

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора ЮТИ ТПУ по УР
_____ В.Л. Бибик
« _____ » _____ 2014 г.

Валуев Д.В.

МЕХАНИЗМЫ УПРОЧНЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Методические указания к выполнению практической работы
по дисциплине «Термическая обработка сталей и сплавов» для бакалав-
ров по направлению 22.03.02 «Металлургия»

Издательство
Юргинского технологического института (филиала)
Томского политехнического университета
2014

УДК 620.18: 669. 14. 018. 252

Механизмы упрочнения и сопротивление деформации металлов и сплавов: методические указания к выполнению практической работы по курсу «Термическая обработка сталей и сплавов» для бакалавров по направлению 150400 «Металлургия» очной формы обучения / Сост. Д.В. Валуев. – Юрга: Изд-во Юргинского технологического института (филиала) Томского политехнического университета, 2014. – 11с.

Рецензент

доктор технических наук, доцент

С.Б. Сапожков

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
МЧМ ЮТИ ТПУ
«__» _____ 2014 г.

Зав. кафедрой МЧМ

канд. тех. наук,

_____ А.А. Сапрыкин

Председатель

учебно-методической комиссии

_____ И.С. Сулимова

Рецензент

Кандидат технических наук,

доцент

С.Б. Сапожков

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, ЮТИ ТПУ, 2014

© Валуев Д.В., 2014

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучить механизмы торможения дислокаций при пластической деформации, упрочнения металла, усвоить различие в возможностях упрочнения монокристаллов и поликристаллического металла, сплавов.
2. Оценить эффективность отдельных механизмов упрочнения металлов и сплавов и освоить физические основы создания высокопрочных материалов, их упрочняющей обработки.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Основными дефектами кристаллического строения металла, значительно влияющими на основные его свойства, являются:

1. Точечные дефекты, к которым относятся вакансии (рис. 1) и атомы в междоузлии кристаллической решетки (рис.2).
2. Линейные дефекты, основными из которых являются дислокации. Среди них различают краевые (рис. 3), винтовые (рис. 4) и смешанные дислокации (рис.5).
3. Поверхностные дефекты (границы зерен, фрагментов, блоков), принципиально показанные на рис. 8.

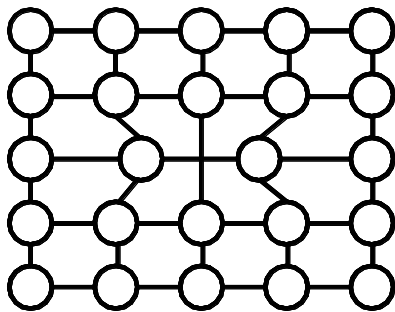


Рисунок 1

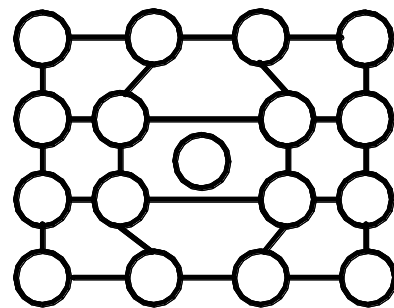


Рисунок 2

Важнейшими дефектами кристаллического строения являются дислокации, определяющие протекание пластической деформации в металле, его сопротивление деформации, прочность. В центре участка кристалла с дислокацией расположена экстраплоскость (АВ на рис. 3), которая перпендикулярна вектору сдвига (τ) у краевой дислокации (рис. 3) и параллельна ему у винтовой дислокации (рис. 4). Дислокации, ориентированные под произвольным углом к вектору сдвига (τ), называются смешанными (рис. 5). Если посмотреть в кристалле дислокационные

линии, то часто можно различить участки краевые, винтовые и смешанные (рис. 5).

В районе экстраплоскости всегда большие искажения кристаллической решетки, величина которых уменьшается по мере удаления от дислокации в кристалле.

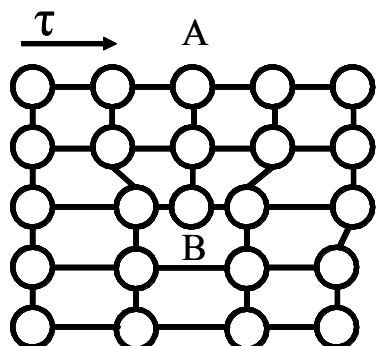


Рисунок 3.

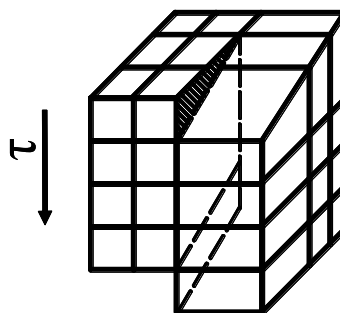


Рисунок 4.

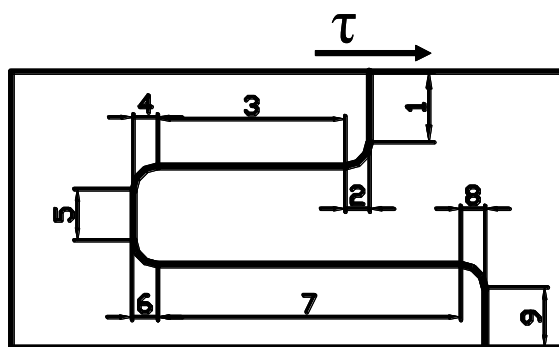


Рисунок 5: 1, 5, 9 – участки краевой дислокации; 3, 7 – участки винтовой дислокации; 2, 4, 6, 8 – участки смешанной дислокации

Для оценки степени искаженности кристаллической решетки от наличия дислокации, для характеристики положения в кристалле, ее энергии используется параметр, называемый вектором Бюргерса и обозначаемый B .

Если в кристалле с дислокацией сделать обход по некоторому контуру вокруг дефекта, а затем нанести такой же контур в идеальном кристалле, то отрезок, необходимый для того, чтобы замкнуть последний контур и будет являться вектором Бюргерса (рис. 6) (стрелками показано направление обхода, начиная от точки A и отрезок EA равен вектору Бюргерса B).

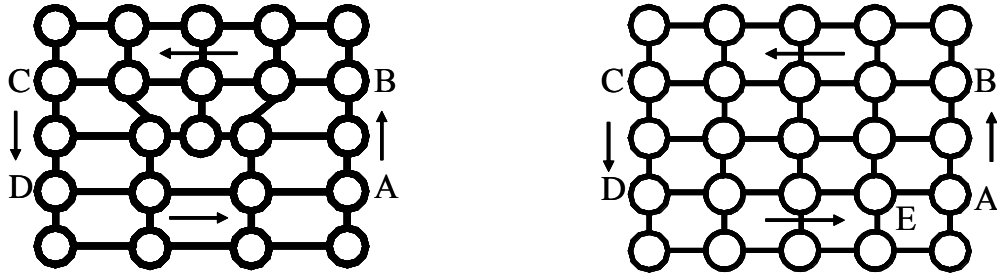


Рисунок 6.

Для количественной характеристики дислокационной структуры металла используется плотность дислокаций, обозначаемая буквой ρ . Плотность дислокаций – это суммарная длина дислокации в 1 см^3 металла. Измеряется она в $\text{см}/\text{см}^3$ или см^{-2} . Для реальных металлов

$$\rho = (10^6 \div 10^8) \text{ см}^{-2}$$

В сильно деформированном металле плотность может достигать значений до 10^{12} см^{-2} .

Пластическая деформация происходит в металле чаще всего путем движения дислокаций в определенных кристаллографических плоскостях под действием внешней нагрузки. Схематически этот механизм деформации показан на рисунке 7.

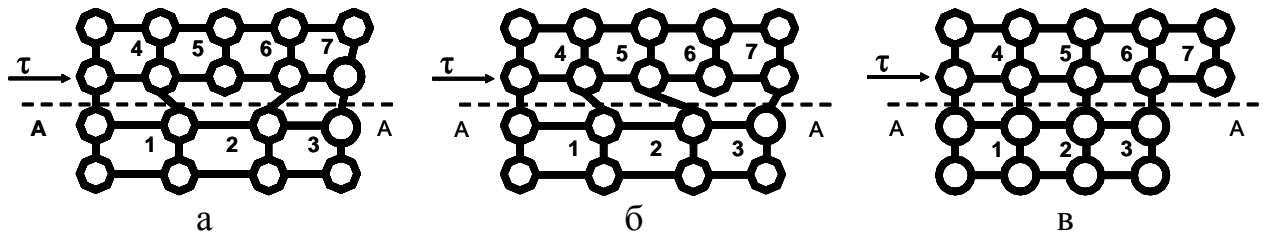


Рисунок 7.

При действии на кристалл внешнего напряжения τ (рис. 7) дислокация начинает перемещаться вдоль плоскости сдвига $A - A$. При этом она преодолевает последовательно силы межатомных связей $2 - 6$, $3 - 7$. Выход дислокации на край кристалла (положение на рис. 7, в) завершает элементарный акт пластической деформации сдвигом на одно межатомное расстояние. Если в данной плоскости сдвига ($A - A$) будут продолжать двигаться другие дислокации, которых в реальном металле всегда много, то величина ступеньки, сдвига (рис. 7, в) будет увеличиваться, деформация будет возрастать до тех пор, пока не произойдет разрушение металла (при достаточной величине внешнего напряжения τ). Из анализа рассмотренного механизма деформации следует, что сопротивление металла деформации, его прочностные характеристики бу-

дуг возрастать с увеличением силы межатомных связей в кристаллической решетке (которые приходится преодолевать движущимся дислокациям) и наличия препятствий, барьеров на пути дислокаций, их эффективности, т. е. все факторы, затрудняющие движение дислокаций, повышают сопротивление металла деформации, упрочняют его.

Основные механизмы торможения дислокаций и существующие расчетные формулы для оценки величины сопротивления металла деформации при действии конкретного механизма, определяемого структурой сплава, приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Механизм торможения дислокаций, упрочнения металла	Уравнение для оценки величины сопротивления металла деформации (τ , кг/мм ²)
1	Сопротивление кристаллической решетки движению дислокаций	$\tau_p \approx G \cdot e \cdot \frac{-2\pi d}{(1-\mu) \cdot B}$
2	Торможение дислокаций за счет увеличения их количества, дислокационных взаимодействий	$\tau_g = \tau_T + A \cdot G \cdot B \sqrt{\rho}$
3	Торможение дислокаций искажениями кристаллической решетки	Количественной зависимости нет. Увеличение сопротивления деформации может составлять до 20%
4	Торможение дислокаций дисперсными частицами: а) при перерезании дислокациями очень мелких частиц б) при прохождении дислокаций между частицами (когда расстояние между ними достаточное)	Напряжение, необходимое для движения дислокаций, определяется прочностью частиц $\tau_r = \frac{G \cdot d}{l}$

Принятые обозначения параметров в таблице 1:

G – модуль упругости при сдвиге;

B – вектор Бюргерса;
 μ – коэффициент Пуассона;
 τ_n – напряжение, необходимое для движения в металле дислокаций с обычной, нормальной плотностью дислокаций;
 A – коэффициент, равный $0,2 \div 0,6$;
 ρ – плотность дислокации;
 l – расстояние между частицами;
 d – величина зерна, фрагмента, блока, мм.

Значения модуля упругости при сдвиге и коэффициента Пуассона приведены в таблице 2.

Таблица 2

Материал	G , кг/мм ²	μ
Алюминий	2700	0,34
Медь	4700	0,34
Никель	7300	0,31
Серебро	2900	0,38

Продолжение таблицы 2

Материал	G , кг/мм ²	μ
Железо	8300	0,28
Олово	1810	0,33
Титан	4400	0,32
Карбид ванадия, VC	43000	0,30 – 0,35
Карбид вольфрама, WC	71000	0,30 – 0,35
Карбид кремния, SiC	37000	0,30 – 0,35
Ферробор, FeB	35000	0,30 – 0,35
Плексиглас	148	0,35

ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

- Оценить сопротивление деформации металлов и сплавов:
 - монокристаллы Al, Fe, WC;
 - монокристаллы Cu, Ni, VC;

- в) монокристаллы Ti, Sn, SiC;
 г) монокристаллы Ag, FeB, плексиглас.

Принять в уравнении

$$e \cdot \frac{-2\pi d}{(1-\mu) \cdot B} = 0,0015$$

Объяснить причину разного сопротивления деформации металлов, химических соединений (карбидов, боридов).

2. Определить сопротивление деформации и величину упрочнения металла после холодной пластической деформации, в результате которой плотность дислокаций увеличилась до 10^{10} см^{-2} .

- | | | | |
|---------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------|
| а) алюминий с | $\sigma_T = 4 \text{ кг/мм}^2$, | $B = 4,04 \text{ \AA}$, | $A = 0,3$; |
| б) титан с | $\sigma_T = 45 \text{ кг/мм}^2$, | $B = 2,96 \text{ \AA}$, | $A = 0,4$; |
| в) железо с | $\sigma_T = 12 \text{ кг/мм}^2$, | $B = 2,86 \text{ \AA}$, | $A = 0,2$; |
| г) никель с | $\sigma_T = 15 \text{ кг/мм}^2$, | $B = 3,52 \text{ \AA}$, | $A = 0,3$. |

Принять значение напряжения τ_n равным пределу текучести σ_T металла.

3. Сплав железа с 0,8 % углерода имеет структуру твердого раствора с дисперсными частицами карбида железа Fe_3C , имеющими высокую твердость и прочность.

Определить сопротивление деформации сплава, если расстояние между частицами составляет:

- а) 200 \AA , б) 400 \AA , в) 600 \AA , г) 800 \AA .

Считать, что при деформации сплава дислокации проходят между частицами. Принять для железа $(\tau_p + \tau_T)$ равным 12 кг/мм^2 , $d = 2,86 \text{ \AA}$.

Построить графическую зависимость сопротивления деформации сплава от расстояния между частицами и проанализировать ее с учетом того, что увеличение расстояния между частицами, как правило, связано с укрупнением их размеров.

4. Определить предел прочности при растяжении σ_B железа с величиной зерна 10,5; 2,5; 1 и 0,5 мм, используя следующую зависимость:

$$\sigma_B = 13 + 12,9 \cdot d^{1/2}, \text{ кг/мм}^2$$

Полученные данные представить графически в координатах и объяснить полученную закономерность.

5. Необходимо получить сплав:

а) имеющий высокие сопротивление деформации, твердость, прочность, обеспечивающие высокую долговечность и работоспособность деталей, инструмента при их работе в условиях интенсивного износа, действия больших механических нагрузок;

б) имеющий высокую пластичность, низкие значения твердости, сопротивления деформации, обеспечивающие хорошую обрабатываемость резанием, давлением, необходимую на стадии изготовления детали или изделия.

Укажите основные требования к структуре сплава, обеспечивающей необходимые свойства, основные задачи (с позиции изменения структуры) упрочняющей или смягчающей обработки.

При выполнении заданий №№ 1, 2, 3 необходимо в начале определить механизмы упрочнения данного металла или сплава. Это делается на основе анализа строения материала и оценки возможностей действия тех или иных механизмов торможения дислокаций.

После определения механизма (или механизмов) торможения дислокаций необходимо найти для него расчетную формулу, необходимые справочные данные и коэффициенты, а затем вычислить значение сопротивления деформации изучаемого материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990.
2. Новиков И. И. Дефекты кристаллического строения металлов. – М.: Металлургия, 1975.
3. Халл Д. Введение в дислокации. – М.: Атомиздат, 1968.

высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

Кафедра «Металлургия черных металлов»

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Практическая работа № __

Исполнитель
студент,
номер группы

(подпись) И.О. Фамилия
(дата)

Руководитель
(должность,
ученая степень)

(подпись) И.О. Фамилия
(дата)

Юрга 201__

Учебное издание

ВАЛУЕВ Денис Викторович

МЕХАНИЗМЫ УПРОЧНЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Методические указания к выполнению практической работы
по дисциплине «Термическая обработка сталей и сплавов» для бакалав-
ров по направлению 22.03.02 «Металлургия»

Печатается в редакции автора-составителя

**Отпечатано в издательстве ЮТИ ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 10.11.2014г.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Плоская печать. Усл. печ. л. 0,70. Уч-изд. л. 0,63.
Тираж 20 экз. Заказ . Цена свободная.
ИПЛ ЮТИ ТПУ. Ризограф ЮТИ ТПУ.
652000, Юрга, ул. Московская, 17.