

**Приложение 2 к РПД «Материаловедение»  
21.05.04 Горное дело  
специализация №3 «Открытые горные работы»  
Форма обучения – заочная  
Год набора - 2017**

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ  
АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**1. Общие сведения**

1.	Кафедра	Горного дела, наук о Земле и природообустройства
2.	Специальность	21.05.04 Горное дело
3.	Специализация	№3 «Открытые горные работы»
4.	Дисциплина (модуль)	Материаловедение
5.	Форма обучения	заочная
6.	Год набора	2017

**2. Перечень компетенций**

— готовностью с естественнонаучных позиций оценивать строение, химический и минеральный состав земной коры, морфологические особенности и генетические типы месторождений твердых полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр (ОПК-4)

### 3. Критерии и показатели оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности компетенций
		Знать:	Уметь:	Владеть:	
1. Основные методы исследования металлов и сплавов	ОПК-4	Материалы, применяемые в горнодобывающей промышленности. Маркировка и свойства материалов.	Строить диаграммы состояния металлов и сплавов и давать им характеристики	Методами анализа, знанием закономерностей поведения и управления свойствами горных пород и состоянием массива в процессах добычи и переработки твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных сооружений	Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям Практическая работа
2. Атомно-кристаллическое строение металлов и сплавов	ОПК-4	Строение и свойства материалов, применяемых в горном деле	Оценивать и прогнозировать поведение материалов и изделий из них под воздействием различных внешних эксплуатационных факторов	Закономерностями процессов кристаллизации и структурообразования металлов и сплавов, основы их термообработки, способы защиты металлов от коррозии	
3. Строение реальных металлов	ОПК-4	Характеристики конструкционных и строительных материалов, применяемых в горном производстве, способы получения заданных свойств	Выбирать материалы для конструкций по их назначению и условиям эксплуатации	Методами целенаправленного изменения свойств материалов	Выполнение и защита лабораторной работы.
4. Деформация и механические свойства металлов	ОПК-4	Химический состав, структуру, свойства и области применения основных промышленных материалов, а также способы и режимы их упрочнения	Оценивать и прогнозировать поведение материалов и изделий из них под воздействием различных внешних эксплуатационных факторов	Навыками работы экспериментального определения эксплуатационных материалов и методами оценки поведения материалов под воздействием на них различных эксплуатационных факторов	Устный опрос Практическая работа

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности компетенций
		Знать:	Уметь:	Владеть:	
5. Процессы, происходящие при нагреве деформированного металла	ОПК-4	Строение и свойства материалов, применяемых в горном деле	Назначать соответствующую обработку, методы упрочнения сплавов; Оценивать поведение материалов в условиях производства	Навыками анализа горно-геологических условий при эксплуатационной разведке и добыче твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов	Устный опрос
6. Разрушение металлов	ОПК-4	Методы определения технологических и основных эксплуатационных свойств материалов	Оценивать и прогнозировать поведение материалов и изделий из них под воздействием различных внешних эксплуатационных факторов	Навыками экспериментального определения эксплуатационных свойств материалов и методами оценки поведения материалов под воздействием различных эксплуатационных факторов.	Устный опрос, практическая работа
7. Железоуглеродистые сплавы	ОПК-4	Свойства железа, углерода и цементита. Основные фазы, присутствующие в железоуглеродистых сплавах в равновесном состоянии.	Обоснованно выбрать материалы при конструировании и производстве конкретного изделия, материалы с оптимальным комплексом эксплуатационных и технологических свойств	Знаниями о структуре и свойствах металлов и сплавов	Устный опрос
8. Основы теории термической обработки стали	ОПК-4	Превращения в стали при нагреве и охлаждении	Применять методы математического анализа при решении инженерных задач; выявлять физическую сущность явлений и процессов выполнять применительно к ним технические расчеты	Методами целенаправленного изменения свойств материалов	Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям, практическая работа

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности компетенций
		Знать:	Уметь:	Владеть:	
9. Технология термической обработки стали	ОПК-4	<p>Диаграммы состояния температур плавления и затвердевания сплавов, химического состава фаз, относительного количества фаз и структурных составляющих. Связь между характером диаграмм состояния и свойствами сплавов (закон Курнакова).</p>	<p>Выбирать режимы термической обработки сплавов с использованием графических и аналитических зависимостей</p>	<p>Методами поверхностного упрочнения (поверхностная закалка, химико-термическая обработка).</p>	Устный опрос
10. Конструкционные стали	ОПК-4	<p>Характеристики конструкционных и строительных материалов, применяемых в горном производстве, способы получения заданных свойств, технологические процессы обработки.</p>	<p>Классифицировать легированные стали по трем группам</p>	<p>Методами улучшения стали</p>	Устный опрос
11. Сплавы на основе алюминия	ОПК-4	<p>Основные разновидности диаграмм состояния двойных сплавов</p>	<p>Анализировать диаграммы состояния: определять температуры начала и окончания плавления сплавов, находить области равновесного существования твёрдых растворов, обосновывать возможность проведения упрочняющей термической обработки сплавов, оценивать их технологические свойства.</p>	<p>Методом определения количества обеих фаз и их концентрации</p>	Устный опрос

## 4. Критерии и шкалы оценивания

### 4.1. Устный опрос

Процент правильных ответов	До 60	60-80	81-100
Количество баллов	0	1	2

### 4.2. Практическая работа

4 балла – студент выполнил полностью все задания указанные в практической/лабораторной работе и может аргументировано пояснить ход своего решения.

3 балла – студент выполнил не менее 85% заданий указанных в практической/лабораторной работе, и может аргументировано пояснить ход своего решения и указать.

2 балла – студент решил не менее 50% заданий указанных в практической/лабораторной работе, и может аргументировано пояснить ход своего решения.

1 балл – студент не может аргументировано пояснить ход своего решения.

В случае, если сроки сдачи работ превышены, студентам сдавшим работу на 4 и 3 балла, количество баллов сокращается до 2 баллов.

### 4.3. Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям

Процент правильных ответов	До 60	60-80	81-100
Количество баллов	0	1	2

### 4.4. Выполнение и защита лабораторной работы

4 балла – студент выполнил полностью все задания указанные в практической/лабораторной работе и может аргументировано пояснить ход своего решения.

3 балла – студент выполнил не менее 85% заданий указанных в практической/лабораторной работе, и может аргументировано пояснить ход своего решения и указать.

2 балла – студент решил не менее 50% заданий указанных в практической/лабораторной работе, и может аргументировано пояснить ход своего решения.

1 балл – студент не может аргументировано пояснить ход своего решения.

В случае если сроки сдачи работ превышены, студентам сдавшим работу на 4 и 3 балла, количество баллов сокращается до 2 баллов.

### 4.5. Контрольная работа

10 баллов выставляется, если студент решил все рекомендованные задачи, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

9 баллов выставляется, если студент решил не менее 85% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

8 баллов выставляется, если студент решил не менее 65% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

7 баллов – если студент выполнил менее 50% задания, и/или неверно указал варианты решения.

## **5. Типовые контрольные задания и методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

### **5.1. Типовые вопросы к устному опросу**

#### **1. Что такое остаточные напряжения в материалах? Их виды?**

*Ответ:* Остаточными или собственными называют напряжения, которые остаются в материале после устранения причин, их вызывающих.

Остаточные напряжения уравниваются внутри тела без воздействия внешних сил. В зависимости от объема тела остаточные напряжения различают следующих видов:

1. Напряжения 1-го рода – эти напряжения уравниваются в объеме всего тела (макронапряжение);
2. Напряжения 2-го рода уравниваются в пределах блоков зерен (микронапряжения);
3. Напряжения 3-го рода уравниваются в пределах объема нескольких элементарных ячеек, т.е. напряжения возникают и локализуются (сосредотачиваются) в ультра – микроскопических объемах.

Напряжения могут вызывать коробление металла, образование трещин в различных изделиях, способствовать хрупкому разрушению.

Остаточные напряжения могут суммироваться с рабочими и вызвать потерю устойчивости или разрушение конструкции.

#### **2. Дайте понятие наклепа и возврата.**

*Ответ:* Наклепом называется изменение свойств металла в результате холодной пластической деформации. При наклепе повышаются прочность и твердость, т.е. происходит упрочнение металла или его нагартовка.

Характеристики пластичности (пластичность, вязкость, относительное удлинение и сужение) понижаются, т.е. происходит охрупчивание металла.

При наклепе изменяются все структурно-чувствительные свойства металла. Сама структура также изменяется. Зерна металла вытягиваются в направлении действия деформации, структура становится слоистой. Упрочнение объясняется тем, что с увеличением степени деформации, на несколько порядков увеличивается число дислокаций.

Металл, подвергнутый пластической деформации, находится в термодинамически неустойчивом состоянии. Нагревание может вернуть ему исходные (до деформации) свойства. Если температуры нагрева находятся в пределах 0.2-0.3°С температуры плавления материала, то наступает процесс возврата.

Снижаются напряжение в материале, улучшается структурное состояние, уменьшается количество дислокаций.

При возврате заметных изменений в структуре металла не наблюдается. Он сохраняет слоистое или волокнистое строение. Механические свойства материала также не изменяются.

### **5.2. Типовые вопросы к экспресс-опросу по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям**

#### **1. В чем заключается термическая обработка металла или сплава?**

*Ответ:* Термическая обработка, как операция технологического процесса, заключается в нагреве металла или сплава до заданной температуры, в выдержке при этой температуре либо без выдержки с последующим охлаждением.

#### **2. Дать определение температурному порогу рекристаллизации.**

Температурный порог рекристаллизации – это такая минимальная температура, при которой начинается рекристаллизация в сильнодеформированных металлах.

### 5.3. Типовые примеры решения задач

#### Задача 1

Определить среднюю плотность и пористость камня, если водопоглощение его по объему составляет 25 %, водопоглощение по массе – 15 %, истинная плотность 2750 кг/м<sup>3</sup>.

**Решение:**

1. Используя стандартные формулы определения водопоглощения по объему и массе, выполним следующие преобразования:

$$W_o = \frac{m_n - m_c}{V_c \rho_v} 100 \%, \quad (1)$$

$$W_m = \frac{m_n - m_c}{m_c} 100 \%. \quad (2)$$

2. Разделив первое выражение на второе, получим

$$\frac{W_o}{W_m} = \frac{\rho_m}{\rho_v}, \quad \text{поскольку } \frac{m_c}{V_c} = \rho_m.$$

3. Определяем среднюю плотность камня:

$$\rho_m = \frac{W_o}{W_m} \cdot \rho_v = \frac{21}{15} \cdot 1000 = 1400 \text{ кг/м}^3,$$

$\rho_m$  – средняя плотность камня;

$\rho_v$  – плотность воды;

$W_o$  – водопоглощение по объему;

$W_m$  – водопоглощение по массе.

4. Определим пористость камня по формуле

$$\Pi = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} \cdot 100 \% = \frac{2750 - 1400}{2750} \cdot 100 \% = 49 \%.$$

#### Задача 2

Определить коэффициент теплопроводности каменного материала, имеющего среднюю плотность 1800 кг/м<sup>3</sup>.

**Решение:**

Ориентировочно коэффициент теплопроводности –  $\lambda$  определяется по формуле В.П. Некрасова

$$\lambda = 1,16 \sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16$$

$d$  – относительная плотность материала,  $d = \frac{\rho_m}{\rho_v}$ ;

$\rho_m$  – средняя плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_v$  – плотность воды, равная 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Подставим в формулу исходные данные и получим:

$$d = 1800/1000 = 1,8;$$

$$\lambda = 1,16 \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 1,8^2} - 0,16 = 0,696 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}.$$

### Задача 3

Определить среднюю плотность каменного образца неправильной формы массой 80 г. После покрытия поверхности образца парафином при гидростатическом взвешивании его вес в воде составил 37 г. На парафинирование образца израсходовано 0,75 г парафина с истинной плотностью 0,93 г/см<sup>3</sup>.

#### Решение

1. Находим объем парафина, по формуле:

$$V_n = \frac{m_n}{\rho_n},$$

$m_n$  – масса парафина, г;

$\rho_n$  – плотность парафина, г/см<sup>3</sup>.

$$V_n = \frac{0,75}{0,93} = 0,81 \text{ см}^3.$$

2. Вычислим объем каменного образца из равенства:

$$V_k = \frac{m_{k+n} - m_{к.в}}{\rho_в} - V_n,$$

$m_{k+n}$  – масса камня с парафином на воздухе, г;

$m_{к.в}$  – вес парафинированного камня в воде, г;

$\rho_в$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>.

$$V_k = \frac{80,75 - 37}{1} - 0,8 = 42,94 \text{ см}^3.$$

3. Определим среднюю плотность образца по формуле:

$$\rho_{тк} = \frac{m_k}{V_k} = \frac{80}{42,94} = 1,863 \text{ г/см}^3.$$

Ответ:  $\rho_{тк} = 1863 \text{ кг/м}^3$ .



## 5.4. Типовой пример практической работы

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

#### ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

##### Цель работы

1. Изучить теоретический материал по теме работы.
2. Получить представление о видах дефектов в кристаллах и их влиянии на прочность материалов.
3. Ответить на вопросы индивидуального задания.

##### Основные сведения по теме работы

Идеальные кристаллы в природе не встречаются. Реальные кристаллы, в том числе металлы, всегда имеют отклонения от правильного строения, или дефекты.

Дефекты кристаллического строения классифицируют по геометрическому признаку – по размерам вызываемых ими нарушений периодичности кристаллической решётки. Различают точечные, линейные, поверхностные и объёмные дефекты.

1) *Точечными* называют дефекты, которые малы во всех трёх пространственных направлениях, т. е. соизмеримы с межатомным расстоянием. Это вакансии, межузельные атомы, примеси замещения и внедрения.

**Вакансия** – это отсутствие атома в узле кристаллической решетки, «пустое место». Атомы вокруг вакансии сближаются, так как в этом месте силы притяжения между атомами превышают силы отталкивания:  $F_{пр} > F_{отт}$ . Кристалл как бы сжимается, стремится «залечить» дефект. Смещение атомов вокруг вакансии упрощённо показано на рис. 1.1, *а*.

Вакансии играют огромную роль в процессах диффузии: они способствуют движению атомов внутри металла.

Число их растёт с увеличением температуры: атомы с поверхности металла могут переходить в окружающую среду, получив дополнительную энергию, а образовавшиеся вакансии продвигаются вглубь металла.

**Межузельный атом** – это собственный, «родной» атом металла, выбитый из

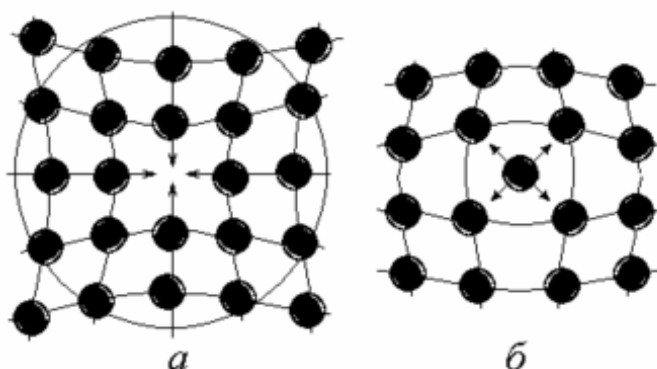


Рис. 1.1. Точечные дефекты: вакансия (*а*) и межузельный атом (*б*)

узла. Их всегда меньше, чем вакансий. Вокруг межузельного атома соседи раздвигаются: здесь  $F_{отт} > F_{пр}$  (см. рис. 1.1, б).

**Примесной атом**, или **примесь** – это атом другого, «чужого» вещества, попавшего в металл (обычно из руды при выплавке). Примесные атомы могут замещать собственные в узлах кристаллической решётки (*примесь замещения*) или занимать поры между ними (*примесь внедрения*). Примесные атомы искажают решётку сильнее, чем собственные межузельные атомы, что упрощённо показано на рис. 1.2.

Из всех точечных дефектов существенное влияние на прочность металла оказывают только примеси, особенно примеси внедрения. Они затрудняют пластическую деформацию металла, поэтому повышают прочностные характеристики.

2) *Линейными* называют дефекты, которые малы только в двух пространственных направлениях, а в третьем имеют протяжённость в тысячи и миллионы межатомных расстояний. Эти дефекты называют **дислокациями**. Дислокации бывают краевые, винтовые и смешанные.

**Краевая дислокация** – это область под краем незавершённой, недостроенной атомной плоскости в металле. (Можно сказать и «над краем», так как понятия «низ» и «верх» в тонкой структуре металла не имеют значения.) Недостроенная плоскость является как бы «лишней», нарушающей идеальную структуру металла (рис. 1.3, а). Ее называют *экстраплоскостью*.

Краевая дислокация может возникнуть при воздействии силы  $P$ , деформирующей кристалл: в верхней части кристалла сдвиг прошёл до линии  $AB$ , а левее этой линии

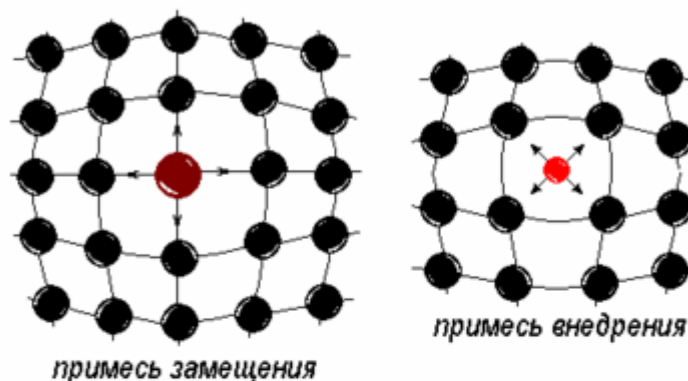


Рис. 1.2. Точечные дефекты: примесные атомы

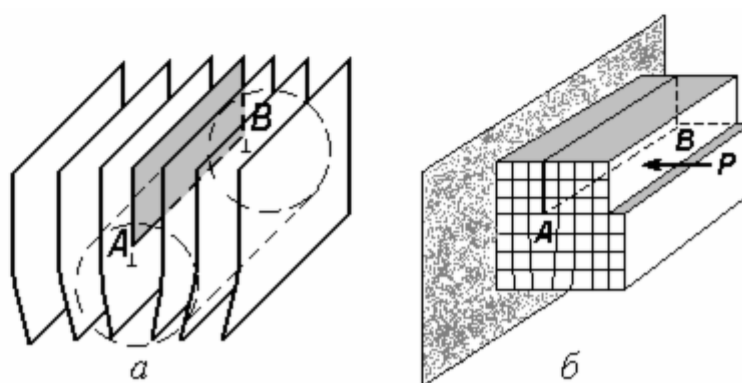


Рис. 1.3. Краевая дислокация (а) и возникновение дислокации при сдвиге (б)

кристалл остался недеформированным. Возникла экстроплоскость; её край  $AB$  и есть линия краевой дислокации (см. рис. 1.3, б).

У края экстроплоскости создается разрежение атомов, поэтому ближайшие к нему атомы сдвигаются в сторону отсутствующего ряда. Решётка здесь стремится сжаться, «закрыть» дефект. Область искажения решётки мала в двух направлениях, а в третьем может проходить через весь кристалл. Можно представить краевую дислокацию как трубку диаметром в 2-3 межатомных расстояния, но очень большой длины. В эту разреженную область должны стремиться атомы примесей, так как это энергетически выгодно.

**Винтовая дислокация** подобна винтовой лестнице; это атомная плоскость, закрученная в спираль и ставшая винтовой поверхностью.

Условно можно представить, что винтовая дислокация возникает, если надрезать кристалл до какой-то прямой  $AB$ , а затем сдвинуть одну надрезанную половинку вниз относительно другой на одно межатомное расстояние. В области надреза образуется ступенька на каждой атомной плоскости. Получается, что весь кристалл представляет собой винтовую поверхность, «закрученную» вокруг линии  $AB$  (рис. 1.4).

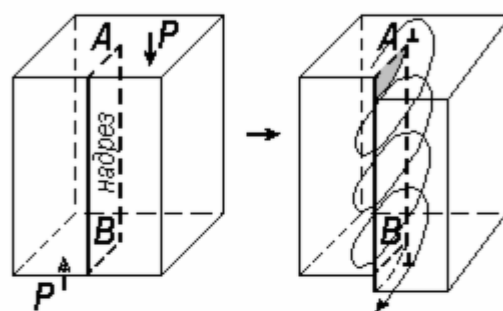


Рис. 1.4. Винтовая дислокация

Чаще всего встречаются **смешанные дислокации**: краевая и винтовая переходят одна в другую. На рис. 1.5  $AB$  – линия смешанной дислокации.

Количество дислокаций в металле характеризуют их плотностью. **Плотность дислокаций**  $\rho$  – это суммарная их длина в единице объёма:

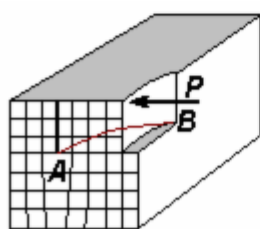


Рис. 1.5. Смешанная дислокация

$$\rho = \frac{\sum l}{V} [\text{см}^{-2}],$$

Дислокации возникают при зарождении и росте кристаллов, а также при деформации.

Дислокации играют важнейшую роль в теории прочности, пластичности и разрушения металлов. Влияние их на прочность неоднозначно: с появлением дислокаций прочность идеального кристалла резко снижается, но при очень большой их плотности снова начинает расти (см. рис. 1.6).

3) **Поверхностными** называют дефекты, которые малы в одном направлении, а в двух других – намного больше межатомного расстояния.

Это *границы зёрен* в поликристаллах, границы субзёрен и двойников (рис. 1.7). Внешние поверхности металлических изделий также являются поверхностными дефектами с особым строением.

Угол разориентировки между двумя соседними зёрнами может быть любым, а между двумя субзёрнами в зерне – не более 6°.

Очень важно хорошо представлять, что граница зерна – это не «стена» из чего-то между соседними зёрнами и не пустота между ними. Это область, где нарушается строго упорядоченное строение металла: атомные плоскости в одном зерне не имеют продолжения в соседнем, там атомные плоскости расположены в другом направлении.

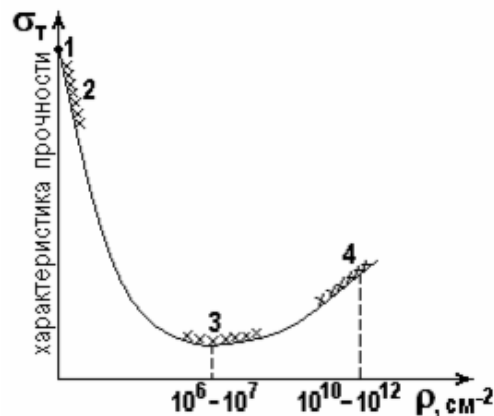


Рис. 1.6. Влияние плотности дислокаций на прочность:

1 – идеальный кристалл; 2 – «усы», кристаллы с минимальной плотностью дефектов; 3 – отожжённые металлы; 4 – сильно деформированные металлы с высокой плотностью дислокаций

Надо также не забывать, что границы зёрен – не линии, хотя именно так мы видим их на отполированной и протравленной поверхности металла. Это поверхности раздела между зёрнами, представляющими собой неправильные многогранники. Каждое зерно как бы «завёрнуто» в свою границу.

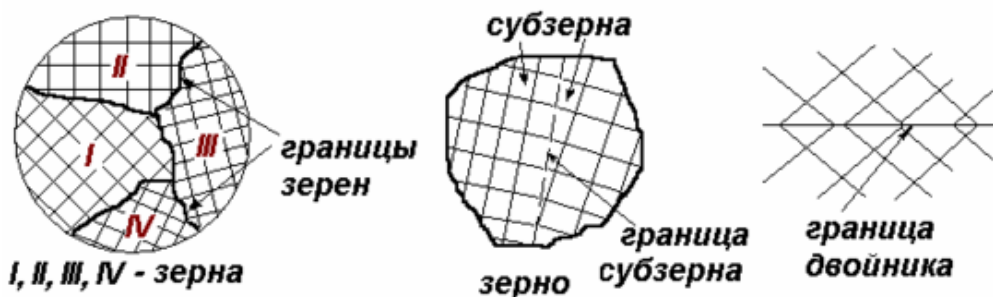


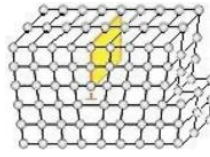
Рис. 1.7. Поверхностные дефекты: границы зёрен, субзёрен и двойников

Влияние поверхностных дефектов на прочность металла велико границы зёрен и субзёрен являются препятствиями для развития деформации, а значит – упрочняют металл. Чем больше поверхность границ в единице объёма, тем прочнее металл.

4) Объёмные дефекты во всех трёх измерениях намного больше межатомного расстояния. Это раковины, поры, зародыши трещин, неметаллические включения. Все объёмные дефекты являются очагам\* возможного разрушения, т. е. влияют на прочность отрицательно. По сути, эти дефекты – брак литейного производства и других видов обработки.

### Задание для практической работы:

1. Изучить теоретический материал;
2. Ответить письменно на вопросы:
  - а). По какому признаку классифицируются дефекты кристаллического строения?
  - б) Какой дефект показан на рисунке?



- в) Как дислокации влияют на прочность металла?
- г) Объёмные дефекты кристаллического строения - это...

## 5.5. Типовой пример лабораторной работы

### СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

**Цель работы:** Получить представление о способах упрочнения металлов и количественной зависимости предела текучести от параметров структуры.

#### Основные сведения по теме работы

Значительная пластическая деформация деталей машин и конструкций при эксплуатации недопустима. Поэтому повышение прочности металлов и сплавов означает, прежде всего, повышение предела текучести  $\sigma_T$ .

Область II на диаграмме растяжения является областью борьбы за прочность (рис. 3.1). Здесь происходит пластическая деформация, т. е. движение дислокаций:

Чтобы затруднить перемещение дислокаций, нужно создать препятствия для их движения – или избавиться от дислокаций совсем.

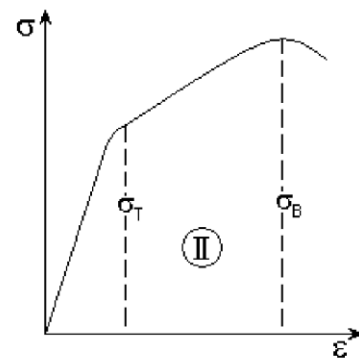


Рис. 3.1. Область пластической деформации

#### *Упрочнение за счёт создания бездефектных кристаллов*

Бездефектные кристаллы удастся вырастить в виде тонких нитей, или «усов» (их длина несколько миллиметров, толщина до 20 мкм). Их прочность действительно близка к теоретически рассчитанной.

Кристаллы крупных размеров вырастить без дефектов не удастся.

Не совсем ясно, играет в прочности «усов» главную роль отсутствие дефектов или поверхностное натяжение. Изделия, содержащие такие кристаллы, высокой прочностью не обладают.

Можно сказать, что пока этот путь создания высокопрочных материалов не реализован.

#### *Упрочнение за счёт торможения движущихся дислокаций*

1) Упрочнение самими дислокациями

В ходе пластической деформации создается такая высокая плотность дислокаций, что они сами начинают взаимно тормозить скольжение друг друга. Возникает так называемый «лес дислокаций».

При повторном испытании уже продеформированного образца предел текучести оказывается больше:  $\sigma_{T2} > \sigma_{T1}$  (рис. 3.2).

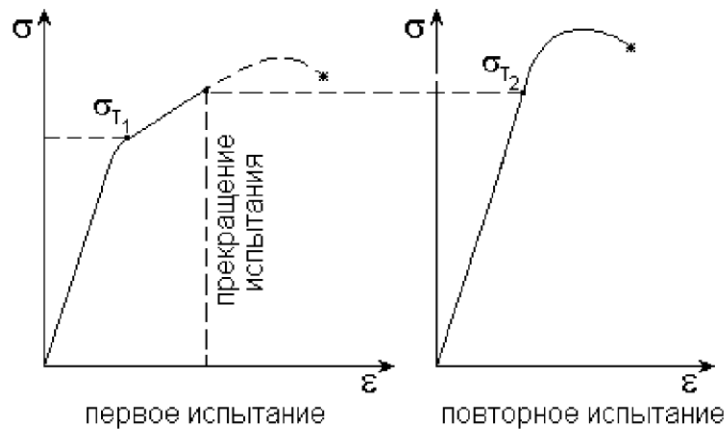


Рис. 3.2. Упрочнение металла при повторном испытании на растяжение

Увеличение предела текучести связано с плотностью дислокаций зависимостью

$$\sigma_T = \sigma_0 + \alpha \cdot G \cdot b \cdot \sqrt{\rho},$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от природы металла;  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргерса (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями),  $\rho$  – плотность дислокаций.

Примерами использования такого механизма упрочнения являются дробеструйный наклёп пружин, рессор и штампов, патентирование проволоки, чистовая обработка поверхностным пластическим деформированием (обкатка роликами, дорнование отверстий).

## 2) Упрочнение границами зёрен

В мелкозернистом металле площадь поверхности зёрен в единице объёма больше, чем в крупнозернистом (рис. 3.3). Мелкозернистый металл прочнее, так как на пути скольжения дислокаций встречается больше барьеров – границ зёрен:  $\sigma_{T2} > \sigma_{T1}$ .

Зависимость предела текучести от размера зерна описывается отношением Холла–Петча:

$$\sigma_T = \sigma_0 + k \cdot d^{1/2},$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $k$  – постоянная для данного металла,  $d$  – диаметр зерна.

Примеры: модифицирование сплавов при выплавке и литье, рекристаллизация сильно наклёпанного металла, измельчение зерна при фазовых превращениях.

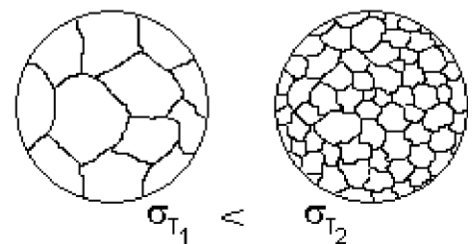


Рис. 3.3. Упрочнение границами зерен

### 3) Упрочнение растворёнными атомами примесей

Искажения решётки, вызванные атомами примесей, мешают дислокациям свободно скользить (рис. 3.4).

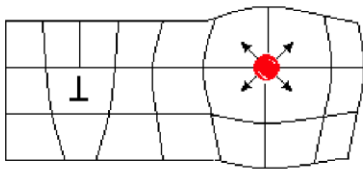


Рис. 3.4. Упрочнение твёрдым раствором

В первом приближении упрочнение при образовании твёрдого раствора можно определить по формуле Мотта-Набарро в зависимости от количества примеси:

$$\sigma_T = G \cdot \varepsilon^2 \cdot C,$$

где  $G$  – модуль сдвига,  $\varepsilon$  – параметр, зависящий от различия размеров атомов растворённого компонента  $r$  и растворителя  $r_0$ ,  $C$  – атомная концентрация растворённого компонента. Можно принять параметр  $\varepsilon = (r - r_0)/r_0$ .

Примерами применения такого механизма упрочнения являются практически все сплавы в современной технике. Все они являются твёрдыми растворами. При закалке сплавов создают пересыщенные твёрдые растворы, добиваясь значительного упрочнения.

### 4) Упрочнение дисперсными частицами второй фазы

Дисперсные, т. е. очень мелкие, частицы имеют размеры порядка 100 нм. Более крупные частицы не являются таким эффективным препятствием для дислокаций.

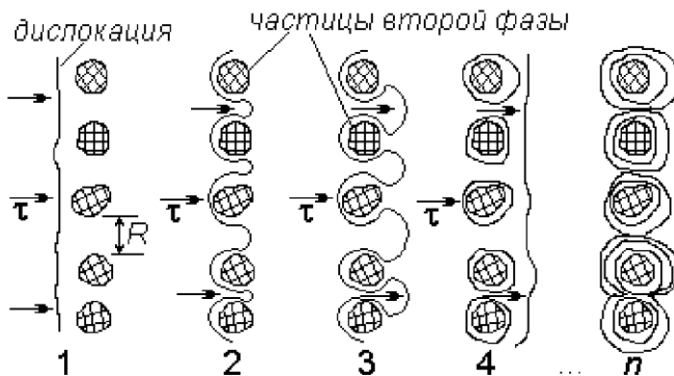


Рис. 3.5. Упрочнение дисперсными частицами второй фазы

Огибая мелкие частицы (рис. 3.5, 2), дислокации замыкаются вокруг них (3), при этом возникают дислокационные петли (4), или кольца. Прохождение множества дислокаций приводит к образованию так называемых колец Орована ( $n$ ). Дальнейшее скольжение дислокаций на этом участке затруднено.

Если частицы второй фазы не округлые, а игольчатые, то дислокации «наматываются» на них, как нитки на веретено.

Упрочнение дисперсными частицами зависит от расстояния между ними  $L$ :

$$\sigma_T = \sigma_0 + (G \cdot b)/L,$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргерса (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями).

По такому механизму упрочняются очень многие сплавы: дуралюмины, бронзы, сплавы титана, некоторые стали.

В большинстве современных высокопрочных материалов используются несколько способов упрочнения одновременно: твёрдый раствор и мелкие частицы химического соединения, твёрдый раствор с высокой плотностью дислокаций и т. п.

### Задания

- 1) Объясните следующие явления на основе представлений о дислокациях:
- а) холодная механическая обработка повышает твёрдость алюминия;
  - б) сплав, состоящий из 20 % цинка и 80 % меди, твёрже чистой меди;
  - в) твёрдость никеля возрастает при введении в него частиц окиси тория.
- 2) Необходимо получить сплав:
- а) с большим сопротивлением деформации, твёрдостью, прочностью, имеющий высокую долговечность и работоспособность при работе в условиях износа и значительных механических нагрузок;
  - б) с высокой пластичностью, низкими значениями твёрдости и сопротивления деформации, имеющий хорошую обрабатываемость резанием и давлением.
- Опишите структуру сплава, которая обеспечит требуемые свойства в обоих случаях.
- 3) Определить предел текучести и величину упрочнения металла после холодной пластической деформации, в результате которой плотность дислокаций увеличилась до  $10^{10} \text{ см}^{-2}$ .

Металл	$\sigma_0$ , МПа	$b$ , нм	$\alpha$	$G$ , ГПа
алюминий	40	0,404	0,3	27
железо	130	0,286	0,2	77

Связь между пределом текучести и плотностью дислокаций описывается уравнением

$$\sigma_T = \sigma_0 + \alpha \cdot G \cdot b \cdot \sqrt{\rho},$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от природы металла;  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргерса (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями).

4) Сплав железа с 0,8 % углерода имеет структуру твёрдого раствора с дисперсными частицами карбида железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ , очень твёрдыми и прочными. Определить предел текучести сплава, если расстояние между частицами  $\text{Fe}_3\text{C}$  составляет: а) 20 нм, б) 40 нм, в) 60 нм, г) 80 нм, д) 100 нм.

Считать, что дислокации проходят между частицами. Предел текучести зависит от расстояния между частицами следующим образом:

$$\sigma_T = \sigma_0 + (G \cdot b) / L,$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргерса (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями).

Металл	$\sigma_0$ , МПа	$b$ , нм	$G$ , ГПа
железо	130	0,286	77

Построить график зависимости  $\sigma_T = f(L)$  и проанализировать его.

5) Определить предел текучести железа с величиной зерна 100, 50, 30, 10 и 5 мкм, используя отношение Холла–Петча:

$$\sigma_T = \sigma_0 + k \cdot d^{1/2},$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения (130 МПа для железа);  $k$  – постоянная для данного металла (129 МПа·мм<sup>1/2</sup> для железа).



Построить график зависимости  $\sigma_T = f(d)$  и проанализировать его.

б) Сплав алюминия с 4 % меди имеет структуру твёрдого раствора с дисперсными частицами интерметаллического соединения  $\text{CuAl}_2$ , имеющими повышенную прочность. Определить предел текучести сплава, если расстояние между частицами  $\text{CuAl}_2$  составляет: а) 24 нм, б) 40 нм, в) 60 нм, г) 80 нм, д) 100 нм.

Считать, что дислокации проходят между частицами. Предел текучести зависит от расстояния между частицами следующим образом:

$$\sigma_T = \sigma_0 + (G \cdot b)/L,$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргера (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями).

Металл	$\sigma_0$ , МПа	$b$ , нм	$G$ , ГПа
алюминий	40	0,404	27

Построить график зависимости  $\sigma_T = f(L)$  и проанализировать его.

7) Определить напряжение сдвига  $\tau$ , необходимое, чтобы выгнуть линию дислокации в полуокружность между мелкими твердыми частицами, расположенными на расстоянии  $L$  друг от друга.

8) Предел текучести крупнозернистой латуни 20 МПа. При величине зерна 4 мкм – 120 МПа. Чем объясняется такое увеличение и чему равен коэффициент  $\beta$  для латуни? ( $\sigma_T = \beta \cdot d^{1/2}$ .)

9) Определить предел текучести и величину упрочнения металла после холодной пластической деформации, в результате которой плотность дислокаций увеличилась до  $10^{10} \text{ см}^{-2}$ .

Металл	$\sigma_0$ , МПа	$b$ , нм	$\alpha$	$G$ , ГПа
титан	450	0,296	0,4	44
никель	150	0,352	0,3	73

Связь между пределом текучести и плотностью дислокаций описывается уравнением

$$\sigma_T = \sigma_0 + \alpha \cdot G \cdot b \cdot \sqrt{\rho},$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от природы металла;  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргера (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями).

10) Два образца из одного и того же металла были пластически деформированы с уменьшением площади поперечного сечения. Один образец представляет собой цилиндр, а второй – прямоугольный параллелепипед; форма поперечного сечения в ходе деформации не изменилась. Исходные и конечные размеры образцов следующие:

	Цилиндрический (диаметр, мм)	Призматический (мм)
Исходные размеры	15,2	125? 175
Конечные размеры	11,4	75? 200

Какой из образцов приобрёл наибольшую твёрдость после деформации? Объясните ответ.

11) Недеформированный металл имеет средний размер зерна 40 мкм. Можно ли добиться уменьшения величины зерна до 10 мкм? Если да, то объясните, каким способом это можно сделать и какие процессы произойдут в структуре металла. Если нет – объясните, почему.

### 5.6. Вопросы к экзамену

1. Понятие о пространственной кристаллической решетке и элементарной ячейке.
2. Основные типы кристаллических решеток металлов (ОЦК, ГЦК, ГПУ).
3. Анизотропия свойств.
4. Квазиизотропия в поликристаллическом материале.
5. Классификация дефектов кристаллического строения (ДКС).
6. Точечные дефекты. Понятие о дислокации. Краевая, винтовая дислокации. Границы зерен.
7. Влияние ДКС на механические свойства металлов.
8. Упругая деформация. Основные механические характеристики металлов.
9. Пластическая деформация. Плоскости и направления скольжения в кристаллах.
10. Роль нормальных и касательных напряжений. Сдвиговая деформация как движение ДКС типа дислокаций.
11. Пластическая деформация поликристаллов. Структура и свойства деформированного металла.
12. Явление наклепа. Текстура деформации.
13. Два пути повышения прочности металлов (схема Одингга).
14. Термодинамическая неустойчивость деформированного металла.
15. Изменение структуры и свойств деформированного металла с повышением температуры. Возврат. Вакансионный отдых.
16. Полигонизация. Первичная рекристаллизация. Собираетельная рекристаллизация.
17. Факторы, влияющие на величину зерна рекристаллизованного металла.
18. Вторичная рекристаллизация. Текстура рекристаллизации.
19. Понятие о холодной, теплой и горячей пластической деформации.
20. Разрушение металлов. Хрупкое и вязкое разрушение. Схема А.Ф.Иоффе.
21. Испытания на ударную вязкость. Понятие о пороге хладноломкости металлов.
22. Полиморфизм железа. Критические точки железа. Взаимодействие железа с углеродом.
23. Фазы железоуглеродистых сплавов, их характеристика и свойства.
24. Процессы кристаллизации и формирования структуры сплавов с различным содержанием углерода (сталей и чугунов).
25. Классификация чугунов по форме графитных включений и строению металлической основы.

26. Серый, ковкий, высокопрочный чугуны; получение, свойства маркировка.
27. Углеродистые стали.
28. Критические точки сталей. Влияние углерода и постоянных примесей на структуру и свойства сталей.
29. Влияние легирующих элементов на полиморфизм железа.
30. Маркировка углеродистых сталей.
31. Маркировка легированных сталей.
32. Критические точки сталей. Превращение перлита в аустенит. Рост зерна аустенита при нагреве.
33. Влияние величины зерна на свойства стали. Превращения в стали при охлаждении.
34. Изотермический распад переохлажденного аустенита эвтектоидной стали. Три ступени превращения.
35. Перлитное (диффузионное) превращение по типу I ступени. Свойства перлита, троостита, сорбита.
36. Мартенситное превращение (III ступень). Свойства мартенсита.
37. Промежуточное (бейнитное) превращение. Механизм превращения. Строение и свойства продуктов распада.
38. Изотермический распад переохлажденного аустенита доэвтектоидных и заэвтектоидных углеродистых сталей.
39. Выбор температуры нагрева под закалку. Термические и структурные напряжения, возникающие при закалке и меры их ослабления.
40. Закаливаемость и прокаливаемость стали. Факторы, влияющие на прокаливаемость.
41. Влияние прокаливаемости на свойства стали.
42. Виды и назначение отпуска (низкотемпературный, среднетемпературный и высокотемпературный). Влияние отпуска на свойства стали.
43. Термомеханическая обработка стали, основные виды, влияние обработки на свойства сталей.
44. Поверхностная закалка (ТВЧ, при нагреве лазером).
45. Физические основы химико-термической обработки, свойства сталей после ХТО.
46. Назначение конструкционных сталей различного химического состава.
47. Низкоуглеродистые (цементуемые стали). Состав, термообработка, свойства. Среднеуглеродистые стали (улучшаемые) стали. Состав, термообработка, свойства.
48. Алюминиевые сплавы. Их классификация и применение.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ  
ОСНОВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА**

**21.05.04 Горное дело**

**специализация №3 «Открытые горные работы»**

(код, направление, профиль)

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА**

Шифр дисциплины по РУП	<b>Б1.Б.19</b>		
Дисциплина	<b>Материаловедение</b>		
Курс	<b>3</b>	семестр	<b>5, 6</b>
Кафедра	<b>горного дела, наук о Земле и природообустройства</b>		
Ф.И.О. преподавателя, звание, должность	<b>Бекетова Елена Борисовна, к.т.н., доцент</b>		
<b>кафедры горного дела, наук о Земле и природообустройства</b>			
Общ. трудоемкость <sub>час/ЗЕТ</sub>	<b>216/6</b>	Кол-во семестров	<b>2</b>
		СРС <sub>общ./тек. сем.м.</sub>	<b>197/197</b>
ЛК <sub>общ./тек. сем.</sub>	<b>4/4</b>	ПР/СМ <sub>общ./тек. сем.</sub>	<b>4/4</b>
		ЛБ <sub>общ./тек. сем.</sub>	<b>2/2</b>
		Форма контроля	<b>Экзамен</b>

**Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:**

– готовностью с естественнонаучных позиций оценивать строение, химический и минеральный состав земной коры, морфологические особенности и генетические типы месторождений твердых полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр (ОПК-4).
---

Код формируемой компетенции	Содержание задания	Количество мероприятий	Максимальное количество баллов	Срок предоставления
<i>Вводный блок</i>				
Не предусмотрен				
<i>Основной блок</i>				
ОПК-4	Устный опрос	7	14	В течение сессии
ОПК-4	Практическая работа	4	16	В течение сессии
ОПК-4	Выполнение и защита лабораторной работы	1	16	В течение сессии
ОПК-4	Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям	2	4	В течение сессии
ОПК-4	Контрольная работа	1	10	За месяц до начала сессии
<b>Всего:</b>			<b>60</b>	
ОПК-4	<b>Экзамен</b>		1 вопрос - 20 2 вопрос - 20	По расписанию
<b>Всего:</b>			<b>40</b>	
<b>Итого:</b>			<b>100</b>	
ОПК-4	Подготовка опорного конспекта		10	По согласованию с преподавателем
<b>Всего баллов по дополнительному блоку</b>			<b>10</b>	

Шкала оценивания в рамках балльно-рейтинговой системы МАГУ: «2» - 60 баллов и менее, «3» - 61-80 баллов, «4» - 81-90 баллов, «5» - 91-100 баллов.