

## СОДЕРЖАНИЕ

### МИКРОСТРУКТУРЫ, ДЕФОРМАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

|   |     |
|---|-----|
| Рыбин В. В. Закономерности формирования мезоструктур в ходе развитой пластической деформации .....  | 9   |
| Теодосиу С. Моделирование поведения тонколистовой стали в состоянии пластичности при сложных изменениях пути деформации.....  | 29  |
| Панин В. Е. Структурные уровни пластической деформации и разрушения твердых тел .....   | 37  |
| Эль - Дашер Б. С., Адамс Б. Л., Роллетт А. Д. Прогресс в разработке экспериментальных методов и количественного анализа геометрически необходимых дислокации .....  | 49  |
| Штювэ Х. П., Пиппан Р., Хебесбергер Т., Форхауэр А. Ориентации кристаллов в меди, деформированной кручением под высоким давлением.....  | 55  |
| Нестерова Е., Рыбин В., Зисман А., Теодосиу К. ПЭМ-исследование и численное моделирование оборванной микрополосы сдвига, образовавшейся при ортогональном изменении пути деформирования.....                          | 61  |
| Зисман А. А., Рыбин В. В. Материальные повороты и переориентация решетки при взаимодействии по-разному деформированных структурных элементов .....  | 75  |
| Бакруа Б., Нестерова Е., Ришар В., Теодосиу К. Количественная оценка микроструктурных особенностей основных текстурных компонентов, формирующихся в низкоуглеродистых сталях после сложного пути деформирования ..... | 81  |
| Гасперини М., Святницкий У. Пластическая локализация в макроскопических полосах сдвига при испытаниях на сдвиг холоднокатаных алюминиевых сплавов.....  | 88  |
| Святницкий В, Бодэн Т., Жура Ж., Мэйсон М. Х., Гловатска А. ПЭМ исследование эволюции микроструктуры в дуплексной аустенитно-ферритной стали .....  | 96  |
| Золоторевский Н. Ю., Васильев Д. М., Титовец Ю. Е. Микронапряжения в холодноотянутой проволоке из перлитной стали.....  | 104 |
| Титовец Ю. Ф., Золоторевский Н. Ю., Ермакова Н. Ю. Рентгенография эволюции микротекстуры в отдельных зернах.....  | 110 |
| Клемм В., Климанек П., Мотыленко М., Павлович Т., Штраубе Х. ПЭМ исследования взаимосвязи между ячеистой, блочной структурой и дисклинационными конфигурациями в пластически деформированных металлах.....            | 118 |
| Штраубе Х., Клемм В., Климанек П., Мотыленко М. Новый метод определения с высокой точностью малых локальных разориентировок в кристаллах путем ПЭМ-анализа Кикучи картин.....   | 124 |
| Конева Н. А. Мезоструктура, внутренние напряжения и стадии пластической деформации  | 132 |
| Пантлеон У. Дислокационные границы, образующиеся в процессе пластической деформации, и их разориентации.....  | 142 |

|   |     |
|---|-----|
| Нестерова Е. В., Рыбин В. В. Кристаллографический ПЭМ анализ<br>сильнодеформированных структур методом одиночных рефлексов .....  | 151 |
| Копылов В. И., Макаров И. М., Нестерова Е. В., Рыбин В. В. Разориентировки<br>границ в субмикроструктурной структуре, сформированной в меди методом<br>равноканального углового прессования (РКУ) .....         | 164 |
| Хелмих Р. Ж., Байк С. К., Сео М. Х., Ким Х. С., Эстрин И. Влияние равноканального<br>углового прессования на микроструктуру и прочность при растяжении чистой меди.....   | 168 |
| Салищев Г. А., Жеребцов С. В., Миронов С. Ю. Образование мезоструктуры и<br>механическое поведение титана при большой пластической деформации.....  | 175 |
| Колобов Ю. Р., Грабовецкая Г. П., Иванов М. Б., Иванов К. В., Гирсова Н. В.<br>Закономерности эволюции структуры металлов и сплавов при интенсивной пластической<br>деформации и сверхпластическом течении..... | 184 |
| Гринберг Б. А., Гроховская Л. Г., Гуцин Г. М., Кругликов Н. А., Родионова Л.<br>А., Саханская И. Н., Волков А. Ю. Сильная холодная деформация упорядоченных<br>сплавов как метод повышения пластичности.....    | 192 |
| Фирстов С. А., Рогуль Т. Г., Марушко В. Т., Сагайдак В. А. Структура и<br>микротвердость поликристаллического хрома, полученного путем магнетронного распыления<br>.....  | 201 |
| Коджаспиров Г., Рыбин В. Влияние температурно-деформационно-временных<br>параметров на формирование мезоструктуры аустенитной нержавеющей стали при<br>термомеханической обработке.....                         | 205 |
| Скотникова М. А., Касторский Д. А., Строкина Т. И., Крылов Н. А. Структурные и<br>фазовые превращения в металлах при скоростном резании.....  | 214 |

## ТЕКСТУРЫ ДЕФОРМАЦИИ

|  |     |
|--|-----|
| Ван Хаут П., Ли С., Деланнэ Л., Ван Бель А. Моделирование текстур деформации и<br>пластической анизотропии .....   | 225 |
| Перлович Ю., Исаенкова М., Фесенко В. Формирование текстуры и развитие<br>субструктурной неоднородности при пластической деформации металлических материалов:<br>общие закономерности .....  | 233 |
| Лефферс Т. Новый взгляд на концепцию релаксированного стеснения .....  | 243 |
| Нестерова Е. В., Золоторевский Н. Ю., Рыбин В. В., Титовец Ю. Ф. Особенности<br>эволюции текстуры в перлитных сталях в процессе холодного волочения .....                                    | 250 |
| Зисман А., Золоторевский Н., Ермакова П. Последовательный выбор активных<br>систем скольжения с помощью критерия несовместности и моделирование текстуры прокатки<br>ГЦК поликристалла ..... | 258 |
| Гречников Ф. В., Арыщенский В. Ю. Теория расчета заданных компонент текстуры и<br>механизм ее формирования при прокатке алюминиевых сплавов .....  | 265 |

## **ДИСЛОКАЦИОННО-ДИСКЛИНАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ**

|  |     |
|--|-----|
| Малыгин Г. А. Дислокационно-кинетический механизм деформационного упрочнения и формирования дислокационных мезоструктур в кристаллах при больших пластических деформациях .....  | 278 |
| Фивель М. С., Робертсон С. Ф., Депре С., Вердые М. Сравнение результатов, полученных с помощью дискретных дислокационных моделей, с экспериментальными данными: приложение к наноиндентированию и усталостным испытаниям ..... | 286 |
| Коваленко В. В., Соснин О. В., Коновалов С. В., Целлермаер В. В., Громов В. Е., Козлов Е. В., Иванов Ю. Ф. Эволюция дислокационных субструктур при усталости аустенитной стали .....   | 295 |
| Зифилд М., Ван Хаут П. Моделирование фрагментации зерен на основе дисклинации и ее воздействие на механическую анизотропию .....   | 302 |
| Табуро Л. Ф., Фивель М., Валлан П., Луш Х., Туссен Ф. Моделирование кинематического упрочнения, обусловленного дислокациями в рамках теории пластичности .....   | 310 |
| Диррас Г. Ф., Донадые П., Дуэн Ж. Механизмы взаимодействия между дислокациями и выделениями второй фазы в алюминиевых сплавах 6xxx .....   | 317 |

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ**

|   |     |
|---|-----|
| Колмогоров В. Л. Математическое моделирование больших пластических деформаций металлов .....  | 325 |
| Корбель К., Печерский Р. Б., Корбель А. Анализ параметров конечной пластической деформации в результате последовательной активации скольжений .....   | 349 |
| Мусиенко А., Шмидегг К., Коледник О., Пиппан Р., Каллето Г. Применение метода конечных элементов для моделирования мультикристаллов при больших деформациях .....   | 357 |
| Печерский Р. Б. Некоторые проблемы полимасштабного моделирования больших пластических деформаций .....  | 364 |
| Кукуджанов В. Н. Микромеханическая модель упруговязкопластического упрочнения–разупрочнения материалов и ее применение для численного моделирования .....   | 373 |
| Рос А., Шабош Ж. - Л. Методология полимасштабного моделирования алюминидов титана .....   | 381 |
| Морозов Н. Ф., Петров Ю. В. Хрупко-вязкое разрушение: точки перехода .....  | 390 |
| Александров С., Барлат Ф. Эволюция анизотропии в процессе гибки при плоской деформации .....  | 393 |
| Перевезенцев В. Н., Чувильдеев В. Н., Сысоев А. Н., Копылов В. И., Лангдон Т. Г. Закономерности механического поведения в микрокристаллическом сплаве Al–Mg–Sc в состоянии сверхпластичности при больших скоростях деформации ..... | 400 |
| Бригаднов И. А. Большие упругопластические деформации композитных материалов .....  | 411 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Мещеряков Ю. И. Энергообмен между мезо- и макроуровнями и реакция твердых тел на ударное воздействие.....</b>         | <b>418</b> |
| <b>Аннин Б. Д., Садовская О. В., Садовский В. М. Динамические контактные задачи теории упругости и пластичности.....</b> | <b>426</b> |

## РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 548.4:539.374

**Закономерности формирования мезоструктур в ходе развитой пластической деформации.** Рыбин В. В. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 9–28

Представлен обзор основных экспериментальных фактов и теоретических представлений, касающихся формирования мезодефектов и мезоструктур в ходе развитой пластической деформации. Выявлена генетическая взаимосвязь между образованием мезодефектов и процессами самоорганизации ансамбля сильно-взаимодействующих дислокаций, когда их плотность достигает критических значений. Классифицированы основные типы мезодефектов, дана их интерпретация в терминах частичных и стыковых дисклинаций. Подробно рассмотрено явление фрагментации, проанализированы причины и действующие силы, порождающие его. Приведены многочисленные данные по статистике распределения границ фрагментов по величине и направлению вектора разориентировки, а также по типу границ.

*Ключевые слова:* пластическая деформация, мезодефекты, мезоструктуры, дисклинации, фрагментация.

УДК 669.14–41:539.374.4

**Моделирование поведения тонколистовой стали в состоянии пластичности при сложных изменениях пути деформации.** Теодосиу С. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 29–36

Численное моделирование процесса штамповки листового материала требует надежного описания поведения деформированных материалов в состоянии пластичности, учитывая эволюцию их текстуры и микроструктуры. Данная работа рассматривает некоторые последние достижения в разработке современных математических моделей поведения тонколистовой стали.

*Ключевые слова:* тонколистовая сталь, штамповка, эволюция текстуры, микроструктура, численное моделирование.

УДК 539.375

**Структурные уровни пластической деформации и разрушения твердых тел.** Панин В. Е. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 37–48

В рамках концепции структурных уровней деформации и разрушения твердых тел сформулированы принципиально новые положения. Пластическая деформация нагруженного твердого тела развивается как эволюция потери его сдвиговой устойчивости на различных масштабных уровнях: микро-, мезо- и макро.

Твердое тело рассматривается как многоуровневая система в которой микро-, мезо- и макромасштабные уровни являются самосогласованными. Развитие диссипативных структур и фрагментация деформируемого твердого тела являются основными механизмами пластического течения на мезомасштабном уровне. Разрушение — это завершающая стадия фрагментации деформируемого твердого тела, когда она локализуется на макромасштабном уровне.

*Ключевые слова:* твердое тело, пластическая деформация, структурные уровни, фрагментация.

УДК 548.4:537.533.35

**Прогресс в разработке экспериментальных методов и количественного анализа геометрически необходимых дислокаций.** Э л ь - Д а ш е р Б. С., А д а м с Б. Л., Р о л л е т т А. Д. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 49–54

Представлено описание успехов, достигнутых в развитии экспериментальных методов определения тензора геометрически необходимых дислокаций (ГНД), которые основаны на дифракции обратного рассеяния электронов.

Использованы данные для алюминия 99.999%, полученного методом направленной кристаллизации и имеющего сильную столбчатую текстуру <001>. Основное внимание уделено взаимодействию поля пластической деформации с границами зерен. Анализируются и сопоставляются различные методы определения плотности ГНД. Результаты наблюдений анализируются с точки зрения градиентной теории пластичности.

*Ключевые слова:* геометрически необходимые дислокации, экспериментальные методы, количественный анализ.

УДК 669.3:539.385

**Ориентации кристаллов в меди, деформированной кручением под высоким давлением.** Ш т ю в э Х. П., П и п п а н Р., Х е б е с б е р г е р Т., Ф о р х а у э р А. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 55–60

Медь деформировалась до  $\phi = 25$  кручением под высоким давлением, а распределение локальных ориентаций замерялось с помощью обратного рассеяния отраженных электронов. Исходный кристалл интенсивно фрагментировался на малые части различной ориентации. Обсуждаются причины такой фрагментации. Корреляционные функции углов разориентации и осей вращения кажутся почти произвольными, с другой стороны, образцы демонстрируют четкую текстуру деформации. Разъясняется видимое несоответствие.

*Ключевые слова:* медь, деформирование кручением, кристалл, распределение локальных ориентаций, текстура деформации.

УДК 620.187:539.382

**ПЭМ-исследование и численное моделирование оборванной микрополосы сдвига, образовавшейся при ортогональном изменении пути деформирования.** Н е с т е р о в а Е., Р ы б и н В., З и с м а н А., Т е о д о с и у К. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 61–75.

Методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) проведена количественная аттестация оборванной микрополосы сдвига, сформированной в мягкой стали при ортогональном изменении пути деформирования (простой сдвиг в направлении предварительной деформации растяжением). По результатам измерения разориентировок на границах микрополосы, а также величины уступов, образовавшихся при пересечении микрополосой предварительно сформированных дислокационных границ, была смоделирована схема скольжения. Наилучшее

совпадение результатов моделирования с данными ПЭМ было получено в предположении об одиночном скольжении по системе [111], благоприятно ориентированной относительно осей деформации, приложенной последней. Составляющая наклона измеренных разориентировок систематически нарастала по направлению к фронту микрополосы, что позволило выявить специфический характер дислокационных перестроек перед растущей микрополосой. Эти перестройки обеспечивали постепенный рост диполя малоугловых границ, которые проникали сквозь дислокационные барьеры на пути микрополосы и частично разрушали их.

*Ключевые слова:* просвечивающая электронная микроскопия, деформация растяжением, макрополоса сдвига, дислокационные перестройки, численное моделирование.

УДК 548.4

**Материальные повороты и переориентация решетки при взаимодействии поразному деформированных структурных элементов.** З и с м а н А. А., Р ы б и н В. В. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 75–81

Условие совместности, включающее в себя как скорость деформации, так и спин, сформулировано для целых структурных элементов, каждый из которых характеризовался тензором формы второго ранга и считался однородно деформируемым. На основании этого условия произведен анализ вращения элемента в процессе взаимодействия с различно деформированным окружением, которое представлено однородной матрицей и несколькими соседними элементами. Рассмотрено применение полученных кинематических соотношений при моделировании текстуры.

*Ключевые слова:* взаимодействие деформированных структурных элементов, переориентация решетки, моделирование текстуры.

УДК 669.15–194:539.25:620.187:539.382

**Количественная оценка микроструктурных особенностей основных текстурных компонентов, формирующихся в низкоуглеродистых сталях после сложного пути деформирования.** Б а к р у а Б., Н е с т е р о в а Е., Р и ш а р В., Т е о д о с и у К. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 81–87

Изучена микроструктура микролегированной титаном стали с пониженным содержанием примесей внедрения и упрочненной стали методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и с помощью анализа дифракционных картин обратного рассеяния электронов (ОРЭ) после изменения пути деформирования в последовательности простой сдвиг/простой сдвиг в зависимости от кристаллографической ориентации анализируемых зерен.

Показано, что комбинирование используемых методов ПЭМ и ОРЭ позволяет получить количественную информацию о типе микроструктуры и влиянии на нее исходного состояния и пути переориентации зерен.

*Ключевые слова:* низкоуглеродистые стали, микролегирование титаном, особенности микроструктуры, просвечивающая электронная микроскопия, кристаллографическая ориентация зерен.

УДК 669.716:621.771:620.175.24

**Пластическая локализация в макроскопических полосах сдвига при испытаниях на сдвиг холоднокатаных алюминиевых сплавов.** Г а с п е р и н и М., С в я т н и ц к и й У. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 88–95

Образование полос сдвига во время испытаний на сдвиг холоднокатаных алюминиевых сплавов описано для различных масштабов: от масштаба образца до масштаба дислокационной микроструктуры. Экспериментальное распределение деформаций с помощью решетки “микрометок” позволяет измерять градиенты деформации. Моделирование сдвига методом конечных элементов выявляет значимость граничных условий и реологических свойств материалов. Рассмотрена эволюция микроструктуры и текстуры.

*Ключевые слова:* холоднокатаные алюминиевые сплавы, дислокационная микроструктура, эволюция микроструктуры, метод конечных элементов.

УДК 669.15–194:620.187

**ПЭМ исследование эволюции микроструктуры в дуплексной аустенитно-ферритной стали.** С в я т н и ц к и й В., Б о д э н Т., Ж у р а Ж., М э й с о н М. Х., Г л о в а т с к а А. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 96–103

Методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) изучены дислокационные микроструктуры в двухфазной аустенитно-ферритной стали после различных степеней деформации холодной прокаткой (до 80% вытяжки). Последовательные стадии развития микроструктуры соотнесены с текстурой каждой фазы, измеренной с помощью дифракции нейтронов. Показано, что микроструктура и текстура развиваются по-разному в аустените и феррите и, как следствие этого, в ферритных и аустенитных зернах возникают разные виды деформационных микроструктур.

*Ключевые слова:* двухфазная аустенитно-ферритная сталь, дислокационная микроструктура, дифракция нейтронов, просвечивающая электронная микроскопия.

УДК 669.15–194.53:539.374.2

**Микронапряжения в холоднотянутой проволоке из перлитной стали.** З о л о т о р е в с к и й Н. Ю., В а с и л ь е в Д. М., Т и т о в е ц Ю. Е. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 104–110

Методами рентгеновского анализа изучено влияние холодного волочения на внутренние напряжения (микронапряжения), развивающиеся в ферритной фазе перлитной стали вследствие взаимодействия феррита и цементита. Микронапряжения определялись из экспериментальных данных по методу, который учитывает влияние внутренних напряжений, вызываемых пластической анизотропией феррита (мезонапряжения). Основным результатом явилось то, что с увеличением пластической деформации микронапряжения в ферритной фазе постепенно уменьшаются почти до нулевого уровня.

*Ключевые слова:* сталь перлитная, проволока холоднотянутая, рентгеновский анализ, микронапряжение.



УДК 669.71:548.73

**Рентгенография эволюции микротекстуры в отдельных зернах.** Титовец Ю. Ф., Золоторевский Н. Ю., Ермакова Н. Ю. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 110–118

Метод рентгеновской дифрактометрии использовали при изучении эволюции микротекстуры в отдельных зернах поликристаллического алюминия при сжатии. Показано, что траектории вращения зерен с близкими начальными ориентациями оси сжатия могут существенно различаться. Это позволяет предположить, что вращение зерна зависит от его ближайшего окружения. Установлено также, что непрерывные градиенты ориентации в пределах зерна не играют большой роли в формировании микротекстуры внутри отдельных зерен.

*Ключевые слова:* зерна поликристаллического алюминия, метод рентгеновской дифрактометрии, градиенты ориентации, формирование микротекстуры.

УДК 539.21:620.187:539.374

**ПЭМ исследования взаимосвязи между ячеистой, блочной структурой и дисклинационными конфигурациями в пластически деформированных металлах.** Клемм В., Климанек П., Мотыленко М., Павлович Т., Штраубе Х. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 118–124

Анализ дифракционности контраста и измерения локальных разориентировок и ПЭМ-метод микро- и нанодифракции подтверждает наличие в деформированных ГЦК-, ОЦК- и ГПУ-металлах дальнедействующих напряжений, обусловленных характерными дисклинационными дефектами.

Наблюдались такие конфигурации частичных дисклинаций, как дисклинационные мультиполи в нескомпенсированных узлах, на ветвящихся дислокационных границах и вдоль дислокационных стенок.

*Ключевые слова:* пластическая деформация, локальные разориентировки, дальнедействующие напряжения, ПЭМ исследования.

УДК 548.4:620.187

**Новый метод определения с высокой точностью малых локальных разориентировок в кристаллах путем ПЭМ-анализа Кикучи картин.** Штраубе Х., Клемм В., Климанек П., Мотыленко М. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 124–131

Представлен новый метод, позволяющий с высокой точностью определять локальные ориентировки и разориентировки в тонких кристаллах с произвольной решеткой. Представленная методика, в которой используется ПЭМ-анализ Кикучи картин, основана на анализе пересечений пар Кикучи линий. Достижимая угловая точность составляет  $\pm 0,01^\circ$  для случая вращения вокруг оси в плоскости изображения и  $\pm 0,1^\circ$  для случая вращения вокруг нормали к этой плоскости. Показано, что рассматриваемый метод идеально подходит для определения характеристик дисклинаций в сильно деформированных кристаллах.

*Ключевые слова:* тонкие кристаллы, локальные ориентировки и разориентировки, просвечивающая электронная" микроскопия, характеристики дисклинаций.

УДК 539.219.2:539.374:620.187

**Мезоструктура, внутренние напряжения и стадии пластической деформации.** К о н е в а Н. А. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 132–141

Данная работа посвящена исследованию методами просвечивающей электронной микроскопии внутренних напряжений на различных стадиях пластической деформации ГЦК металлов и сплавов на основе твердых растворов. Определены основные источники внутренних напряжений. Получены статистические данные о распределении внутренних напряжений в материалах, имеющих различную плотность дефектов и различный тип организации субструктуры (мезоструктуры).

Установлено, что субструктуры, возникающие в процессе деформации, характеризуются коррелированным упорядоченным расположением дислокаций. Это приводит к экранированию поля упругих внутренних напряжений. На основании проведенных измерений показано принципиальное различие амплитуды и однородности внутренних напряжений в низко- и высокоэнергетических дислокационных структурах.

*Ключевые слова:* ГЦК металлы, сплавы, пластическая деформация, внутренние напряжения, низкоэнергетические и высокоэнергетические дислокационные субструктуры, электронная микроскопия.

УДК 548.4:539.374

**Дислокационные границы, образующиеся в процессе пластической деформации, и их разориентации.** П а н т л е о н У. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 142–150.

В процессе пластической деформации в границах различных типов накапливаются дислокации и образуется иерархическая структура дислокационных границ. Одновременно на этих границах возникают ориентационные различия, которые моделируются на основе динамики дислокаций. Изменение углов разориентации с ростом деформации и полученные распределения полностью соответствуют экспериментальным данным. Развитие модели характеризует также связи между разориентациями поперек соседних границ.

*Ключевые слова:* пластическая деформация, дислокационные границы, разориентации, динамика дислокаций, моделирование разориентаций.

УДК 548.73:620.187

**Кристаллографический ПЭМ анализ сильнодеформированных структур методом одиночных рефлексов.** Н е с т е р о в а Е. В., Р ы б и н В. В. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 151–163

Дано краткое описание метода одиночных рефлексов (ОР). На примерах  $\alpha$ -титана, холоднотянутого пластинчатого перлита и низкоуглеродистых сталей продемонстрированы преимущества метода ОР при кристаллографической аттестации сильнодеформированных и мартенситных структур. Проанализированы кристаллографические особенности фрагментации матрицы и двойников в пластически деформированном  $\alpha$ -титане. Показано, что кристаллографический анализ позволяет успешно восстанавливать условия формирования мезоструктур, связанных с неконтролируемым адиабатическим разогревом при очень сильной локализации пластической деформации. Установлено, что перлитные колонии

стабильной ориентации <110> отличаются по типу и степени фрагментации от колоний нестабильных ориентировок. Показано, что в мартенситных структурах анализ межфазных разориентировок позволяет получить много дополнительной информации. На основании этого анализа выделены материальные повороты, наведенные деформацией Бейна и последующим аккомодационным скольжением. Предложен метод измерения аккомодационных разориентировок и приведены примеры их определения для двух низкоуглеродистых сталей.

*Ключевые слова:* метод одиночных рефлексов, кристаллографическая аттестация, мартенситная структура, аккомодационные разориентировки, метод измерения.

УДК 669.3:621.77.016.2:620.187

**Разориентировки границ в субмикроструктурной структуре, сформированной в меди методом равноканального углового прессования (РКУ).** Копылов В. И., Макаров И. М., Нестерова Е. В., Рыбин В. В. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 164–168

Методом просвечивающей электронной микроскопии определены ориентировки субмикроструктурных фрагментов, образованных в меди в результате РКУ прессования. Измерены и проанализированы разориентировки на границах этих фрагментов.

*Ключевые слова:* равноканальное угловое прессование, субмикроструктурная медь, просвечивающая электронная микроскопия, разориентировки границ.

УДК 669.3:621.77.016.2:620.187

**Влияние равноканального углового прессования на микроструктуру и прочность при растяжении чистой меди.** Хелмих Р. Ж., Байк С. К., Сеом Х., Ким Х. С., Эстрин И. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 168–174

Рассмотрены механические и микроструктурные изменения, происходящие в процессе равноканального углового прессования меди чистотой 99,95%. Образцы деформировались по траектории С до максимальной деформации порядка 8. Как деформированные, так и исходные недеформированные образцы были испытаны на растяжение и одновременно изучены методом просвечивающей электронной микроскопии для выявления ячеистой дислокационной структуры и получения распределения ячеек по размерам. Кроме того, для всех образцов были получены карты микротвердости по Виккерсу для подтверждения общей однородности деформированного материала.

*Ключевые слова:* медь чистотой 99,95%, равноканальное угловое прессование, метод просвечивающей электронной микроскопии, ячеистая дислокационная структура, однородность деформированного материала.

УДК 669.295:531.383

**Образование мезоструктуры и механическое поведение титана при большой пластической деформации.** Салищев Г. А., Жеребцов С. В., Мионов С. Ю. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 175–184

Изучены эволюция микроструктуры и механическое поведение технически чистого титана в процессе большой пластической деформации при температуре 400°С. Образцы призматической формы последовательно деформировались путем сжатия на  $\sim 40\%$  в трех ортогональных направлениях; всего было осуществлено 12 осадок. Изменение оси деформации привело к уменьшению предела текучести при каждой последующей осадке по сравнению с напряжением пластического течения в конце предыдущей. Отмечено интенсивное образование границ деформационного происхождения и фрагментация микроструктуры практически с самого начала пластического течения. С ростом деформации происходят значительные изменения в спектре разориентировок. Установлено, что эволюция структуры в ходе деформирования сопровождалась переходом пластического течения с микро- на мезоуровень и вела как к значительным изменениям морфологии структуры (от равноосной к полосовой и обратно), так и существенному уменьшению среднего размера зерен (от 35 до 0,3 мкм). Обсуждается механизм эволюции структуры и влияние изменения оси деформирования на ее развитие.

*Ключевые слова:* технически чистый титан, большие пластические деформации, механизм эволюции структуры, изменение оси деформации.

УДК 539.21:539.374

**Закономерности эволюции структуры металлов и сплавов при интенсивной пластической деформации и сверхпластическом течении.** Колобов Ю. Р., Грабовецкая Г. П., Иванов М. Б., Иванов К. В., Гирсова Н. В. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 184–191

Проведен анализ закономерностей образования и эволюции зеренно-субзеренной структуры, а также структурно-фазового состава ГЦК-, ОЦК-, ГПУ- металлов — никеля, молибдена, титана, сплава Al–Mg–Li в процессе интенсивной пластической деформации и сверхпластического течения.

*Ключевые слова:* зеренно-субзеренная структура, структурно-фазовый состав, интенсивная пластическая деформация, сверхпластическое течение.

УДК 669.018:539.37

**Сильная холодная деформация упорядоченных сплавов как метод повышения пластичности.** Гринберг Б. А., Гроховская Л. Г., Гущин Г. М., Кругликов Н. А., Родионова Л. А., Саханская И. Н., Волков А. Ю. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 192–200

Для группы упорядоченных сплавов NiPt, FePd, CoPt и CuAu была получена оптимальная структура, обеспечивающая сочетание высокой прочности и хорошей пластичности, которые невозможно было получить другими методами. Были определены условия, необходимые для появления этой структуры. Была установлена последовательность событий, происходивших в ходе упорядочения после сильной холодной деформации. Оказалось, что сплав типа L10 с оптимальной структурой представляет собой микромасштабный композиционный материал, упрочненный жестким дислокационным каркасом. Была выявлена существенная роль ламельной структуры, выступающей в качестве буфера, подавляющего концентрацию напряжений около границ раздела.

*Ключевые слова:* упорядоченные сплавы, сильная холодная деформация, ламельная структура, высокая прочность, высокая пластичность.

УДК 669.268:539.25

**Структура и микротвердость поликристаллического хрома, полученного путем магнетронного распыления.** Фирстов С. А., Роголь Т. Г., Марушко В. Т., Сагайдак В. А. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 201–205

Структура и твердость поликристаллического хрома, полученного путем магнетронного распыления, были исследованы методами электронной микроскопии. Получено соотношение между размером зерна при отжиге и микротвердостью, а также показано, что для зерна размером  $d < 1$  мкм уравнение Холла–Петча имеет отклонение. В работе обсуждаются механизмы резкого увеличения твердости хромовых покрытий.

*Ключевые слова:* поликристаллический хром, магнетронное распыление, методы электронной микроскопии, твердость покрытия.

УДК 669.15–194.56:539.2:621.785

**Влияние температурно-деформационно-временных параметров на формирование мезоструктуры аустенитной нержавеющей стали при термомеханической обработке.** Коджаспиров Г., Рыбин В. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 205–213

Исследовано влияние температурно-деформационно-временных параметров на образование мезоструктуры и упрочнение аустенитной нержавеющей стали при высокотемпературной термомеханической обработке (ВТМО). Исследования показали, что высокотемпературная термомеханическая обработка аустенитной нержавеющей стали различных марок с различным содержанием углерода, азота, титана и ниобия влияет на процесс деформационного упрочнения и разупрочнения стали.

*Ключевые слова:* аустенитная нержавеющая сталь, термомеханическая обработка, мезоструктура, дислокационная структура, деформационное упрочнение и разупрочнение.

УДК 669.017.3:621.9

**Структурные и фазовые превращения в металлах при скоростном резании.** Скотникова М. А., Касторский Д. А., Строкина Т. И., Крылов Н. А. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 214–224

С помощью методов оптической металлографии и электронной микроскопии, а также измерения микротвердости проведены систематические исследования структурных и фазовых превращений в металле заготовок при скоростном резании.

*Ключевые слова:* структурные и фазовые превращения, скоростное резание.

УДК 539.22:539.374

**Моделирование текстур деформации и пластической анизотропии.** Ван Хаут П., Ли С., Деланнэ Л., Ван Бель А. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 225–233

Дана оценка нескольких моделей пластической деформации однофазных поликристаллических материалов (сталь, алюминий). Оценка осуществляется для прогнозируемых/реальных текстур после холодной прокатки. Для некоторых моделей используется метод конечных элементов с целью определения равновесия локальных напряжений/совместности деформации. Для других моделей, которые строятся на упрощенных предположениях, учитывается реальное взаимодействие между соседними зёрнами. В заключении даны рекомендации по использованию таких моделей для построения анизотропной поверхности текучести.

*Ключевые слова:* однофазные поликристаллические материалы, холодная прокатка, моделирование пластической деформации.

УДК 669.018:539.24:539.374

**Формирование текстуры и развитие субструктурной неоднородности при пластической деформации металлических материалов: общие закономерности.**

Перлович Ю., Исаенкова М., Фесенко В. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 233–243

С помощью нового рентгеновского метода обобщенных полюсных фигур изучена субструктурная неоднородность ряда металлических материалов с развитой текстурой прокатки. Показано, что для деформированных металлических материалов характерен предельно широкий спектр субструктурных состояний. Ориентация зерен относительно текстурных максимумов и минимумов является наиболее эффективным критерием систематизации наблюдаемых структур. Построенные распределения дифракционных и субструктурных параметров дают наиболее полное описание деформированных металлических материалов.

*Ключевые слова:* текстурованные металлические материалы, пластическая деформация, субструктурная неоднородность, рентгеновский метод обобщенных полюсных фигур.

УДК 539.374.2

**Новый взгляд на концепцию релаксированного стеснения.** Лефферс Т. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 243–250

Концепция релаксированного стеснения пересматривается на основании простых качественных соображений. Сделан вывод, что эффект релаксированного стеснения имеет место только в случае сплюснутых зерен, как при прокатке или сжатии, но отсутствует для вытянутых зерен, получаемых при растяжении или волочении. Кроме того, делается заключение, что наиболее точной моделью релаксированного стеснения для сплюснутых зерен является «ламеллярная» модель, которая формально учитывает взаимодействие двух соседних зерен.

*Ключевые слова:* эффект релаксированного стеснения, «ламеллярная» модель.

УДК 669.15–194.53:548.735.6:539.374.2

**Особенности эволюции текстуры в перлитных сталях в процессе холодного волочения.** Нестерова Е. В., Золоторевский Н. Ю., Рыбин В. В., Титовец Ю. Ф. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 250–257

Изучена взаимосвязь между эволюциями макро- и микротекстуры при холодном волочении перлитной стали, в процессе которого формируется и постепенно

усиливается аксиальная текстура  $\langle 110 \rangle$ . В то же время хаотическая компонента текстуры сохраняется до больших степеней деформации.

Анализ микроструктуры позволяет предположить, что такой характер эволюции текстуры проволоки связан с появлением двух типов зерен (перлитных колоний), отличающихся по степени и характеру фрагментации.

*Ключевые слова:* перлитная сталь, холодное волочение, эволюция макро- и микротекстуры.

УДК 539.374.2:539.24

**Последовательный выбор активных систем скольжения с помощью критерия несовместности и моделирование текстуры прокатки ГЦК поликристалла.** Зисман А., Золоторевский Н., Ермакова П. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 258–264

Сформулирован критерий, позволяющий выбрать (одну за другой) активные системы скольжения, обеспечивающие заданную скорость деформации кристалла. На невязку скорости деформации, пока она не устранена, наложено требование минимальности при добавлении каждой следующей системы к ранее выбранным ( $i = 1, \dots, 5$ ). Предсказанная при этом текстура прокатки ГЦК поликристалла очень близка к результатам, основанным на критерии минимального сдвига Тейлора. В то же время предлагаемый подход оказывается более эффективным с вычислительной точки зрения и особенно гибким при учете вариации скоростей деформации между зернами, а также деформации зерен по “неполному” ( $n < 5$ ) набору систем скольжения.

*Ключевые слова:* скорость деформации кристалла, активные системы скольжения, моделирование текстуры прокатки.

УДК 669.716:621.771:548.735

**Теория расчета заданных компонент текстуры и механизм ее формирования при прокатке алюминиевых сплавов.** Гречников Ф. В., Арыщенский В. Ю. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 265–277

На основе разработанных математических моделей взаимосвязи показателей анизотропии с параметрами текстуры и константами кристаллов излагается методика расчета состава текстурных ориентировок, обеспечивающих получение в металле эффективных значений анизотропии.

Исследовано формирование и видоизменение текстурных ориентировок в процессе горячей прокатки, что позволило разработать технологические режимы прокатки тонких лент с заданным составом текстуры.

*Ключевые слова:* алюминиевые сплавы, прокатка, анизотропия, параметры текстуры, математические модели.

УДК 548.4:539.374

**Дислокационно-кинетический механизм деформационного упрочнения и формирования дислокационных мезоструктур в кристаллах при больших**

**пластических деформациях.** М а л ы г и н Г. А. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 278–286

Проведен количественный анализ механизма деформационного упрочнения металлов под действием больших пластических деформаций (деформации сдвига  $> 1-5$ ) с использованием уравнения кинетики дислокаций для средней плотности геометрически необходимых дислокаций. Анализ кривых деформационного упрочнения и фрагментированных дислокационных структур, сформированных в чистых ГЦК-металлах при больших пластических деформациях, показывает, что напряжение на четвертой и пятой стадиях деформационного упрочнения определяются так же, как и для второй и третьей фазы стадии, контактным взаимодействием дислокаций.

*Ключевые слова:* чистые ГЦК-металлы, деформационное упрочнение, дислокационно-кинетический механизм, большие пластические деформации.

УДК 548.4:620.178.154:620.178.3

**Сравнение результатов, полученных с помощью дискретных дислокационных моделей, с экспериментальными данными: приложение к наноиндентированию и усталостным испытаниям.** Ф и в е л ь М. С., Р о б е р т с о н С. Ф., Д е п р е С., В е р д ь е М. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 286–294

С помощью упрощенной дискретизации линий дислокаций на чисто винтовые или краевые компоненты разработан код динамики отдельных дислокаций для ГЦК кристаллов. Хотя такая модель и не позволяет рассчитывать большие пластические деформации для бесконечного монокристалла, она, тем не менее, оказывается эффективным инструментом при решении проблем, связанных с сильной локализацией пластичности. Такая ситуация наблюдается при наноиндентировании, когда индуцированная пластическая зона уменьшается до половины размера расположенной под индентором сферы, а также в случае испытаний на усталость, когда происходит быстрое развитие полос скольжения. Поскольку целью данной работы является моделирование этих двух ситуаций, основное внимание уделено сопоставлению экспериментальных данных с результатами численных расчетов.

*Ключевые слова:* ГЦК кристаллы, большие пластические деформации, дискретные дислокационные модели, наноиндентирование.

УДК 669.15–194.56:539.388.1:548.4

**Эволюция дислокационных субструктур при усталости аустенитной стали.** К о в а л е н к о В. В., С о с н и н О. В., К о н о в а л о в С. В., Ц е л л е р м а е р В. В., Г р о м о в В. Е., К о з л о в Е. В., И в а н о в Ю. Ф. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 295–302

Проведено исследование усталостного разрушения стали и сплавов на примере промышленной аустенитной стали марки 45Г17Ю3. Разрушение образцов возникает на базе  $N = 10.2 \cdot 10^4$  циклов. Исследована дислокационная субструктура, формирующаяся на промежуточном этапе нагружения и характеризующаяся появлением субмикротрещин и микротрещин на базе  $N = 7 \cdot 10^4$  циклов, а также структура исходных и разрушенных образцов.



*Ключевые слова:* аустенитная сталь, усталостное разрушение, дислокационная субструктура.

УДК 539.22:539.374

**Моделирование фрагментации зерен на основе дисклинации и ее воздействие на механическую анизотропию.** З и ф и л д М., В а н Х а у т П. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 302–310

Фрагментация металлов с ГЦК-решеткой под воздействием холодной деформации моделируется посредством уравнений эволюции для плотностей дислокаций и дисклинаций. Для плоской деформации алюминия размеры фрагментов и разориентации могут прогнозироваться в полном соответствии с результатами просвечивающей электронной микроскопии. Рассматриваются ориентации, при которых динамика дисклинации и вращение решетки способствуют созданию сильной фрагментации, а также вклад мезоструктуры в механическую анизотропию.

*Ключевые слова:* металлы с ГЦК-решеткой, моделирование фрагментации зерен, механическая анизотропия, просвечивающая электронная микроскопия.

УДК 548.4:539.214

**Моделирование кинематического упрочнения, обусловленного дислокациями в рамках теории пластичности.** Т а б у р о Л. Ф., Ф и е л ь М., В а л л а н П., Л у ш Х., Т у с с е н Ф. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 310–316

Описываются исследования с целью моделирования кинематического упрочнения, обусловленного дислокациями. Подробно рассматривается равновесие сегмента дислокаций, особое внимание при этом обращается на различные источники напряжений. Кроме того, произведен анализ динамического числового моделирования дислокаций для определения происхождения кинематического упрочнения. И, наконец, выдвинуты предложения по повышению эффективности моделирования пластичности кристаллов.

*Ключевые слова:* кинематическое упрочнение, равновесие сегмента дислокаций, моделирование пластичности кристаллов.

УДК 669.715:620.187:548.4

**Механизмы взаимодействия между дислокациями и выделениями второй фазы в алюминиевых сплавах бxxx.** Д и р р а с Г. Ф., Д о н а д ь е П., Д у э н Ж. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 317–324

Методом просвечивающей электронной микроскопии проведены исследования взаимодействия между дислокациями и выделениями в алюминиевом сплаве 6061-T6 после испытаний на сжатие. Кроме того, проведен комбинированный анализ изображения с изображением решетки, полученным с помощью электронной микроскопии высокого разрешения, что позволяет непосредственно измерить области деформации вокруг выделений. Данный анализ применен при моделировании движения дислокаций.

*Ключевые слова:* алюминиевые сплавы, взаимодействие между дислокациями и выделениями, моделирование движения дислокаций, метод просвечивающей электронной микроскопии.

УДК 539.374

**Математическое моделирование больших пластических деформаций металлов.** Колмогоров В. Л. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 325–340

В данной работе рассматривается один из способов решения начально-граничной задачи определения механических переменных при развитом пластическом течении и разрушении металлов. Проблема интегрирования уравнений механики сплошных сред решается в два этапа. На первом этапе применяются изохронные вариационные принципы виртуальных скоростей и напряжений, а также принцип для температурной части задачи. Поля скоростей течения, напряжений и температур определены с точностью до зависимых от времени параметров. На втором этапе решается система обыкновенных дифференциальных уравнений относительно этих параметров.

В работе представлены результаты исследования этой проблемы, проводимого совместно с моими коллегами. Также указаны пути преодоления ограничений механики континуума и создания теории разрушения (появление неоднородностей в виде трещин, а также сходных макродефектов) при развитой пластической деформации металлов.

*Ключевые слова:* развитая пластическая деформация, поля скоростей течения, напряжений и температур, математическое моделирование.

УДК 539.22:621.77:539.386

**Механически наведенная структурная неустойчивость: новые возможности в обработке металлов давлением.** Корбель А., Бочняк У. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 340–348

На основе результатов многолетних исследований и экспериментов определены условия, способствующие образованию в различных металлических материалах полос сдвига. Это позволяет контролировать данный механизм, а также обосновать новый подход к обработке металлов давлением, который отражает предполагаемые особенности поведения металлов. Несмотря на это, после проведения исследования возникает еще один фундаментальный вопрос, касающийся расположения атомов в кристаллической решетке и ее свойств в зонах с очень высокой концентрацией напряжений, а именно на фронте полосы сдвига.

*Ключевые слова:* обработка металлов давлением, образование полос сдвига, структурная неустойчивость.

УДК 539.379.4

**Анализ параметров конечной пластической деформации в результате последовательной активации скольжений.** Корбель К., Печерский Р. Б., Корбель А. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 349–356

В результате анализа экспериментальных данных о монокристаллах с ГЦК-решеткой возникла гипотеза о том, что последовательная активация одиночных скольжений является причиной многих явлений, связанных с пластической деформацией и повышением твердости.

Цель работы — предложить новое математическое описание этого механизма. Процедура предельного перехода дает возможность для получения аналитического

представления о множественном скольжении, не содержащее конструктивных предположений. Рассмотрено численное моделирование испытаний монокристалла на растяжение.

*Ключевые слова:* монокристаллы, пластическая деформация, множественное скольжение, численное моделирование.

УДК 669.3:548.4:539.374

**Применение метода конечных элементов для моделирования мульткристаллов при больших деформациях.** М у с и е н к о А., Ш м и д е г г К., К о л е д н и к О., П и п п а н Р., К а л л е т о Г. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 357–364

Представлены расчеты методом конечных элементов (с очень мелкой разбивкой) деформации реального мульткристалла бескислородной меди в условиях монотонного растяжения. Трехмерная кристаллическая структура исследуемого материала исследована с помощью ориентационной микроскопии. Для описания поведения кристаллита использована модель пластичности монокристалла. Исследования выполнены для различных интервалов разбивки, граничных условий и наборов характеристик материала. Результаты моделирования сопоставляются с экспериментальными данными о локальных плоских деформациях.

*Ключевые слова:* мульткристалл бескислородной меди, большие пластические деформации, метод конечных элементов.

УДК 539.374

**Некоторые проблемы полимасштабного моделирования больших пластических деформаций.** П е ч е р с к и й Р. Б. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 364–373

Рассмотрена иерархия полимасштабных процессов пластического скольжения: от тонких полос скольжения через грубые полосы скольжения, трансформирующиеся в полосы микросдвига, — к группам полос микросдвига.

Изучена проблема так называемого эффекта Шмидта и формирование условия текучести, применимого для монокристалла или отдельного зерна поликристалла.

*Ключевые слова:* большие пластические деформации, полимасштабное моделирование, слои пластического скольжения, микросдвиг.

УДК 539.37

**Микромеханическая модель упруговязкопластического упрочнения–разупрочнения материалов и ее применение для численного моделирования.** К у к у д ж а н о в В. Н. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 373–381

Предложена микромеханическая модель для описания упругопластической деформации и континуального разрушения поликристаллических материалов, основанная на механизме движения дислокаций и возникновения микродефектов. Полная система полученных уравнений не нарушает термодинамических неравенств и дает корректную постановку краевых задач, включая стадию разупрочнения. Это позволяет использовать представленную модель для описания локализации пластической деформации и процессов разрушения. В работе получено решение

задачи о разрушении цилиндрического образца, ослабленного небольшим надрезом при квазистатическом и динамическом растяжении.

*Ключевые слова:* поликристаллические материалы, упругопластическая деформация, локализации пластической деформации, микромеханическая модель.

УДК 669.295'71:539.22

**Методология полимасштабного моделирования алюминидов титана.** Р о с А., Ш а б о ш Ж. - Л. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 381–389

Представлена трехмасштабная модель механического поведения алюминидов титана. Первое масштабное превращение между масштабом макроскопической длины и масштабом отдельных  $\alpha_2$ -,  $\beta$ - или пластинчатых  $\alpha_2$ - $\beta$ -зерен осуществлено по сравнительному анализу полей превращения с анизотропной упругостью. Материальные уравнения фаз  $\alpha_2$  и  $\beta$  получены в рамках теории пластичности кристалла. Эффективное поведение пластинчатой фазы  $\alpha_2$ - $\beta$  влечет за собой второе масштабное превращение, которое также рассматривается в рамках анализа полей превращения. В работе представлены несколько простых моделей, демонстрирующих жизнеспособность метода.

*Ключевые слова:* алюминиды титана, пластинчатая фаза  $\alpha_2$ - $\beta$ , поля превращения, моделирование процесса.

УДК 539.56

**Хрупко-вязкое разрушение: точки перехода.** М о р о з о в Н. Ф., П е т р о в Ю. В. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 390–393

Новый подход, основанный на понятии инкубационного времени, применен для объяснения хрупко-вязкого перехода в твердых телах. Процесс моделируется при помощи критерия текучести и критерия хрупкого разрушения, которые позволяют прогнозировать поведение динамического предела прочности и динамического предела текучести. Конкуренция предельных характеристик приводит к эффекту смены типа разрушения с изменением скорости деформирования.

*Ключевые слова:* критерии инкубационного времени, хрупкое разрушение, вязкое разрушение, точки перехода.

УДК 621.98:539.22

**Эволюция анизотропии в процессе гибки при плоской деформации.** А л е к с а н д р о в С., Б а р л а т Ф. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 393–399

При обработке металлов давлением широко применяется гибка тонколистового материала. В настоящей работе исследуется развитие анизотропии в процессе гибки. Отправной точкой исследования является то, что при использовании несжимаемых материалов кинематический анализ процесса чистого изгиба независим от материального уравнения. Показано также, что обеспечивается совместность деформированного состояния. Приводится наглядный пример расчетной модели.

*Ключевые слова:* тонколистовой материал, плоская деформация, чистый изгиб, анизотропия, расчетная модель.

УДК 669.71'721'793:539.214:621.77.016.2

**Закономерности механического поведения в микрокристаллическом сплаве Al–Mg–Sc в состоянии сверхпластичности при больших скоростях деформации.** Перевезенцев В. Н., Чувильдеев В. Н., Сысоев А. Н., Копылов В. И., Лангдон Т. Г. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 400–410

Интенсивная пластическая деформация металлических сплавов (равноканальное угловое прессование) приводит к значительному уменьшению размера зерна и позволяет получить сверхпластическую деформацию при высоких скоростях деформирования ( $\approx 10^{-2}$  с<sup>-1</sup>). Разработка сплавов с эффектом высокоскоростной сверхпластичности является важным направлением, поскольку она дает возможность использовать сверхпластическую обработку давлением для быстрого изготовления сложных компонентов. В работе исследованы закономерности деформационного поведения (реология пластического течения, эволюция структуры и фазового состава) субмикрокристаллических сплавов системы Al–Mg–Sc–Zr. Путем оптимизации режимов равноканального углового прессования получены сплавы с рекордными характеристиками высокоскоростной сверхпластичности. В частности, сплав Al–4,5%Mg–0,22%Sc–0,15%Zr демонстрирует удлинение 880% при весьма высокой скорости деформации (1 с<sup>-1</sup>).

*Ключевые слова:* микрокристаллический сплав, равноканальное угловое прессование, сверхпластичность.

УДК 621.763–419:539.374

**Большие упругопластические деформации композитных материалов.** Бригднов И. А. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 411–417

В работе рассматриваются большие упругопластические деформации трехслойных (алюминий–полипропилен–алюминий) пластин. В рамках теории оболочек рассматривается упругопластическое состояние многослойных пластин с поперечной анизотропией и с учетом эффекта Баушингера. Приведены результаты компьютерного моделирования операции вытягивания (формовки) полусферическим пуансоном.

*Ключевые слова:* композитные материалы, большие упругопластические деформации, компьютерное моделирование.

УДК 539.2:539.411.5

**Энергообмен между мезо- и макроуровнями и реакция твердых тел на ударное воздействие.** Мещеряков Ю. И. – Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 418–426

На основе экспериментов по ударному нагружению широкого спектра материалов проанализированы различные режимы энергообмена между мезо- и макроуровнями

динамического деформирования и выведен критерий изменения режима энергообмена.

*Ключевые слова:* ударное нагружение, режим энергообмена, мезо- и макроуровни.

УДК 539.371

**Динамические контактные задачи теории упругости и пластичности.** Аннин Б. Д., Садовская О. В., Садовский В. М.– Вопросы материаловедения, 2003, № 1(33), с. 426–434

Предлагается новый алгоритм численной реализации граничных условий контакта в динамических задачах, основанный на формулировке этих условий в виде квазивариационных неравенств с односторонними ограничениями на векторы скорости. Рассматривается модель деформирования упругопластического слоя при конечных поворотах. С помощью конечноразностной методики алгоритм применяется к задаче деформирования слоистых плит при динамическом нагружении и к анализу косоуго соударения пластин.

*Ключевые слова:* динамическое контактное взаимодействие, квазивариационное неравенство, упругопластическое деформирование, численное моделирование.