

УДК 620.22:620.1+620.22:539.4(075.8)

ББК 30.3-3Я73

П16

Панин В.Е.

П16 Наноструктурирование поверхностных слоев конструкционных материалов и нанесение наноструктурных покрытий: учебное пособие / В.Е. Панин, В.П. Сергеев, А.В. Панин; Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 254 с.

ISBN 978-5-4387-0264-1

В пособии рассматриваются механизмы деформации, разрушения и изнашивания поверхностных слоев конструкционных материалов в различных условиях нагружения. Показана высокая эффективность их наноструктурирования и нанесения наноструктурных покрытий, чтократно повышает такие важные характеристики, как износостойкость, усталостная долговечность, коррозионная стойкость, ресурс работы и надежность высокоответственных конструкций и их сварных соединений. Описаны современные технологии наноструктурирования поверхностных слоев и нанесения наноструктурных покрытий.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров 150600 «Материаловедение и технология новых материалов».

УДК 620.22:620.1+620.22:539.4(075.8)

ББК 30.3-3Я73

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор ТПУ

В.А. Клименов

Доктор физико-математических наук, профессор ИФПМ СО РАН

Ю.П. Шаркеев

***Опубликовано при финансовой поддержке
Министерства образования и наук РФ, ГК № 16.552.11.7063***

ISBN 978-5-4387-0264-1

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2010

© Панин В.Е., Сергеев В.П., Панин А.В., 2010

© Обложка. Издательство Томского
политехнического университета, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Глава 1. Поверхностные слои и внутренние границы раздела как самостоятельные подсистемы в твердых телах.....	9
1.1. Физические принципы мезомеханики поверхностных слоев и внутренних границ раздела в деформируемом твердом теле.....	9
1.2. Структура и закономерности деформации поверхностных слоев.....	10
1.3. Поверхностные слои как синергетический активатор пластического течения нагруженного твердого тела.....	21
1.4. Внутренние границы раздела как мезоскопический структурный уровень деформации.....	26
Список литературы.....	33
Глава 2. “Шахматный эффект” распределения напряжений и деформаций на интерфейсе “поверхностный слой–подложка”.....	38
2.1. Расчеты распределения напряжений на интерфейсе двух разнородных сред в одномерном приближении.....	38
2.2. Двухмерное приближение. “Шахматный мезоэффект” интерфейса...	43
2.3. Автоволновой процесс массопереноса на интерфейсе разнородных сред в условиях внешних воздействий.....	49
2.4. Модели нелинейного автоволнового массопереноса в условиях “шахматного” распределения напряжений на интерфейсе.....	52
2.5. Эффекты скейлинга в структурно-фазовой самоорганизации на интерфейсе “напыленная тонкая пленка – подложка”.....	55
Список литературы.....	72
Глава 3. Физическая природа зарождения и развития пластических сдвигов на различных структурно-масштабных уровнях.....	76
3.1. Неравновесная термодинамика как основа зарождения пластических сдвигов и разрушения материала в нагруженном твердом теле.....	76
3.2. Методология многоуровневого описания термодинамики неравновесных состояний.....	77
3.3. Экспериментальная верификация представлений термодинамики неравновесных состояний в деформируемом твердом теле.....	81
3.4. Термодинамические основы возникновения субмикро(нано-) кристаллической структуры при интенсивной пластической деформации.....	91
3.5. Мезомеханика диспергирования кристаллической и дефектной подсистем при интенсивной пластической деформации без нарушения сплошности.....	95

3.6. Экспериментальное исследование мезомеханики измельчения структуры при интенсивной пластической деформации.....	98
3.7. О нижнем пределе измельчения структуры при интенсивной пластической деформации.....	103
Список литературы.....	105
Глава 4. Механизмы влияния поверхностного слоя на пластичность и прочность твердых тел.....	113
4.1. Влияние ультразвуковой обработки поверхностных слоев конструкционных материалов на характер их пластической деформации и разрушения.....	113
4.2. Влияние наводороживания поверхностных слоев на характер пластической деформации и разрушения конструкционных материалов.....	138
4.3. Влияние нанесения тонких покрытий и поверхностного упрочнения в условиях зубчатого (игольчатого) профиля интерфейса “поверхностный слой-подложка” на пластичность материала.....	145
Список литературы.....	149
Глава 5. Наноструктурирование поверхностных слоев и нанесение наноструктурных покрытий – эффективный способ упрочнения конструкционных материалов.....	154
5.1. Наноструктурирование покрытий и поверхностных слоев ионной бомбардировкой.....	158
5.2. Наноструктурирование покрытий путем смешивания химических элементов.....	178
5.3. Наноструктурирование поверхностных слоев сталей, сплавов и покрытий методом ультразвуковой обработки.....	187
5.4. Влияние комплексной обработки поверхностного слоя высокопрочных конструкционных материалов на их износостойкость.....	193
Список литературы.....	199
Глава 6. Современные технологии наноструктурирования поверхностных слоев и нанесения наноструктурных покрытий.....	205
6.1. Обработка поверхности ионными и электронными пучками, ультразвуком	207
6.2. Вакуумные технологии нанесения наноструктурных покрытий.....	223
6.3. Нанесение наноструктурных покрытий методом магнетронного распыления.....	226
6.4. Вакуумно-дуговое напыление наноструктурных покрытий с ионной бомбардировкой.....	234
6.5. Композиционные катоды и мишени для нанесения наноструктурных покрытий и поверхностного наноструктурирования.....	241
Список литературы.....	246
Заключение.....	250