



СВОЙСТВА МАТЕРІАЛІВ

Лекція 4

Поток 1А

Лектор доц. Дощечкина І.В.

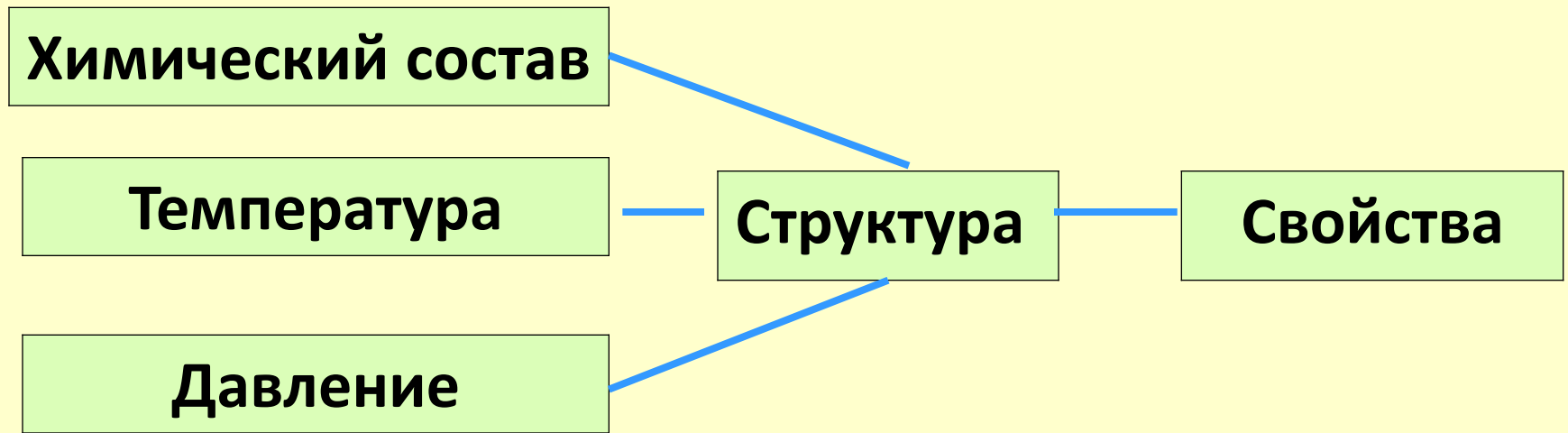
(Lect_4_1A_ТКМиМ_DIV. ppt)

(Использoваны матеріали проф. Мощенка В.І. и електронного ресурса
[www.google.com.ua / search](http://www.google.com.ua/search))

План лекции

- 1. Понятия надежности и долговечности изделий. Факторы на них влияющие.
- 2. Определение характеристик прочности и пластичности.
- 3. Твердость материалов.
- 4. Усталостная прочность. Показатели сопротивления материала усталостному разрушению.

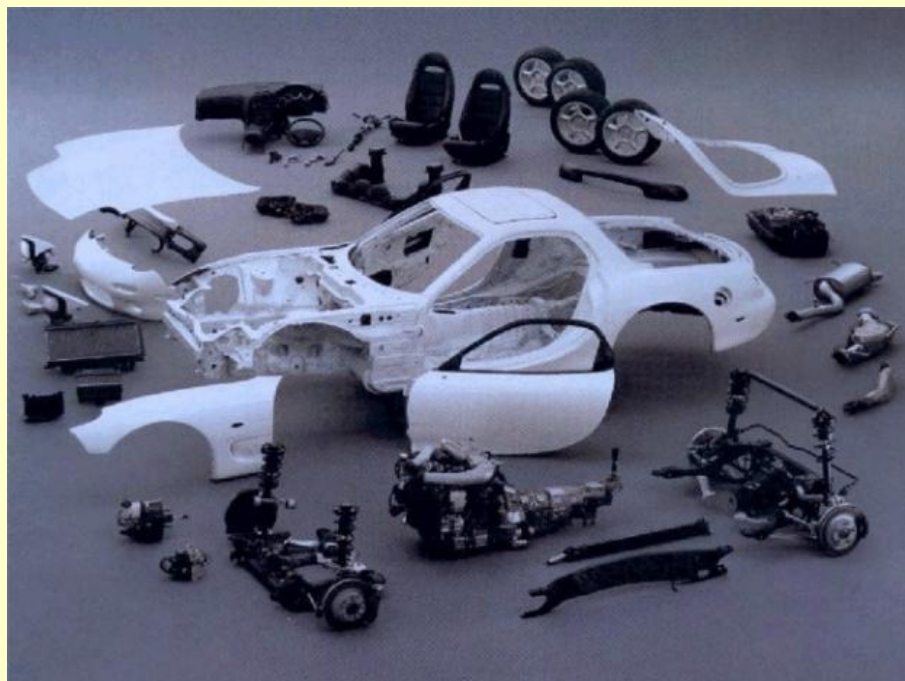
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ – это наука, устанавливающая зависимость между химическим составом, структурой и свойствами материала и изучающая закономерности их изменения под внешним воздействием (механическим, тепловым, химическим, электромагнитным и др.)



От качества материала, от его правильного выбора зависит масса автомобиля, его надежность и долговечность, расход горюче-смазочных материалов.

В процессе производства и ремонта автомобилей используют 5,5 тысяч различных материалов.

**40% массы
легкового
автомобиля (60%
грузового)
составляют стали.
Для различных
деталей автомобиля
применят более 50
марок сталей.**



**Затраты на металл составляют до 25 %
себестоимости автомобиля**

НАДЕЖНОСТЬ – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять необходимые функции в заданных режимах эксплуатации, технического обслуживания, хранения и транспортировки.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ – это свойство изделия сохранять свою работоспособность до перехода в предельное состояние, определяющее невозможность дальнейшей эксплуатации.

Отказы – нарушение работоспособности объекта. Они делятся на постепенные и внезапные

Постепенный отказ – результат накопления повреждений на протяжении определенного времени (износ, смятие, скол, коррозия).

Детали можно заменить, не допустив аварийного состояния.



Износ кулачка и коррозия поршня



Смятие шлицевого соединения

**Внезапный отказ невозможно
предусмотреть заранее он приводит к
разрушению и к аварии**



Долговечность характеризует свойство изделия противостоять постепенному отказу.

Надежность — свойство изделия противостоять внезапному отказу.

Долговечность характеризуется наработкой или ресурсом

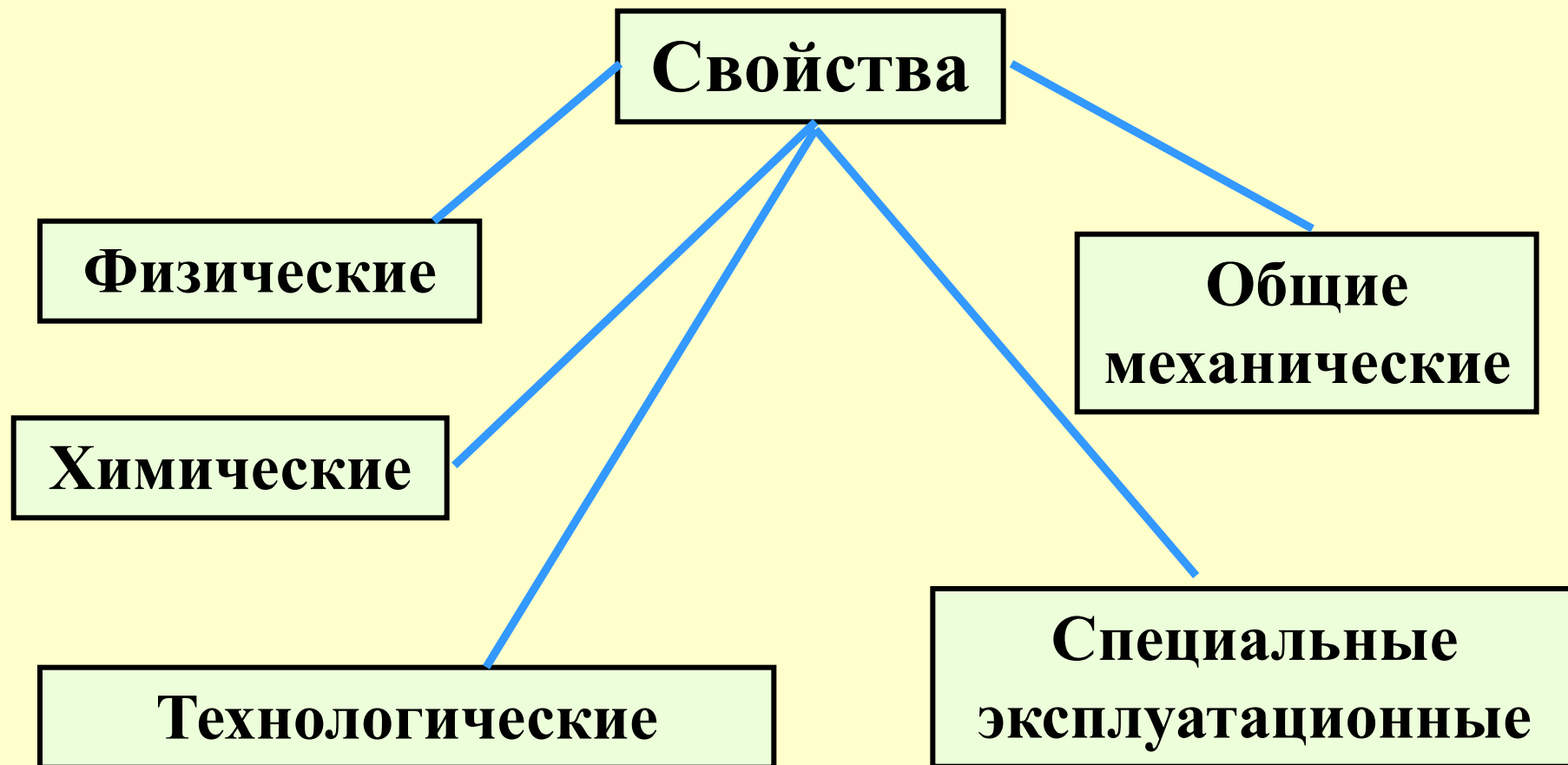
Наработка — продолжительность или объем работы, измеряемой в разных единицах (час, км, тонна, циклы)

Ресурс- суммарная наработка от начала эксплуатации объекта или возобновления его работы после ремонта до перехода в предельное состояние, обусловленное техническими условиями

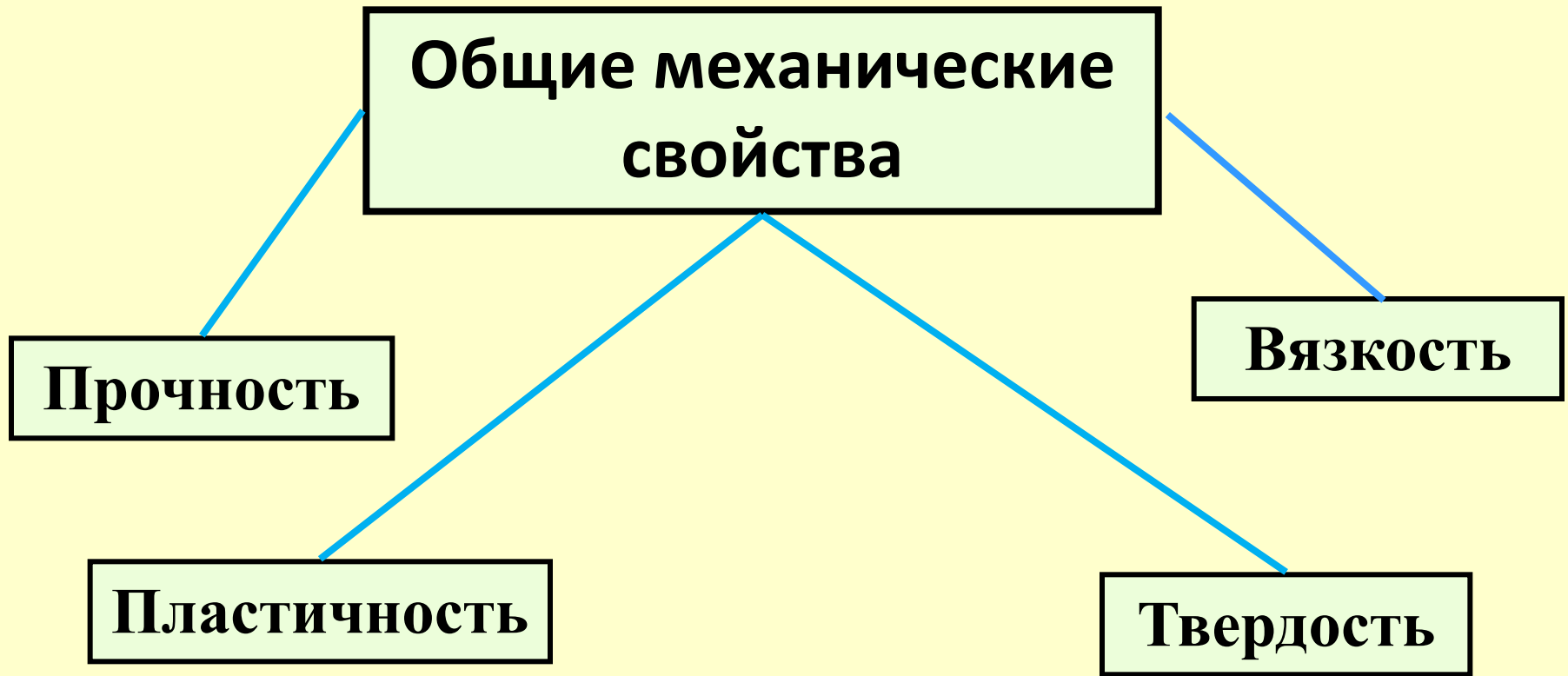
Факторы, влияющие на надежность и долговечность:

- 1. Правильность конструкторского решения.**
- 2. Технология изготовления и культура производства.**
- 3. Условия эксплуатации и обслуживания машин.**
- 4. Качество и свойства материала изделия.**

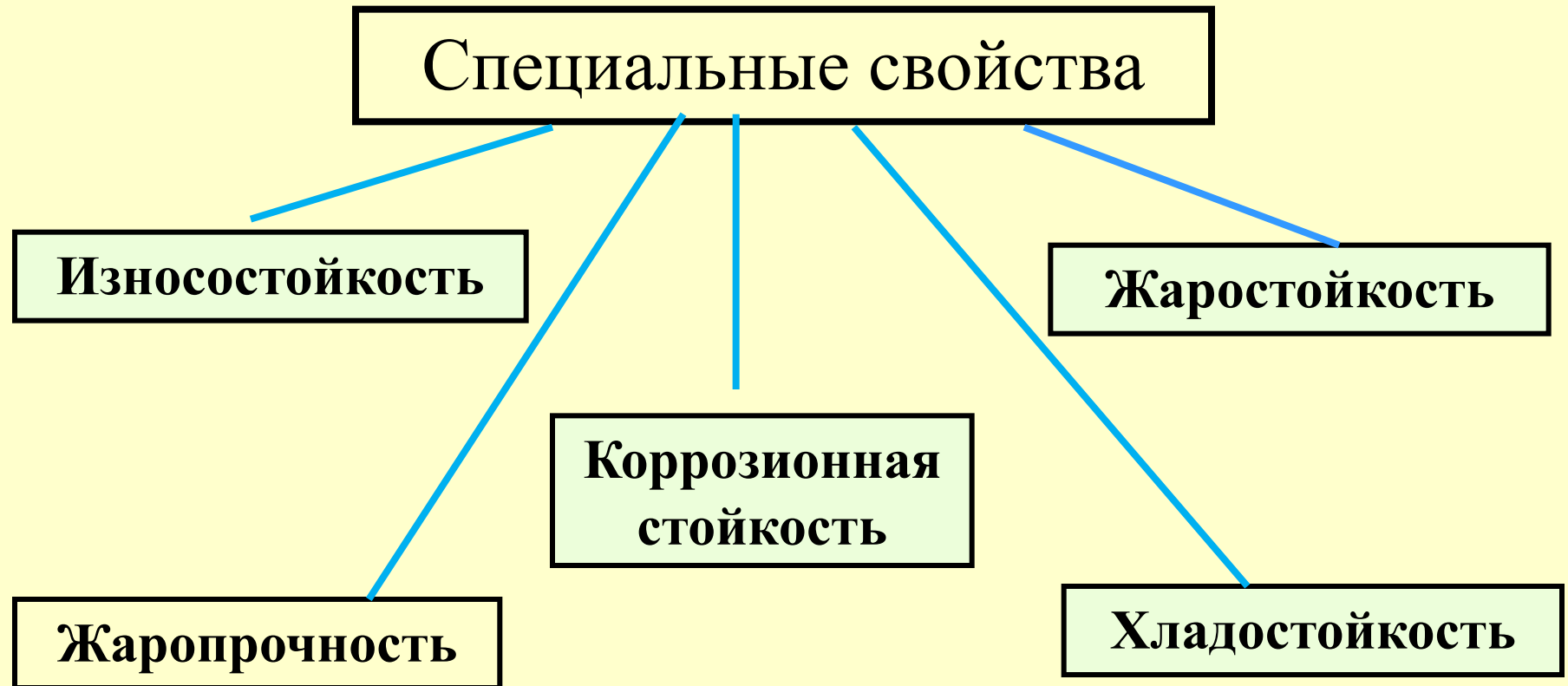
В зависимости от условий работы материал изделия должен обладать определенными свойствами



Общие стандартные механические свойства учитываются для любых изделий независимо от условий эксплуатации.



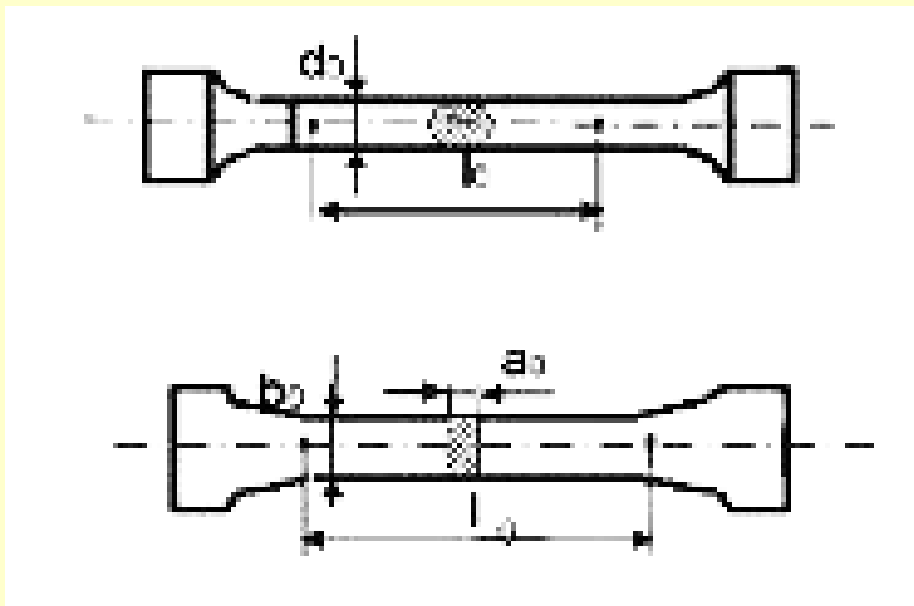
Специальные свойства становятся главными в конкретных условиях эксплуатации деталей машин



Прочность, характеристики прочности

Прочность – это способность материала сопротивляться деформации и разрушению.

Характеристики прочности определяют при статических испытаниях образцов на растяжение (ДСТУ 2824.94) на специальных разрывных машинах.



Стандартные образцы для испытаний на растяжение



Испытание на растяжение

Разрывная
машина марки
UIT STM с
программным
управлением



Образец
закрепляется в
захватах
машины и
подвергается
одноосному
растяжению до
разрушения.



Исходный
образец



Образец после
испытания



При растяжении записывается зависимость между растягивающей силой P и вызванной ею деформацией Δl (абсолютное удлинение образца):

$$P = f(\Delta l).$$

Эта зависимость называется диаграммой или кривой растяжения.

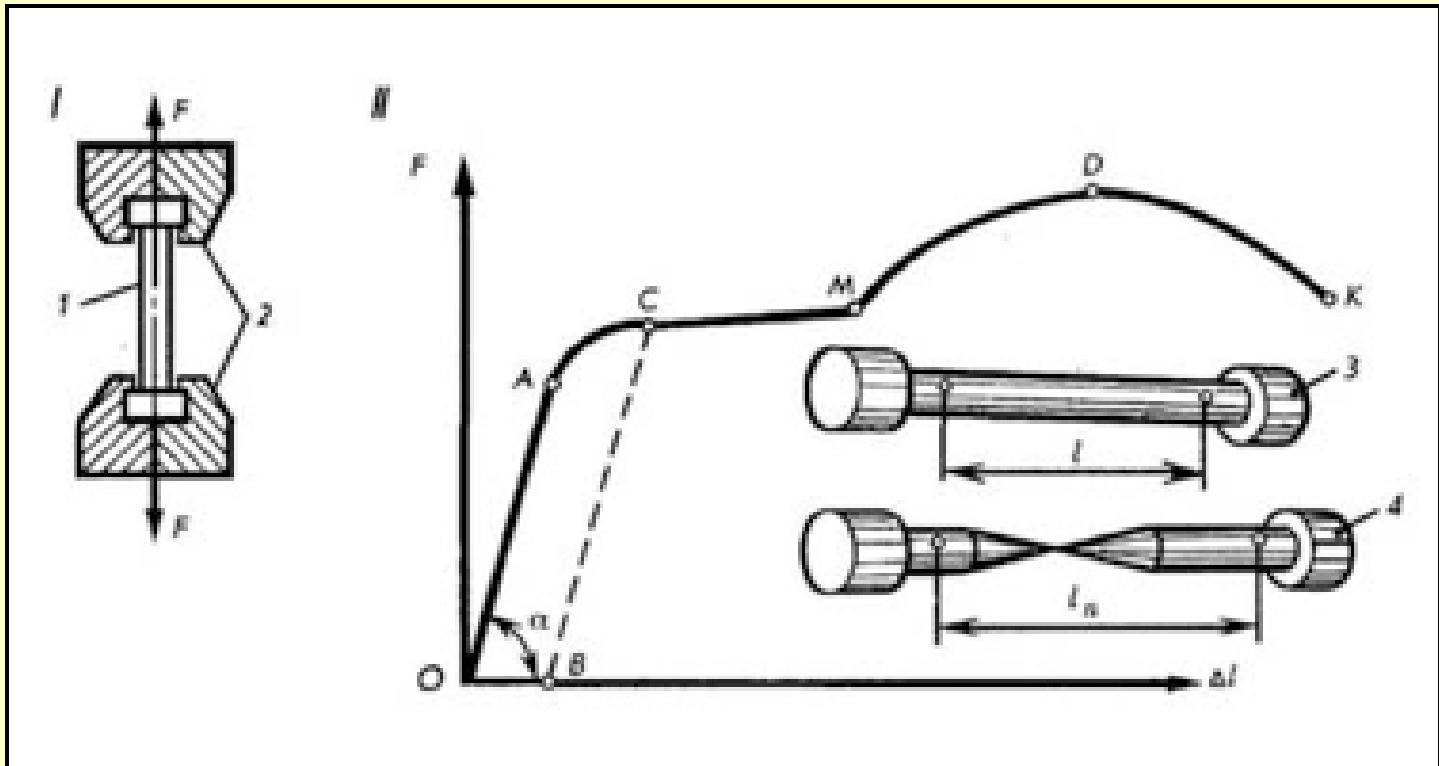
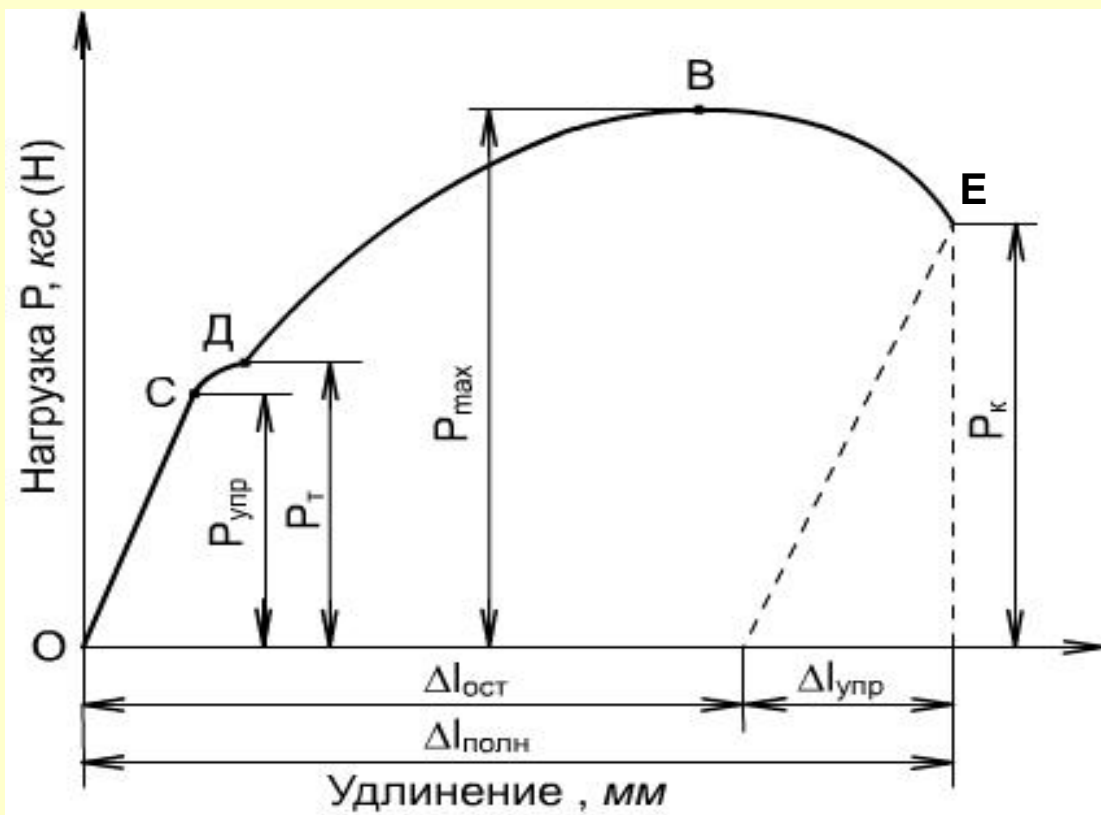


Диаграмма растяжения характеризует поведение материала при деформировании растяжением от момента начала нагружения до разрушения образца



На диаграмме выделяют три участка:

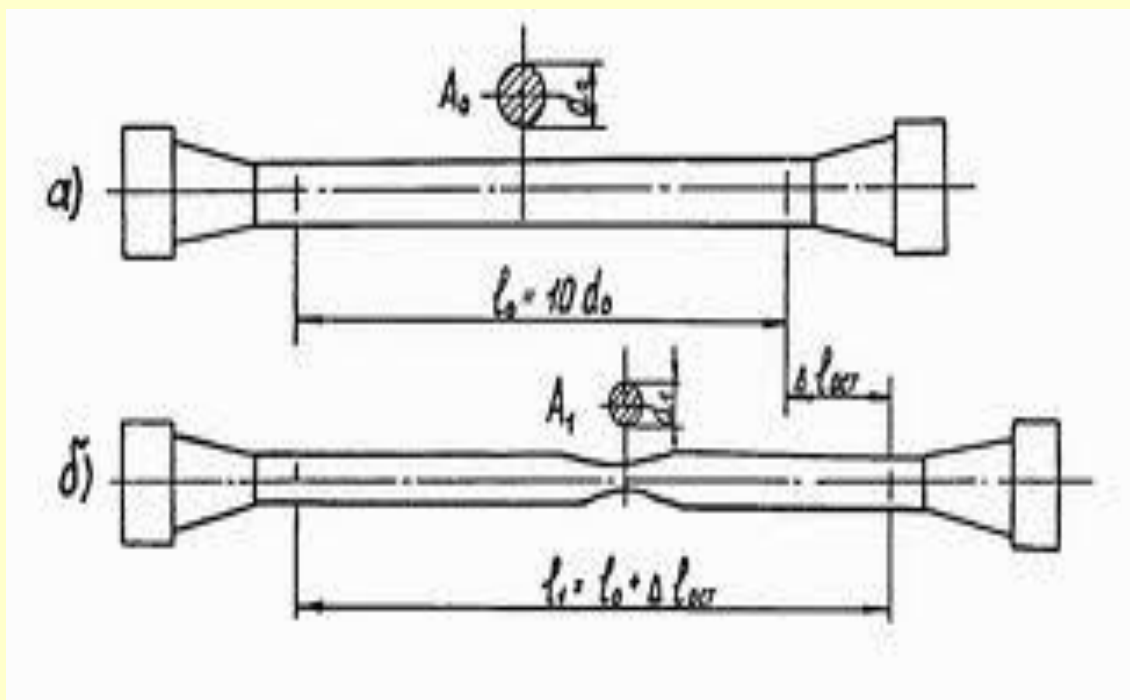
ОС – упругая деформация,

СВ – равномерная пластическая деформация,

ВЕ – сосредоточенная пластическая деформация.

От B до E нагрузка уменьшается и при P_k происходит разрушение образца.

До нагружения с максимальной силой $R_{\max}$ образец деформируется равномерно. При усилиях больших $R_{\max}$ в наиболее слабом месте происходит утонение образца **образуется шейка**.

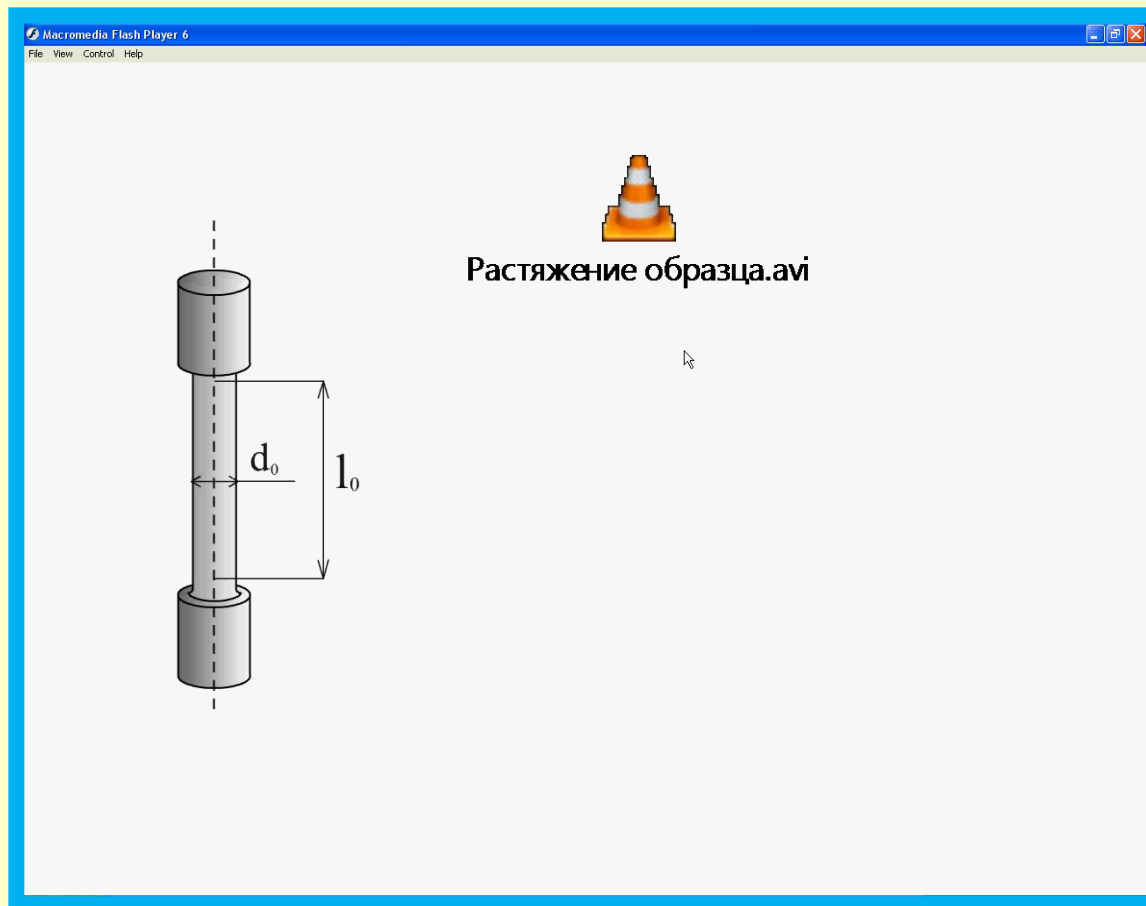


**а - образец до
испытания на
растяжение,

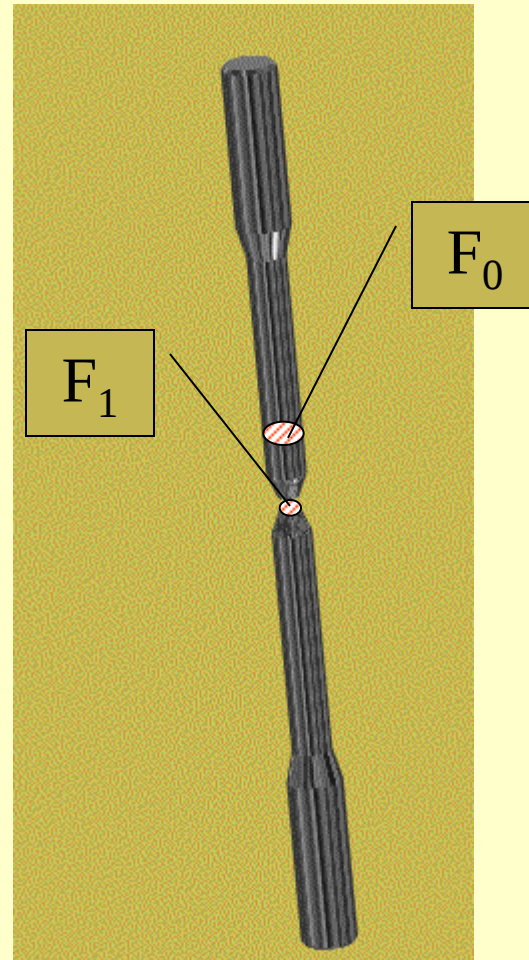
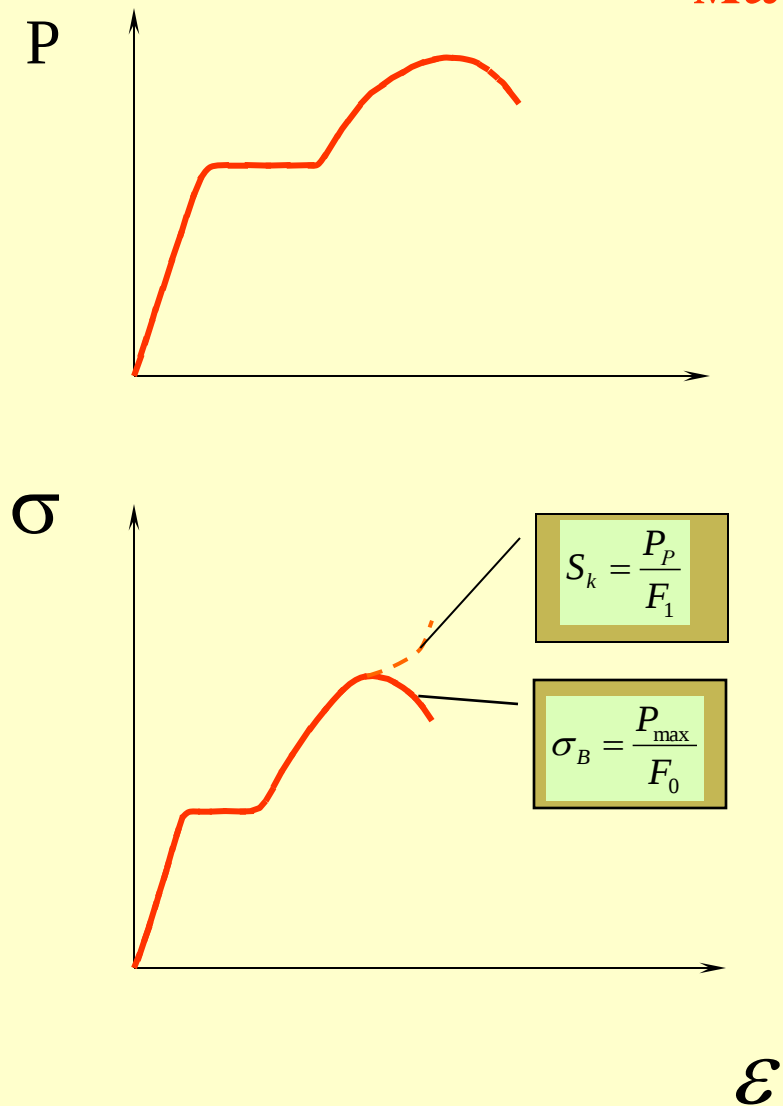
б - образец
после
испытания.**

Разрушение образца **происходит в шейке**.

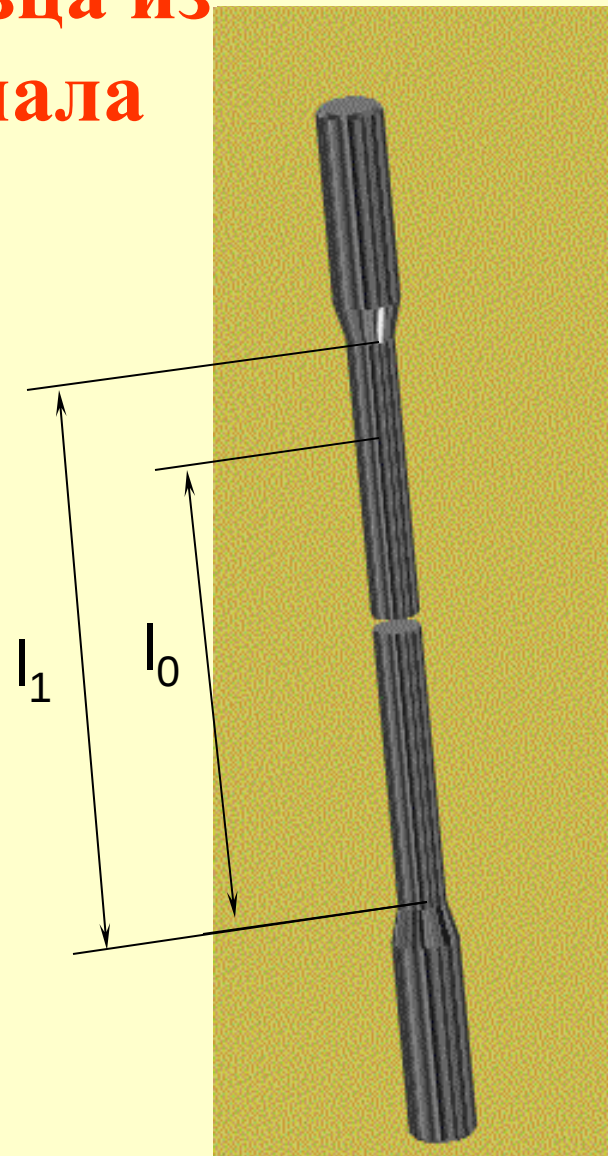
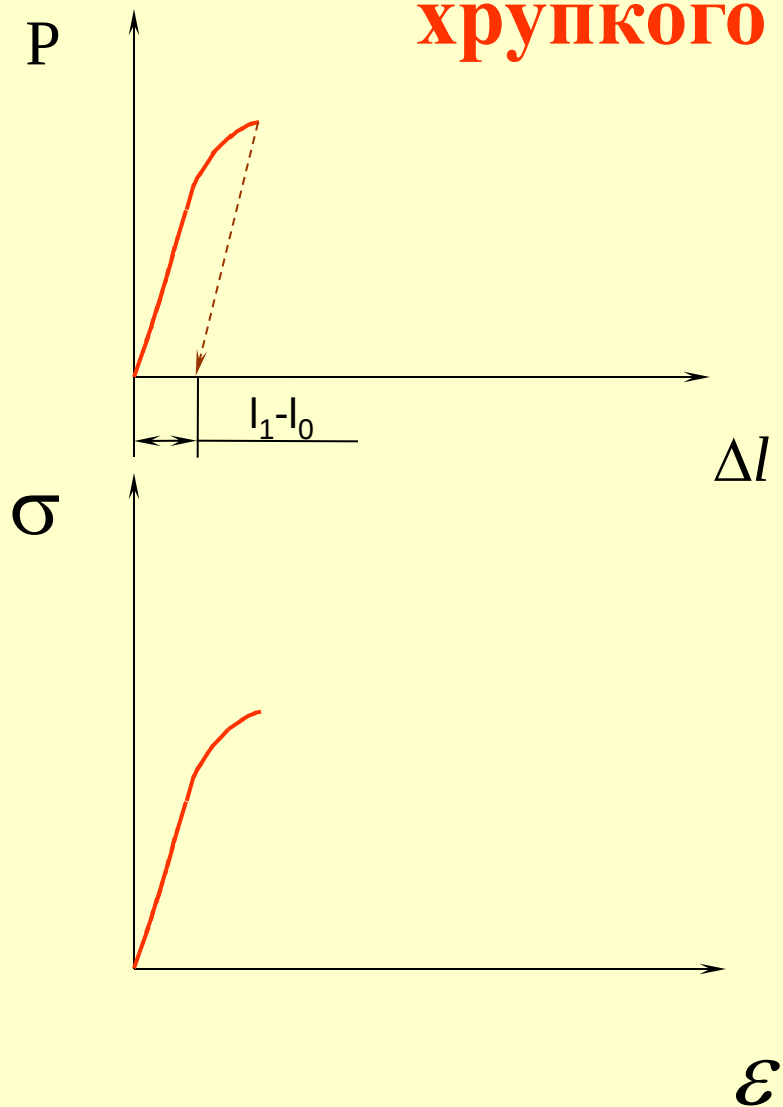
Испытание на растяжение



Растяжение образца из пластичного материала



Разрушение образца из хрупкого материала

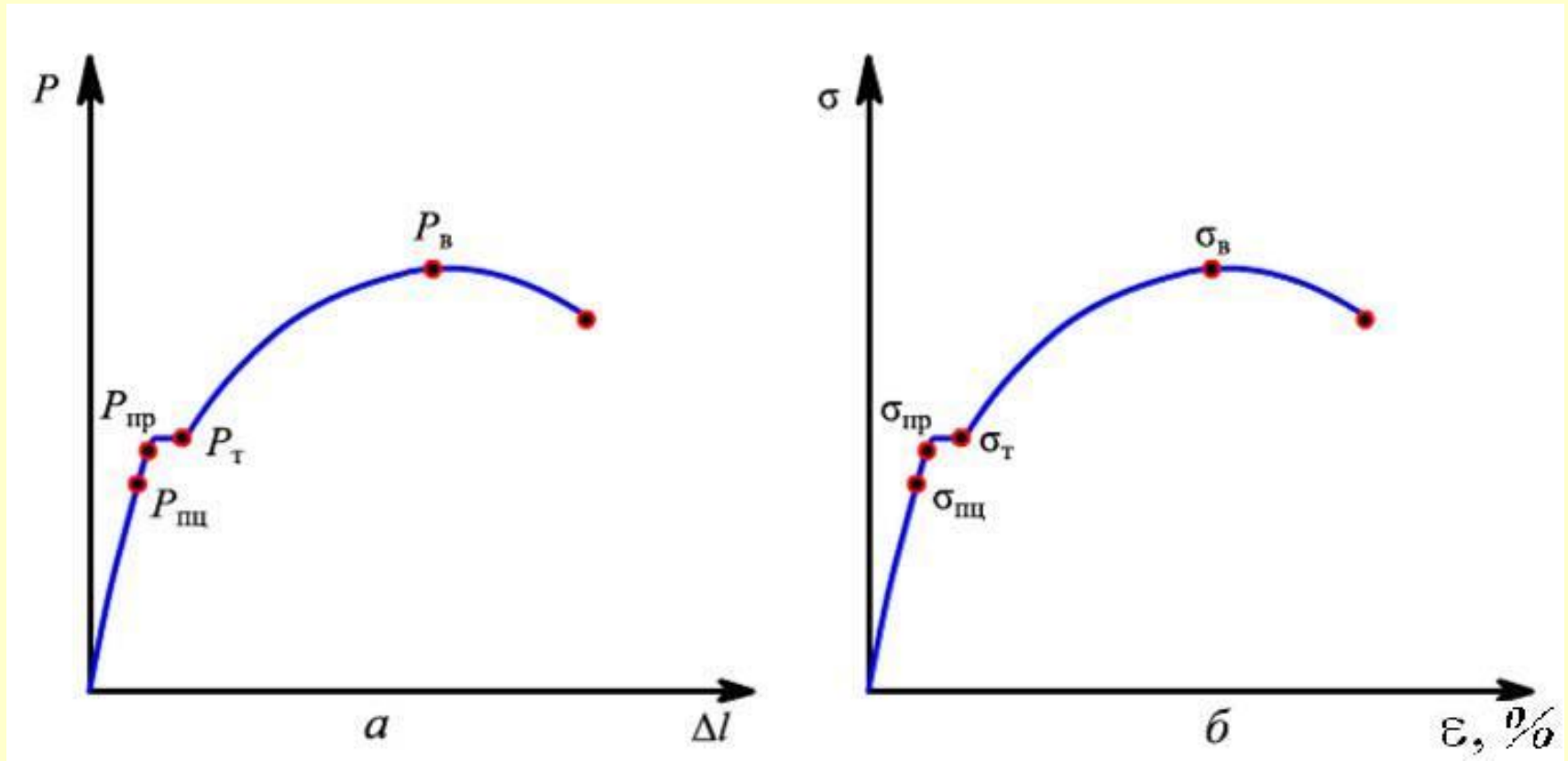


При расчетах используют не силу, а удельную нагрузку, которая называется **напряжением σ** .

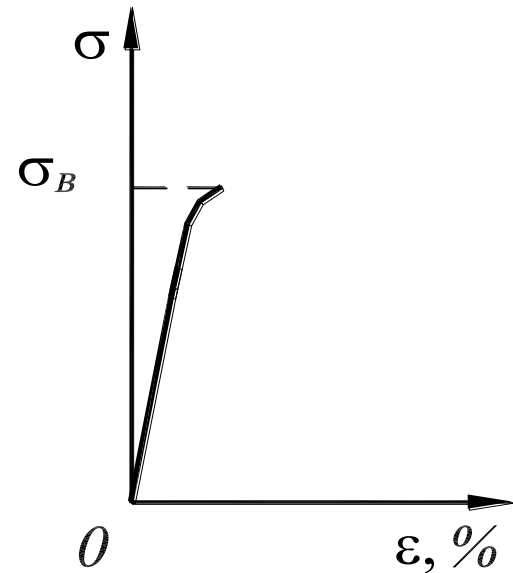
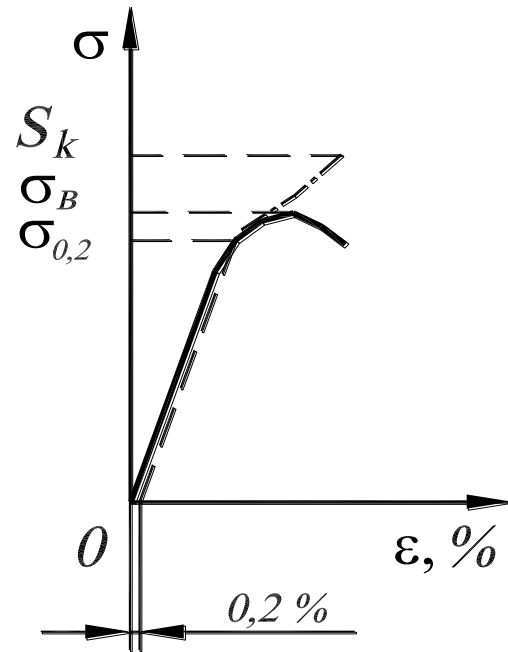
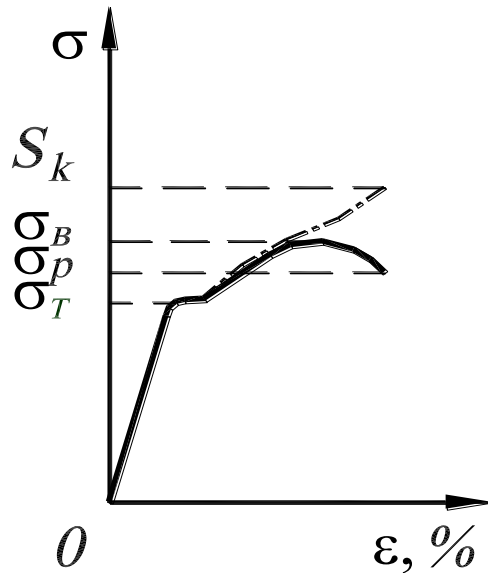
$$\sigma = P/F, \text{ Н/мм}^2 \text{ (МПа)},$$

где P – сила, F – площадь поперечного сечения образца.

Зависимость $P = f(\Delta l)$ перестраивают в диаграмму $\sigma = f(\varepsilon)$, где ε – относительное удлинение в %.



Типичные кривые напряжение - деформация



**Малопрочный
материал с
высокой
пластичностью**

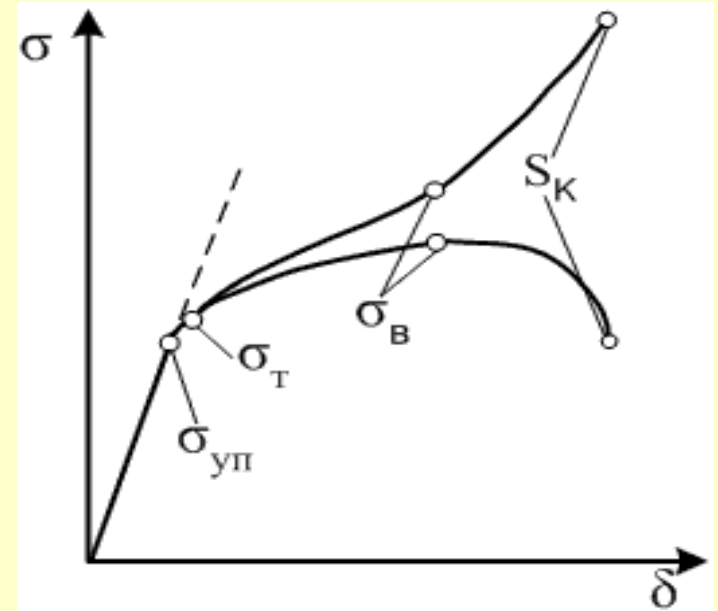
**Материал с
достаточной
прочностью и
пластичностью**

**Хрупкий
материал**

Различают действительные (истинные) S и условные (номинальные) напряжения σ .

Действительные напряжения – отношение действующей в данный момент силы к площади поперечного сечения образца в тот же момент нагружения.

Номинальное напряжение – отношение силы в данный момент нагружения к начальной площади поперечного сечения образца.



S_k – действительное сопротивление разрушению

$S_k = P_p / F$, где P_p – усилие, при котором происходит разрушение;.

F – площадь поперечного сечения в месте разрушения.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛА

$\sigma_{0,05}$ и $\sigma_{0,005}$ – условный предел упругости,

$$\sigma_{0,05} = P_{0,05} / F_0 \quad \text{или} \quad \sigma_{0,005} = P_{0,005} / F_0,$$

где F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца.

σ_T – физический предел текучести, $\sigma_T = P_T / F_0$

$\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести, $\sigma_{0,2} = P_{0,2} / F_0$

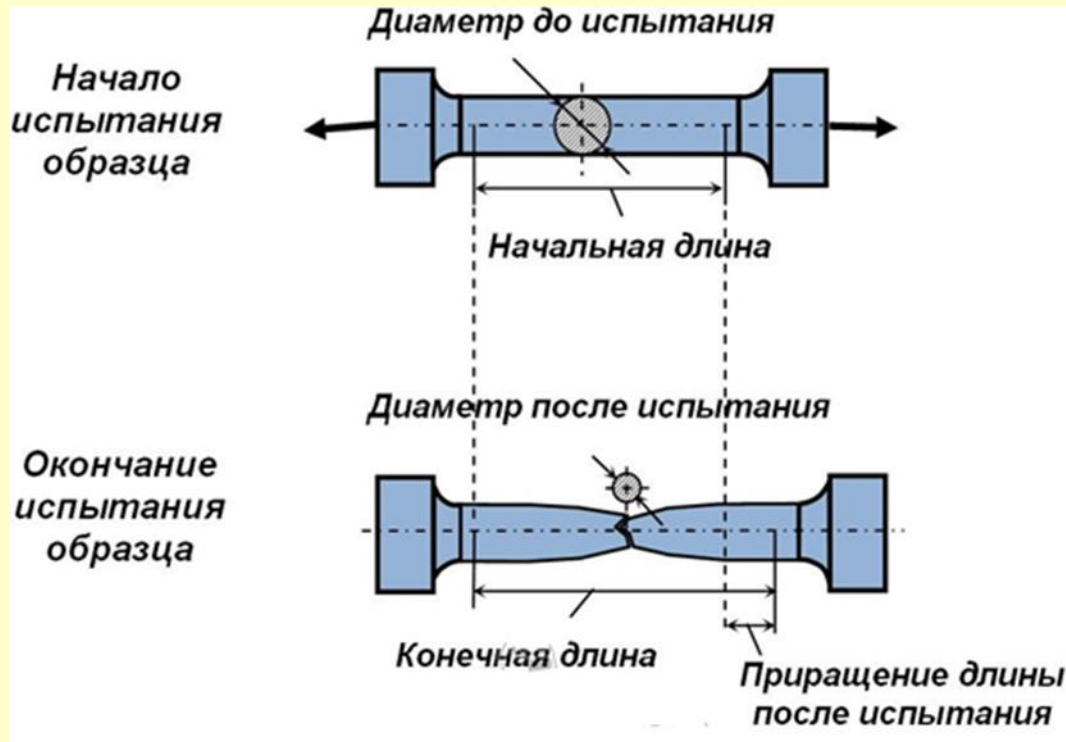
σ_B – временное сопротивление, $\sigma_B = P_{max} / F_0$

S_k – действительное сопротивление разрушению.

Показатели $\sigma_{0,05}$, $\sigma_{0,005}$, σ_T , $\sigma_{0,2}$ характеризуют сопротивление материала деформации, а σ_B и S_k – сопротивление разрушению

Пластичность – свойство материала необратимо изменять свои размеры и форму без разрушения.

Основными показателями пластичности являются относительное удлинение δ и относительное сужение ψ .



$$\delta = (l - l_0) / l_0 \times 100, \%$$

l_0 - начальная длина, l - длина после испытания

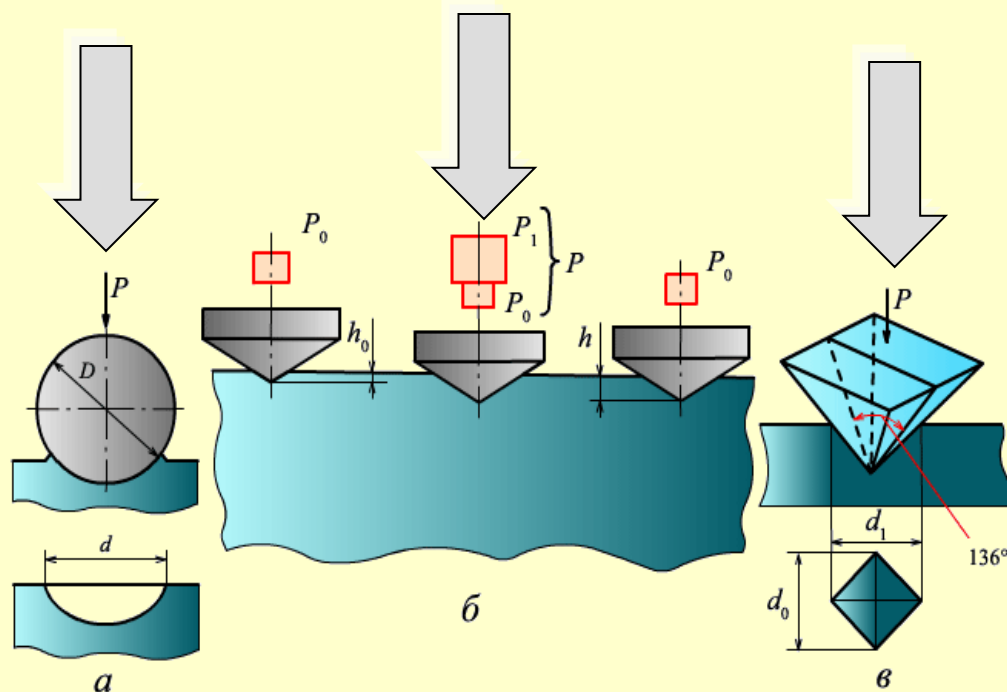
$$\psi = (F_0 - F) / F_0 \times 100, \%$$

F_0 - начальная площадь поперечного сечения,

F - после испытания

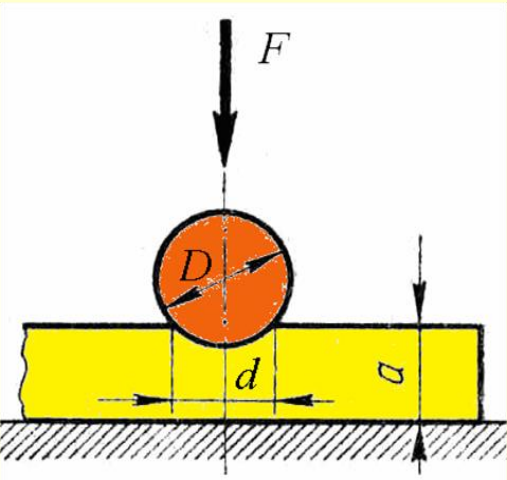
Особенно важным является относительное сужение, характеризующее способность металла к местной пластической деформации

Твердость – это способность материала сопротивляться внедрению в него более твердого тела, называемого **индентором**. Наиболее распространённые статические методы определения твердости: **по Бринеллю (а), по Роквеллу (б), по Виккерсу (в).**



В качестве инденторов могут быть стальные (Роквелл) или твердосплавные (Бринелль) шарики разного диаметра, алмазный конус и алмазная четырехгранная (Виккерса) или трехгранная (Берковича) пирамиды.

Твердость по Бринеллю



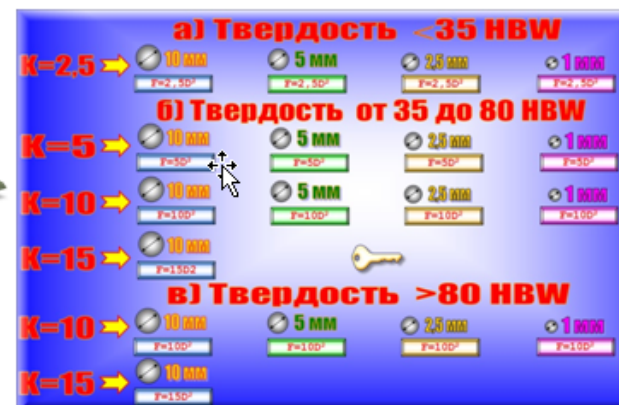
Согласно ДСТУ(ISO) 6506 твердосплавный шарик диаметром (D) 10; 5; 2,5; 1 мм внедряется в поверхность изделия под нагрузкой от 1 до 3000 кгс. Твердость определяется как отношение нагрузки к площади поверхности отпечатка

$$HBW = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ где } F - \text{нагрузка}, \quad d - \text{диаметр отпечатка}$$

Твердость по Бринеллю определяется в кгс/мм², но обозначается безразмерной величиной - **400 HBW**.

Для стали $\sigma = (0,34 - 0,35) \text{ HBW}$

Определение твердости по Бринеллю согласно ДСТУ ISO 6506-1:2007



Диаметр шарика, мм	Сталь, Ni-, Ti-сплавы	Чугун		Медь и сплавы меди			Легкие металлы и их сплавы						Свинец, олово
		HBW<140	HBW≥140	HBW<35	HBW от 35 до 200	HBW>200	HBW<35	HBW от 35 до 80	HBW от 35 до 80	HBW от 35 до 80	HBW>80	HBW>80	
	F=30 D ²	F=10 D ²	F=30 D ²	F=5 D ²	F=10 D ²	F=30 D ²	F=2,5 D ²	F=5 D ²	F=10 D ²	F=15 D ²	F=10 D ²	F=15 D ²	F=1 D ²
1	294,2	98,07	294,2	49,03	98,07	294,2	24,52	49,03	98,07		98,07		9,807
2,5	1839	612,9	1839	306,5	612,9	1839	153,2	306,5	612,9		612,9		61,29
5	7355	2452	7355	1226	2452	7355	612,9	1226	2452		2452		245,2
10	29420	9807	29420	4903	9807	29420	2452	4903	9807	14710	9807	14710	980,7

Новое обозначение твердости по Бринеллю согласно с ДСТУ ISO 6506-1:2007



Сл.тел.+38(057)700-38-75;
М.тел.+38 (096-359-79-46)
mvi@khadi.kharkov.ua
Мощенок
Василий Иванович

Обозначение твердости по Бринеллю

425 HBW 10 / 3000 / 20



Время выдержки, с
(если не равно 10-15 с)

Приложенное усилие, кгс

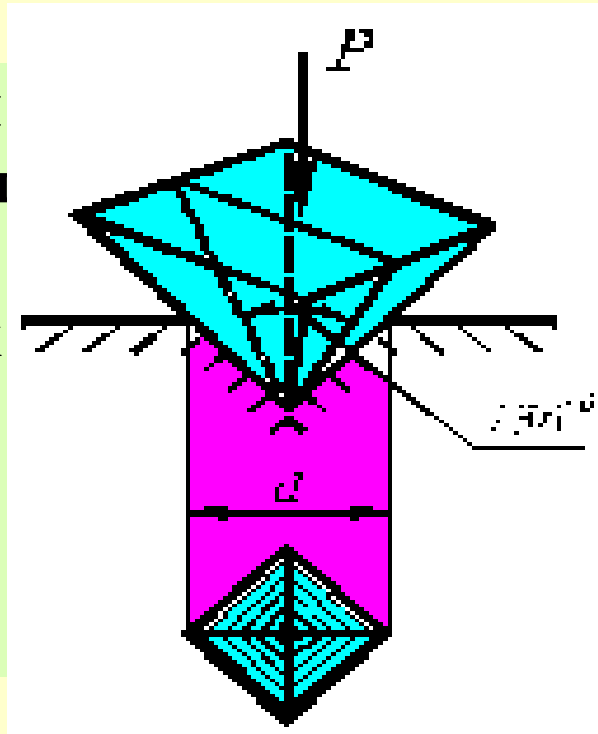
Диаметр твердосплавного шарика-индентора, мм

Символ твердости по Бринеллю

Число твердости по Бринеллю, кгс/мм²

Твердость по Виккерсу ДСТУ(ISO) 6507

В поверхность изделия
вдавливается алмазная
четырехгранная
пирамида при усилиях
от 0,05 до 5 Н. После
снятия нагрузки
измеряются обе
диагонали отпечатка



Твердость
рассчитывается
как отношение
нагрузки к
площади
боковой
поверхности
отпечатка

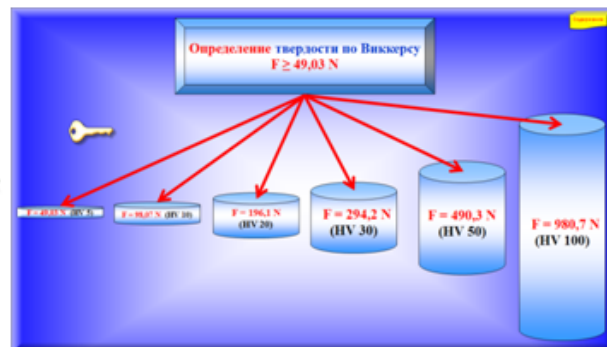
$$HV = 1,8544 \frac{F}{d^2}$$

Значения HV как и HB выражаются в МПа или ГПа

Метод используется для очень твердых и мягких
материалов, тонких изделий или поверхностей.

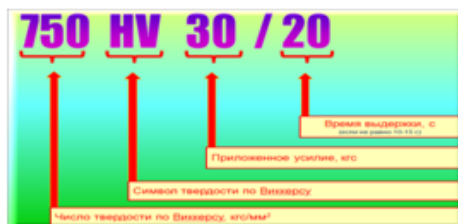
Определение твердости по Виккерсу согласно ДСТУ ISO 6507-1:2007

Выбор диапазона измерения твердости по Виккерсу:



Твердость по Виккерсу ($F \geq 49,03 \text{ N}$)		Твердость по Виккерсу при малых нагрузках ($1,961 \text{ N} \leq F < 49,03 \text{ N}$)		Микротвердость по Виккерсу ($0,098 \text{ N} \leq F < 1,961 \text{ N}$)	
Символ твердости	Значение F, N	Символ твердости	Значение F, N	Символ твердости	Значение F, N
HV 5	49,03	HV 0,2	1,961	HV 0,01	0,09807
HV 10	98,07	HV 0,3	2,942	HV 0,015	0,147
HV 20	196,1	HV 0,5	4,903	HV 0,02	0,1961
HV 30	294,2	HV 1	9,807	HV 0,025	0,2452
HV 50	490,3	HV 2	19,61	HV 0,05	0,4903
HV 100	980,7	HV 3	29,42	HV 0,1	0,9807

**Новое
обозначение твердости по
Виккерсу согласно с
ДСТУ ISO 6507-1:2007**



Сл.тел.+38(057)700-38-75;
М.тел.+38 (096-359-79-46)
mvi@khadi.kharkov.ua
**Мощенок
Василий Иванович**

Обозначение твердости по Виккерсу

750 HV 30 / 20



Время выдержки, с
(если не равно 10-15 с)

Приложенное усилие, кгс

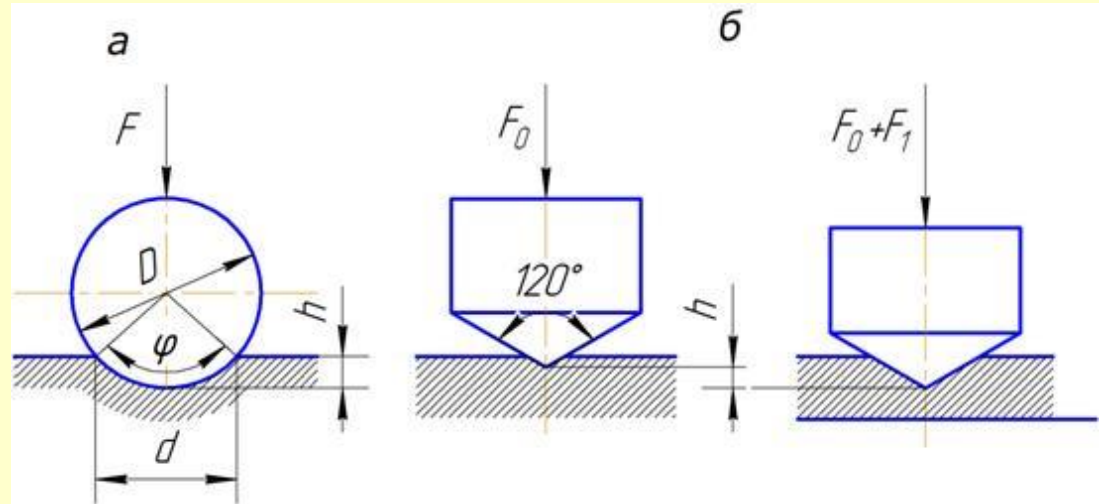
Символ твердости по Виккерсу

Число твердости по Виккерсу, кгс/мм²

Метод Роквелла ДСТУ(ISO) 6508

Метод универсальный, имеет 54 шкалы измерений, но наиболее часто используются три шкалы **A, B, C**

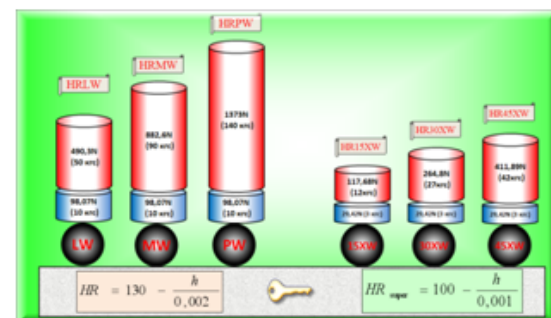
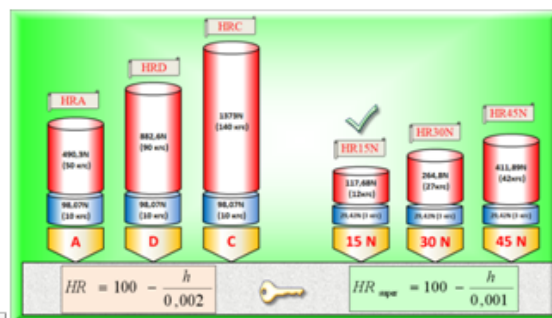
В зависимости от свойств материала индентором может быть стальной закаленный шарик диаметром 1,588 мм или алмазный конус с углом при вершине 120°.



Шкала	Индентор	Усилия, кГс	Обозначения твердости	Использование
A	Алмазный конус	60	<u>HRA</u>	Для твердых тонких слоев
B	Стальной закаленный шарик	100	HRB	Для мягких материалов
C	Алмазный конус	150	HRC	Для твердых материалов

Число твердости определяется по шкале твердомера и является безразмерной величиной.

Определение твердости по Роквеллу согласно ISO 6508-1:2005; ASTM E18-08a



Шкала	Индентор	F ₀ ,N	F ₁ ,N	F ₂ ,N	Шкала	Индентор	F ₀ ,N	F ₁ ,N	F ₂ ,N	Шкала	Индентор	F ₀ ,N	F ₁ ,N	F ₂ ,N
HRA	Конус алм	98,07	490,35	588,42	HRLW	Ø6,35ТВ	98,07	490,35	588,42	HRHS	Ø3,175ст	98,07	490,35	588,42
HRD	Конус алм	98,07	882,6	980,7	HRMW	Ø6,35ТВ	98,07	882,6	980,70	HRES	Ø3,175ст	98,07	882,6	980,70
HRC	Конус алм	98,07	1373	1471,07	HRPW	Ø6,35ТВ	98,07	1373	1471,07	HRKS	Ø3,175ст	98,07	1373	1471,07
HR15N	Конус алм	29,42	117,68	147,1	HR15XW	Ø6,35ТВ	29,42	117,68	147,10	HR15WS	Ø3,175ст	29,42	117,68	147,10
HR30N	Конус алм	29,42	264,8	294,22	HR30XW	Ø6,35ТВ	29,42	264,8	294,22	HR30WS	Ø3,175ст	29,42	264,8	294,22
HR45N	Конус алм	29,42	411,89	441,31	HR45XW	Ø6,35ТВ	29,42	411,89	441,31	HR45WS	Ø3,175ст	29,42	411,89	441,31
HRFW	Ø1,588ТВ	98,07	490,35	588,42	HRRW	Ø12,7ТВ	98,07	490,35	588,42	HRLS	Ø6,35ст	98,07	490,35	588,42
HRBW	Ø1,588ТВ	98,07	882,6	980,7	HRSW	Ø12,7ТВ	98,07	882,6	980,70	HRMS	Ø6,35ст	98,07	882,6	980,70
HRGW	Ø1,588ТВ	98,07	1373	1471,07	HRVW	Ø12,7ТВ	98,07	1373	1471,07	HRPS	Ø6,35ст	98,07	1373	1471,07
HR15TW	Ø1,588ТВ	29,42	117,68	147,1	HR15YW	Ø12,7ТВ	29,42	117,68	147,10	HR15XS	Ø6,35ст	29,42	117,68	147,10
HR30TW	Ø1,588ТВ	29,42	264,8	294,22	HR30YW	Ø12,7ТВ	29,42	264,8	294,22	HR30XS	Ø6,35ст	29,42	264,8	294,22
HR45TW	Ø1,588ТВ	29,42	411,89	441,31	HR45YW	Ø12,7ТВ	29,42	411,89	441,31	HR45XS	Ø6,35ст	29,42	411,89	441,31
HRHW	Ø3,175ТВ	98,07	490,35	588,42	HRFS	Ø1,588ст	98,07	490,35	588,42	HRRS	Ø12,7ст	98,07	490,35	588,42
HREW	Ø3,175ТВ	98,07	882,6	980,7	HRBS	Ø1,588ст	98,07	882,6	980,70	HRSS	Ø12,7ст	98,07	882,6	980,70
HRKW	Ø3,175ТВ	98,07	1373	1471,07	HRGS	Ø1,588ст	98,07	1373	1471,07	HRVS	Ø12,7ст	98,07	1373	1471,07
HR15WW	Ø3,175ТВ	29,42	117,68	147,1	HR15TS	Ø1,588ст	29,42	117,68	147,10	HR15YS	Ø12,7ст	29,42	117,68	147,10
HR30WW	Ø3,175ТВ	29,42	264,8	294,22	HR30TS	Ø1,588ст	29,42	264,8	294,22	HR30YS	Ø12,7ст	29,42	264,8	294,22
HR45WW	Ø3,175ТВ	29,42	411,89	441,31	HR45TS	Ø1,588ст	29,42	411,89	441,31	HR45YS	Ø12,7ст	29,42	411,89	441,31

Новое
обозначение твердости по
Роквеллу согласно с
(ISO 6508-1:2005; ASTM E18-08a)



Сл.тел.+38(057)700-38-75;
 М.тел.+38 (096-359-79-46)
mvi@khadi.kharkov.ua

Мощенко
Василий Иванович

Обозначение твердости по Роквеллу

55

HR

30T

W



Материал индентора:

W – шарик из твердого сплава;

S – шарик из стали;

пусто – алмазный конус

Шкала твердости по Роквеллу

1,588

Символ твердости по Роквеллу

Число твердости по Роквеллу

Обозначение твердости по Роквеллу

55

HR

30Y

W



Материал индентора:

W – шарик из твердого сплава;

S – шарик из стали;

пусто – алмазный конус

Шкала твердости по Роквеллу

12,7

Символ твердости по Роквеллу

Число твердости по Роквеллу

Обозначение твердости по Роквеллу

55

HR

C



Материал индентора:

W – шарик из твердого сплава;

S – шарик из стали;

пусто – алмазный конус

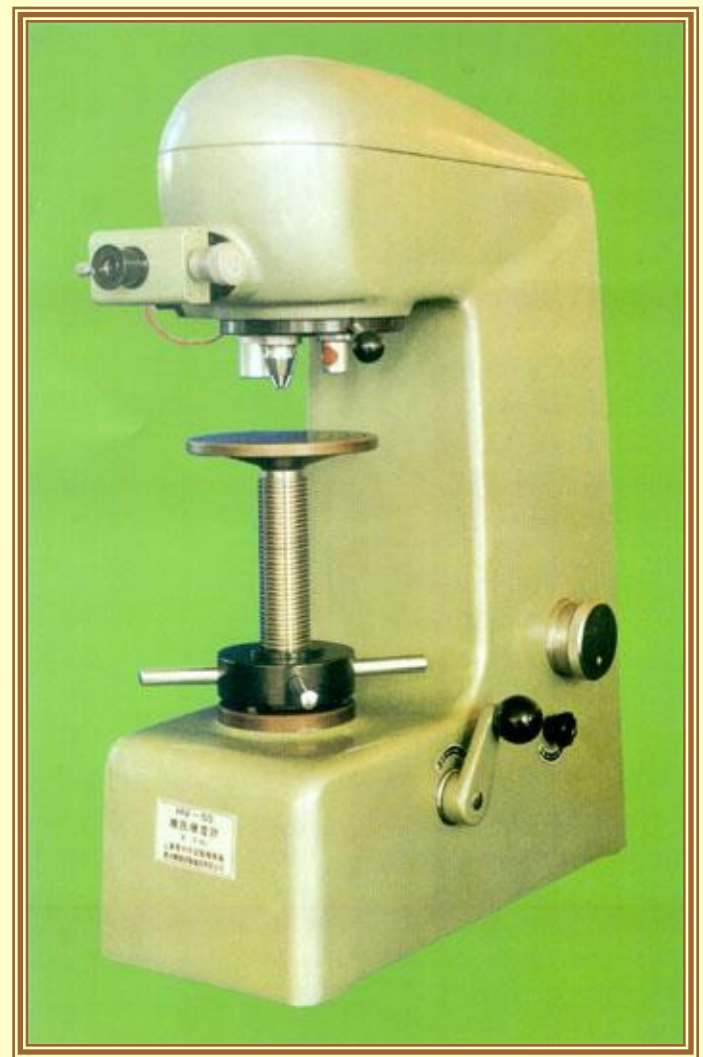
Шкала твердости по Роквеллу

Символ твердости по Роквеллу

Число твердости по Роквеллу



**Цифровой твердомер
Бринелля**



**Цифровой твердомер
Виккерса**

Вопросы для самостоятельной работы:

- 1. Контактная усталость. Предел контактной выносливости.
- 2. Твердость indentation .Масштабный эффект при измерении твердости.
- 2. Износостойкость, износ и их оценка.
- 3. Эффект безызносности.

Литература

- 1.Мощенок В.И. Новые методы определения твердости материалов : монография / В.И.Мощенок .- Х.: ХНАДУ.2013.- 324с.(стр. 36 – 46).
- 2. Дьяченко С.С. Материаловедение : учебник / С.С. Дьяченко, И.В Дощечкина, А.А.Мовлян, Э.И. Плешаков.- Харьков: Издательство ХНАДУ, 2010.- 464 с. (стр.7 – 45).
- 3. 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.7 – 18).



Кафедра технології металов и материаловедения

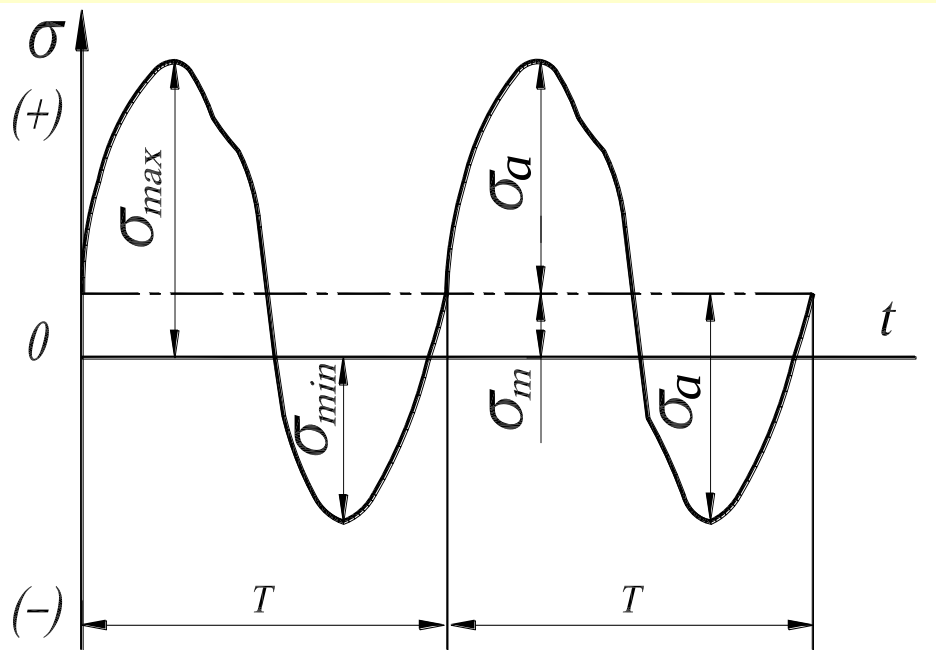
Доц. Дощечкина Ирина Васильевна

E-mail: div_khadi@ukr.net

Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ

Усталостная прочность

Большинство изделий (валы, шестерни, оси, колеса, пружины) работают в условиях циклических нагрузок.



Циклические напряжения, изменяющиеся по синусоидальному закону.

σ_{max} , σ_{min} , σ_m -
максимальные, минимальные и
средние напряжения.
 T - период циклов.

Коэффициент асимметрии
цикла $R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$

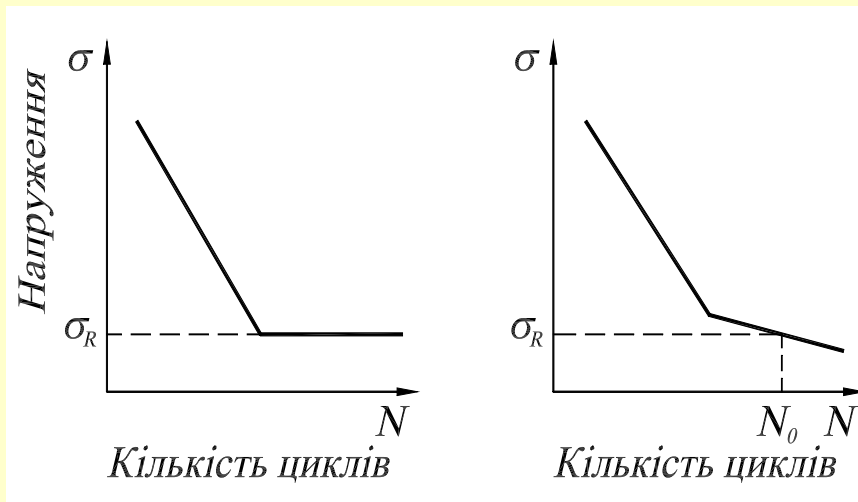
При симметричном цикле

$$|\sigma_{max}| = |\sigma_{min}| \text{ и } R = -1$$

УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ

При эксплуатации в условиях циклических нагрузок развивается явление усталости материала при напряжениях ниже предела текучести, которое приводит к снижению эксплуатационной стойкости изделий.

Усталость – процесс постепенного накопления в металле повреждений, которые приводят к появлению и развитию трещины, и к разрушению



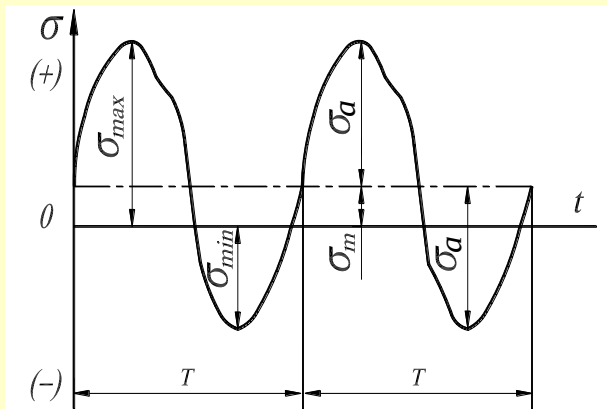
Кривые усталости

Свойство материала противостоять усталостному разрушению называется сопротивлением усталости или усталостной прочностью.

Важнейшей характеристикой ее является предел выносливости σ_R . Его определяют по кривым усталости в координатах максимальная величина напряжения цикла – количество циклов, вызвавших разрушение

Более 80% всех случаев эксплуатационных отказов происходит по причине усталостного разрушения.

Определение предела выносливости



Циклические напряжения, изменяющиеся по синусоидальному закону.

σ_{max} , σ_{min} , σ_m - максимальные, минимальные и средние напряжения.

T - период циклов.

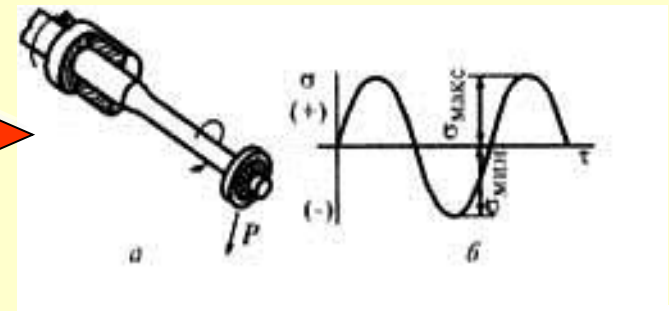
Коэффициент асимметрии цикла $R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$

При симметричном цикле

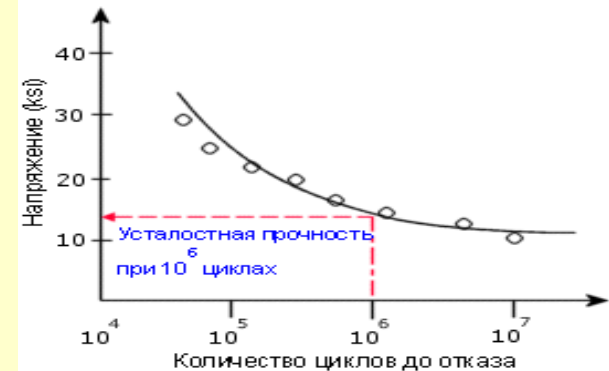
$|\sigma_{max}| = |\sigma_{min}|$ и $R = -1$

и предел выносливости обозначается σ_{-1}

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



Образец испытывают на одном уровне напряжений до разрушения или до базового количества циклов. По результатам испытаний строят кривые усталости.

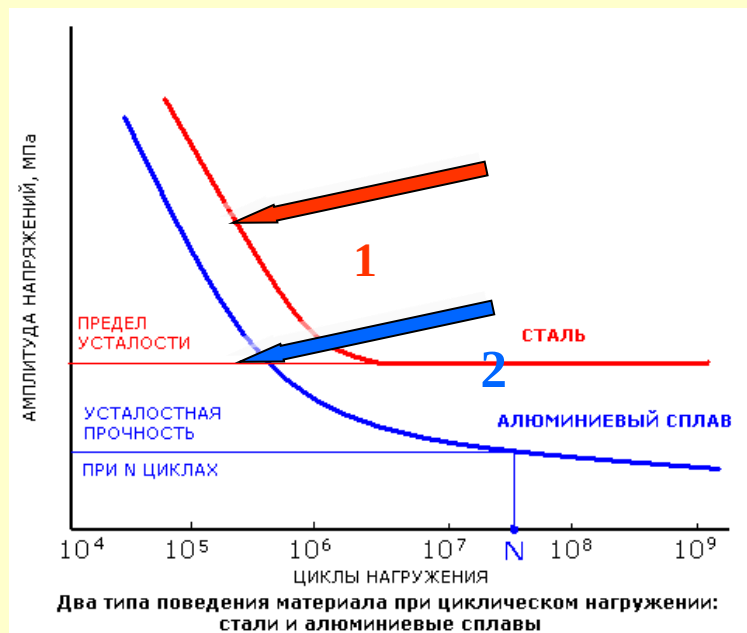


Для сталей база испытаний $N_0 = 5 \cdot 10^6 - 10^7$ циклов
Для цветных металлов и сплавов $N_0 > 10^8$ циклов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ.

Предел выносливости – значение максимального напряжения цикла, при действии которого не происходит усталостное разрушение после произвольно большого или заданного числа циклов нагружения N .

Кривые усталости могут быть двух видов.



Горизонтальный участок на кривой 1, отвечающий максимальному напряжению, не приводящему к разрушению при бесконечно большом количестве циклов нагружения, **соответствует пределу выносливости σ_{-1}** при симметричном цикле.

Такой вид усталостной кривой характерен для сталей, чугунов и титановых сплавов. Предел выносливости определяется при заданном количестве циклов, которое называют **базой испытаний N_0** .

Кривая **2** присуща цветным металлам, сплавам на их основе и неметаллическим материалам. Для них определяется **ограниченный предел выносливости** при базовом цикле нагружений.

К
Р
и
в

Для сталей база **$N_0 = 5 \cdot 10^6$** циклов.

Для цветных сплавов **$N_0 > 10^8$** циклов

Циклическая долговечность – общее количество циклов, которое выдерживает металл до разрушения.

$$N_{\text{общ}} = N_z + N_p$$

N_z – количество циклов до появления трещины

N_p – количество циклов работы материала с трещиной до разрушения

$$N_p = N_{\text{ж}}$$

Живучесть $N_{\text{ж}}$ – способность материала работать с усталостной трещиной до разрушения. Этот показатель определяет долговечность материала.