Свойства металлов и сплавов

1. механические;
2. физические;
3. химические;
4. технологические;
5. эксплуатационные.

1. ***Механические свойства*** это характеристики, которые определяют поведение материала под действием приложенных внешних сил.

1. 1. ***Напряжение*** или ***предел прочности*** это величина нагрузки, отнесенная к единице площади сечения

$$\sigma = P / F_0 \text{ , кгс/см}^2 \quad (10^{-1} * \text{МПа})$$

σ - напряжение или предел прочности,

P - нагрузка,

F_o - начальная площадь.

.

Перевод единиц измерения:

1 Па = 1Н/м^2;

1 МПа = 1 Н/мм^2 = 10 кгс/см^2.

1 кгс/мм^2 = 100 кгс/см^2 = 10 МН/м^2 = 10 МПа

1 кгс = 9,80665 ньютонов ≈ 10 Н

1 Н ≈ 0,10197162 кгс ≈ 0,1 кгс

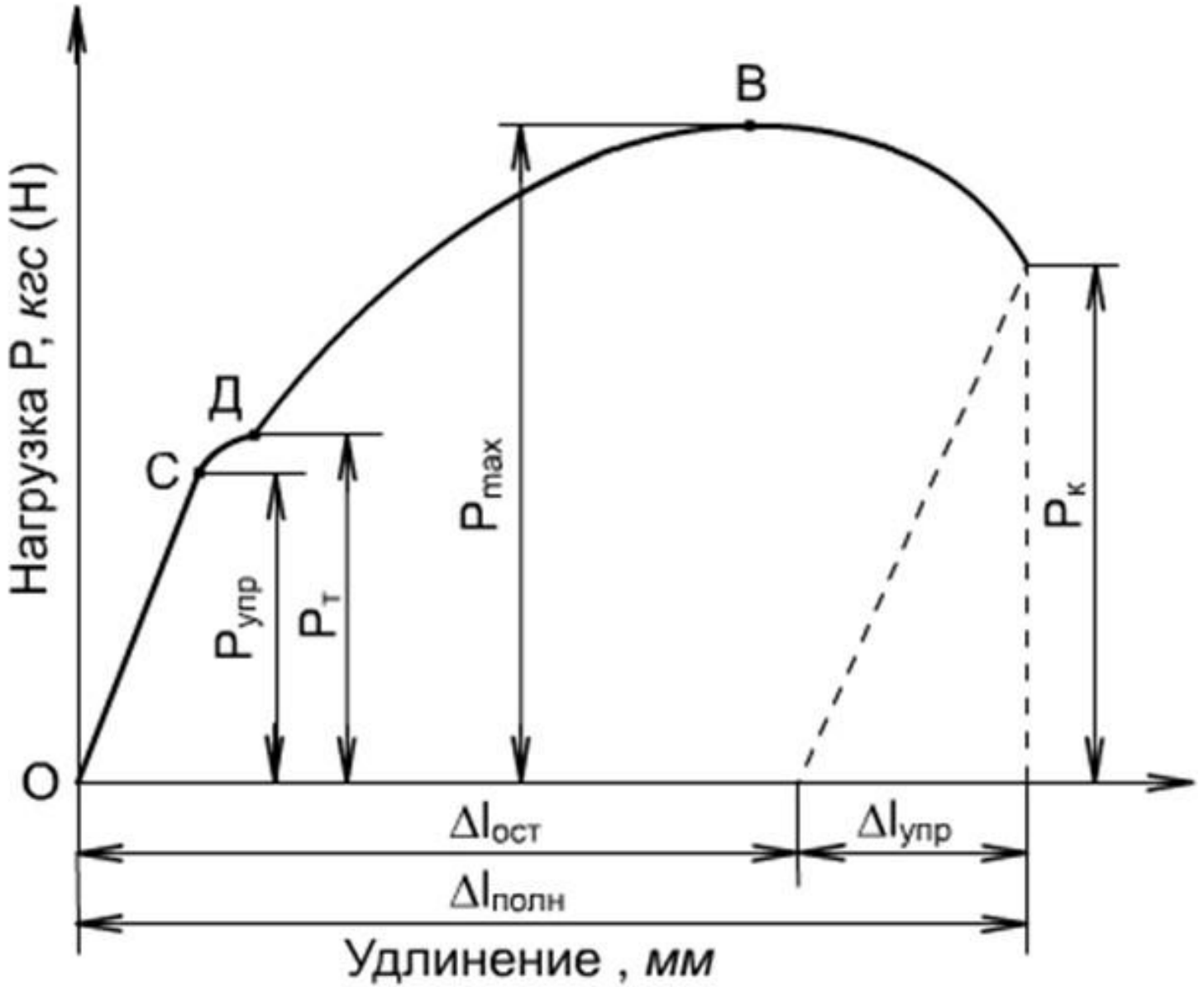
Напряжение, приложенное к материалу, всегда вызывает деформацию это изменение формы и размеров тела под влиянием приложенных сил.

Деформация бывает:

-упругая;

-пластическая;

-деформация разрушения.


Нагрузка P, кгс (Н)
B
Д
C
O
P_{max}
$P_{упр}$
$P_т$
$P_к$
$\Delta l_{ост}$
$\Delta l_{упр}$
$\Delta l_{полн}$
Удлинение , мм

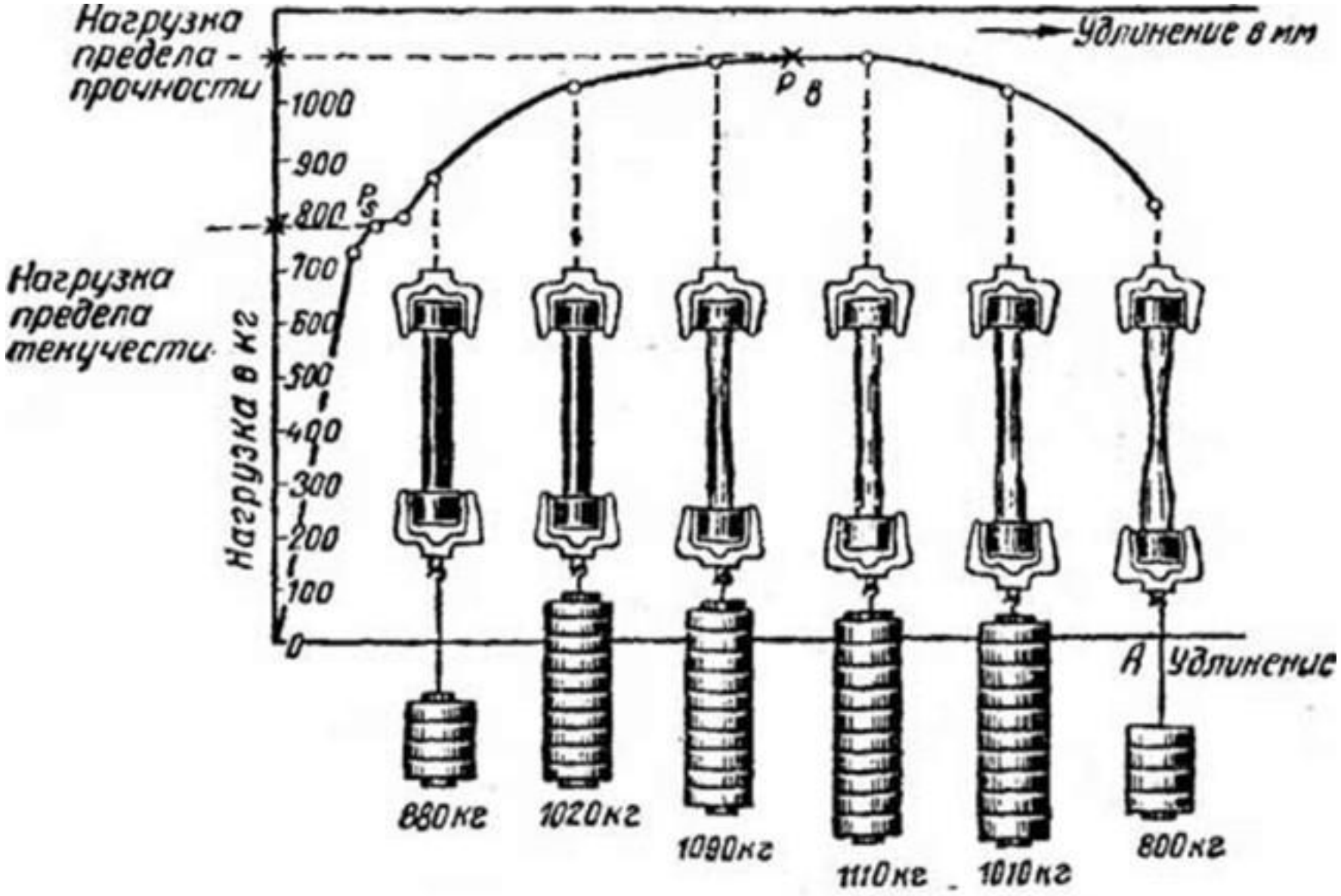


Рис. 21. Диаграмма деформации при испытании металлов на растяжение

1.2. **Временное сопротивление разрыву** (или **предел прочности при растяжении**) это способность твердого тела сопротивляться деформации или разрушению под действием нагрузок:

$$\sigma_в = P_В / F_0 \text{ , кгс/см}^2 \text{ } (10^{-1} * \text{МПа})$$

$\sigma_в$ - предел прочности при растяжении,

$P_В$ - наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца,

$F_о$ - начальная площадь,

.

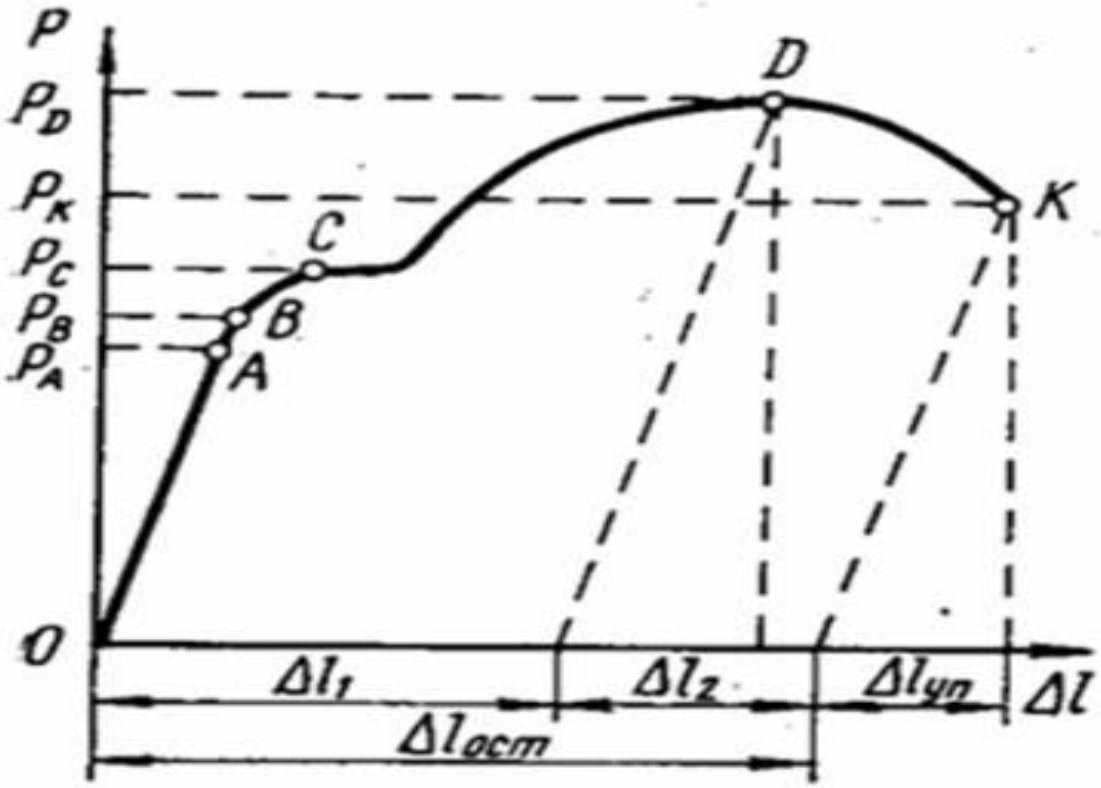


Диаграмма растяжения образца

P_D - наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца,

$P_к$ - истинная нагрузка,

P_C - наименьшая нагрузка, образец деформируется без заметного

увеличения растягивающей нагрузки (σ_T)

ОА - линейный участк диаграммы .

соответствующее наибольшей нагрузке P_D, предшествующей разрушению образца

наименьшее условное напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки: $\sigma_T = P_C/F_0$ кгс/мм^2

Для определения условного предела текучести от начала координат диаграммы растяжения по оси абсцисс откладывают в соответствующем масштабе отрезок, составляющий 0,2% первоначальной длины; через полученную точку проводят прямую, параллельную начальному линейному участку (ОА)диаграммы (до пересечения с диаграммой). Ордината точки пересечения и соответствует условному пределу текучести $\sigma_{0,2}$. Предел текучести $\sigma_{0,2}$ можно определить по формуле $\sigma_{0,2} = P_{0,2}/F_0$ кгс/мм^2;

истинное сопротивление разрыву $S_к$ напряжение, определяемое отношением нагрузки $P_к$ в момент разрыва к фактической площади поперечного сечения образца в месте разрыва $F_к$: $S_к = P_к/F_к$ кгс/мм^2

1.3. ***Пластичность*** - это способность материала получать остаточное изменение формы и размеров без разрушения.

Пластичность определяется относительным удлинением образца при разрыве. $$\delta = \frac{l - l_o}{l_o} * 100\%$$

где δ - пластичность,

l_0 - начальная длина,

l - длина образца после разрыва.

Пластичные материалы более надежны в работе, т.к. для них меньше вероятность опасного хрупкого разрушения.

Пластичность материалов дает возможность обрабатывать их давлением (ковать, покатывать, волочить).

1.4. Упругость − способность металла восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после снятия действующей нагрузки. Это свойство обратное пластичности.

1.5. Вязкость − способность металла сопротивляться быстро возрастающим ударным нагрузкам.

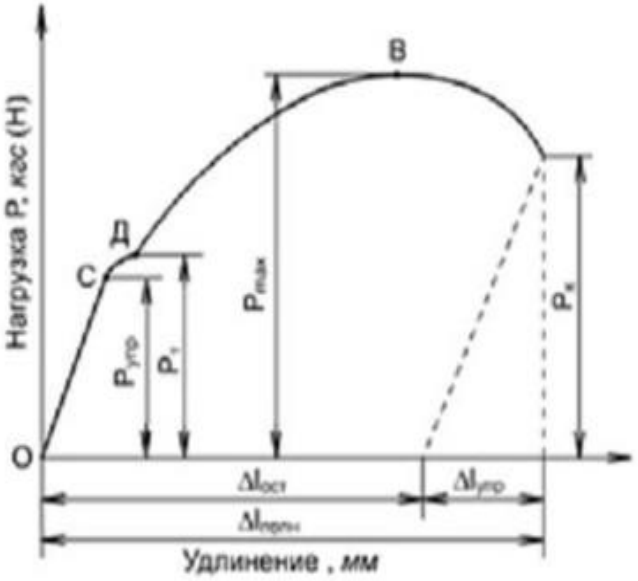
1.6.Хрупкость свойство материала разрушаться при небольшой (преимущественно упругой) деформации под действием напряжений. Это свойство обратное вязкости.

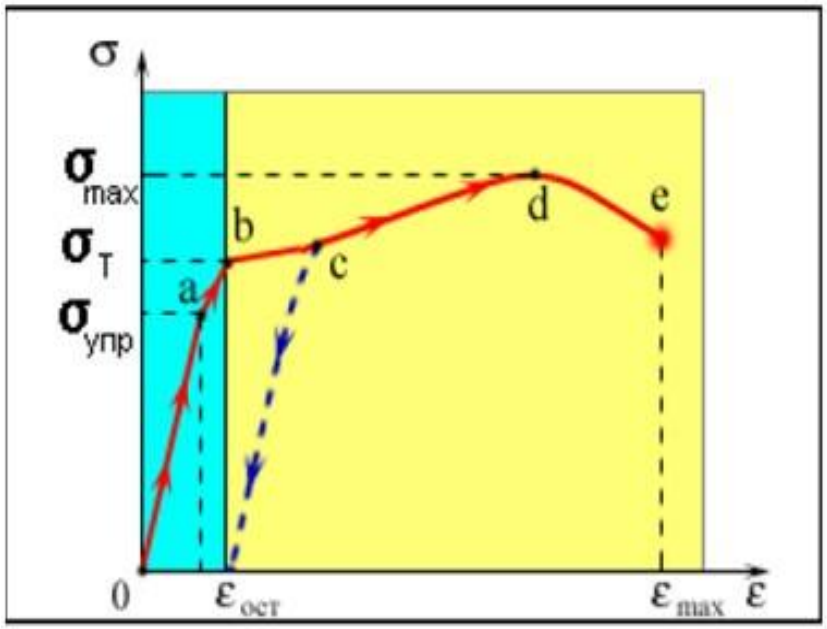
i-exam.ru

i-fgos.ru

На приведенной диаграмме растяжения точка В соответствует …

пределу прочности





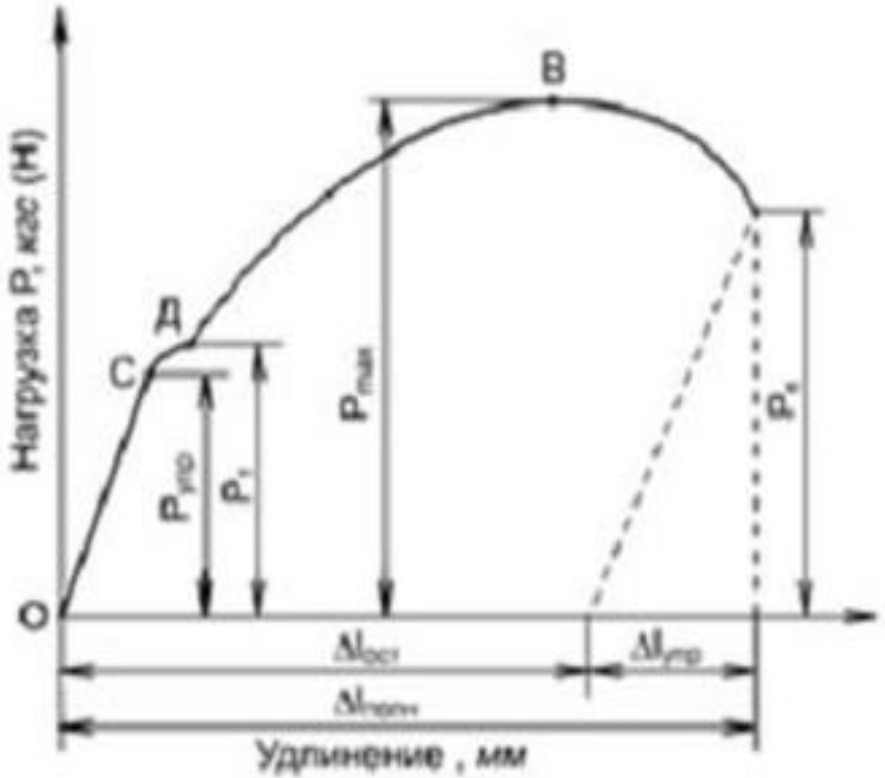
Пределу упругости на диаграмме растяжения соответствует **точка С**.

Пределу текучести на диаграмме растяжения соответствует **точка Д**.

Разрушению образца соответствует конечный участок

Напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2%, называется пределом …

текучести

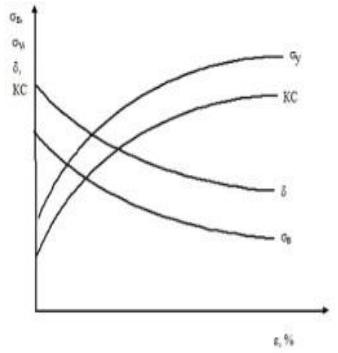


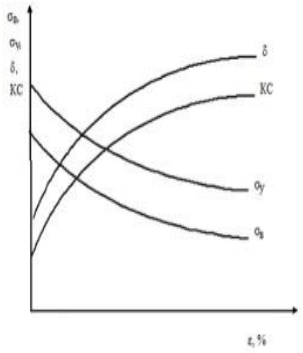
При статических испытаниях определяют … **предел текучести**

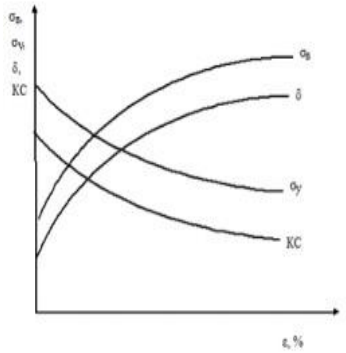
Решение:

Основным видом статических испытаний является испытание на растяжение, по результатам которого можно определить предел прочности (временное сопротивление), предел текучести, относительные удлинение и сужение.

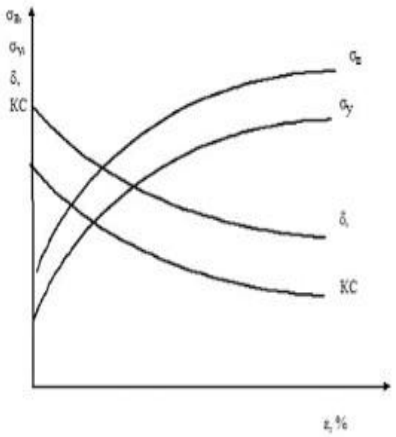
Зависимость механических свойств металла от степени деформации имеет вид







Решение: Зависимость механических свойств металла от степе деформации имеет следующий вид:



1.7. **Твердость** способность материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела (индентора), не деформирующегося при испытании.

Наибольшее распространение получили статические методы определения твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу. Схемы испытаний представлены на рисунке 1.

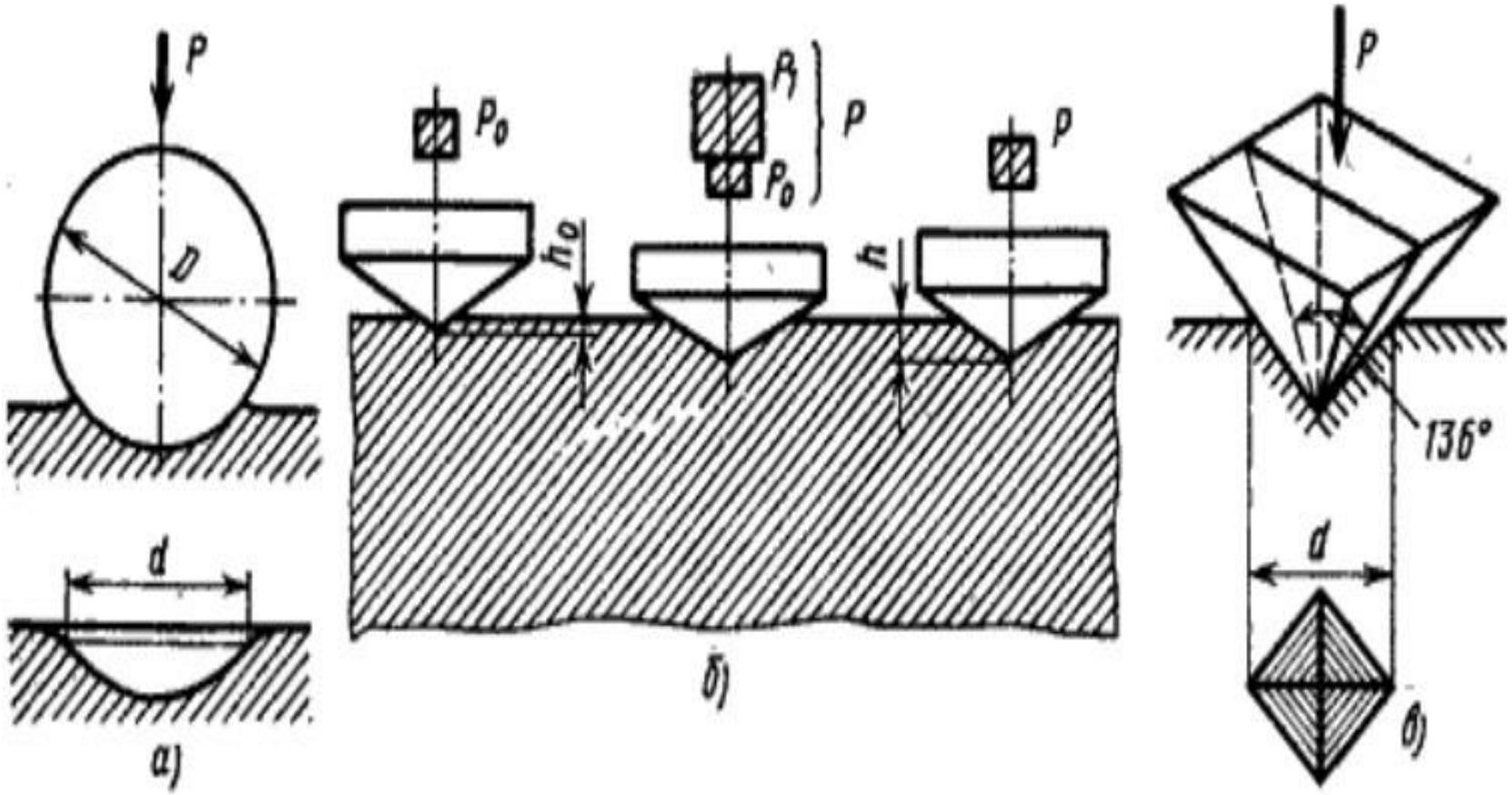


Рис. 1. Схемы определения твердости:
а - по Бринеллю; б - по Роквеллу; в - по Виккерсу

1 метод по Бринеллю.

Испытание проводят на твердомере Бринелля (рис. 1, а). В качестве индентора используется стальной закаленный шарик диаметром D=2,5; 5; 10 мм, в зависимости от толщины изделия. Прикладываемая нагрузка задается в зависимости от вида испытуемого материала и размера образца.

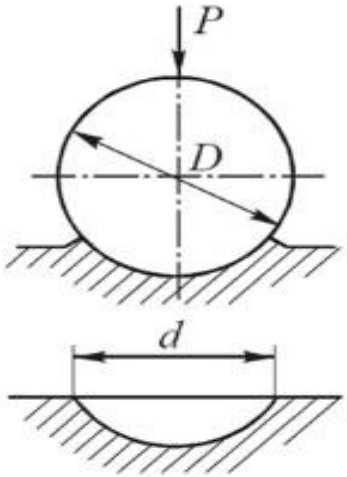
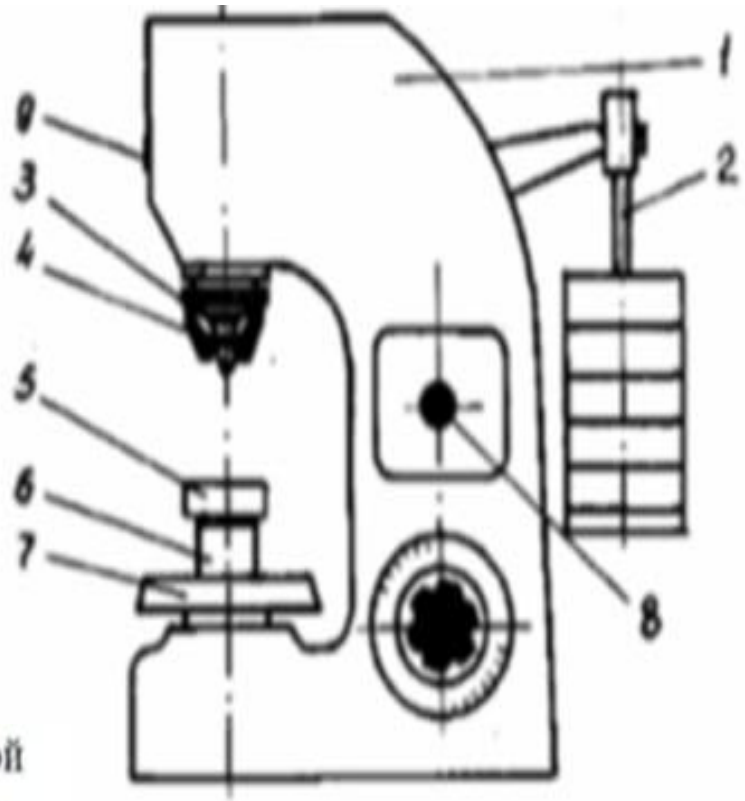


Рис. Общий вид прибора ТШ2



1 – станина прибора; 2 – подвеска с грузами; 3 – шаровой индентор; 4 – ограничитель; 5 – сменный стол; 6 – винт; 7 – маховик; 8 – пусковая кнопка; 9 – сигнальная лампа

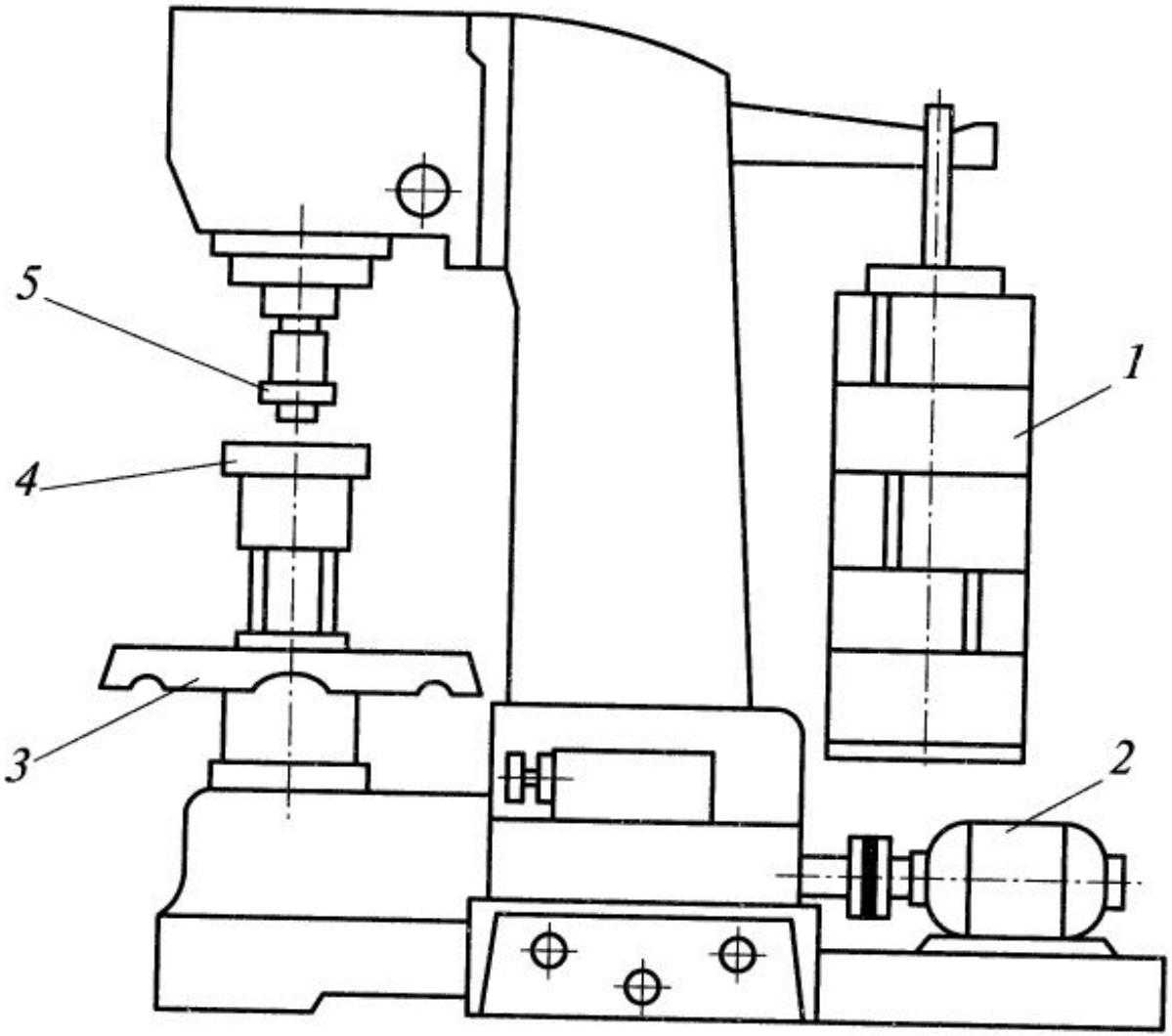
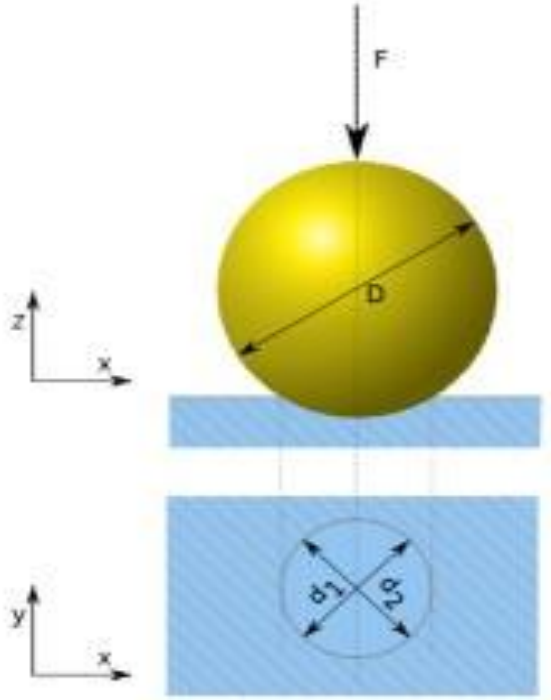


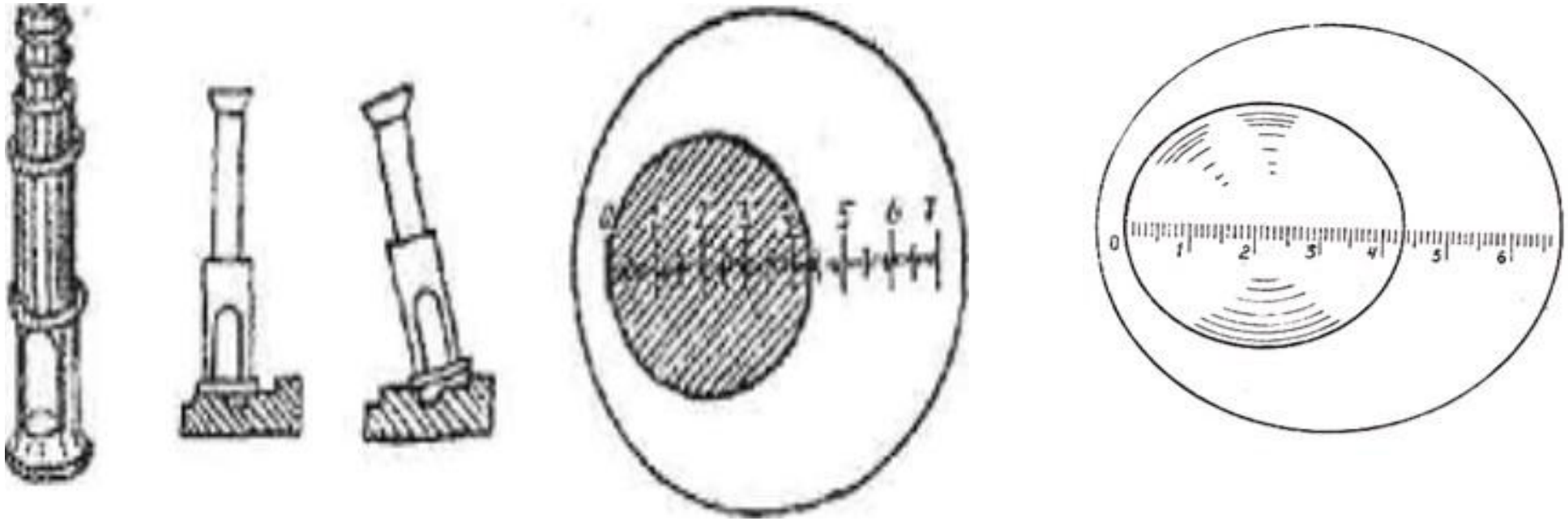
Рис. 3.8. Схема пресса Бринелля:

1 — груз; *2* — электродвигатель; *3* — маховик вращения винта для создания предварительной нагрузки; *4* — установочный стол; *5* — держатель индентора



Отпечаток индентора на эталонном образце.

После снятия нагрузки замеряют диаметр отпечатка и вычисляют его площадь.



а) б) в) г)

Рис. Лупа для замера отпечатка

а) внешний вид лупы:

б) правильное положение лупы при замере отпечатка;

в) неправильное положение;

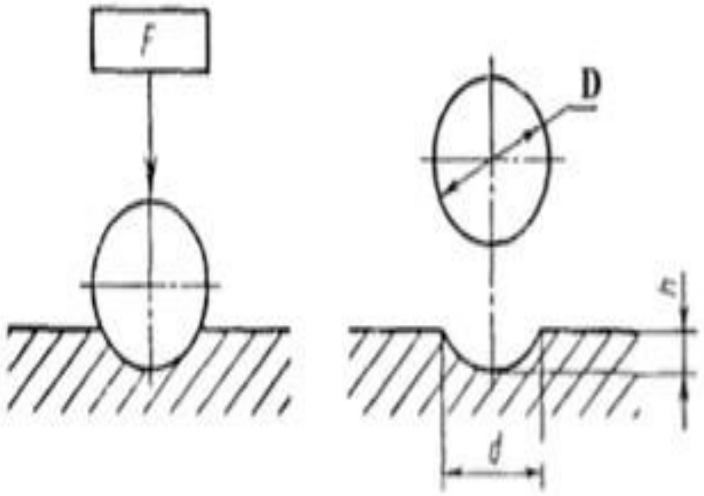
г) отсчёт по шкале лупы.

Число твердости по Бринеллю обозначается **НВ**

отношение приложенной к шарику нагрузки (кгс) к площади отпечатка (мм^2).

$$HB = \frac{P}{F_{отп}}$$

$$HB = \frac{2P}{\pi D \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)},$$



где P - приложенная нагрузка, кгс;

D - диаметр шарика, мм;

d - диаметр отпечатка, мм.

Обычно расчёты не производят, а пользуются готовыми стандартными таблицами, с помощью которых по диаметру полученного отпечатка (лунки) определяют число твёрдости НВ.

Таблица 2. – Соотношение чисел твердости, определенных разными методами

Диаметр отпечатка d, мм	При испытании вдавливанием			
	Стального шарика 10/3000 (на приборе типа Бринеля), *HB*	алмазного конуса или стального шарика (на приборе типа Роквелла), при различных нагрузках		
		150 кг (конус) *HRC*	60 кг (конус) *HRA*	100 кг (шарик) *HRB*
1	2	3	4	5
2,20	780	72	84	?
2,25	745	70	83	?
2,30	712	68	82	?
2,35	682	66	81	?
2,40	653	64	80	?
2,45	627	62	79	?

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5
4,25	201	13	58	94
4,30	197	12	58	93
4,35	192	11	57	92
4,40	187	9	57	91
4,45	183	8	56	90
4,50	179	7	56	90

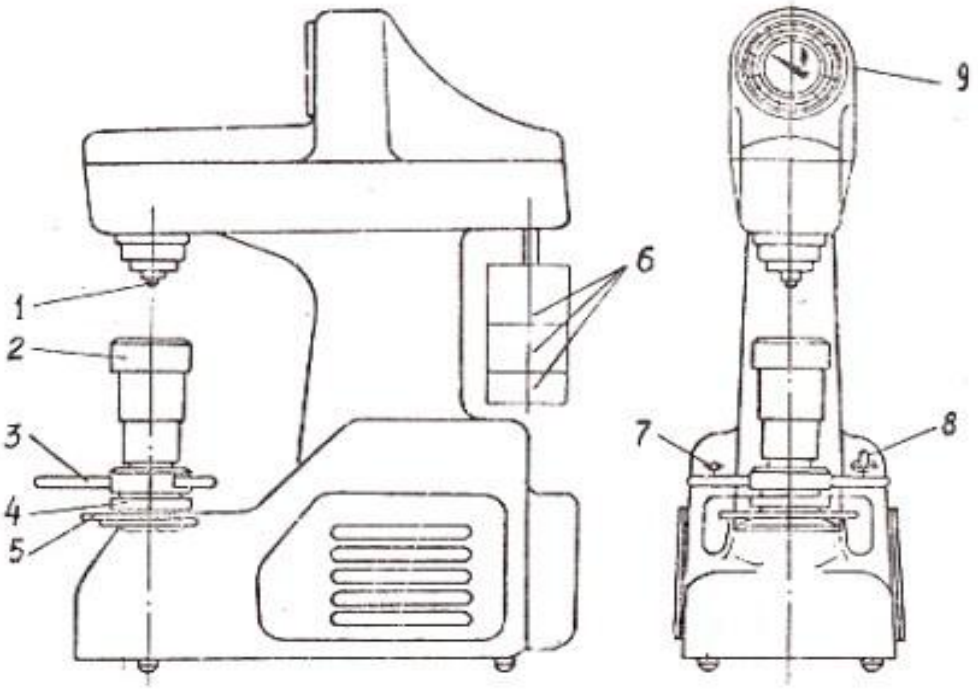
2 Метод по **Роквеллу** ГОСТ 9013.

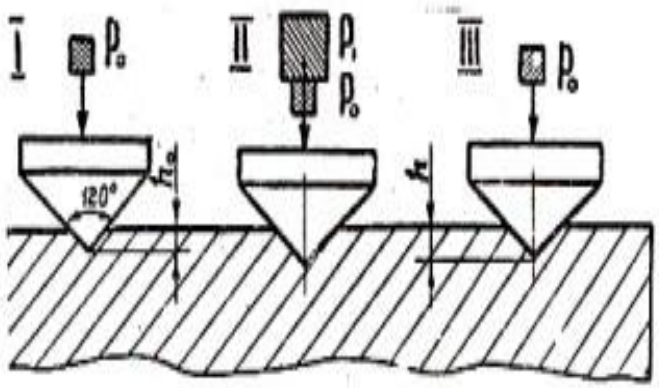
Основан на вдавливании в поверхность индентора (рис. 1, б) под действием двух нагрузок предварительной Р0 и основной Р1.

Твёрдость определяется по глубине впадины.

Индентор для мягких материалов (до НВ 230) стальной шарик диаметром 1,58 мм или 1/16 дюйма (шкала В), для более твердых материалов конус алмазный с углом при вершине 120° (шкалы А и С).

Твердость по Роквеллу измеряется в условных единицах. Испытания проводят на приборе, снабженном индикатором часового типа с тремя шкалами (табл. 1).





Циферблат прибора для проверки твёрдости по Роквеллу

Характеристики шкал твердости по Роквеллу

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка, кг			Область применения
			P_0	P_1	P	
A	HRA	алмазный конус ∠ 120	10	50	60	для особо твердых материалов
B	HRB	стальной закаленный шарик ∅1,58 мм	10	90	100	для относительно мягких материалов
C	HRC	алмазный конус ∠ 120	10	140	150	для относительно твердых материалов

В зависимости от шкалы, по которой измеряли твердость, твердость обозначают: **HRA, HRB, HRC.**

HRC H - твердость,

R - Роквелл,

C - тип шкалы.

Для ориентировочного перевода твердости по Роквеллу в числа твердости по Бринеллю существуют специальные таблицы.

Например, HRA 60 - 207 НВ;

HRB 60 - 110 НВ;

HRC 60 - 601 НВ.

i-exam.ru

i-fgos.ru

Свойство, характеризующее способность материала оказывать сопротивление пластической деформации или хрупкому разрушению при внедрении индентора в его поверхность, называется … **твердостью.**

Способность материала сопротивляться внедрению в его поверхность твердого тела индентора называется **твердостью**.

При уменьшении содержания углерода в стали твердость … **уменьшается, пластичность увеличивается.**

Решение:

Углерод является важнейшим элементом, определяющим структуру и свойства углеродистой стали. Даже малое изменение содержания углерода оказывает заметное влияние на свойства стали. С увеличением содержания углерода в стали растет содержание цементита. При содержании до 0,8% С сталь состоит из феррита и перлита, при содержании более 0,8% С в структуре стали, кроме перлита, появляется структурно свободный вторичный цементит. Цементит характеризуется высокой твердостью, но хрупок. Поэтому с ростом содержания углерода увеличивается твердость и прочность и уменьшается вязкость и пластичность стали.

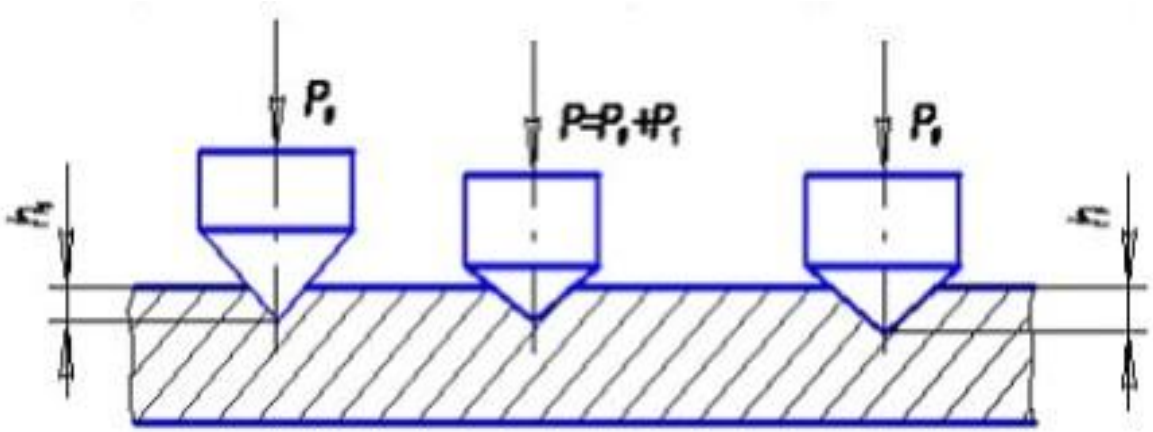
Индентором при измерении твердости по методу Бринелля служит … **стальной шарик.**

Решение:

При измерении твердости по Бринеллю (НВ) в качестве индентора применяют стальной закаленный шарик диаметром 2,5; 5 или 10 мм;

нагрузка составляет 30000, 10000, 7500, 2500 или 1175 н.

На рисунке показана схема измерения твёрдости по методу … **Ро**



Решение:

При измерении твердости по методу Роквелла (HRA, HRB, HRC) в качестве индентора применяется алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик диаметром 1,588 мм.

Вдавливание индентора производится вначале предварительной нагрузкой Ро = 100 н (10 кгс), а затем общей нагрузкой Р = Ро + Р1.

Инденторами при измерении твердости по методу Роквелла (шкалы A, B, C) служат … **алмазный конус и стальной шар**

Решение:

Инденторами при измерении твердости по методу Роквелла служат алмазный конус с углом при вершине 120° (шкалы A, C) или стальной закаленный шар диаметром 1,588 мм. (шкала B).

Стальной конус не используют при измерении твердости по методу Роквелла.

Алмазная четырехгранная пирамида с углом между гранями $\alpha = 136°$ является индентором при определении твердости по по Виккерсу (HV).

Обозначение HRB соответствует числу твердости, определенному по методу … **Роквелла**

Решение:

Обозначение HRB соответствует числу твердости, определенному по методу Роквелла (шкала B). Эту шкалу используют при определении твердости сравнительно мягких материалов (<400HB).

Определение твердости закаленных сталей по методу Роквелла производится вдавливанием в образец … **алмазного конуса (шкала C).**

Решение: Определение твердости закаленных сталей по методу Роквелла производится вдавливанием в образец алмазного конуса с углом при вершине 120o (шкала C).

При испытаниях на растяжение определяют … **предел прочности**

Решение:

Из перечисленных характеристик при испытаниях на растяжение на разрывных машинах определяют предел прочности (временное сопротивление) напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.

Предел выносливости определяют на вращающемся образце с приложением изгибающей нагрузки по симметричному циклу.

Твердость измеряют на твердомерах по вдавливанию в материал алмазного или стального наконечника.

Ударную вязкость определяют при разрушении образца ударом маятникового копра.

Способность материалов сопротивляться ударным нагрузкам, без разрушения поглощать механическую энергию в необратимой форме называется …

вязкостью

2. Физические свойства:

- *цвет* способность металла отражать падающие на него световые лучи; например, медь красноватого цвета;
- *температура плавления tпл* способность металла переходить из кристаллического (твердого) состояния в жидкое с поглощением теплоты;

– *плотность* ρ количество вещества, содержащееся в единице объема;

– *тепловое расширение* способность металла увеличивать свой объем при нагревании.

– *коэффициенты линейного и объемного расширения*;

– *электропроводность* – способность металла проводить электрический ток;

– *теплопроводность* – способность металла с той или иной скоростью проводить тепло;

3. **Химические свойства**:

Химические свойства металлов характеризуют отношение их к химическим воздействиям различных активных сред. Основными химическими свойствами металлов являются:

- *коррозионная стойкость* способность металла сопротивляться коррозии;
- *окисляемость* - способность металла вступать в реакцию с кислородом под воздействием окислителей;
- *растворимость*;
- *химическая активность* и способность к химическому взаимодействию.

4. **Технологические свойства** способность материала подвергаться различным методам горячей и холодной обработки.

4.1. Литейные свойства.

4.2. Способность материала к обработке давлением.

4.3. Свариваемость.

4.4. Способность к обработке резанием.

4.1. **Литейные свойства**

Характеризуют способность материала к получению из него качественных отливок.

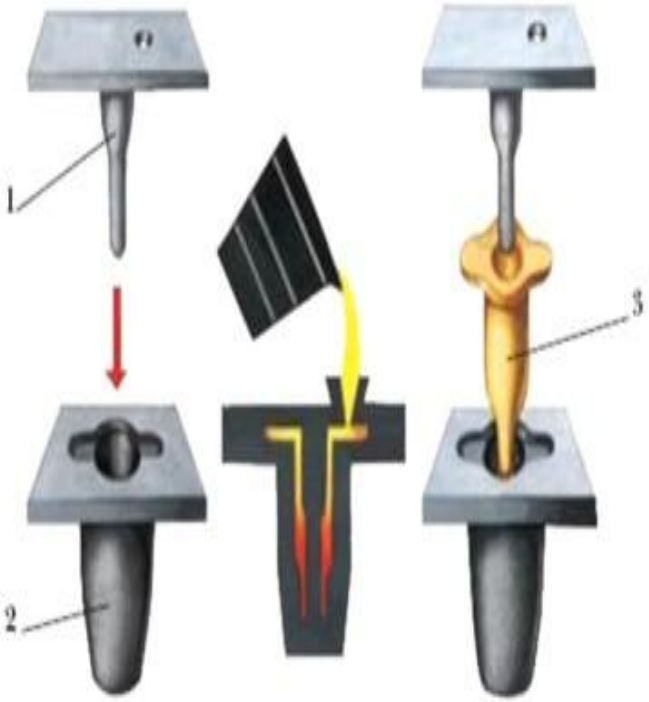


Рис. Литьё в кокиль.

1 - стержень;

2 - кокиль;

3 - отливка

Жидкотекучесть характеризует способность расплавленного металла заполнять литейную форму.

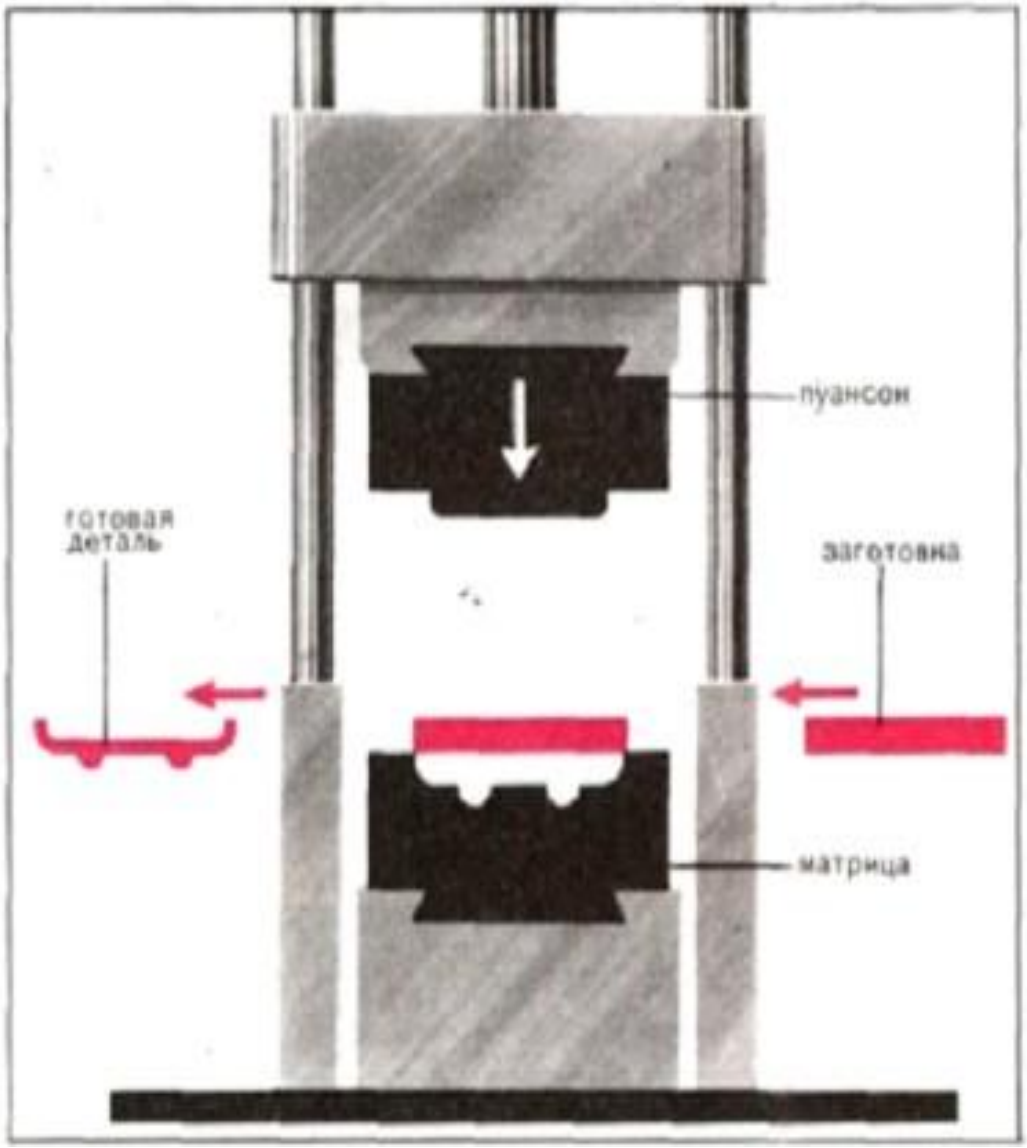
Ликвация неоднородность химического состава по объему.

Усадка (линейная и объемная) характеризует способность материала изменять свои линейные размеры и объем в процессе затвердевания и охлаждения.

Для предупреждения линейной усадки при создании моделей используют нестандартные меры.

4.2. **Способность материала к обработке давлением**

Это способность материала изменять размеры и форму под влиянием внешних нагрузок не разрушаясь.


пуансон
готовая деталь
заготовка
матрица

4.3. **Свариваемость**

Это способность материала образовывать неразъемные соединения требуемого качества. Оценивается по качеству сварного шва.

4.4. **Способность к обработке резанием**

Характеризует способность материала поддаваться обработке различным режущим инструментом.

Оценивается по стойкости инструмента и по качеству поверхностного слоя.

5. **Эксплуатационные (служебные)** свойства характеризуют способность материала работать в конкретных условиях.

5. 1. **Износостойкость** - способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.

5.2. **Коррозионная стойкость** - способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред

5.3. Жаростойкость - это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.

5.4. Жаропрочность - это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах.

5.5. Хладостойкость - способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.

5.6. Антифрикционность - способность материала прирабатываться к другому материалу, т.е. обеспечить низкий коэффициент трения скольжения и тем самым низкие потери на трение.

Структурные особенности антифрикционных сплавов

Основа + включения

Основа - однородная, мягкая, пластичная

Включения - твердые частицы (например, SnSb).

Мягкая **основа** должна обеспечивать хорошую прирабатываемость трущихся поверхностей.

Твердые **включения** равномерно распределенны в основе, хорошо полирующиеся уменьшать (наряду со смазкой) коэффициент трения.

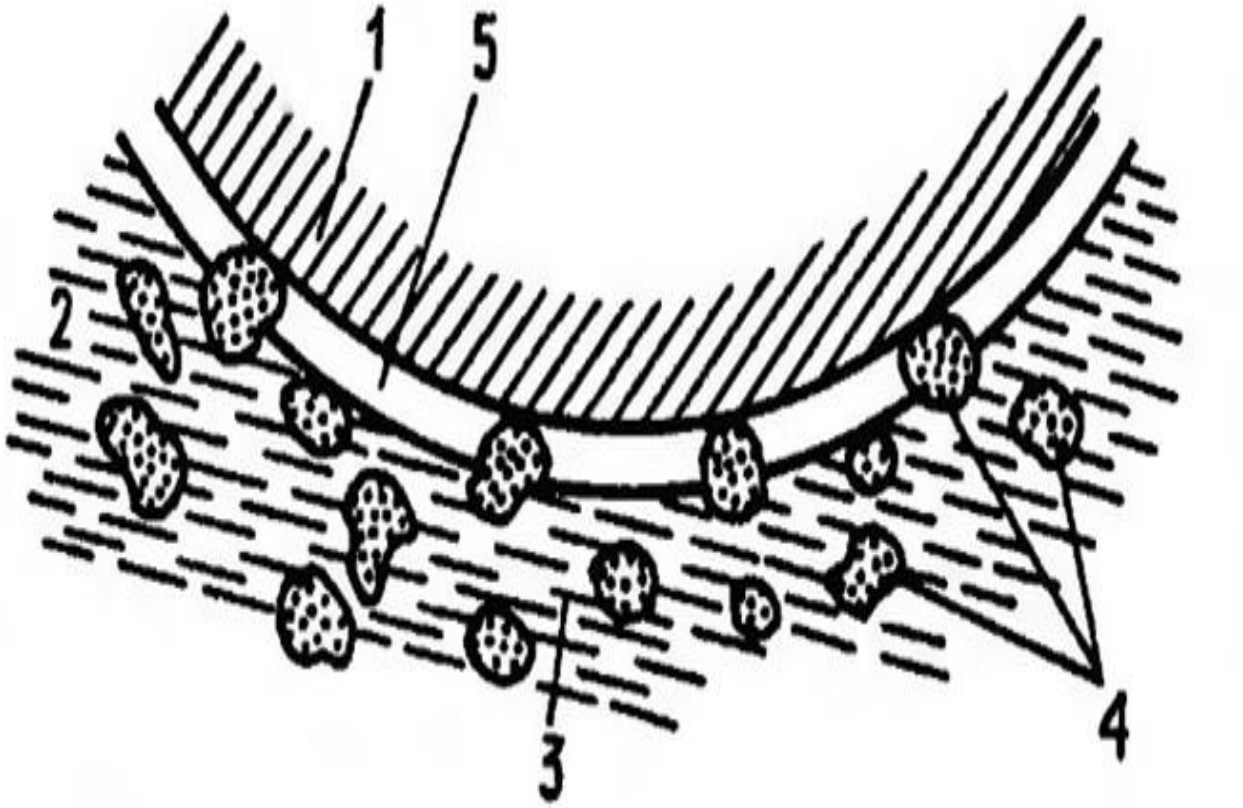


Рис. Схемы работы пары трения «вал--вкладыш»:

1 - вал; 2 - вкладыш; 3 - мягкая основа материала;

4 - твердые включения; 5 - пространство, заполняемое смазкой, уменьшающей силы трения

При вращении вал опирается на твердые частицы, обеспечивающие износостойкость, а основная масса, истирающая более быстро, прирабатывается к валу и образует сеть микроскопических каналов, по которым циркулирует смазка и уносятся продукты износа.

Классификация видов пластической деформации в зависимости от температуры

Различают **холодную** и **горячую** обработку металлов давлением.

При пластическом деформировании изменяется не только форма и размеры заготовки, а также физикомеханические свойства материала заготовки.

Это связано с увеличением плотности дефектов кристаллического строения (дислокаций и т.д.) и с возрастанием сопротивления их перемещения.

С увеличением степени деформации возрастаю σв прочность на растяжение , σт прочность на текучесть, НВ твёрдость,а такие свойства, как пластичность и вязкость уменьшаются.

Упрочнение металла при пластичной деформации **наклёп** или **нагартовка** ограничивает технологические возможности формообразования, т.к. при превышении некоторого критического значения степени пластической деформации приводит к появлению трещин и наступлению деформации разрушения.

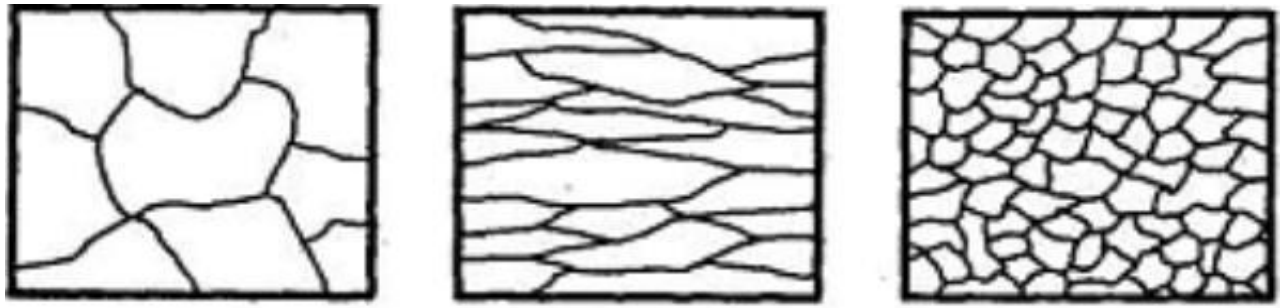
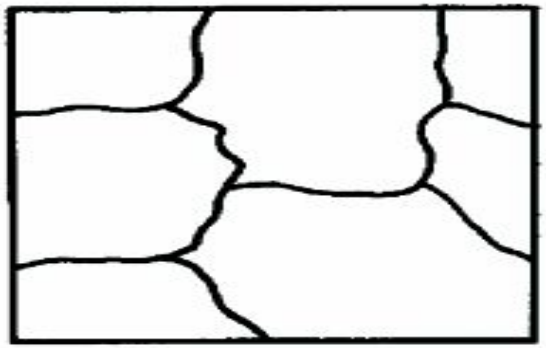


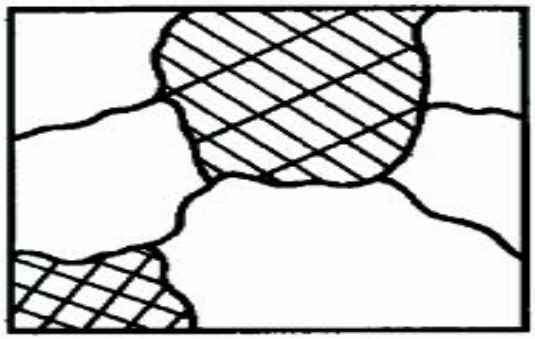
Рис. Микроструктура металла:
а - до наклепа, б - после наклепа, в - после рекристаллизации

Физическая сущность наклёпа связана с изменением зёрен, они изменяются и вытягиваются в направлении деформации рис а и б).

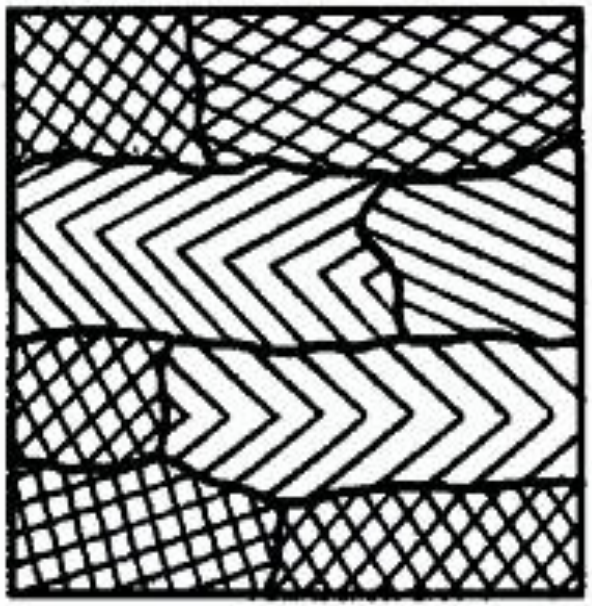
В таком состоянии б) металл теряет свою пластичность, в нём возникают значительные внутренние напряжения и для дальнейшей обработки давлением он становится непригоден.



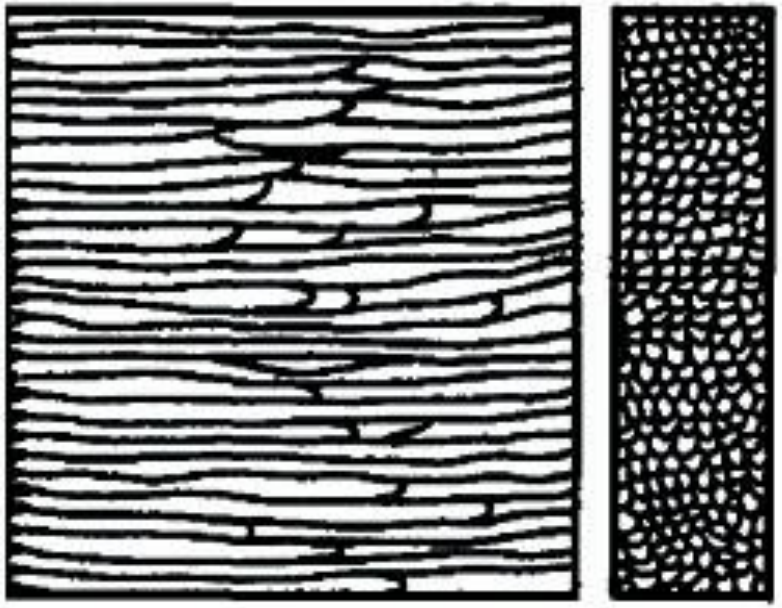
$\varepsilon = 0\ \%$



$\varepsilon = 1\ \%$



$\varepsilon = 40\ \%$



$\varepsilon = 90\ \%$

сталь 08 волокнистое строение текстура

Пластические свойства возвращаются упрочненному металлу термической обработкой при нагреве выше

$$Тв = 0.2…0.3\ Тпл$$

Такая обработка называется возвратом, она не изменяет форму и размер зерен, но частично снижает σост и восстанавливает кристаллическую решетку.

Нагрев металла до температуры выше

$$Тр=0,4*Тпл$$

с последующим охлаждением полностью устраняет упрочнение и возвращает металлу его первоначальные свойства и зернистость, называется рекристаллизацией.

Таким образом, в зависимости от температурно скоростных условий при деформировании возможны 2 противоположных процесса:

упрочнение, вызванное деформацией,

разупрочнение, обусловленное рекристаллизацией.

Вывод: Если при обработке давлением:

- t^o не превышает t^o рекристаллизации, то это **холодная** обработка давлением,
- t^o выше t^o рекристаллизации, то это **горячая** обработка давлением.

Холодная пластическая деформация это деформация, которую проводят при температуре… **ниже температуры рекристаллизации**

Деформация металла называется горячей, если она проводится при температуре выше … **температуры рекристаллизации**

Решение:

Деформация металла называется горячей, если она проводится при температуре выше температуры рекристаллизации. В этом случае наклеп, возникающий при пластической деформации, полностью или частично снимается рекристаллизацией.

Рост одних рекристаллизованных зерен за счет других в процессе нагрева холоднодеформированного металла

Процесс зарождения и роста новых, чаще всего равноосных, зерен с меньшим количеством дефектов в процессе нагрева деформированного металла называется … **рекристаллизацией**

Решение:

Процесс зарождения и роста новых, чаще всего равноосных, зерен с меньшим количеством дефектов в процессе нагрева деформированного металла называется рекристаллизацией.

Наклеп - это упрочнение металла в процессе пластической деформации.

Возврат - происходящие при нагреве деформированного металла изменения тонкой структуры и свойств, не сопровождающиеся изменением микроструктуры, то есть размеры и форма зерен при возврате не меняются.

Полигонизация - процесс формирования субзерен, разделенных малоугловыми границами.

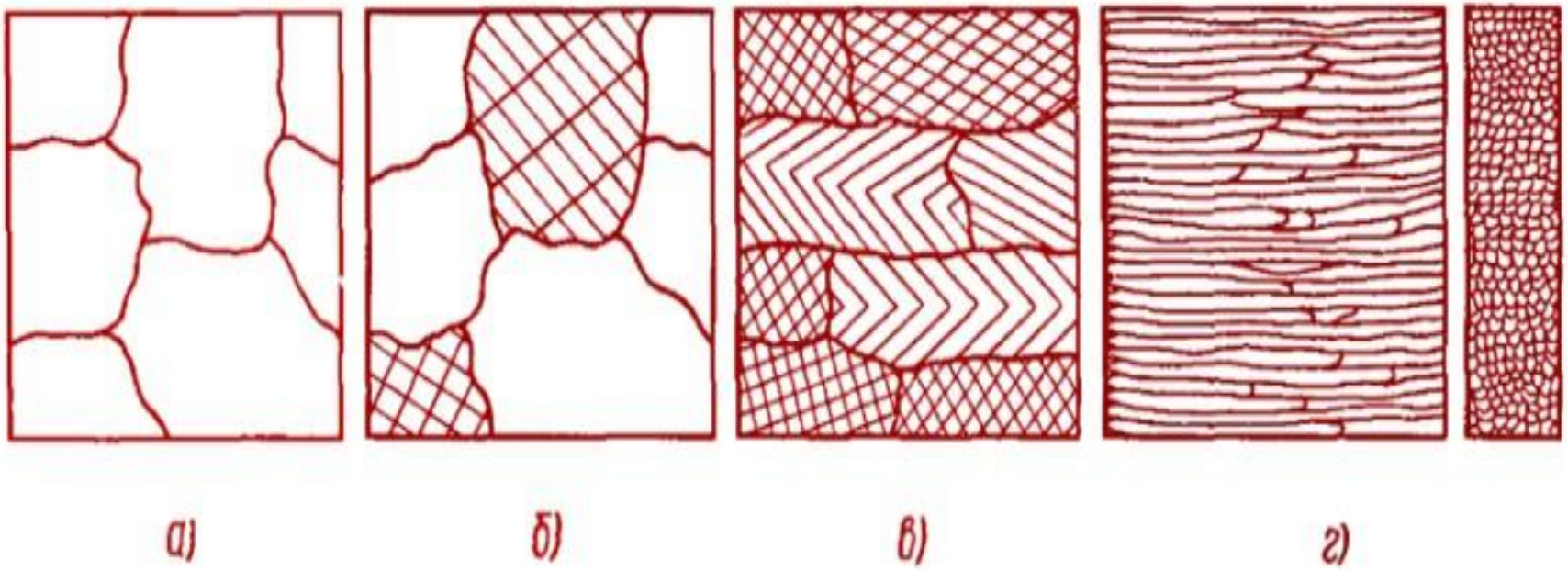


Рис. 4.7. Изменение микроструктуры поликристаллического металла при деформации *а* – $\varepsilon = 0\%$; *б* – $\varepsilon = 1\%$; *в* – $\varepsilon \approx 40\%$; *г* – $\varepsilon = 80-90\%$

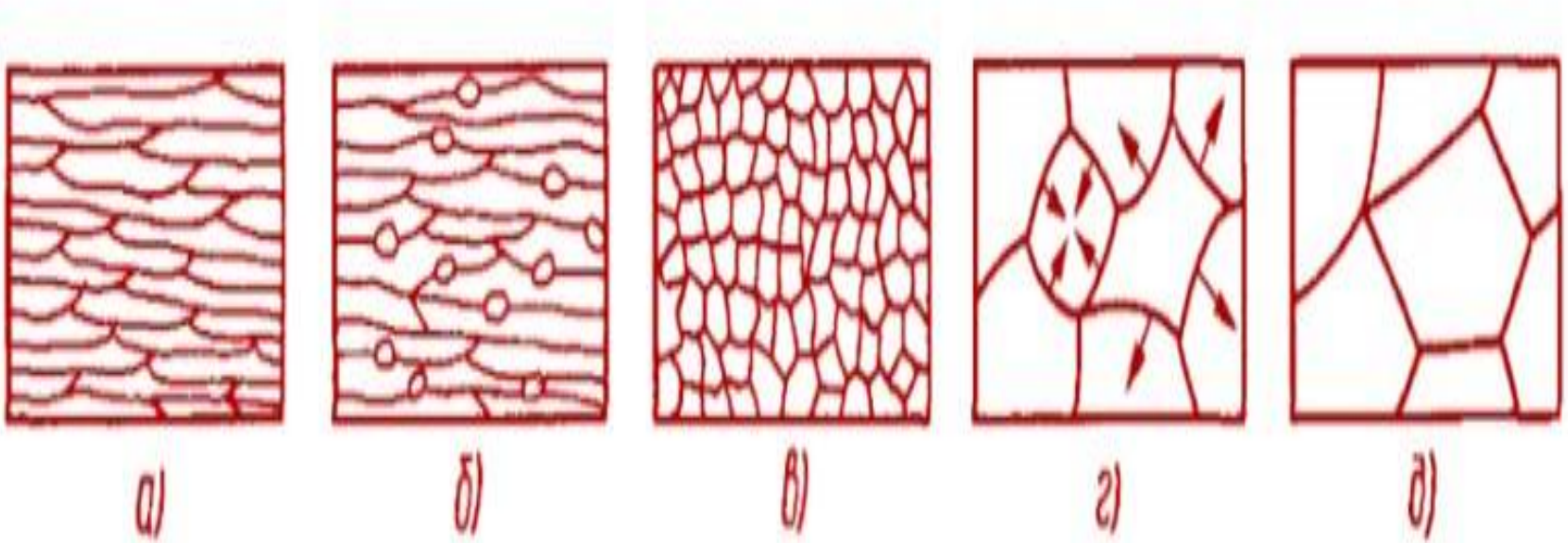


Рис. 4.13. Схема изменения микроструктуры наклепанного металла при нагреве:

а – наклепанный металл; *б* – начало первичной рекристаллизации; *в* – завершение первичной рекристаллизации; *г*, *д* – стадии собирательной рекристаллизации

Повышение прочности и уменьшение пластичности металла в результате низкотемпературной пластической деформации называется… **полигонизацией**

Решение:

Процесс формирования субзерен, разделенных малоугловыми границами, в процессе нагрева деформированного металла называется **полигонизацией**.

Наклеп это упрочнение металла в процессе пластической деформации.

Возврат происходящие при нагреве деформированного металла изменения тонкой структуры и свойств, не сопровождающиеся изменением микроструктуры.

Рекристаллизацией называется процесс зарождения и роста новых равноосных зерен с меньшим количеством дефектов в процессе нагрева деформированного металла.

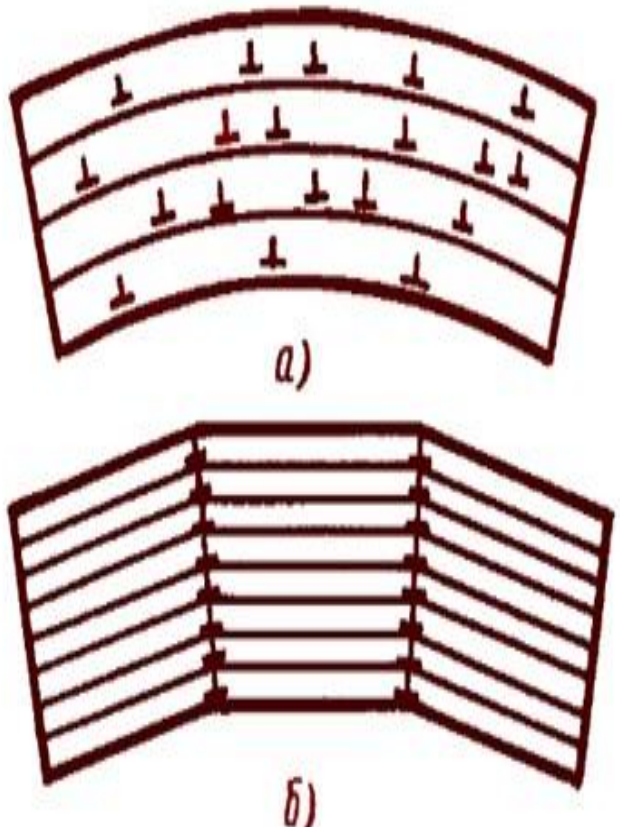


Рис. 4.12. Схема полигонизации:
а, б – наклепанный металл до и после полигонизации соответственно

Полигонизация представляет собой … **процесс формирования разделенных малоугловыми границами субзерен при нагреве деформированного металла**

Решение:

Полигонизация представляет собой процесс формирования разделенных малоугловыми границами субзерен при нагреве деформированного металла.

Процесс повышения структурного совершенства металла, деформированного в холодном состоянии, в результате уменьшения плотности дефектов кристаллического строения называется **возвратом.**

Образование новых равновесных зерен в процессе нагрева деформированного металла называется **первичной рекристаллизацией**.

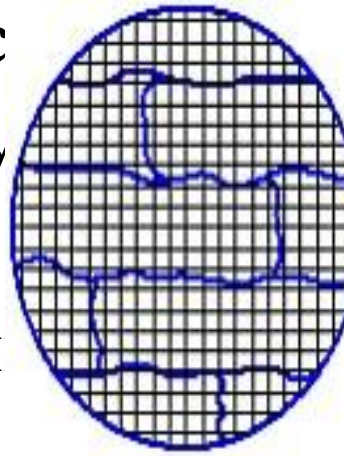
Повышение прочности металла в процессе пластической

Процесс повышения структурного совершенства металла, деформированного в холодном состоянии, в результате уменьшения плотности дефектов кристаллического строения (точечных, линейных, поверхностных, объемных) называется …

возвратом

Решение:

Возврат - процесс повышения структурного совершенс металла, деформированного в холодном состоянии, в резу уменьшения плотности дефектов кристаллического строения (точечных, линейных, поверхностных, объемн



В результате возврата:

- искаженная кристаллическая решетка принимает правильную геометрическую форму;
- σв и σу незначительно уменьшаются, δ незначительно увеличивается;

Наклеп представляет собой … **упрочнение металла при пластическом деформировании**

Решение:

Явление повышения прочности и уменьшения пластичности металла в результате низкотемпературной пластической деформации называется **наклепом** или **нагартовкой**.

Основной причиной наклепа (упрочнения металла в процессе пластической деформации) является …
увеличение плотности дислокаций.

Решение:

Основной причиной наклепа является происходящее в процессе пластической деформации увеличение количества дефектов кристаллического строения, прежде всего плотности
дислокаций (с 10^6 - 10^8 см-^{2} для отожженного недеформированного металла до 10^{11} - 10^{12} см$^{-2}$ для пластически деформированного).

Это затрудняет движение дислокаций, а, следовательно, повышает сопротивление деформации и уменьшает пластичность металла.

Структура, возникающая при больших степенях деформации зерен металла и приводящая к анизотропии свойств, называется … **текстурой деформации**

Решение:

При большой степени деформации возникает текстура деформации, которая характеризуется определенной ориентацией зерен по отношению к прилагаемым нагрузкам. Текстура деформации приводит к анизотропии свойств.

При наклепе в процессе холодной пластической деформации происходит … **увеличение прочности, снижение ударной вязкости**

Решение:

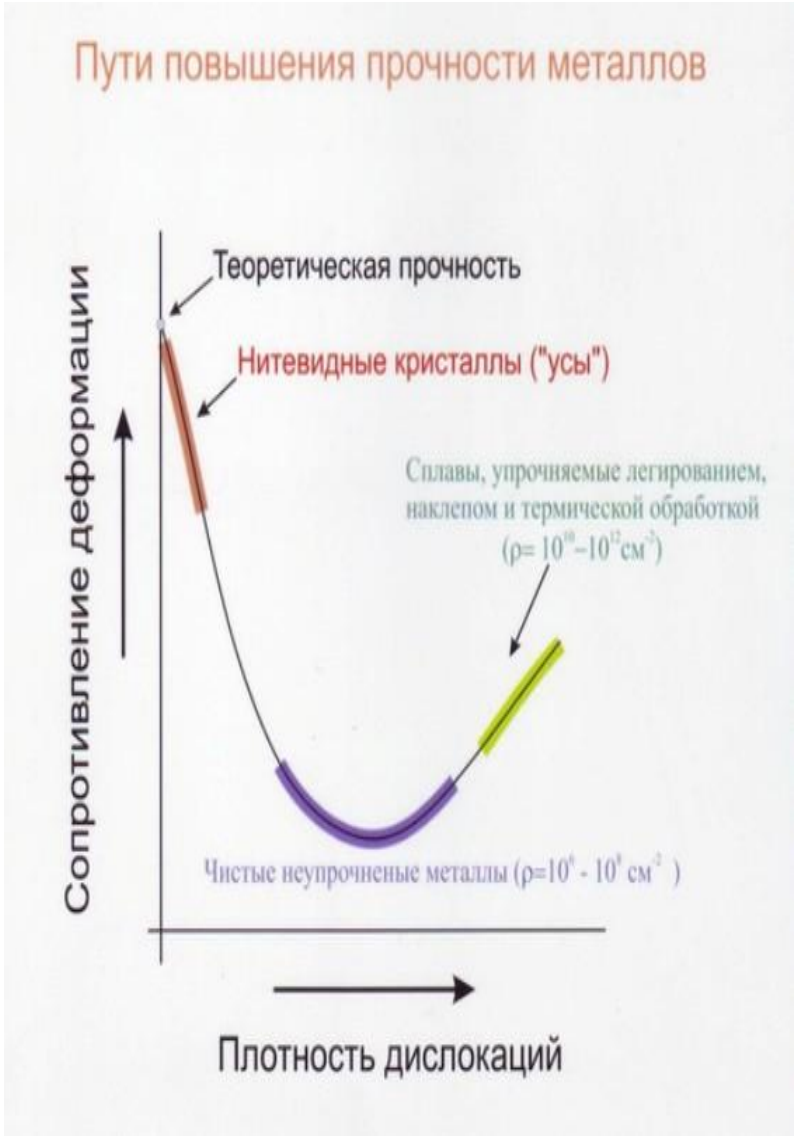
Процесс пластической деформации металлов и сплавов сопровождается ростом числа дефектов кристаллической решетки, искривлением плоскостей скольжения, появлением в плоскостях скольжения обломков кристаллитов. Все это препятствует перемещению дислокаций, способствует их накоплению. В результате сплав упрочняется, снижается его пластичность и ударная вязкость.

При осуществлении низкотемпературной пластической деформации (наклепа) возрастает плотность дислокаций, что приводит к увеличению прочности материала.

Увеличение плотности дислокаций при проведении холодной

Упрочнение металла в процессе пластической деформации (наклеп) объясняется … **увеличением числа дефектов кристаллического**

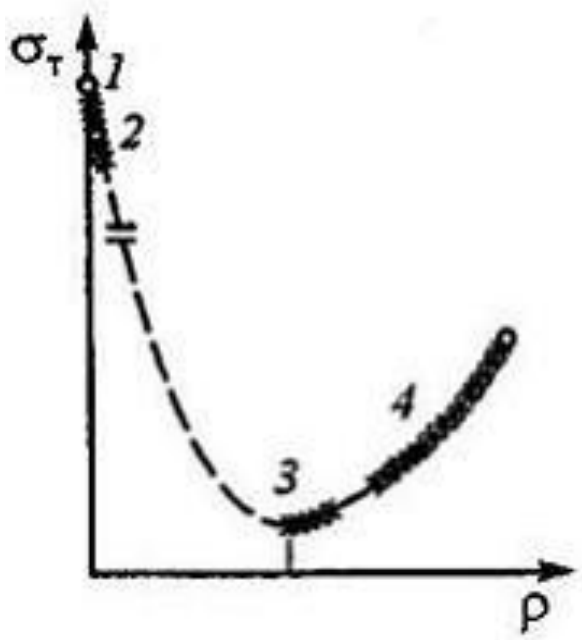
Рис. 2.8. Зависимость прочности металла от искажений кристаллической решетки


Пути повышения прочности металлов
Теоретическая прочность
Нитевидные кристаллы ("усы")
Сплавы, упрочняемые легированием, наклепом и термической обработкой
(ρ= 10^10–10^12 см^-2)
Чистые неупрочненые металлы (ρ=10^6 - 10^8 см^-2)
Сопротивление деформации
Плотность дислокаций

Металлы и сплавы.doc

Рис. 1.4. Влияние количества дефектов на прочность сплава (стали).

На приведенном графике зависимости предела текучести σ_T от плотности дислокаций ρ участок 2 соответствует прочности …«**усов**»

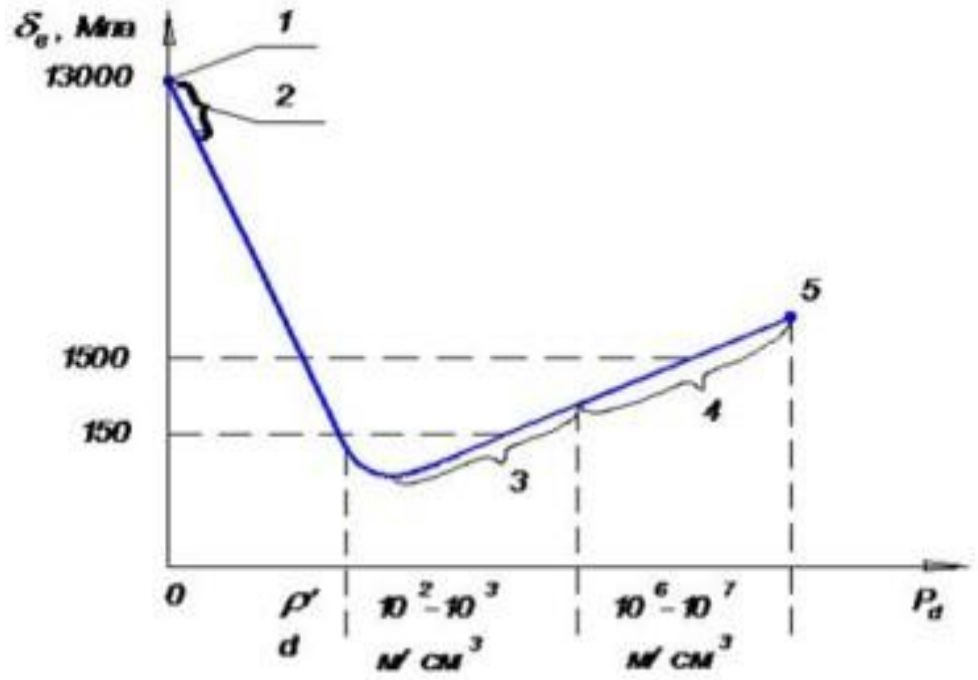


Решение: Участок 2 соответствует прочности «усов» (viskers)

искусственных нитевидных кристаллов без дефектов кристаллического строения.

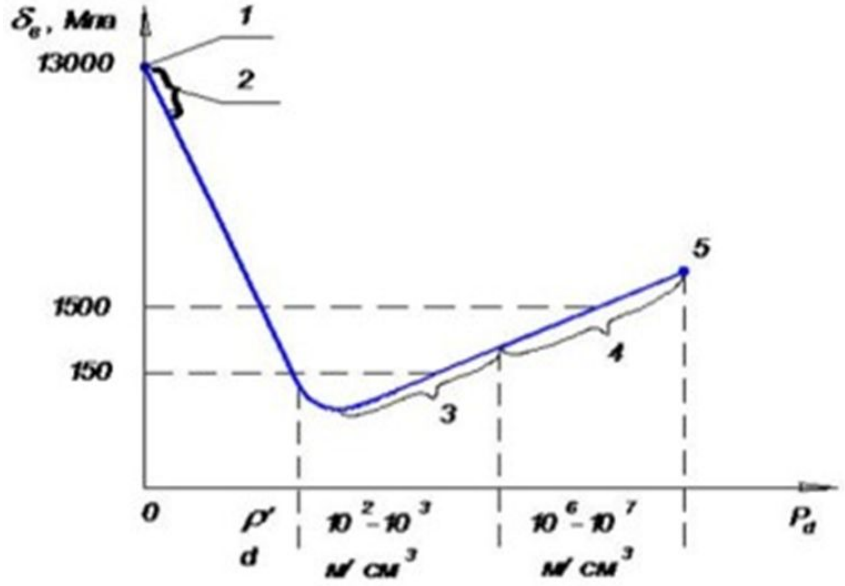
На рисунке точка 1 соответствует прочности …

теоретической



Решение:

Точка 1 на кривой σB = f (Pd) соответствует теоретической прочности идеального бездефектного кристалла. В этом случае прочность кристалла имеет максимальное значение вследствие того, что его деформация осуществляется по механизму скольжения.



Прочности «усов» (viskers) искусственных нитевидных кристаллов без дефектов кристаллического строения соответствует **участок 2**.

Прочности технически чистых металлов соответствует **участок 3**.

Прочности упрочненных металлов соответствует **участок 4**. Упрочнение достигается в результате увеличения полезной плотности дислокаций при низкотемпературной пластической деформации, измельчении зерна, термической и химико