

С. В. Бобылев И. А. Овидько

**ГРАНИЦЫ ЗЕРЕН
И ПЛАСТИЧЕСКАЯ
ДЕФОРМАЦИЯ
В НАНОМАТЕРИАЛАХ**

Министерство образования и науки Российской Федерации
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

С. В. Бобылев И. А. Овидько

ГРАНИЦЫ ЗЕРЕН
И ПЛАСТИЧЕСКАЯ
ДЕФОРМАЦИЯ
В НАНОМАТЕРИАЛАХ

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета

2016

УДК 539.375.5:620.22–022.51

ББК 30.121:30.3

Б72

Бобылев С. В. Границы зерен и пластическая деформация в наноматериалах / С. В. Бобылев, И. А. Овидько. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 184 с.

Рассмотрены теоретические модели процессов пластической деформации, разрушения и роста зерен, реализующихся по границам зерен в нанокристаллических материалах. Проанализирована роль границ зерен как альтернативных источников подвижных дислокаций. Развита модель аккомодации межзеренного скольжения, приводящей к повышению пластичности наноматериалов. Дан обзор экспериментальных и теоретических данных, касающихся зарождения трещин при высокоскоростном и квазистатическом режимах деформирования. Рассмотрены различные теории роста зерен в наноматериалах.

Настоящая работа в части написания глав 1, 2, 4 и 5 монографии поддержана Российским научным фондом (проект 14-29-00199) и в части написания главы 3 поддержана Министерством образования и науки РФ (государственное задание № 9.1964.2014/К).

S.V. Bobylev, I.A. Ovid'ko. Grain boundaries and plastic deformation in nanomaterials

Theoretical models of the processes of plastic deformation, fracture and grain growth realized via grain boundaries in nanocrystalline materials are considered. The role of grain boundaries as alternative sources of mobile dislocations is analyzed. The models of grain boundary sliding accommodation, leading to nanomaterials ductility enhancement are developed. Experimental and theoretical data on crack nucleation under high-strain-rate and quasistatic regimes of deformation are reviewed. Various theories of grain growth in nanomaterials are considered.

This work, in its part addressing Chapters 1, 2, 4 and 5 of the monograph, was supported by the Russian Science Foundation (project 14-29-00199) and, in a part addressing Chapter 3 of the monograph, was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Zadanie 9.1964.2014/K)

ISBN 978-5-7422-5508-6

© Бобылев С. В., Овидько И. А., 2016

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. Наномасштабная пластическая деформация за счет испускания дислокаций внутренними границами раздела в деформируемых наноматериалах	7
1.1. Распад малоугловых границ наклона в деформируемых наноматериалах	8
1.2. Испускание частичных дислокаций из большеугловых границ зерен в деформируемых наноматериалах	17
1.3. Испускание дислокаций из аморфных границ зерен в нанокерамиках	24
1.4. Испускание петель частичных дислокаций границами зерен в нанокристаллических ГЦК металлах	35
2. Механизмы аккомодации зернограницного скольжения как моды пластической деформации и механизмы повышения трещиностойкости в деформируемых наноматериалах	49
2.1. Совместное действие зернограницного скольжения, расщепления и миграции границ зерен как мода пластической деформации в наноматериалах	50
2.2. Влияние неаккомодированного и аккомодированного межзеренного скольжения на рост трещин в наноматериалах	60
2.3. Аккомодация пластического сдвига ротационной деформацией в наноматериалах .	79
3. Процессы наномасштабного идеального пластического сдвига в деформируемых наноматериалах и нанопроволоках	88
3.1. Наномасштабный пластический сдвиг в деформируемых нанопроволоках	90
3.2. Испускание дислокаций порами и рост пор в наноматериалах в результате наномасштабного пластического сдвига	108
4. Зарождение трещин в наноматериалах при высокоскоростном и квазистатическом режимах деформирования	118
4.1. Теория и компьютерное моделирование поведения наноматериалов при высокоскоростном и квазистатическом режимах деформирования (методологические аспекты)	118
4.2. Процессы вязкого и хрупкого разрушения в наноматериалах. Экспериментальные данные	120
4.3. Зарождение нанотрещин на тройных стыках границ зерен в наноматериалах	123
4.4. Зарождение искривленных нанотрещин вблизи нановключений второй фазы в нанокompозитах	133

5. Теории роста зерен и методы его подавления в нанокристаллических и поликристаллических материалах	141
5.1. Классические теории нормального роста зерен в поликристаллах при термообработке	142
5.2. Особенности процесса роста зерен в наноматериалах при термообработке	150
5.3. Методы стабилизации нанокристаллической структуры в сплавах и материалах, содержащих примеси.....	157
5.4. Стимулируемая напряжением миграция границ зерен и рост зерен при пластической деформации наноматериалов.....	159
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	 164
 ЛИТЕРАТУРА	 199