

Эта часть работы выложена в ознакомительных целях. Если вы хотите получить работу полностью, то приобретите ее воспользовавшись формой заказа на странице с готовой работой:

<https://stuservis.ru/magisterskaya-rabota/24676>

**Тип работы:** Магистерская работа

**Предмет:** Техническая механика

Оглавление

Введение 3

1 Анализ способов упрочнения металлов 7

1.1 Существующие способы упрочнения 7

1.2 Пластическая деформация 17

1.3 Выводы по разделу 24

2 Математические модели процессов пластической деформации 25

2.1 Моделирование процессов деформирования и разрушения 25

2.2 Модель поворота структурного элемента при пластической деформации 39

2.3 Математическая модель деформации скольжения в дисперсно-упрочненных материалах 57

2.4 Математическая модель дефектной среды ГЦК-металлов 61

2.5 Выводы по разделу 65

3 Результаты исследований 67

3.1 Программный комплекс для реализации математической модели 67

3.2 Скорость деформации при пластическом поведении монокристаллов ГЦК-металлов 72

3.3 Формирование зоны сдвига и эволюции дислокационной структуры 77

3.4 Выводы по разделу 86

Заключение 88

Список литературы 91

Введение

В технике отношение к пластической деформации (ПД) весьма многоплановое. Во многих случаях пластическая деформация сопровождает основные процессы и оказывает на них существенное влияние. Например, важную роль ПД играет при трении и разрушении рабочей поверхности деталей.

Для решения задач, связанных с ПД в технике необходима физическая теория этого процесса. На сегодняшний день для объяснения процессов в материалах используется теория дислокаций, а в более широком виде, теория дефектов кристаллической решетки [1-5, 7, 12-17]. Развитие этой теории завершено. Однако, при объяснении процессов трения и износа обработки металлов давлением и т.п. теория ПД встречает препятствия. Поэтому развитие теоретических представлений о ПД с этой точки зрения незакончено, и, учитывая широкое применение и проявление ПД в технике, исследования в этом направлении остаются актуальными.

В последние два десятилетия в физике ПД на основе полученных экспериментальных результатов был сформулирован ряд положений, развитие которых даст дальнейшее понимание процесса ПД. Экспериментально было показано (В.Е. Панин, В. В. Рыбин, Е.В. Козлов, Н. А. Конева, А.Д. Коротаев, Л.Б. Зуев и другие), ПД развивается на нескольких структурных уровнях. Общеизвестно, что существуют пластические движения двух мод - трансляционной и ротационной. Ротационная мода пластического движения развивается на всех структурных уровнях (В.К. Рыбин, В.Е. Панин, В.А. Лихачев, В.И. Владимиров, А.Е. Романов) [8-35].

К ротационной моде относятся и повороты как целого. В.Е. Панин с сотрудниками любые пластические движения представляют как комбинацию смещений и поворотов как целого. Исследования Н.М. Алексеева с сотрудниками показали, что повороты как целого происходят на поверхностях трения и определяют формирование частиц износа. Повороты как целого наблюдаются в исследованиях по смещению под давлением тонких слоев металлов (В. Неверов с сотр.). Однако модели поворота как целого не разработаны. Это обстоятельство затрудняет трактовку результатов наблюдений, планирование экспериментальных исследований, порождает неясность в определении видов ротационных движений, и, в

целом, сдерживает развитие физических представлений в ПД [8, 17-24].

Из анализа экспериментальных данных и теоретических представлений разных авторов можно сделать вывод, что движущей силой пластических поворотов является релаксация внутренних напряжений (Рыбин и другие) – релаксационный поворот или неоднородность внешних напряжений (Панин и другие) – активный поворот. При этом приведены исследования поворотов в тонких слоях. Эти данные свидетельствуют о наличии поворотов структурных элементов как целого в случае активной деформации. Так же изложены экспериментальные результаты по определению поворотов целого при трении.

Кристаллографическое скольжение практически всегда сопутствует другим явлениям, обеспечивающим макроскопическое формоизменение кристаллов, и обычно является доминирующим процессом пластичности кристаллов. Основой элементарных механизмов и процессов пластической деформации скольжения являются возникновение, размножение, движение и аннигиляция дефектов различного типа. По этой причине при построении кинетических моделей пластичности весьма эффективно используются уравнения баланса деформационных дефектов [6-28]. Различные модели отличаются, прежде всего, набором деформационных дефектов и рассматриваемых механизмов их образования и аннигиляции. Заметим, что роль и возможности математического моделирования и вычислительного эксперимента в ходе анализа закономерностей пластической деформации при различных приложенных воздействиях трудно переоценить. Именно математическое моделирование позволяет выявить роль различных факторов, характеризующих материал и воздействие на него, в формировании закономерностей и особенностей реализации и доминирования различных механизмов и процессов пластической деформации в деформационном упрочнении и эволюции деформационной дефектной среды кристаллических материалов и способствует целенаправленному планированию экспериментальных исследований.

Одной из наиболее развитых математических моделей, включающих уравнения баланса деформационных дефектов, является математическая модель пластической деформации скольжения [6-29], основанная на концепции упрочнения и отдыха [1-7], согласно которой пластическое поведение кристаллических материалов есть результат наложения атермического упрочнения в результате накопления деформационных дефектов и температурно-зависимого разупрочнения, связанного с термически активируемыми процессами залечивания поврежденной структуры (аннигиляции деформационных дефектов).

В качестве базового структурного элемента, относительно которого ведется рассмотрение механизмов сдвиговой пластичности в модели [10-24], выбрана зона кристаллографического сдвига. Описание механизмов и закономерностей генерации, аннигиляции и взаимной трансформации деформационных дефектов различного типа базируется на фундаментальных физических и топологических свойствах дефектов, осуществляющих пластический массоперенос. Все параметры модели имеют физический или геометрический смысл и могут быть вычислены из физических соображений либо может быть указан интервал их возможных значений. Математическая модель включает уравнения баланса достаточно полного набора деформационных дефектов, порождаемых при кристаллографическом скольжении. Частные модели механизмов генерации и аннигиляции деформационных дефектов и математические модели пластической деформации скольжения для ГЦК-металлов и дисперсно-упрочненных сплавов записаны на основе единых предположений [15-26]. Математическая модель пластичности скольжения в различных модификациях применялась для описания пластического поведения ГЦК-металлов и сплавов при различных воздействиях (ползучесть, релаксация напряжений, деформация с постоянной скоростью деформирования и др. [13-28]).

Можно отметить, что тема работы является актуальной и на сегодняшний день.

Целью работы является математическое моделирование процессов пластической деформации.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ способов упрочнения металлов;
- рассмотреть математические модели процессов пластической деформации и провести моделирование;
- выполнить расчеты по математическому моделированию процессов пластической деформации.

## 1 Анализ способов упрочнения металлов

### 1.1 Существующие способы упрочнения

Многие детали работают в условиях повышенного износа поверхности. Поэтому есть необходимость эту

поверхность как-то защитить. Это достигается методами поверхностного упрочнения.

Упрочнить поверхность – значит повысить свойства поверхности: твердость, износостойкость, коррозионную стойкость. Если надо изменить свойства, то это значит, что должна измениться структура поверхностного слоя. Для изменения структуры можно использовать деформацию, термическую обработку с нагревом различными способами, изменение химического состава поверхности, нанесение защитных слоев.

В основном методы упрочнения поверхностей можно разбить на две основные группы:

- упрочнение изделия без изменения химического состава поверхности, но с изменением структуры.

Упрочнение достигается поверхностной закалкой, поверхностным пластическим деформированием и другими методами;

- упрочнение изделия с изменением химического состава поверхностного слоя и его структуры. Упрочнение осуществляется различными методами химико-термической обработки и нанесением защитных слоев.

Методы изменения структуры

Из методов упрочнения без изменения химического состава поверхности, но с изменением ее структуры, наиболее распространены способы поверхностной закалки и различные виды поверхностного пластического деформирования (ППД).

В сущности, деформация поверхности – это наиболее простой способ, при котором прочностные характеристики поверхности возрастают. Здесь использован следующий принцип. Если вспомнить кривую деформационного упрочнения, то окажется, что чем больше растягиваем металл, тем больше металл сопротивляется, тем больше сила растяжения  $R_{max}$  (до определенного предела, конечно). Упрочняется металл и при кручении, и при сжатии. В технологиях ППД поверхностный слой металла деформируют (наклепывают) различными способами.

Основное назначение ППД – повышение усталостной прочности путем наклепа поверхности на глубину 0,2...0,4 мм. Разновидностями ППД являются дробеструйная обработка, обработка роликами, иглофрезерование, накатка рельефа и др.

Дробеструйная обработка – обработка дробью поверхности готовых деталей. Применяется для упрочнения деталей, удаления окалины. Дробеструйной обработке подвергают изделия типа пружин, рессор, звенья цепей, гусениц, гильзы, поршни, зубчатые колеса.

К методам упрочнения с изменением химического состава и структуры поверхности относится химико-термическая обработка (ХТО). Она заключается в насыщении поверхностного слоя стали различными элементами при высокой температуре. В зависимости от насыщающего элемента существуют следующие разновидности химико-термической обработки: цементация, азотирование, нитроцементация (цианирование), борирование, диффузионная металлизация (алитирование, хромирование, силицирование и т.д.). Общим для всех видов поверхностного упрочнения является повышение твердости поверхностного слоя. Выбор метода поверхностного упрочнения детали зависит от условий ее эксплуатации, формы, размеров, марки выбранной стали и других факторов.

Наиболее широко используется цементация – насыщение поверхности стали углеродом. Цементация придает поверхности стали высокую твердость и износостойкость при сохранении вязкой и пластичной сердцевины. Окончательные свойства, цементированные изделия приобретают после закалки и низкого отпуска. Цементации обычно подвергаются детали, изготовленные из сталей с содержанием углерода до 0,25%, работающие в условиях контактного износа и приложения знакопеременных нагрузок: среднеразмерные зубчатые колеса, втулки, поршневые пальцы, кулачки, валы коробок передач автомобилей, отдельные детали рулевого управления и т.д.

Цементированный слой имеет переменную концентрацию углерода по толщине, уменьшающуюся от поверхности к сердцевине стальной детали. Поэтому структура, которая формируется при цементации в поверхностном слое, будет иметь разное соотношение перлита, феррита и цементита. Различают четыре основные зоны стального изделия после цементации

## 1.2 Пластическая деформация

Известно, что пластическая деформация в кристаллических телах осуществляется за счет движения дислокаций, а значит, упрочнения металла можно достичь с помощью создания препятствий для их продвижения [2, 3].

Металл, находясь в твердом состоянии, хоть и имеет кристаллическое строение, все же не является огромным скоплением строго расположенных в пространстве атомов в виде кристаллической решетки. В

реальности металл имеет зерненное строение и каждое зерно это отдельный кристалл, кристаллическая решетка которого не является идеальной, и строгий порядок расположения атомов соблюдается далеко не всегда, потому что внутри тела зерна есть дефекты (дислокации, вакансии, атомы примесей, субзерна, ячейки).

#### Список литературы

1. Beilby G.T. The hard and soft states in metals // *Journ. Inst. of Metals.* - 1911. - Vol. 6, No. 5.
2. Bergstrom J. A dislocation model for the stress strain behaviour of polycrystalline  $\alpha$ -Fe with special emphasis on the variation of the densities of mobile and immobile dislocations // *Mater. Sci. and Eng.* - 1970. - Vol. 5, No. 4. - P. 193-200.
3. Emter D., Macherauch E. Die Streckgrenze des Ferrits an der Oberflache von Zugproben aus unlegierten Stahlen mit bis 1,15% C. *Arch. Eisenhüttenwesen* V.35. N9. 1964. 909-918.
4. Essmann V., Mughrabi H. Annihilation of dislocations during tensile and cyclic deformation and limits of dislocation densities // *Phil. Mag. (a).* - 1979. - Vol. 40, No. 6. - P. 731-756.
5. Hempel M. Die Entstehung von Microrissen in metallischen Werkstoffen under Wechselbeanspruchung. *Arch. Eisenhüttenwesen* Bd. 38, № 6. 1967. 446-456.
6. Lagneborg R. Dislocation mechanisms in creep // *Intern. Metals. Rev.* - 1972. - Vol. 17. - P. 130-146.
7. Orlov A.K. Kinetics of dislocations / *Theory of crystals defects.* - Prague: Publishing House of the Czechoslovak Academy of Sciences, 1966. - P.317-338.
8. Orowan E.. *Fatigue and fracture of metals.* N.Y. (1952). 135 p.
9. Popov L.E., Kolupaeva S.N., Vihor N.A. Dislocation subsystem stability in f.c.c. materials under intensive loading // *Computational Materials Science.* - 2000. - No. 19 (1-4). - P. 158-165.
10. Verlet L.. *Phys. Rev.,* 1, 98 (1967).
11. Акулов Н.С. Дислокации и пластичность. - Минск: Изд-во АН БССР, 1961. - 109 с.
12. Алымов М.И. Механические свойства нанокристаллических материалов. - М.: МИФИ, 2004. - 32 с.
13. Большанина М.А. Упрочнение и отдых как основные явления пластической деформации // *Изв. АН СССР. Сер. Физическая.* - 1950. - Т. 14. - Вып. 2. - С. 223-231.
14. Гилман Дж.Д. Микродинамическая теория пластичности // *Микропластичность.* - М.: Металлургия, 1972. - С. 18-37.
15. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. Учебник для вузов. М: Металлургия, 1985, 408 с.
16. Гуляев А.П. *Металловедение. Учебник для вузов.* 6-е издание, перераб. и доп. М: Металлургия, 1986. - 544 с.
17. Колупаева С.Н. Качественное исследование эволюции дефектной подсистемы гетерофазных сплавов с некогерентной упрочняющей фазой при интенсивных воздействиях / С.Н. Колупаева, Е.В. Ерыгина, Т.А. Ковалевская, Л.Е. Попов.// *Физ. Механика.* - 2000. - Т. 3. - Вып. 2. - С. 63-79.
18. Колупаева С.Н., Новикова Т.В., Старенченко В.А. Математическое моделирование эволюции разориентированных структур пластической деформации в меди и никеле // *Вестн. Том. гос. архитектурно-строительного ун-та.* - 2006. - № 1. - С. 24-31.
19. Лагунов В.А., Синани А.Б. Компьютерное моделирование деформирования и разрушения кристаллов // *ФТТ*, 2001. - т.43. - вып.4. - С.644-650.
20. Лагунов В.А., Синани А.Б.. *ФТТ* 40, 10, 1919 (1998).
21. Лагунов В.А., Синани А.Б.. *ФТТ* 42, 6, 1087 (2000).
22. Лариков Л.Н., Юрченко Ю.Ф. Тепловые свойства металлов и сплавов. - Киев: Наук. думка, 1985. - 438 с.
23. Лобастов А.И., Шудегов В.Е., В.Г. Чудинов. *ЖТФ.* 67, 12, 100 (1997).
24. Математическое моделирование деформационного упрочнения сплавов, содержащих недеформируемые дисперсные частицы / Т.А. Ко-валевская, О.И. Данейко, С.Н. Колупаева, М.Е. Семенов // *Журнал функциональных материалов.* - 2007. - Т. 1, № 3. - С. 98-103.
25. Математическое моделирование пластической деформации / Л.Е. Попов, Л.Я. Пудан, С.Н. Колупаева [и др.]. - Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. - 185 с.
26. Матросов Ю.И. Литвиненко Д.А., Голованенко С.А. Сталь для магистральных газопроводов, М.: Металлургия, 1989. - 288 с.
27. *Металловедение и термическая обработка стали.* Справ. изд. - 3-е., перереб. и доп. В 3-х т. Т. II Основы

- термической обработки / Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. М: Металлургия, 1983. - 368 с.
28. Металлофизика высокопрочных сплавов. Учебное пособие для вузов. Гольдштейн М.И., Литвинов В.С., Бронфин Б.М. М: Металлургия, 1986. - 312 с.
29. Моделирование температурной и скоростной зависимости на-пряжения течения и эволюции деформационной дефектной среды в дисперсно-упрочненных материалах / С.Н. Колупаева [и др.] // Известия РАН. Серия физическая, 2010. - Т. 74, № 11. - С. 1588-1593.
30. Молотков С.Г., Неверов В.В. Дислокационное представление модели поворота как целого //Изв.вузов. Физика. 2002. - №8. - С.162-168.
31. Молотков С.Г., Неверов В.В. Поле напряжений пластического поворота как целого // Тезисы науч.конф. «Бернштейновские чтения». Москва. МИСИ. 2001. - С.113.
32. Молотков С.Г., Неверов В.В. Формирование и эволюция незавершённых сдвигов // Изв. вузов. Физика. 2000. - Т.43. - №11. - С.155-163.
33. Молотков С.Г., Неверов В.В., Антоненко А.И. Условия развития пластического поворота элемента структуры материала как целого //Физ.мезомех. 2003. - Т.6. - №3. - С.29-35.
34. Неверов В.В., Молотков С.Г. Границы участка сдвига без особых точек // Мезоскопическое описание пластической деформации / Сб.науч.трудов НГПИ. Новокузнецк. Изд-во НГПИ. 2000. - С.24-28.
35. Неверов В.В., Молотков С.Г. Сдвиг и поворот включения эллиптической формы // Мезоскопическое описание пластической деформации / Сб.науч.трудов НГПИ. Новокузнецк. Изд-во НГПИ. 2001. - С.29-32.
36. Неверов В.В., Молотков С.Г., Буяковский Р.Ф. Поворот элемента структуры материала как целого в поле однородного сдвига // Физ. мезомех. 2002. - Т.5. - №2. - С.69-77.
37. Никитина А.Н., Большанина М.А. Влияние скорости деформации на разупрочнение меди // Исследования по физике твердого тела. - М.: Из-во АН СССР, 1957. - С. 193-234.
38. Онопченко Т.В., Колупаева С.Н., Старенченко В.А. Качественное исследование модели формирования разориентированных структур пластической деформации ЕЦК-металлов // Физическая мезомеханика. - 2000. - Т. 3, № 6. - С. 65-73.
39. Плишкин Ю.М.. В сб.: Дефекты в кристаллах и их моделирование на ЭВМ. Наука, Л. (1980). С.77.
40. Попов Л.Е., Кобытев В.С., Ковалевская Т.А. Концепция упрочнения и динамического возврата в теории пластической деформации // Изв. вузов. Физика. - 1982. - № 6. - С. 56-82.
41. Попов Л.Е., Кобытев В.С., Ковалевская Т.А. Пластическая деформация сплавов. - М.: Металлургия, 1984. - 182 с.
42. Попов Л.Е., Колупаева С.Н., Сергеева О.А. Скорость кристаллографической пластической деформации // Математическое моделирование систем и процессов. - 1997. - № 5. - С. 93-104.
43. Семенов М.Е., Колупаева С.Н. Анализ эффективности методов Адамса и Гира при решении жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений в пакете SPFCSS // Известия Том. политехн. ун-та. - 2011. - Т. 318. - № 5. - С. 42-47.
44. Семенов М.Е., Колупаева С.Н. Свидетельство об официальной регистрации программы БРЕСС для ЭВМ № 20055612381. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12.09.2005г.
45. Терентьев В.Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов. - М., Интермет инжиниринг.- 2002. - 288.
46. Филиппов Г.А., Ливанова О.В. Взаимодействия дефектов структуры и деградация свойств конструкционных материалов. Материаловедение. N10. 2002. 17-21.
47. Фридель Ж. Дислокации: пер. с англ. - М.: Мир, 1967. - 643 с.

*Эта часть работы выложена в ознакомительных целях. Если вы хотите получить работу полностью, то приобретите ее воспользовавшись формой заказа на странице с готовой работой:*

<https://stuservis.ru/magisterskaya-rabota/24676>