактор),
академик Ю.И. Шокин, член-корреспондент РАН В.А. Ламин,
член-корреспондент РАН В.Н. Опарин, доктор биологических наук В.В. Глупов,
доктор экономических наук В.Ю. Малов, доктор химических наук В.П. Федин,
кандидат физико-математических наук Н.Г. Никулин (ответственный секретарь)

Серия основана в 2003 г.

Динамика структурно-фазовых состояний и фундаментальные основы кумулятивного синтеза нанокompозитов / отв. ред. В.К. Кедринский, С.Г. Псахье; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т гидродинамики [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 244 с. (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 42).

Синтез новых соединений и структурно-фазовых состояний – одно из актуальных направлений фундаментальных проблем физики твердого тела и современного материаловедения, решение которых зависит от возможности создания экстремальных условий по давлениям и температурам. Новое технологическое направление – кумулятивный синтез – позволяет использовать широкий спектр химических элементов и их композиций, включая совмещение тяжелых и легких элементов, что было невозможно в рамках известных динамических методов. Разработка математической модели дает возможность впервые оценить динамические параметры, необходимые для кумулятивного синтеза соответствующих фазовых состояний.

Монография предназначена для научных работников, инженеров и аспирантов, интересующихся проблемами кумулятивного синтеза нанокompозитов.

Утверждено к печати

Ученым советом Института гидродинамики СО РАН им. М.А. Лаврентьева

Р е ц е н з е н т ы

доктора физико-математических наук *Э.Р. Шрагер, П.В. Макаров, В.Ф. Косарев*

Работа выполнена в рамках
междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 29 «Разработка научных основ кумулятивного синтеза новых наноструктурных соединений и покрытий методом встречных пучков и мишеней», № 32 «Динамика структурно-фазовых состояний и фундаментальные основы синтеза нанокompозитов в кумулятивных потоках»

ISBN 978–5–7692–1259–8

ISBN 978–5–7692–0669–6

© Коллектив авторов, 2012

© Институт гидродинамики СО РАН, 2012

© Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 2012

© Отдел структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН, 2012

© Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, 2012

© Институт неорганической химии СО РАН, 2012

© Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, 2012

© Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 2012

© Томский государственный университет, 2012

© Оформление. Издательство СО РАН, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
Глава 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ И СИНТЕЗА В КУМУЛЯТИВНЫХ ТЕЧЕНИЯХ	8
1.1. Синтез соединений и физико-химические превращения при схлопывании порошковой кумулятивной облицовки	11
1.2. Синтез покрытий при соударении кумулятивного потока с преградой	16
1.3. Реактор на встречных кумулятивных потоках	20
1.4. Гетерогенные композиционные ВВ в кумулятивном синтезе	21
Литература	25
Глава 2. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ УДАРНО-ВОЛНОВОГО НАГРУЖЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ	28
2.1. Ударная адиабата порошковых смесей	—
2.2. Расчет с переменным коэффициентом Грюнайзена	31
2.3. Ударные адиабаты с учетом фазового перехода	33
2.4. Оценка давления и температуры в зоне кумулятивного реактора ..	38
Литература	44
Глава 3. ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ И МЕХАНО-ХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКОВ (МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ)	47
3.1. Физико-механические превращения при столкновении частиц ...	—
3.1.1. Метод молекулярной динамики	—
3.1.2. Метод подвижных клеточных автоматов	53
3.1.3. Особенности разрушения керамических частиц при ударе ...	61
3.1.4. Структурные превращения при соударении наночастиц меди ..	65
3.1.5. Соударения наночастиц никеля. Влияние насыщения наночас- тиц водородом	69
3.2. Кумулятивный синтез (клеточно-автоматные модели)	72
Введение	—
3.2.1. Образование кумулятивной струи на этапе схлопывания порош- ковой облицовки	73
3.2.2. Взаимодействие мишени с кумулятивным потоком частиц, син- тез покрытия	82
3.2.3. Клеточно-автоматная модель потока частиц порошков в газе ..	89
3.3. Макрокинетика механохимического синтеза порошков-прекурсоров ..	100
Введение	—
3.3.1. Математическая модель	101

3.3.2. Исследование модели	108
3.3.3. Определение эффективных кинетических констант	113
Литература	121
Глава 4. МЕХАНОКОМПОЗИТЫ В КАЧЕСТВЕ ПРЕКУРСОРОВ ПРИ КУМУЛЯТИВНОМ СИНТЕЗЕ ПОКРЫТИЙ	126
4.1. Особенности и режимы получения механокомпозитов	–
4.2. Электронно-микроскопическое и рентгенографическое исследование дефектной микроструктуры механокомпозитов	132
4.2.1. Методика электронно-микроскопического исследования субструктур с высокой континуальной плотностью дефектов	134
4.2.2. Результаты рентгеноструктурного анализа	137
4.2.3. Электронно-микроскопическое исследование дефектной субструктуры	139
4.2.4. Поля локальных внутренних напряжений	149
4.3. Высокодефектные наноструктурные состояния с высокими локальными градиентами напряжений	150
4.4. Результаты экспериментального исследования кумулятивного синтеза с предварительной механоактивацией порошковых смесей	155
4.5. Механическая активация и ее влияние на структурное состояние и фазовый состав нанокристаллических порошков $ZrO_2-Y_2O_3$ и $ZrO_2-Y_2O_3-Al_2O_3$	172
Литература	180
Глава 5. РАЗЛОЖЕНИЕ И СИНТЕЗ СОЕДИНЕНИЙ В КУМУЛЯТИВНОМ РЕАКТОРЕ	187
5.1. Кумулятивный синтез высокотемпературных фаз W_2B и $\beta-WB$	–
5.2. Разложение прекурсоров в кумулятивных течениях с последующим синтезом новых соединений	193
5.3. Синтез высокотвердых покрытий на стальных и титановых подложках	198
Литература	201
Глава 6. КУМУЛЯТИВНЫЕ ОБЛИЦОВКИ ИЗ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ	203
6.1. Превращения в диоксиде циркония в кумулятивном реакторе	–
6.2. Фазовые превращения и кинетика уплотнения нанопорошков на основе ZrO_2 при высокотемпературных воздействиях и механическом уплотнении	210
6.3. Динамическая обработка нанопорошков высокими давлениями	220
Литература	232
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	235