



«ТКМ и материаловедение»

Лабораторная работа № 4

Влияние холодной пластической деформации и последующего нагрева на структуру и свойства металлов

Блок 4 тема 11

Доцент Дощечкина И.В.

Доцент Костина Л. Л.

Lab_4_1A_TKMiM_KLL-02-04-2015.ppt

(Использованы материалы электронного учебника МАДИ и электронного ресурса www.google.com.ua/search)

Лабораторная работа № 3

Влияние холодной пластической деформации и последующего нагрева на структуру и свойства металлов и сплавов.

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:

Цилиндрические образцы стали 10 в отожжённом состоянии.
Гидравлический пресс.



Штангенциркуль.

Металлографический микроскоп.



Твердомер Роквелла.



Микрошлифы образцов стали 10 в отожжённом, деформированном в процессе последующего 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.

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.

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**.

Упругие деформации происходят за счет обратимого смещения атомов от положений равновесия, которые после снятия нагрузки возвращаются на свои места.

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



видео упругая деформация avi



Различные пружины



Рессоры



Торсионный вал

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



Подвеска

Пластическая деформация – остаточная и происходит за счет необратимого перемещения атомов на значительные расстояния от исходных положений равновесия

Способность металлов пластически деформироваться называется **пластичностью**.



видео пласт деформ.avi

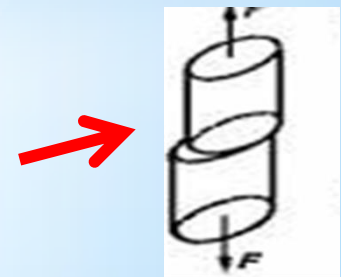


Штампованный шатун и кованный распределвал.

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

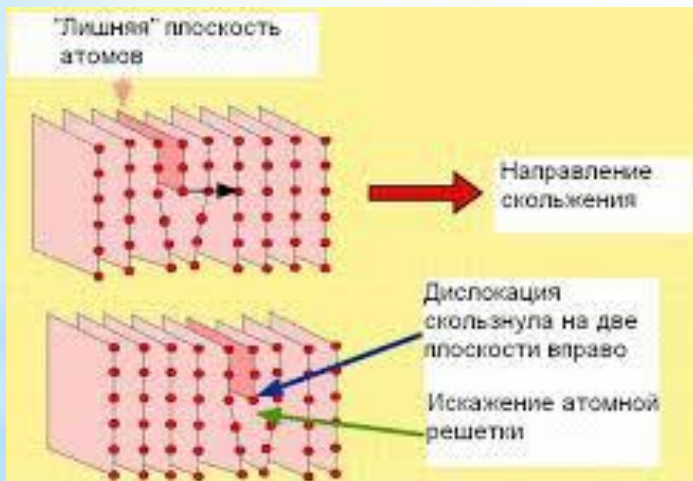
Пластичность обеспечивает конструкционную прочность **деталей под нагрузкой** и нейтрализует влияние концентраторов напряжений.

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

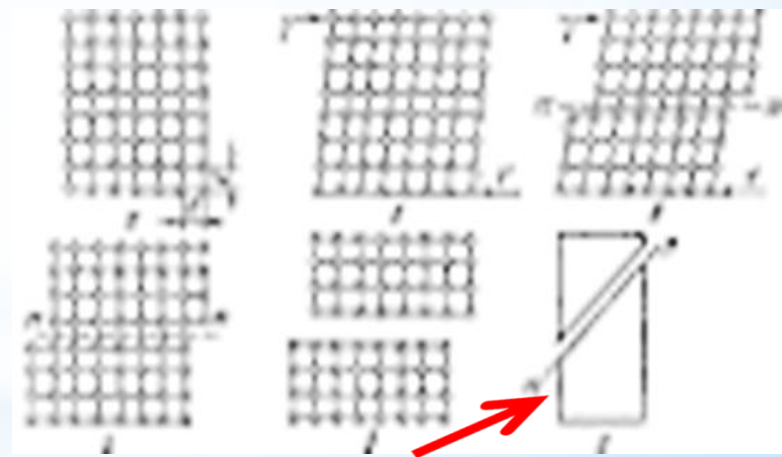


Сдвиг происходит скольжением по плоскостям с максимальной плотностью атомов. В идеальном кристалле, чтобы сместить его части относительно друг друга нужно разорвать все межатомные связи. Для этого нужны очень большие усилия, которые определяют **теоретическую прочность**. В **реальном кристалле** для этого нужны **усилия в 1000 раз меньше**.

Дислокации значительно облегчают сдвиг плоскостей. 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.



Скольжение дислокации

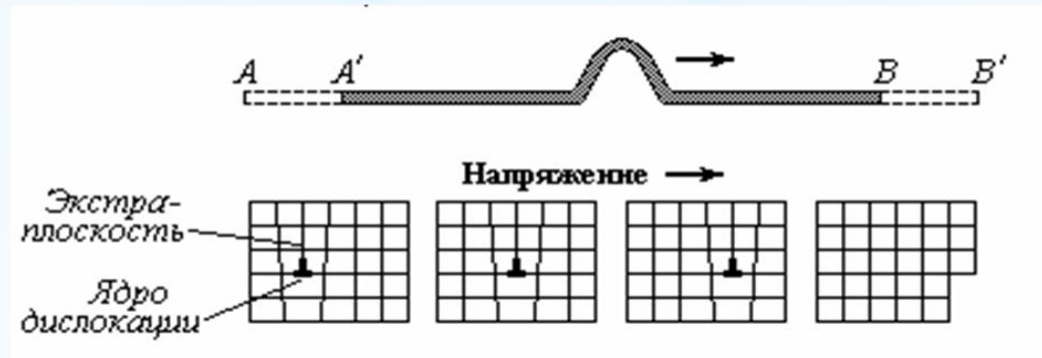


Пластическая деформация

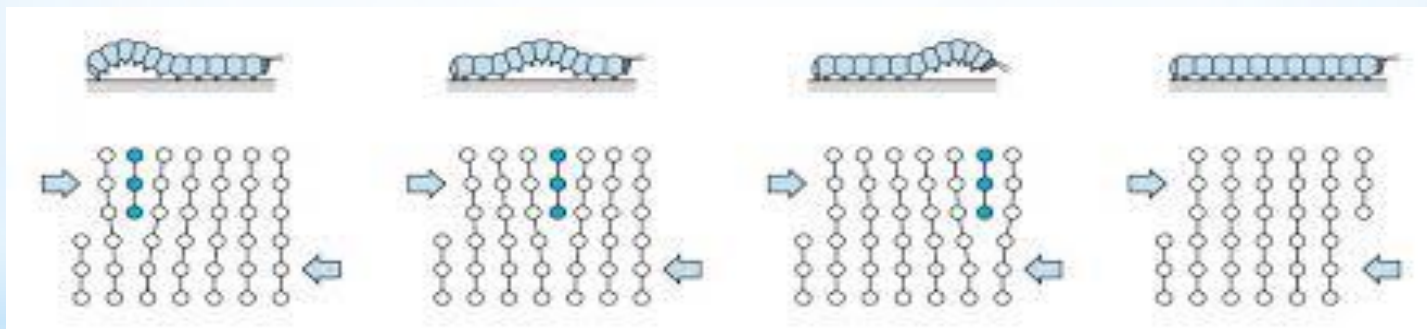
В реальном металле пластическая деформация – это результат движения дислокаций!

Схемы пластической деформации

Складка ковра (а) и перемещение гусеницы (б) – модели скольжения дислокации.

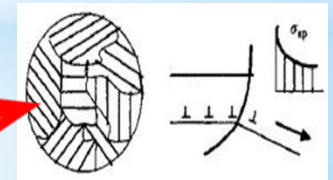


а



б

Переход дислокации в другую плоскость затруднен из-за препятствий на пути ее перемещения (границы зерен, примесные атомы и др.) Дислокация не сразу «переваливает» через барьер, а поэтапно, образуя перегибы («языки»).

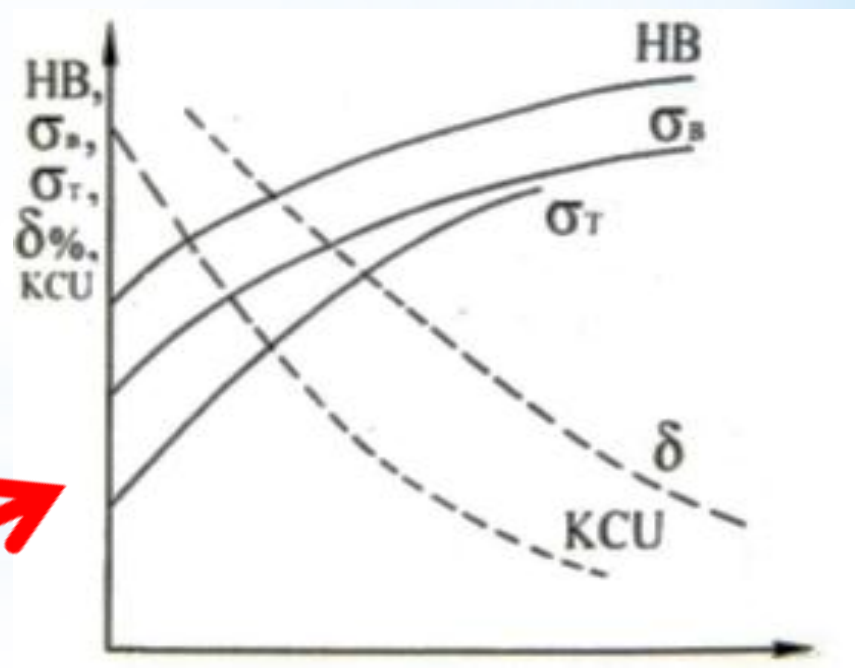


Влияние холодной пластической деформации на структуру и свойства металла

При холодной пластической деформации плотность дислокаций повышается до $10^{11} \dots 10^{12}$ (до деформации она была в пределах $10^6 \dots 10^8$). 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 **твёрдость** (НВ) металла **повышаются**, но в то же время **характеристики пластичности** (δ, ψ) и **ударная вязкость** (КСУ) **уменьшаются**.

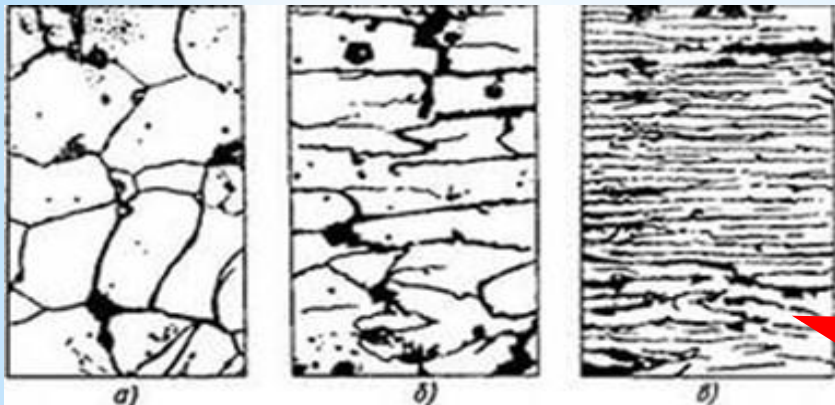
Упрочнение металла под воздействием холодной пластической деформации называется **наклёпом** или **нагартовкой**.



Это явление называют еще **деформационным упрочнением**.

$\epsilon, \%$

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



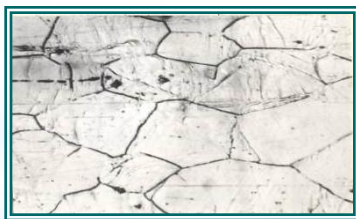
а – до деформации;
б – после **обжатия на 35%**;
в – после **обжатия на 90%**.

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



видео холод деформац.avi

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



До деформации.



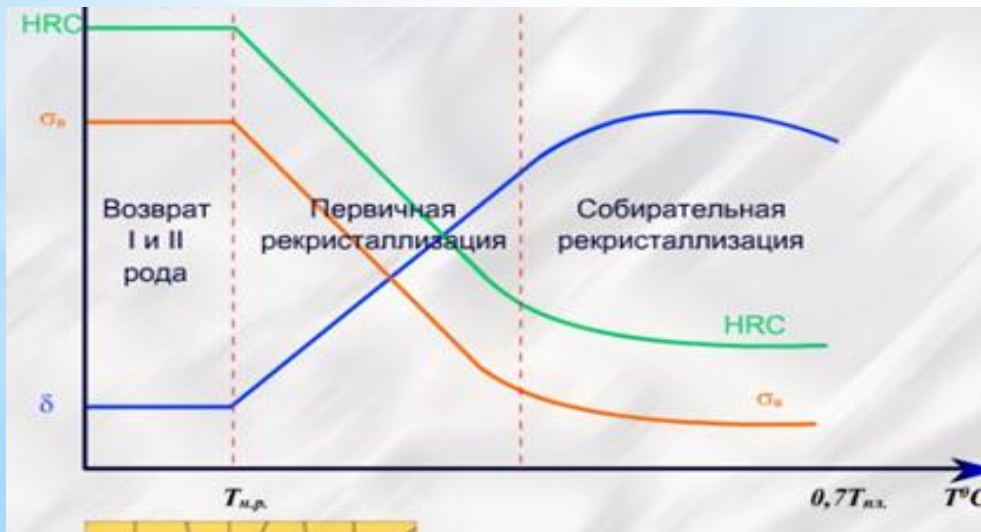
Текстура после деформации

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**.

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.

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 $10^6...10^8 \text{ см}^{-2}$ 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**.

Эта температура определяется по формуле:

$$T_p = a \cdot T_{пл} \text{ (K)},$$

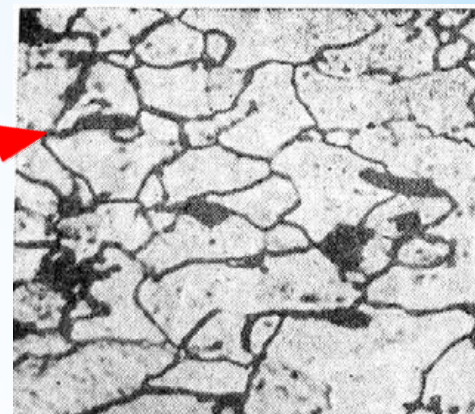
где a - коэффициент, зависящий от химического состава сплава;

$T_{пл}$ ~ абсолютная температура, К.

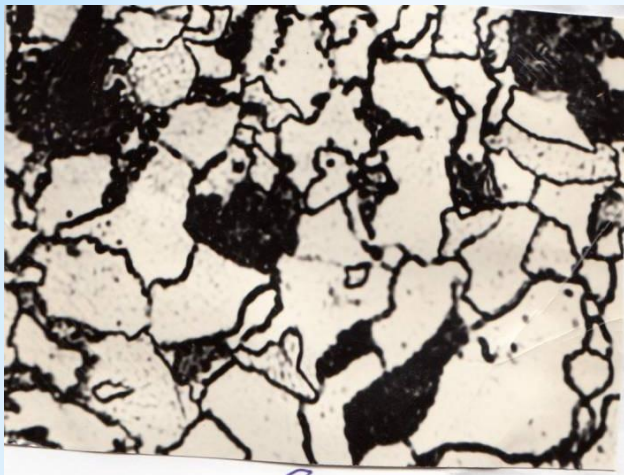
Чем **выше чистота металла**, тем **ниже температура рекристаллизации**. Для большинства технических сплавов $a = 0,4$; для очень чистых металлов $a = 0,2$. Так у алюминия, особенно высокой чистоты (99,999%) температура рекристаллизации 20°C , у технического алюминия (99,9 %) - 100°C . Для сложных по химическому составу и структуре сплавов $a = 0,8$.

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.



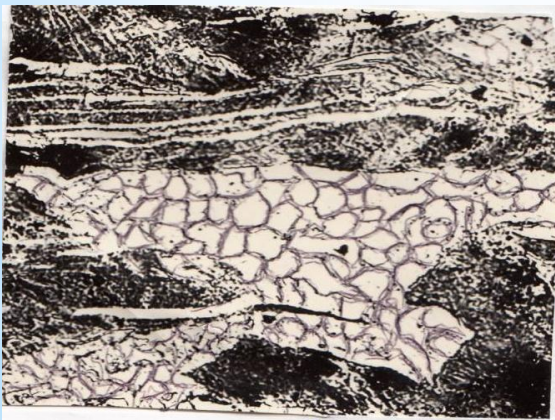
С повышением температуры рост зерен ускоряется, и они становятся все крупнее. Нагрев до очень высоких температур приводит к перегреву металлу, его охрупчиванию и свойства резко понижаются.



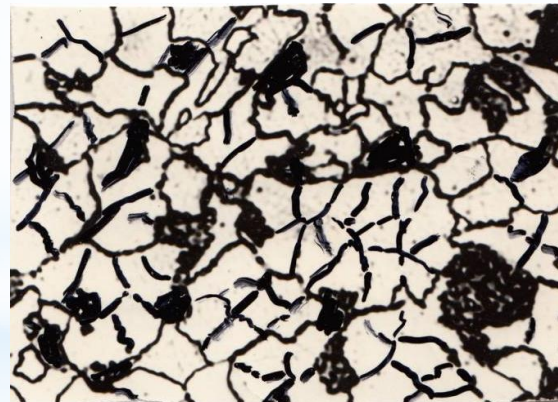
**Структура стали 10
до деформации**



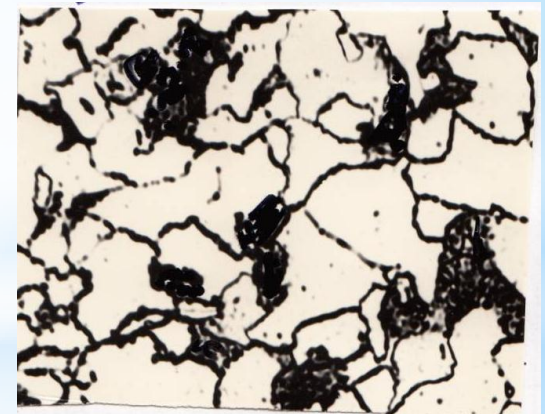
**Структура стали 10
после деформации**



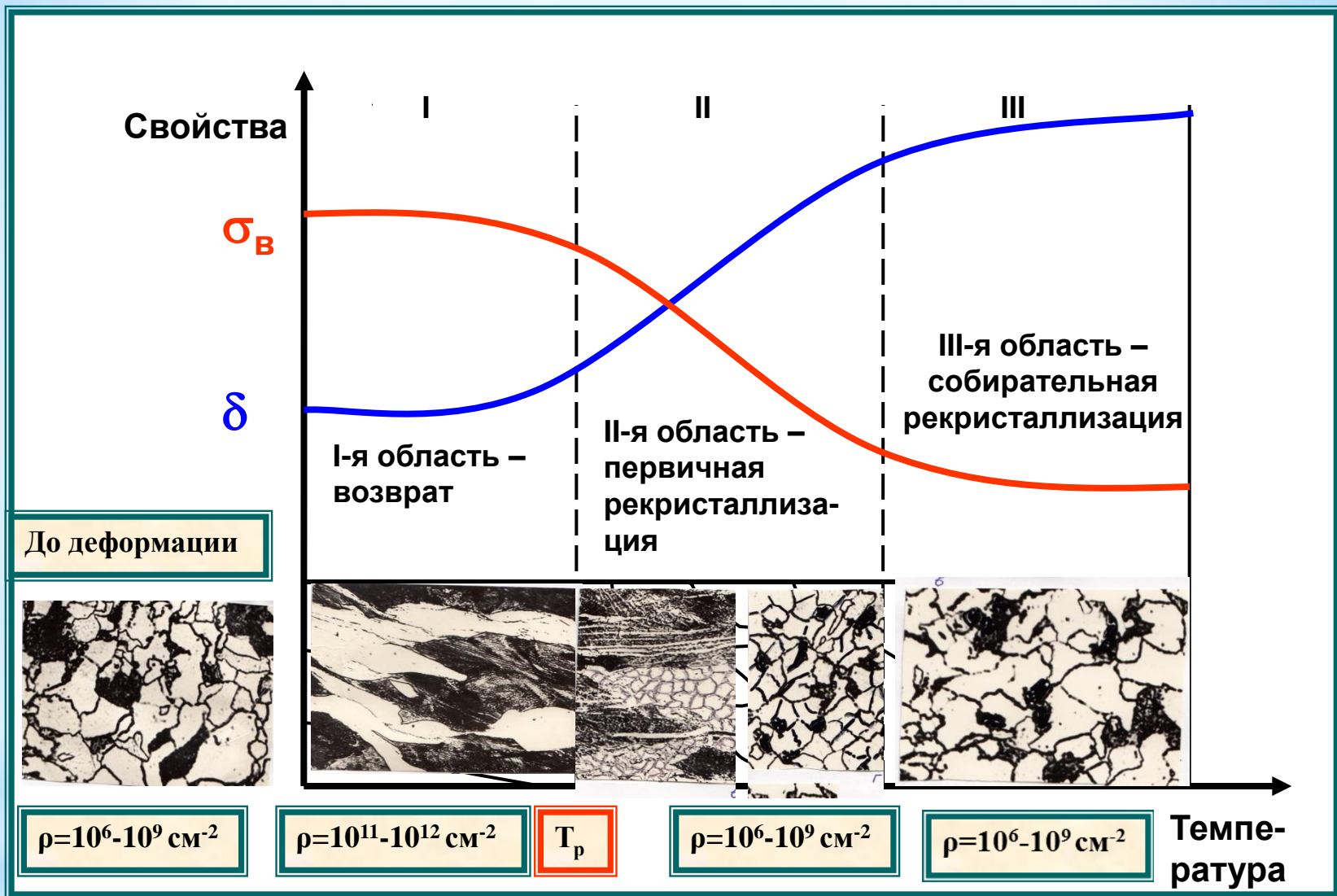
**Первичная
рекристаллизация**



**Конец первичной
рекристаллизации**



**Собирательная
рекристаллизация**



Изменение структуры и свойств наклепанного металла при нагреве

Рекристаллизационный отжиг

Для снятия наклепа применяют специальную термическую обработку – рекристаллизационный отжиг.

Температура $t_{po} = t_p + (100 \dots 150)^\circ\text{C}$.

После необходимой выдержки металл охлаждают на воздухе.

Режим рекристаллизации существенно влияет на свойства.

Заниженная температура отжига может не обеспечить полного возврата свойств до исходного недеформированного состояния. Завышенная - приведет к росту зерна и охрупчиванию металла.

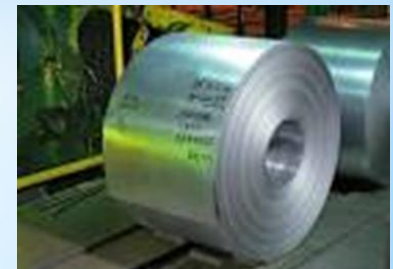
Рекристаллизационный отжиг может быть как промежуточной, так и окончательной операцией.

При производстве автомобильного листа холодной прокатка с 3 мм до 0,8 мм чередуется с рекристаллизационным отжигом.



Для изготовления деталей кузова автомобиля холодной штамповкой нужна высокая технологическая пластичность.

Для этого готовый холоднокатаный лист обязательно подвергают рекристаллизационному отжигу.



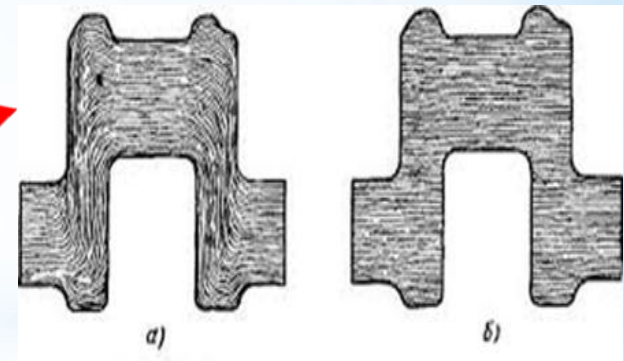
Горячая пластическая деформация

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.

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

Волокно при штамповке коленвала **должно повторять контур** детали (а) и **нагрузка** должна быть **перпендикулярна волокну**.

Порядок выполнения работы.

1. Изучить микроструктуру стали 10 до деформации в отожжённом состоянии.
2. Измерить твердость и определить высоту стальных образцов до деформации. 1
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 ε 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

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°C, обратить внимание на развитие рекристаллизационных процессов.
10. Определить теоретическую температуру рекристаллизации стали 10 по формуле: $T_p = a \cdot T_{пл} (K)$,
12. Сравнить теоретическую температуру рекристаллизации с температурой, определенной в результате изучения микроструктуры и свойств образцов, которые исследовались.
14. Оформить отчет о лабораторной работе.

Оформление отчёта.

Отчет должен включать в себя:

1. Цель работы.
2. Сжатое 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 ε , %	Твёрдость HRB				
		До деформации	После деформации	После деформации и нагрева до °С		
				200	500	700
50						
75						
100						

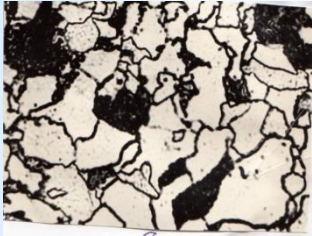
Контрольные вопросы.

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?

ПРОТОКОЛ

к лабораторной работе

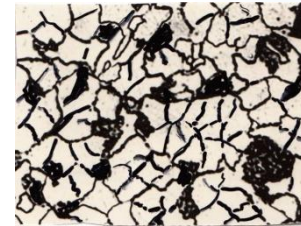
Влияние холодной пластической деформации и последующего нагрева на структуру и свойства металлов и сплавов.



Сталь 10
отож-
жённая

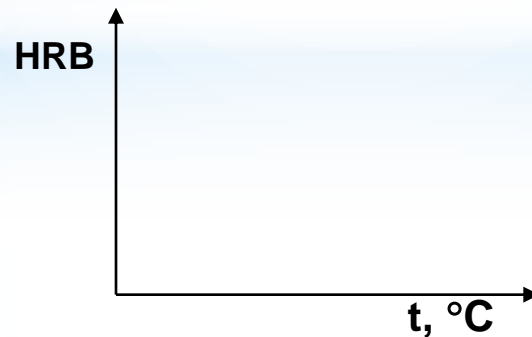
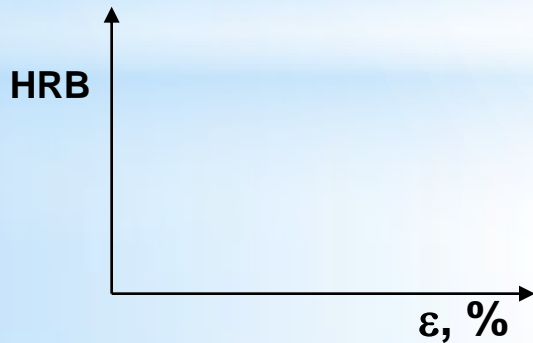


Сталь 10
наклепан-
ная



Сталь 10
рекристал-
лизованная

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



Выводы:

- 1)
- 2)

Выполнил:

Принял:

Литература

- * 1. Дьяченко С.С. Материаловедение : учебник / С.С. Дьяченко, И.В. Дощечкина, А.А.Мовлян, Э.И. Плешаков.- Харьков: Издательство ХНАДУ, 2010.-464 с. (82 - 93).
- * 2. Гладкий И.П. Технология конструкционных материалов и материаловедение : учебное пособие / И.П. Гладкий, В.И. Мощенок, В.П. Тарабанова, Н.А. Лалазарова, Д.Б. Глушкова.- Харьков: ХНАДУ, 2011.-460 с.(стр.119 – 126).



Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Костіна Людмила Леонідівна

E-mail: kostina.l.19533591@mail.ru

г. Харків, вул. Петровського, 25, ХНАДУ, кафедра ТМ і М
Tel.(8-057)707-37-92

