

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	8
Введение	9
ЧАСТЬ I. ТЕОРИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	11
Глава 1. Общие вопросы деформации	11
1.1. Типы кристаллической решетки	11
1.2. Пластическая деформация монокристалла	14
1.3. Основные положения теории дислокаций	16
1.4. Особенности деформации поликристалла	18
1.5. Изменение свойств металла при пластической деформации	20
1.6. Процессы, протекающие при нагреве	21
1.7. Пластичность и разрушение металла при ОМД	25
1.8. Основные закономерности пластической деформации. Условие постоянства объема	27
1.9. Трение при ОМД	31
1.10. Влияние технологических факторов на коэффициент трения	35
Глава 2. Сжатие образца	37
2.1. Общие положения	37
2.2. Экспериментальные исследования процесса осадки	40
2.3. Теоретический анализ напряжений при осадке	45
2.4. Сила осадки	48
Глава 3. Очаг деформации при продольной прокатке	49
3.1. Показатели деформации при прокатке	49
3.2. Условия захвата и установившегося процесса	54
3.3. Общая характеристика очага деформации	57
3.4. Нейтральный угол	58
3.5. опережение при прокатке	60
3.6. Коэффициент трения при прокатке	63
Глава 4. Характер деформации при продольной прокатке	65
4.1. Средние очаги деформации	65
4.2. Высокие очаги деформации	70
4.3. Низкие очаги деформации	77
4.4. Несимметричная прокатка	84
4.5. Упругое сплющивание валков	88
4.6. Сверхнизкие очаги деформации	90
4.7. Уширение при прокатке	93

Глава 5. Силовые параметры прокатки	99
5.1. Распределение контактных напряжений по ширине полосы	99
5.2. Методика расчета силы прокатки	103
5.3. Силы и крутящие моменты на валках	104
5.4. Силы и моменты при прокатке на стане кварто	109
5.5. Силы, действующие на валки 12-валкового стана	112
5.6. Сопrotивление металла деформации	114
Глава 6. Прокатка в калибрах	123
6.1. Основные понятия	123
6.2. Характеристики деформации металла в калибрах	126
6.3. Расположение калибров на валках	127
6.4. Деформация металла в простых калибрах	130
6.5. Системы калибров	139
6.5.1. Система ящичных калибров	139
6.5.2. Система ромб—квадрат	141
6.5.3. Система овал—квадрат	142
6.5.4. Система овал — ребровой овал	144
6.6. Вытяжная способность системы калибров	146
6.7. Оценка деформации при прокатке в сложных калибрах	151
Глава 7. Продольная периодическая прокатка	154
7.1. Общие положения	154
7.2. Очаг деформации	156
7.3. Параметры очага деформации	159
7.3.1. Длина дуги захвата	159
7.3.2. Условия захвата	160
7.3.3. Угол нейтрального сечения γ , опережение и отставание	161
7.3.4. Уширение	164
7.3.5. Сила прокатки	165
7.4. Контурсы опережения и отставания	167
ЧАСТЬ 2. ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВКИ И СОРТОВОГО ПРОКАТА	171
Глава 8. Общие вопросы производства металлургической продукции	171
8.1. Производственный цикл	171
8.2. Общая характеристика металлургического производства	172
8.3. Управление производством и качеством продукции	174
8.4. Генеральный план металлургического завода	180
8.5. Основные тенденции развития металлургического производства	183
8.6. Структура прокатного производства	185
8.7. Общая характеристика заготовки для проката	187
8.8. Сортамент сортового и листового проката	190
8.9. Сортамент продукции четвертого передела	194
Глава 9. Производство катаных блюмов и слябов	196
9.1. Общая технология производства катаных блюмов и слябов	196
9.2. Нагрев слитков	201
9.3. Валки блюминга и режимы обжатия на блюминге	204
9.4. Особенности режима обжатия на слябинге	207
9.5. Скоростной режим деформации	208
9.6. Характер деформации металла при прокатке	210
9.7. Формирование технологической обрeзи	212

Глава 10. Расчет режимов обжаривания	214
10.1. Факторы, ограничивающие обжаривания	214
10.2. Расчет режимов обжаривания на блюминге как оптимизационная задача	221
10.3. Методика расчета режима обжаривания на блюминге	225
10.4. Пример расчета режима обжаривания на блюминге	229
10.5. Особенности расчета режима обжаривания на слябинге	235
Глава 11. Прокатка на заготовочных станах	237
11.1. Типы непрерывно-заготовочных станков	237
11.2. Калибровка валков НЗС	239
11.3. Система резки заготовки на мерные длины	242
11.4. Особенности прокатки и расчета режима обжаривания на одноклетевых 3-валковых заготовочных станах	243
Глава 12. Дефекты заготовки и их устранение	245
12.1. Виды дефектов слитков и литой заготовки	245
12.2. Дефекты, возникающие при нагреве и прокатке	249
12.2.1. Дефекты, возникающие при неправильном нагреве	249
12.2.2. Дефекты, возникающие при горячей деформации	251
12.3. Методы обнаружения дефектов	252
12.3.1. Магнитные методы контроля	253
12.3.2. Вихревые методы контроля	256
12.3.3. Тепловые методы контроля	257
12.3.4. Электромагнитно-тепловые методы контроля	258
12.3.5. Ультразвуковые методы контроля	260
Глава 13. Производство сортового металла	260
13.1. Сортопрокатные станы	260
13.2. Требования к сортовому прокату по точности	275
13.3. Факторы, определяющие точность проката, и пути увеличения точности	279
13.3.1. Конструкция клетей и износ калибров	279
13.3.2. Колебания усилия прокатки	283
13.3.3. Скорость прокатки	284
13.3.4. Распределение температуры по длине раската	284
13.3.5. Жесткость клетки	286
13.4. Система автоматизированного управления толщиной проката	287
13.5. Технические средства измерения размеров сортового проката в про- цессе прокатки	288
13.6. Точность при прокатке на непрерывных станах	290
13.7. Прокатка на непрерывных проволочных станах	296
13.8. Термообработка сортового проката	303
13.8.1. Термоупрочнение арматурной стали	307
13.8.2. Термическая обработка фасонных профилей проката	309
13.8.3. Термообработка сортового металла для холодной высадки	310
13.9. Дефекты сортового проката и методы их обнаружения	311
13.10. Удаление поверхностных дефектов и окалины	314
13.11. Правка сортового проката	318
Глава 14. Прокатка и калибровка отдельных видов сортового проката	323
14.1. Схемы прокатки простых профилей	323
14.2. Расчет калибровки простых профилей	328
14.3. Прокатка и калибровка полосовой стали	336

14.4. Прокатка и калибровка угловой стали	340
14.5. Прокатка и калибровка двутавровых балок	347
14.6. Прокатка и калибровка швеллера	356
14.7. Прокатка и калибровка рельсов	361
14.8. Калибровка фасонных профилей проката	366
ЧАСТЬ 3. ЛИСТОПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	375
Глава 15. Производство толстого листа	375
15.1. Общие вопросы	375
15.2. Сортамент толстолистовой продукции и развитие толстолистового производства в России	376
15.3. Схемы деформации при прокатке	388
15.3.1. Поперечная схема прокатки	390
15.3.2. Продольная схема прокатки	391
15.3.3. Прокатка на угол	391
15.4. Формирование геометрии листа в плане	392
15.4.1. Формирование профиля в вертикальных валках	392
15.4.2. Формирование профиля в протяжных и уширительных пропусках	393
15.4.3. Формирование профиля в уширительных и продольных пропусках	395
15.5. Пути устранения недостатков продольной схемы прокатки	397
15.6. Термическая и термомеханическая обработка листа	402
15.7. Особенности расчета режима обжатия на толстолистовом стане	411
15.8. Поперечная и продольная разнотолщинность листа	413
15.9. Производство толстого биметаллического листа	419
Глава 16. Производство листа на широкополосных станах	424
16.1. Сортамент и общая технология	424
16.2. Улучшение качества поверхности листа	428
16.3. Температурный режим прокатки на НШПС	429
16.4. Продольная разнотолщинность листа	433
16.4.1. Колебания натяжения	433
16.4.2. Температурный клин	434
16.4.3. Неравномерность температуры по длине раската	437
16.4.4. “Всплывание” подшипников	437
16.4.5. Биение валков	438
16.4.6. Режимы прокатки и регулирования толщины	438
16.5. Поперечная разнотолщинность листа	440
16.6. Изменение ширины полосы при прокатке	444
16.7. Контролируемая прокатка на НШПС	445
16.8. Пути развития производства горячекатаного листа	450
16.9. Проблемы прокатки сверхтонкого листа	455
16.10. Расчет режимов обжатия на НШПС по температуре	459
16.11. Автоматизация управления производством и технологией производства	463
Глава 17. Производство холоднокатаного листа	465
17.1. Сортамент	465
17.2. Требования к качеству поверхности тонколистовой стали, предназначенной для штамповки	467
17.3. Стали для автомобилестроения	471

17.4. Технология производства конструкционного листа	477
17.4.1. Снятие окалины	478
17.4.2. Прокатка	481
17.4.3. Рекристаллизационный отжиг	485
17.4.4. Дрессировка	489
17.4.5. Формирование шероховатости валков и полосы	491
17.4.6. Отделочные операции	493
17.5. Продольная разнотолщинность холоднокатаного листа	496
17.6. Оптимизация обжатию на непрерывном стане по разнотолщинности	500
17.7. Способы уменьшения продольной разнотолщинности	502
17.8. Поперечная разнотолщинность и плоскостность полосы	505
17.9. Производство оцинкованного листа	511
17.10. Особенности производства других видов листа	516
17.10.1. Особенности производства жести	516
17.10.2. Особенности производства холоднокатаной нержавеющей стали	519
17.11. Производство электротехнического листа	520
Библиографический список	526

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЗСМК — Западно-Сибирский металлургический комбинат
г. Кемерово

КарМК — Карагандинский металлургический комбинат ОАО “Миттал Стил Темиртау”, г. Темиртау

КМЗ — Коммунарский металлургический завод, г. Коммунарск, Украина

КМК — Кузнецкий металлургический комбинат, Ново-Кузнецк

КрМК — Криворожский металлургический комбинат, Украина

ММК — Магнитогорский металлургический комбинат ОАО “ММК”

НЛМК — Ново-Липецкий металлургический комбинат ОАО “НЛМК”

НТМК — Нижнетагильский металлургический комбинат

ОХМК — Орско-Халиловский металлургический комбинат “Носта” ОАО “Уральская сталь”

ЧелМЗ — Челябинский металлургический завод ОАО “Мечел”

ЧерМК — Череповецкий металлургический комбинат ОАО “Северсталь”

ВВЕДЕНИЕ

“Теория обработки металлов давлением” и “Технология обработки металлов давлением” являются базовыми курсами, определяющими мировоззрение будущего инженера по обработке металлов давлением. Несмотря на большое разнообразие технологических схем, основанных на обработке давлением, основной из них является прокатка. В теории продольной прокатки накоплен значительный экспериментальный материал, который получил исчерпывающее объяснение и обобщение. Достижения в области прокатной технологии весьма значительны. В связи с этим ГОС для инженеров по специальности “Обработка металлов давлением” включает теорию и технологию прокатки как обязательную составляющую общей подготовки специалистов по обработке металлов давлением (ОМД).

Во многих вузах, готовящих инженеров-технологов, оба курса строятся в одном ключе, как единый курс, поэтому необходим единый учебник по теории и технологии ОМД, не только раскрывающий основные технологические решения, но и объясняющий процессы, происходящие в металле при прокатке, при производстве проката на металлургическом предприятии. Необходимо продемонстрировать состояние и перспективы развития теории и технологии прокатки, отразить тенденции совершенствования прокатного производства. Учебное пособие должно быть построено на принципах свободного владения всеми знаниями, полученными студентом к моменту изучения этих курсов: механики деформируемой среды, организации производства, менеджмента, металловедения и термической обработки, математики, физики и других наук.

Несмотря на наличие хороших учебников отдельно по теории и технологии обработки металлов давлением, нельзя признать их достаточными. Многие из них изданы сравнительно давно. Только недавно закончился период формирования современной теории прокатки, и только сейчас появилась возможность сформулировать достаточно устойчивые границы этой молодой науки, осмыслить ее основные устоявшиеся и проверенные практикой достижения и на их основе объяснить современные технологические решения. Кроме того, стремительно развивается технология прокатного производства. В последние годы происходит “технологическая революция” в мировой металлургической промышленности. Учебная литература не успевает освещать новые технологические достижения, и в ней недостаточно полно освещены вопросы связи

теории процесса с технологией. Следует отметить также, что в существующих учебниках мало внимания уделено вопросам организации производства, управлению технологией, современным подходам к управлению качеством продукции.

Особенностью учебного пособия является то, что оно выполнено в традициях школы политехнического образования. Основное внимание сосредоточено на объяснении и глубоком анализе физических и механических процессов, происходящих в металле при деформации, на осмыслении теоретических и технологических достижений. Для политехнической школы характерна широта и многообразие альтернативных решений, широкий кругозор и высокая эрудиция при выборе решений. Чтобы не размывать эти направления, из учебника сознательно исключены математические аспекты анализа и расчетов процессов обработки давлением на основе использования теории упругости и пластичности. К тому же эти вопросы во многих вузах выделены в отдельный самостоятельный курс. Цель учебного пособия — развить у студентов умение свободно ориентироваться в сведениях из различных наук, научить его принимать решения в условиях неоднозначности, вызвать желание думать над проблематикой теории и технологии производства. При этом в словосочетании “технология производства” упор делается на втором слове. Рассматриваются, описываются, анализируются и осмысливаются в основном такие технологии, на которых строится устойчивое производство прокатной продукции на современном металлургическом предприятии.

Многолетний опыт авторов убеждает в том, что технология — это не набор знаний, а мировоззрение и смекалка, основанные на глубоком понимании основ научных знаний, это настрой мышления, “закваска” специалиста. Инженер-технолог по обработке металлов давлением должен знать все о металле, о закономерностях формирования его свойств, потому что он “крайний” в технологической цепочке, от него в конечном счете зависит качество выпускаемой продукции, он определяет работу всех служб цеха и завода в целом. В какой бы сфере деятельности он затем не прикладывал свои усилия, он остается технологом. Он приобретает чувство ответственности за качество выпускаемой продукции. В этом суть подготовки инженера-технолога широкого профиля.

При подготовке учебного пособия были использованы сведения, опубликованные только в открытой печати. В нем нет ноу-хау и технологических секретов, хотя авторы пытались показать новейшие достижения в области прокатного производства и ссылаются на опыт передовых российских и зарубежных предприятий.

Авторы посчитали неуместным приводить в пособии длинный перечень использованных публикаций и ограничились коротким библиографическим списком основной литературы, которым студент может воспользоваться при изучении данного курса, а также при выполнении курсовых и дипломного проектов.

Издание второе, переработанное, дополненное и исправленное. При подготовке его авторы воспользовались ценными замечаниями и рекомендациями и выражают благодарность профессорам Уральского политехнического университета В.К. Смирнову и В.А. Шилкову за благожелательный отзыв и поддержку.

Глава 1

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ДЕФОРМАЦИИ

1.1. Типы кристаллической решетки

В теории ОМД рассматриваются процессы деформации металла на основе изучения, с одной стороны, физико-химических закономерностей, протекающих в металле при деформировании, и с другой — чисто механических явлений, основанных на достижениях теории упругости и пластичности.

Сначала кратко рассмотрим физико-химические основы деформации, помня о том, что глубокому изучению этого направления посвящен отдельный курс.

Металлы и сплавы представляют собой твердые тела. В отличие от аморфных тел (и жидкостей) они имеют кристаллическое строение. Если в аморфных материалах атомы и молекулы располагаются в хаотическом порядке, то в кристаллических телах, в том числе в металлах, атомы упорядочены. Первичной формой строения металлического тела является *монокристалл*, который представляет собой однородное физическое тело, состоящее из правильно уложенных и одинаково ориентированных элементарных кристалликов, имеющих форму выпуклого многогранника с определенным образом уложенными в нем атомами. Кристалл неправильной формы называется *кристаллитом*, но в нем, как и в монокристалле, все атомы имеют одну ориентацию и упорядочены одинаково. Сросшиеся между собой несколько разноориентированных кристаллитов называются *поликристаллом*.

Монокристаллы и кристаллиты в металлургии используются редко и выращиваются специальными методами в лабораториях. Металл, получаемый в промышленности путем затвердевания (кристаллизации) расплава, состоит из зерен и межзеренных границ, которые могут иметь сложный состав и строение. При дальнейшем нагреве и пластической деформации состав и размеры зерен существенно изменяются. В этом состоит основное отличие зерна от кристаллита. Но на первичном уровне можно считать, что кристаллиты и зерна одинаково состоят из элементарных кристалликов определенной формы, которые характеризуются типом кристаллической решетки металла.

Из всего разнообразия типов кристаллической решетки для обработки давлением наибольший интерес представляют три — гранцентрированная, объем-

но-центрированная и гексагональная (рис. 1.1), так как основная масса деформируемых металлов и сплавов имеет такое кристаллическое строение. Так, γ -железо (при высокой температуре), медь, никель, золото, алюминий, серебро имеют гранецентрированную решетку; α -железо (низкотемпературное), ванадий, вольфрам, молибден, хром, тантал имеют объемно-центрированную решетку; гексагональную решетку образуют магний, цинк, кобальт, α -титан, бериллий.

Строение кристаллической решетки определяет одно из фундаментальных свойств металла — его пластичность. Пластичность — это свойство металла изменять свою форму без разрушения. Пластичность металла может быть количественно оценена той степенью деформации, при которой появляются в металле первые микротрещины. Такая предельно допустимая степень пластической деформации называется запасом пластичности. Серьезному изучению пластичности разных металлов по учебному плану посвящен отдельный большой курс, который является одним из основных в специализированной подготовке инженера-технолога по обработке давлением.

Пластичность металла существенно зависит от типа кристаллической решетки. Наиболее пластичны металлы с гранецентрированной решеткой, объемноцентрированные металлы менее пластичны, еще меньшую пластичность имеют металлы с гексагональной решеткой. Это определяется количеством кристаллографических плоскостей и их направлений, по которым происходит скольжение металла при пластической деформации.

Для определения плоскостей в кристаллической решетке принята система индексации. Для кубических решеток (объемно-центрированной и гранецентрированной) плоскость обозначается тремя цифрами, заключенными в круглые скобки. Цифры представляют собой обратные величины координат отрезков, отсекаемых плоскостью по трем осям кубической решетки, причем за единицу измерения принят параметр решетки.

На рис. 1.2 показаны плоскость (100) — грань куба, плоскость (111), проходящая через два противоположных ребра, плоскость (111), отсекающая по каждой оси отрезок, равный 1, и плоскость, проходящая через диагональ основания и середину второго ребра, имеющая обозначение (112). В гексагональной решетке (рис. 1.3) плоскость обозначается обратными значениями координат,

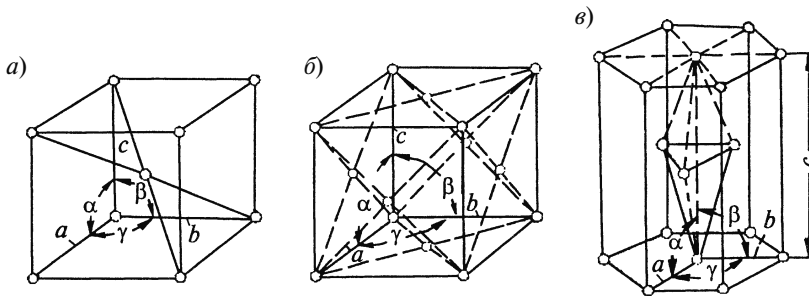


Рис. 1.1. Типы кристаллических решеток основных металлов:

a — объемно-центрированная; *b* — гранецентрированная;
v — гексагональная

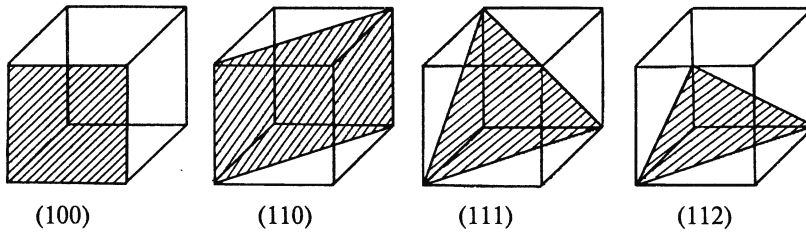


Рис. 1.2. Плоскости кубической элементарной ячейки и их обозначения

отсекаемых ею на четырех осях, три из которых a_1 , a_2 и a_3 расположены в плоскости основания (базиса), а четвертая a_4 — по высоте призмы.

В кристаллической решетке обозначаются не только плоскости, но и направления. Направление задается прямой, исходящей из начала координат и проходящей через атом, лежащий на этой прямой. Направление обозначается обратными значениями координат этого атома, заключенными в квадратные скобки. Причем при отрицательных значениях координат над цифрой ставится знак “минус”. Примеры направлений в кубической решетке показаны на рис. 1.4.

В каждой решетке (см. рис. 1.1) в разных плоскостях и по разным направлениям количество атомов и расстояния между ними различны, поэтому свойства кристаллического тела по разным направлениям неодинаковы. Различие свойств металла по разным направлениям называется анизотропией. Анизотропия является одним из основных свойств отдельного кристаллита или зерна, которая может быть использована в изделии или, наоборот, с которой приходится бороться, если в металлическом изделии ценится однородность свойств по всем направлениям.

Направления плоскостей атомных решеток основного металла в разных зернах различны и сильно зависят от условий кристаллизации. Поэтому промышленные объемы металла могут не проявлять анизотропии, хотя внутри каждого зерна свойства его анизотропны. При последующей пластической деформации направления кристаллографических плоскостей в зернах изменяются весьма существенно.

Характер пластической деформации реального металла определяется как свойствами отдельного зерна и расположением кристаллографических плоскостей в них, так и расположением

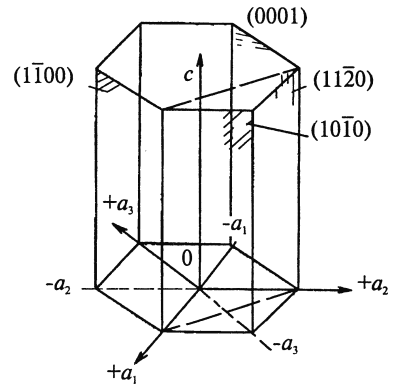


Рис. 1.3. Обозначение плоскостей в гексагональной решетке

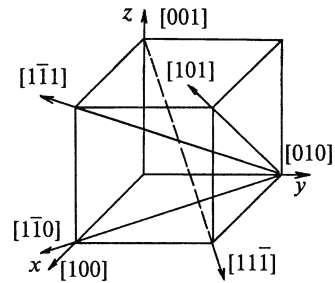


Рис. 1.4. Обозначение направлений в кубической решетке

и размерами зерен в металле, фазовым составом металла, наличием других фаз внутри зерен. Как видно, на характер пластической деформации реального металла оказывают влияние многие факторы.

1.2. Пластическая деформация монокристалла

Рассмотрим деформацию одного монокристалла. Приведенные рассуждения будут справедливы также для кристаллита или отдельного зерна металла. Внутри монокристалла пластическая деформация происходит в основном путем скольжения одних слоев атомов металла относительно других по определенным кристаллографическим плоскостям, которые называются плоскостями скольжения. Обычно плоскостями скольжения являются плоскости с наиболее плотным размещением атомов, а направления скольжения совпадают с направлениями минимальных межатомных расстояний. В металлах с гранцентрированной решеткой скольжение протекает по плоскости октаэдра (111), а направление скольжения совпадает с диагональю граней (типа [101]). В металлах с объемно-центрированной решеткой скольжение осуществляется преимущественно по плоскостям нескольких типов, например (110), (112) или (123), так как плотность атомов на этих плоскостях примерно одинакова, а преимущественное направление скольжения совпадает с большой диагональю куба [111]. В металлах с гексагональной решеткой скольжение проходит по плоскости основания призмы типа (0001) в направлении диагонали шестигранника типа [0011]. Отсюда понятно, что металлы с наиболее плотным расположением атомов в плоскости скольжения имеют наибольшую пластичность.

Заметим, что это упрощенная картина. Помимо скольжения в зерне возможны также другие механизмы пластической деформации, например двойникование. Немалую роль играют дефекты, атомы других элементов, диффузия атомов и т. д. На этих вопросах мы останавливаться не будем — они подробно рассматриваются в специальном курсе.

Большое влияние на характер скольжения оказывают технологические факторы, особенно температура металла. При повышенных температурах появляются дополнительные плоскости скольжения. Например при температурах 150–200 °С и выше в гексагональных металлах открываются дополнительные плоскости скольжения типа $(10\bar{1}1)$ и $(10\bar{1}2)$, и пластичность металла резко возрастает, что используется на практике для предотвращения трещин при деформации малопластичных металлов, таких, например, как цинк.

Скольжение в монокристалле происходит под действием напряжений, возникающих в плоскости скольжения. Исследования показали, что напряжения в плоскости скольжения (касательные напряжения), при которых начинается пластическая деформация скольжения, для данного монокристалла при постоянной температуре и скорости деформации постоянны. Это фундаментальное свойство металлов: при растяжении, сжатии, прокатке и других видах нагружения металла сдвиг по плоскости скольжения будет происходить всегда при одних и тех же касательных напряжениях. Предел текучести металла не зависит от схемы напряженного состояния. Конечно, для поликристаллических материалов, состоящих из разных кристаллитов или зерен, такое утверждение в принципе неверно, поскольку для них, помимо скольжения внутри

зерен, большое влияние на характер пластической деформации оказывает межзеренное скольжение. Сами зерна в металле имеют разные направления кристаллографических плоскостей, и деформация начинается раньше только в благоприятно расположенных зернах.

В классической теории пластичности независимость предела текучести от характера нагружения металла принимается как постулат, и строение самого металла не рассматривается. Предполагается, что деформируемый металл представляет собой некоторую однородную сплошную среду, не имеющую кристаллического строения, способную в любом направлении при соответствующих касательных напряжениях проявлять скольжение. Для всех металлов и сплавов это, очевидно, не так, тем не менее методами теории пластичности решают множество практически важных задач.

Если основная прочностная характеристика металла — предел текучести — может считаться не зависящей от схемы напряженного состояния, то пластичность металла сильно зависит от нее. По горизонтальной оси (рис. 1.5) отложим схему действующих напряжений на элементарный кубик деформируемого металла, а по вертикальной — некоторую характеристику пластичности, например степень деформации до появления первой видимой трещины в металле. При трехстороннем сжатии металла появление трещин маловероятно, пластичность наивысшая. При возрастании доли растягивающих напряжений пластичность снижается, и при равномерном трехстороннем растяжении для

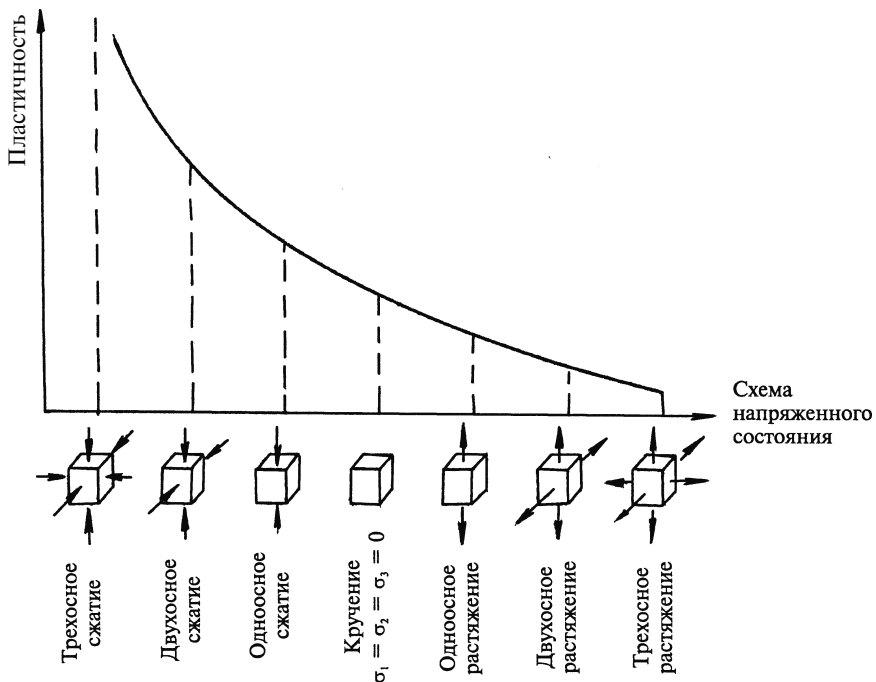


Рис. 1.5. Зависимость пластичности металла от схемы напряженного состояния

всех металлов она близка к 0, и металлы разрушаются хрупко при самой незначительной пластической деформации.

Такое поведение металла очень важно учитывать при выборе технологического процесса для получения готовой продукции без дефектов, особенно для металлов с пониженной природной пластичностью. Например, многие металлы при прокатке могут “трещать” по кромкам, так как здесь возникают растягивающие напряжения. При прессовании таких же профилей из того же металла трещин можно избежать, так как при прессовании металл находится в состоянии сжатия по всем трем осям. Прессование широко применяют для получения изделий из малопластичных металлов. При прокатке также полезно создавать подпирющие напряжения сжатия, предотвращающие разрушение металла.

1.3. Основные положения теории дислокаций

Механизм скольжения в плоскости скольжения монокристалла (или кристаллита) в основных закономерностях хорошо объясняется теорией дислокаций. Мы не будем излагать теорию дислокаций в полном объеме, так как в специальном курсе она дается на достаточно высоком уровне.

Остановимся на самых общих представлениях о дислокациях. Первоначально теоретически, а теперь и экспериментально показали, что в плоскости скольжения кристалла всегда существуют различные дефекты, несовершенства строения кристаллической решетки. Они бывают точечными, линейными, поверхностными и объемными. Наибольшее значение имеют линейные дефекты.

На рис. 1.6 приведены типы линейных дефектов. Как видно (см. рис. 1.6, *а, б*), часть кристалла содержит лишнюю кристаллографическую плоскость А. Вершина этой плоскости — линия ВГ — называется краевой дислокацией. Под действием касательного напряжения τ , перпендикулярного плоскости А, краевая дислокация перемещается параллельно вектору нагрузки к границе кристалла.

Винтовая дислокация (см. рис. 1.6, *в, г*) под напряжением τ перемещается в плоскости скольжения перпендикулярно действующей нагрузке.

Как краевая, так и винтовая дислокации перемещаются из центральных слоев кристалла к его поверхности, образуя на поверхности смещение атомов на величину межатомного расстояния, которое и представляет собой элементарный акт пластической деформации кристалла.

В процессе деформации в кристалле рождаются новые дислокации, и движение их носит лавинообразный характер. Это приводит к значительным деформациям кристалла без нарушения его сплошности. На ранних стадиях скольжения дислокации движутся практически без увеличения прикладываемого в плоскости скольжения напряжения τ . На поверхности металла видны линии скольжения, отражающие эффект движения дислокаций. Затем дислокации встречают на своем пути препятствия в виде точечных дефектов, отдельных дислокаций и их скоплений. Формируются стенки, а затем жгуты и более сложные структуры групп дислокаций. Количество препятствий в процессе деформации увеличивается, поэтому дислокации могут двигаться при увеличении касательных напряжений τ , т. е. при возрастании предела текучести. Увеличение

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru