

Лабораторная  
работа №3



# Лабораторная работа №3

Автор: доц. Глушкова Д.Б.  
Lab 3\_1M\_TKMIM\_GDB\_13.02.15

# ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Цель работы - экспериментально определить влияние холодной пластической деформации на структуру и свойства металлов и сплавов, изучить изменение микроструктуры и свойств холоднодеформированного металла в процессе последующего нагрева.

## Приборы и материалы:

1. Цилиндрические образцы стали 10 в отожжённом состоянии.
2. Гидравлический пресс.
3. Штангенциркуль.
4. Твердомер Роквелла.
5. Металлографический микроскоп.
6. Лабораторные электропечи.
7. Микрошлифы образцов стали 10 в отожжённом, деформированном состоянии и после нагрева.

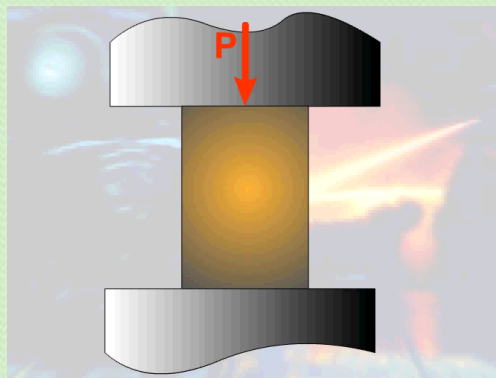




# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Деформация** - это изменение размеров и формы твердого тела под воздействием внешних сил или в результате разных физико-механических процессов, которые происходят в самом теле (аллотропическое превращение, перепад температур, разность объемов отдельных фаз сплава и т. д.).

Различают **упругую** и **пластическую деформацию**. **Упругая деформация** **исчезает** **после снятия нагрузки** и не вызывает заметных остаточных изменений в структуре и свойствах металла.



Упругая деформация

**Пластическая деформация** **после снятия нагрузки остаётся** и приводит к изменениям структуры металла, следовательно, и его свойств.

**В процессе эксплуатации оборудования все его детали под действием внешних нагрузок изменяют свои первоначальные размеры и форму. При небольших нагрузках величина остаточной деформации пренебрежительно мала.**

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

С увеличением нагрузок растут и остаточные деформации. Для каждого элемента конструкции и каждой детали существуют предельные нагрузки, выше которых остаточная деформация становится очень существенной – деталь необратимо изменит свои размеры и форму. **Таких нагрузок допускать нельзя.**

**Упругая деформация** – исчезающая после снятия нагрузки. Способность материала полностью восстанавливать свои размеры и форму называется **упругостью.**



Упруго деформируются в процессе эксплуатации **пружины, рессоры, торсионные валы.**



**Детали подвески, работающие в условиях упругих деформаций, подвержены вибрациям.**



# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Пластическая деформация – остаточная и происходит за счет необратимого перемещения атомов на значительные расстояния от исходных положений равновесия. Способность металлов пластически деформироваться называется **пластичностью**.

Способность к пластической деформации – **важнейшее свойство металлов и сплавов**. Пластичность лежит в основе всех методов обработки металлов давлением (прокатка, волочение, штамповка, ковка).



Пластичность обеспечивает конструкционную прочность **деталей под нагрузкой** и нейтрализует влияние концентраторов напряжений

Пластическая деформация в кристаллах осуществляется путем сдвига одной его части относительно другой под действием касательных напряжений.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Сдвиг происходит скольжением по плоскостям с максимальной плотностью атомов. В идеальном кристалле, чтобы сместить его части относительно друг друга нужно разорвать все межатомные связи.

Для этого нужны очень большие усилия, которые определяют теоретическую прочность. В реальном кристалле для этого нужны усилия в 1000 раз меньше. Дислокации значительно облегчают сдвиг плоскостей.

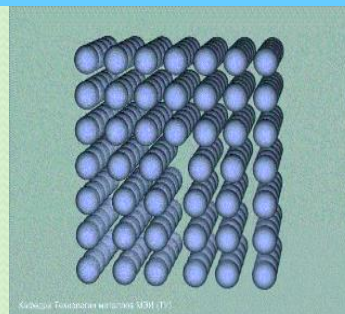


Схема краевой дислокации в идеальном кристалле

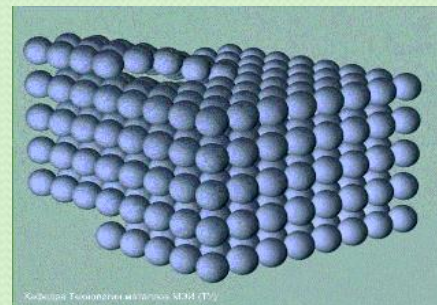


Схема винтовой дислокации

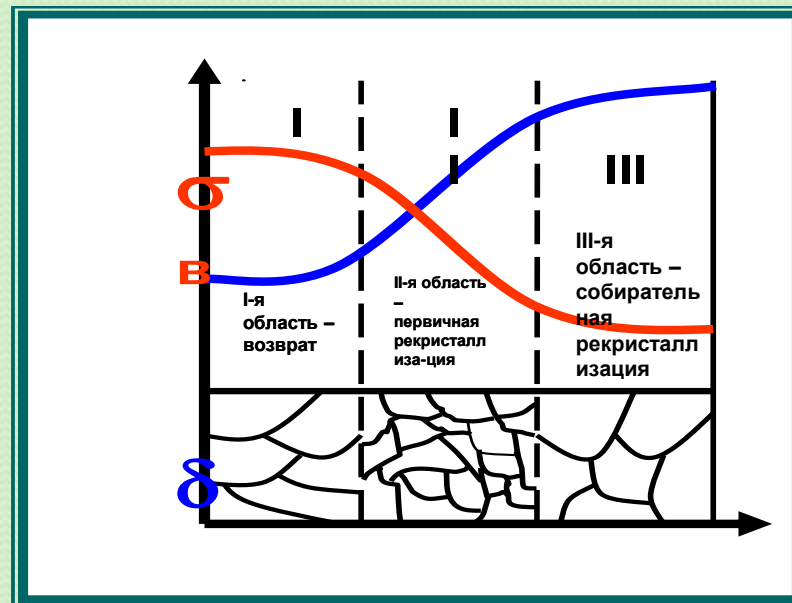
Под влиянием действующего напряжения экстраплоскость легко перемещается на одно межатомное расстояние пока не выйдет на поверхность кристалла. Как следствие – верхняя его часть сдвинется относительно нижней - то есть произойдет пластическая деформация.



# ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛА

При холодной пластической деформации плотность дислокаций повышается до  $10^{11}...10^{12}$  (до деформации она была в пределах  $10^6...10^8$ ). При увеличении плотности дислокации становятся малоподвижными, что приводит к упрочнению металла и снижению его пластичности.

С повышением степени деформации прочность ( $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0,2}$ ) и твердость (НВ) металла повышаются,

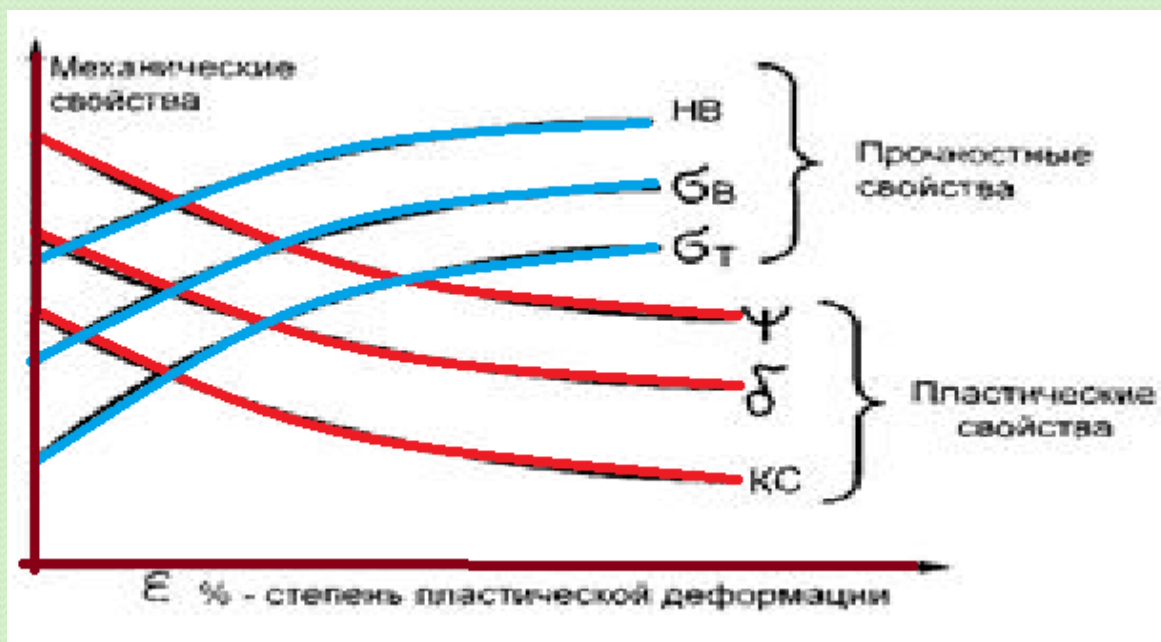


но в то же время характеристики пластичности ( $\delta$ ,  $\psi$ ) и ударная вязкость (КСУ) уменьшаются.

Упрочнение металла под воздействием холодной пластической деформации называется наклёпом или нагартовкой. Это явление называют еще деформационным упрочнением.

# ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛА

Пластическая деформация не только искажает кристаллическую решетку, но и изменяет микроструктуру - **приводит к повороту всех зерен и их ориентации** в направлении максимальной деформации.



Изменение механических свойств в зависимости от степени деформации

После деформации 90-95% все зерна ориентированы в направлении течения металла (так ориентированы плоскости легкого скольжения во всех зернах).



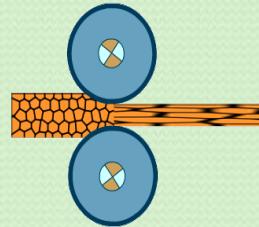
# ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛА

Закономерная ориентация плоскостей кристаллической решетки в разных зернах под воздействием пластической деформации называется **текстурой деформации**.

Схема изменения микроструктуры металла при холодной деформации



Исходная структура металла



Холодная деформация - это деформация, которая происходит ниже температуры рекристаллизации.



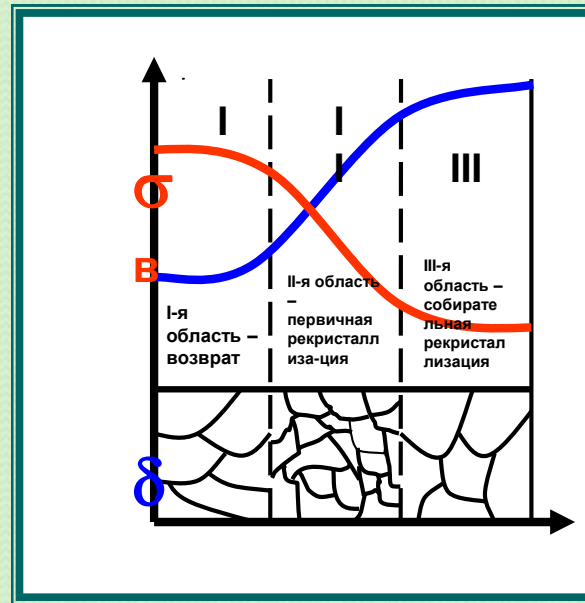
Структура после деформации текстура

**Текстура** приводит к **анизотропии свойств**, т.е. зависимости их от направления. В металле с произвольной ориентацией зерен (до деформации) свойства одинаковые во всех направлениях (**изотропия**).

# ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОГО МЕТАЛЛА

В наклепанном металле резко уменьшается способность к пластической деформации и дальнейшая обработка давлением становится практически невозможной.

Для восстановления пластичного состояния (снятия наклепа) холоднодеформированный металл необходимо нагреть, чтобы увеличить подвижность атомов.



В зависимости от температуры нагрева в наклепанном металле происходят различные структурные превращения.

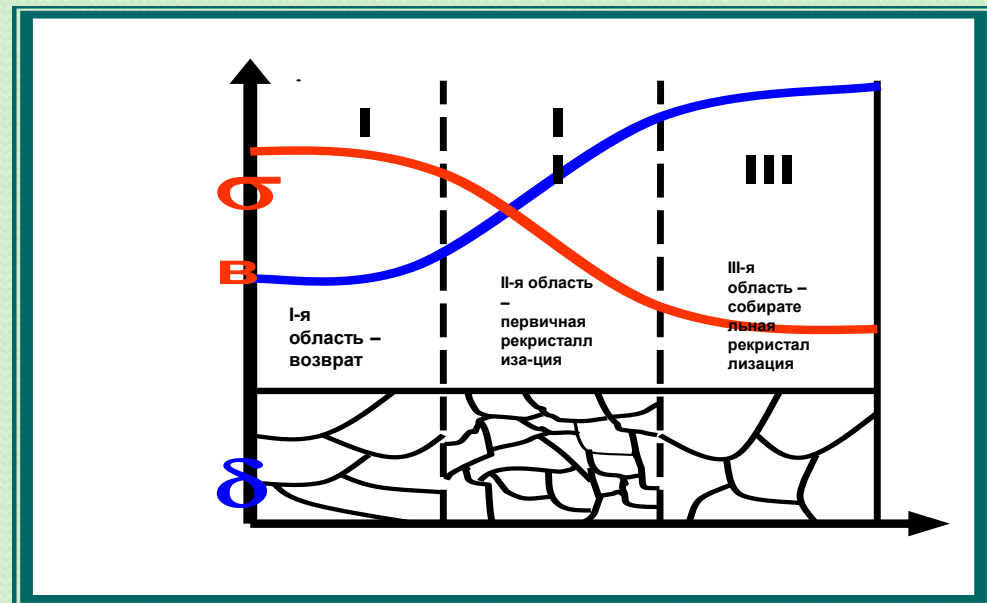
Основные процессы – возврат и рекристаллизация. Они приводят к снижению запасенной во время деформации энергии, перераспределению или уменьшению плотности дислокаций, т.е. к переходу из неравновесного в равновесное состояние.



# ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОГО МЕТАЛЛА

При нагревании до температур (ниже  $0,2...0,3 T_{пл}$ ) начинается процесс возврата. Под возвратом понимают повышение структурного совершенства деформированного металла за счет уменьшения концентрации точечных дефектов и перераспределения дислокаций.

При этом в структуре сохраняются деформированные зерна (без зарождения новых) и высокая плотность дислокаций.

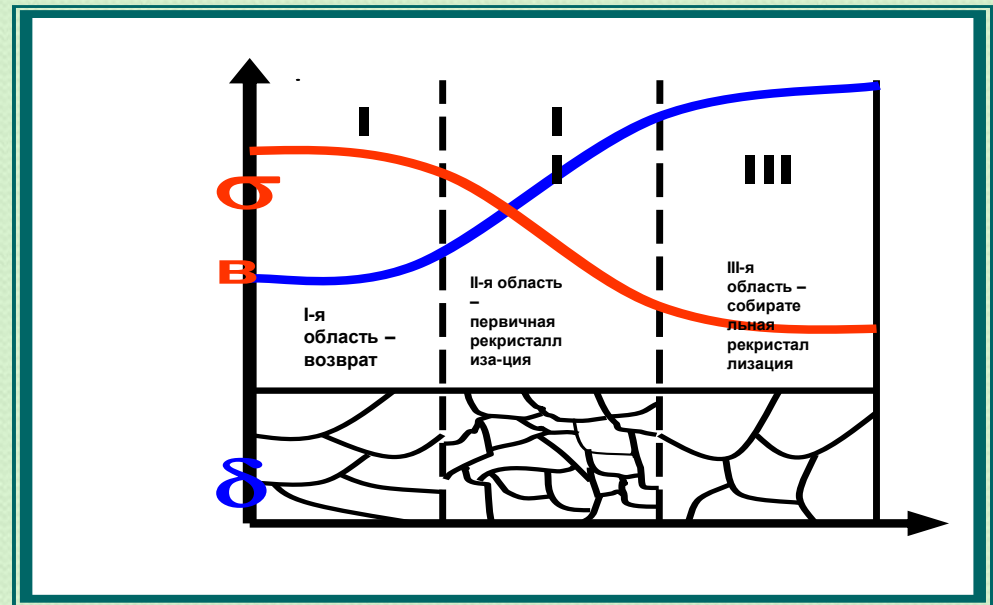


Вследствие этого механические свойства (прочность, твердость, пластичность, ударная вязкость) практически не изменяются. Последующее повышение температуры нагрева (увеличивает подвижность атомов, что приводит к существенным изменениям как структуры, так и свойств металла.

# ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОГО МЕТАЛЛА

При достижении определенной температуры ( $T_p$ ) начинаются процессы первичной рекристаллизации - это зарождение и рост новых, равновесных зерен внутри деформированных. Уменьшается плотность дислокаций с  $10^{11}...10^{12}$  до  $10^6...10^8$  см<sup>-2</sup> и полностью снимаются внутренние напряжения.

Эти структурные изменения приводят к снижению прочности и твердости и значительному повышению пластичности и ударной вязкости. Наклеп снимается, что обусловлено уменьшением плотности дислокаций.



Температура  $T_p$ , при которой происходит первичная рекристаллизация и, как следствие, упрочнение металла и приближение всех свойств к исходным значениям (до деформации), называется температурой начала рекристаллизации.



# ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОГО МЕТАЛЛА

Температура  $T_p$ , при которой происходит **первичная рекристаллизация** и, как следствие, упрочнение металла и приближение всех свойств к исходным значениям (до деформации), называется **температурой начала рекристаллизации**.



$$T_p = a \cdot T_{пл} \text{ (K)},$$

где  $a$  - коэффициент, который зависит от химического состава сплава;

$T_{пл}$  ~ абсолютная температура, К.

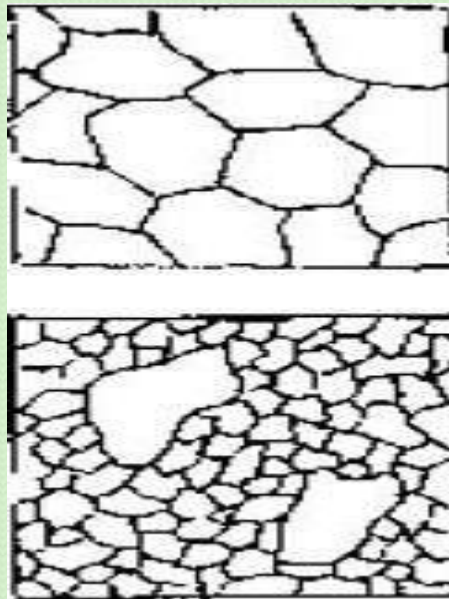
Чем выше чистота металла, тем ниже температура рекристаллизации. Для большинства технических сплавов  $a = 0,4$ ; для очень чистых металлов  $a = 0,2$ .

Так у алюминия, особенно высокой чистоты (99,999%) температура рекристаллизации  $20^\circ \text{C}$ , у технического алюминия (99,9 %) -  $100^\circ \text{C}$ . Для сложных по химическому составу и структуре сплавов  $a = 0,8$ .

# ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОГО МЕТАЛЛА

Температура рекристаллизации зависит от степени деформации и скорости нагрева. Чем меньше степень наклёпа и больше скорость нагревания деформированного металла, тем выше температура рекристаллизации.

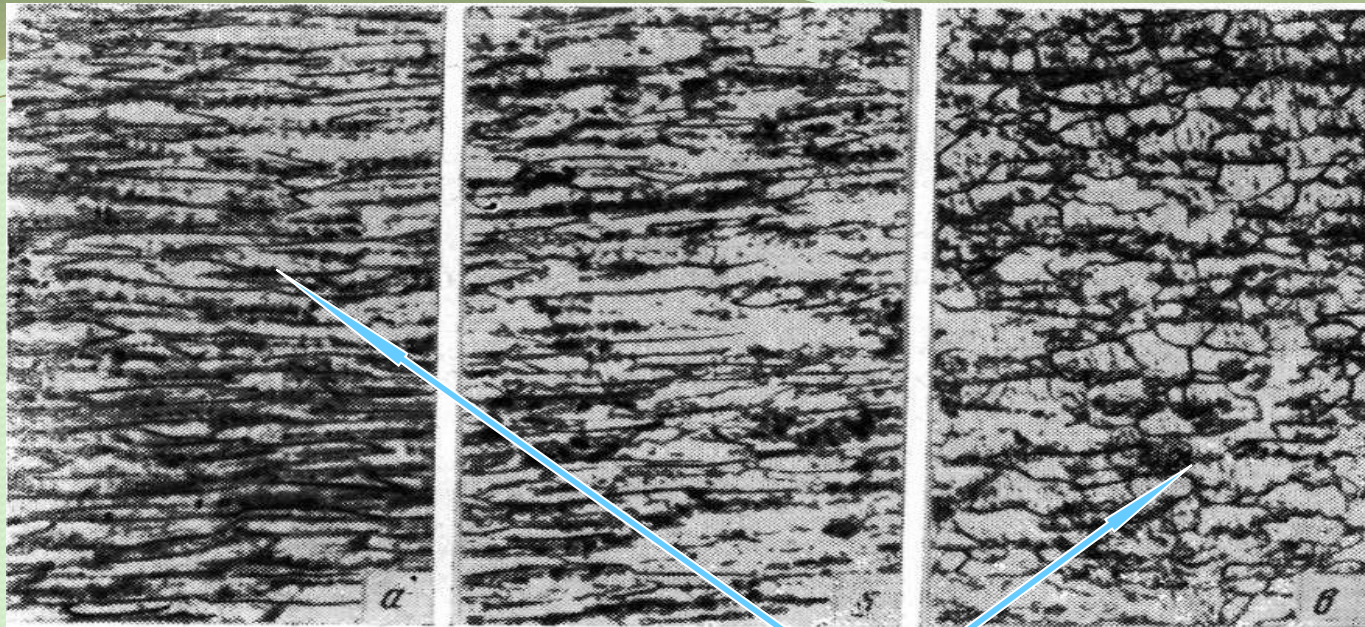
После завершения первичной рекристаллизации при последующем повышении температуры происходит рост мелких зерен, поглощение одних зерен другими и их объединение в более крупные.



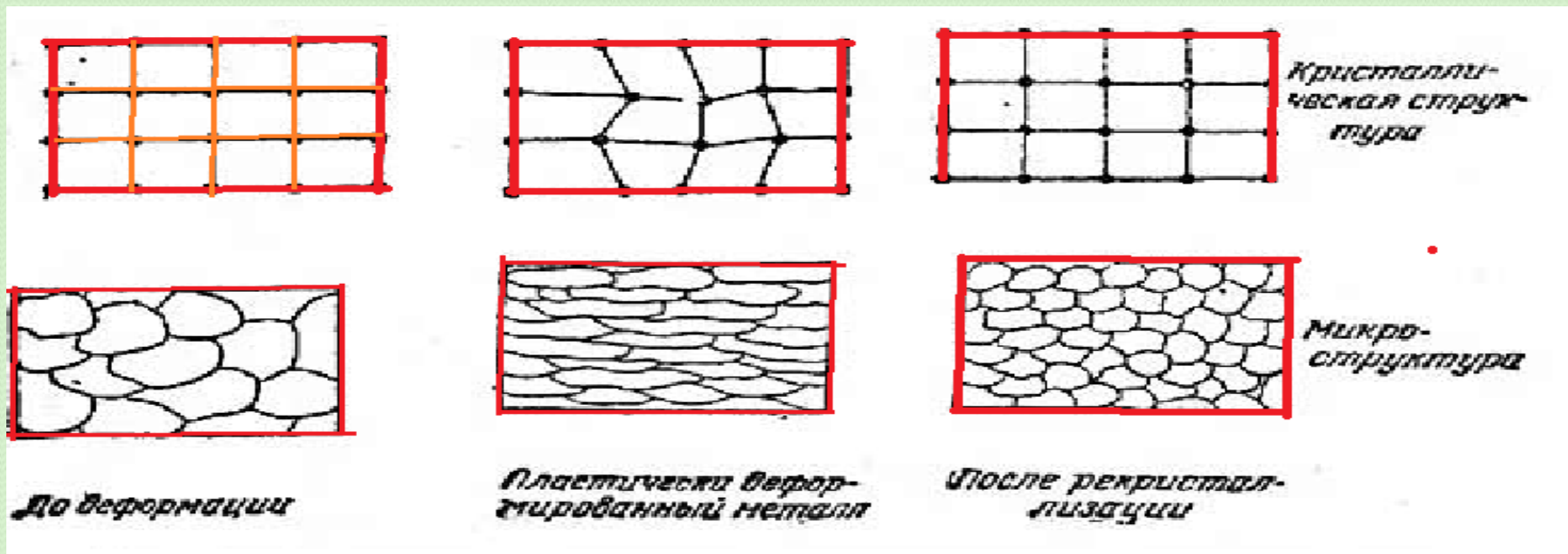
Рост одних зерен за счет других называется собирательной рекристаллизацией. Зерна укрупняются примерно с одинаковой скоростью и структура сохраняется равнозернистой.

На свойства металла она не влияет. Металл просто стремится к состоянию с меньшей свободной энергией. С повышением температуры рост зерен ускоряется, и они становятся все крупнее. Нагрев до очень высоких температур приводит к перегреву металлу, его охрупчиванию и свойства резко понижаются.





Микроструктура стали после холодной пластической деформации и после рекристаллизации





# РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫЙ ОТЖИГ

Для снятия наклепа применяют специальную термическую обработку – рекристаллизационный отжиг.

Температура  $t_{po} = t_p + (100...150)^\circ\text{C}$ . После необходимой выдержки металл охлаждают на воздухе.

Режим рекристаллизации существенно влияет на свойства. Заниженная температура отжига может не обеспечить полного возврата свойств до исходного недеформи-рованного состояния.



Завышенная - приведет к росту зерна и охрупчиванию метал-ла. Рекристаллизационный отжиг может быть как промежу-точной, так и окончательной операцией.

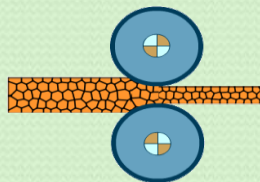


# ГОРЯЧАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ

Различают холодную (**ХПД**) и горячую (**ГПД**) пластическую деформацию. Деформация при температуре ниже температуры рекристаллизации  $t_p$  является холодной и приводит к упрочнению (наклёпу) металла.

Горячая деформация осуществляется при температуре выше температуры рекристаллизации, и поэтому упрочнение металла не происходит.

Схема изменения микроструктуры металла при горячей деформации



Горячая деформация - это деформация, которая происходит выше температуры рекристаллизации.



В горячедеформированном металле образуется волокнистая структура – результат вытянувшихся в строчку неметаллических включений, раздробленных дендритов, ликвационных зон.

Волокнистая структура вызывает **анизотропию свойств** и неправильное расположение волокна относительно внешней нагрузки может привести к разрушению

# ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Изучить микроструктуру стали 10 до деформации в отожжённом состоянии.
- 2) Измерить твердость и определить высоту стальных образцов до деформации.
- 3) Подвергнуть деформации образцы стали при усилиях 50, 75 и 100 кН. Каждая группа студентов деформирует образцы при одном усилии.
- 4) Измерить твердость и определить высоту образцов после деформации с определенным усилием.
- 5) Определить степень пластической деформации образцов  $\varepsilon$  по относительному изменению их высоты:

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} 100\%$$

где  $h_0$  – высота образца до деформации;  
 $h$  - высота образца после деформации.



# ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 6) Изучить микроструктуру образцов стали 10 после деформации с разными степенями, обратить внимание на образование текстуры деформации. .
- 7) Стальные образцы, деформированные при максимальном усилии (100кН), загрузить в печи с температурами 200, 500 и 700 °С, выдержать при этих температурах на протяжении одного и того же времени (время выдержки в печи выбирают в зависимости от сечения образца), охладить в воздухе.
- 8) Измерить твердость образцов после термической обработки.
- 9) Изучить микроструктуру деформированной стали после нагрева до 200, 500 и 700°С, обратить внимание на развитие рекристаллизационных процессов.
- 10) Определить теоретическую температуру рекристаллизации стали 10 по формуле:  $T_p = a \cdot T_{пл} (K)$ ,

# ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

11) Сравнить теоретическую температуру рекристаллизации с температурой, определенной в результате изучения микроструктуры и свойств образцов, которые исследовались.

12) Оформить отчет о лабораторной работе.



# ОТЧЁТ О РАБОТЕ

Отчет о работе должен включать:

- 1) Цель работы.
- 2) Краткое изложение теоретических основ работы.
- 3) Результаты измерения твердости медных и стальных образцов до деформации, после деформации с разными степенями, после последующего нагрева до определённых температур, которые нужно записать в табл. 1.
- 4) График изменения твердости стали в зависимости от степени холодной пластической деформации  $HRB = f(\varepsilon)$ .
- 5) График изменения твердости деформированной стали в зависимости от температуры нагрева  $HRB = f(t)$  и определение температуры рекристаллизации.
- 6) Схематическое изображение структуры стали до деформации, после деформации, после рекристаллизации.

Твёрдость стали 10 до деформации, после деформации, и после последующего нагрева до разных температур

Усилие деформации $P$ , кН	Степень деформации $\varepsilon$ , %	Твёрдость HRB				
		До деформации	После деформации	После деформации и нагрева до °С		
				200	500	700
50						
75						
100						



# КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Что такое деформация?
- 2) Какие существуют виды деформации?
- 3) Какой механизм пластической деформации в реальных металлах?
- 4) К каким изменениям в структуре металлов приводит пластическая деформация?
- 5) Что представляет собой текстура деформации и от каких факторов она зависит?
- 6) Что такое наклёп, чем он обусловлен?
- 7) Как изменяются механические свойства металла при увеличении степени холодной пластической деформации?
- 8) Что такое анизотропия и какое ее практическое значение?
- 9) Каким образом можно снять наклёп?
- 10) Какие изменения в микроструктуре металла происходят на стадии возврата и как они влияют на свойства?
- 11) Как изменяется микроструктура и свойства металла в результате первичной рекристаллизации?
- 12) Что такое температура рекристаллизации и как ее определить?
- 13) Какая пластическая деформация является холодной, а какая - горячей?
- 14) Что представляет собой собирательная рекристаллизация?
- 15) Как осуществить рекристаллизационный отжиг и какова его цель?

# ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

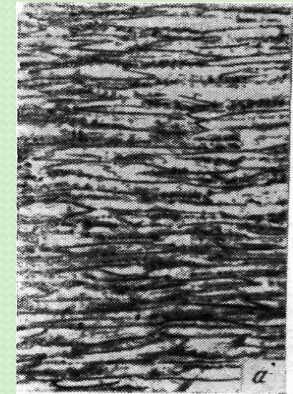
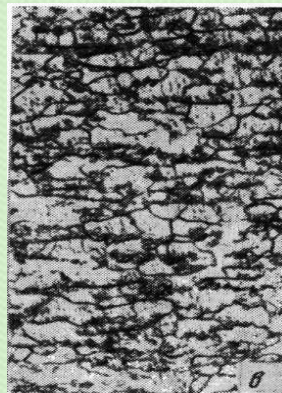
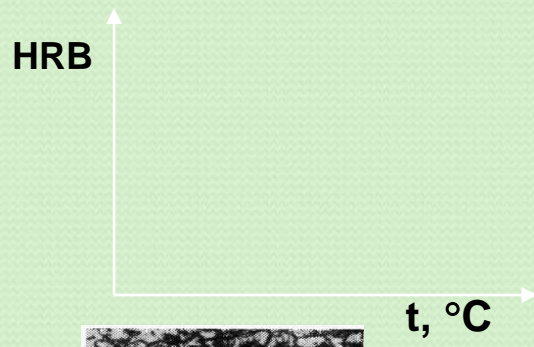
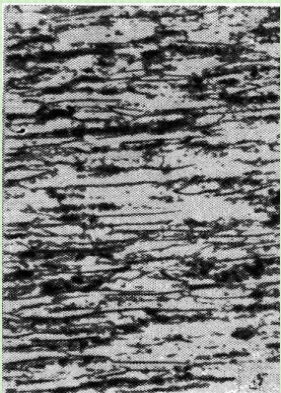
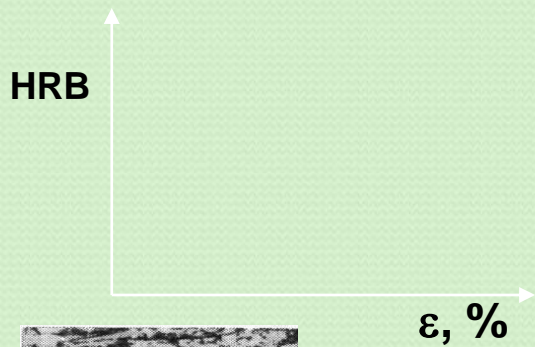
- 1) Изучить оборудование, которое используют для проведения холодной и горячей пластической деформации.
- 2) Ознакомиться с сущностью горячей пластической деформации.
- 3) Изучить влияние собирательной рекристаллизации на свойства конструкционных материалов.
- 4) Изучить влияние рекристаллизационного отжига на свойства деформированной стали.



# ПРОТОКОЛ

к лабораторной работе №4 «Влияние холодной пластической деформации и последующего нагрева на структуру и свойства металлов и сплавов».

Усилие деформации $P$ , кН	Степень деформации $\varepsilon$ , %	Твёрдость HRB				
		До деформации	После деформации	После деформации и нагрева до $^{\circ}\text{C}$		
				200	500	700
50						
75						
100						



Выводы:

- 1)
- 2)

Выполнил: ст. гр. \_\_\_\_\_

Принял: \_\_\_\_\_

# Литература

Гладкий И.П. Технология конструкционных материалов и материаловедение /И.П. Гладкий,В.И.Мощенок,В.П.Тарабанова - Х.:ХНАДУ,2014.-576с.

Лахтин Ю.М. Материаловедение: учебн. для машиностроительных вузов/Ю.М.Лахтин,В.П.Леонтьева.-М.:Машиностроение,1990.-528с.

<http://dl.khadi.kharkiv.edu/course/view>.    Логин: glushkova639





# Кафедра технології металлов и матеріалознавства

**Автор: доц. Глушкова Д.Б.  
Lab 3\_1M\_TKMIM\_GDB\_13.02.15**