

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Набережночелнинский институт

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
ДЕФОРМАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ
НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ
В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ**



**КАЗАНЬ
2017**

УДК 669.017-022.532:539.374

ББК 34.259.9+34.62-1

Т33

*Издание осуществлено при поддержке
Российского научного фонда
по проекту № 14-19-01062 в ФГБОУ ВО
«Уфимский государственный авиационный технический университет».*

Авторы:

Ф.З. Утяшев, Г.И. Рааб, В.Г. Шibaков, М.М. Ганиев

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор **В.И. Астащенко**;
доктор технических наук, профессор МГТУ «Станкин» **Е.Н. Сосенушкин**

Т33 Теория и практика деформационных методов формирования нанокристаллической структуры в металлах и сплавах / Ф.З. Утяшев, Г.И. Рааб, В.Г. Шibaков, М.М. Ганиев. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. – 208 с.

ISBN 978-5-00019-658-8

Представлены теоретические и прикладные основы технологий получения и обработки наноструктурных (НС) материалов с высоким комплексом физико-механических и технологических свойств. Рассмотрены механизмы деформации и измельчения зерен. Показана связь между деформированным и структурным состоянием металлов, позволяющая прогнозировать формируемую структуру в НС материалах в зависимости от условий обработки. Приведены рациональные подходы, схемы и режимы обработки металлов и сплавов в разных методах интенсивной пластической деформации (ИПД).

Большое внимание уделено технологическим аспектам получения и обработки НС материалов, включая обоснование термомеханических режимов измельчения микроструктуры и формообразования деталей в условиях сверхпластичности. Приведены примеры конструкций инструмента и оборудования.

Книга предназначена для инженеров-металловедов и обработчиков металлов давлением, научных работников, разработчиков новых технологий, оборудования и инструмента для получения объемных наноматериалов конструкционного назначения, а также для аспирантов, магистрантов, бакалавров и студентов старших курсов металлургических и машиностроительных специальностей.

УДК 669.017-022.532:539.374

ББК 34.259.9+34.62-1

ISBN 978-5-00019-658-8

© Издательство Казанского университета, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Часть 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ДЕФОРМАЦИОННОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ .	6
1.1 Этапы и факторы, влияющие на измельчение зерен	8
1.1.1. Эволюция микроструктуры при деформации.....	9
1.1.2. Влияние природы материала на структурообразование	22
1.1.3. Влияние условий деформации на структурообразование.....	24
1.1.4. Стабильность ультрамелкозернистой структуры.....	41
1.2. Механизмы деформации и деформированное состояние кристаллического материала при ИПД	46
1.2.1. Деформированное состояние	47
1.2.2. Сдвиговая и поворотная деформации.....	54
1.2.3. Учет поворотной деформации	58
1.2.4. Структурно-механические условия совместности деформации при ИПД... ..	76
1.3. Связь деформированного и структурного состояния металлических материалов при ИПД	83
1.3.1. Кинетика фрагментации и механизмов деформации	84
1.3.2. Размеры фрагментов и полос.....	94
1.3.3. Влияние масштабного фактора на измельчение зерен	110
Список литературы к части 1	128
Часть 2. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ..	135
2.1 Формирование УМЗ структуры как релаксационный процесс . 137	
2.1.1. Внутренний и внешний каналы релаксации напряжений при пластической деформации	137
2.1.2. Характер деформации и энергозатрат	140
2.2. Современные методы деформационного наноструктурирования 145	
2.2.1. Лабораторные методы	145
2.2.2. Опытные промышленные методы ИПД для получения длинномерных заготовок	161
2.2.3. Комбинированные и совмещенные методы для получения длинномерных УМЗ полуфабрикатов	165
2.3. Обработка специальных и стальных материалов	170
2.3.1. Титан и никелид титана	170
2.3.2. Стали с повышенными огнестойкими свойствами	178
2.3.3. Низкоуглеродистые метизные стали	187
2.3.4. Алюминиевые сплавы электротехнического применения	196
Список литературы к части 2	198