

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ

Лекция 2

*Свойства конструкционных
материалов, применяемых в
промышленности*

МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Почему металлы?

Материалы, применяемые в современных конструкциях, должны обладать целым комплексом свойств:

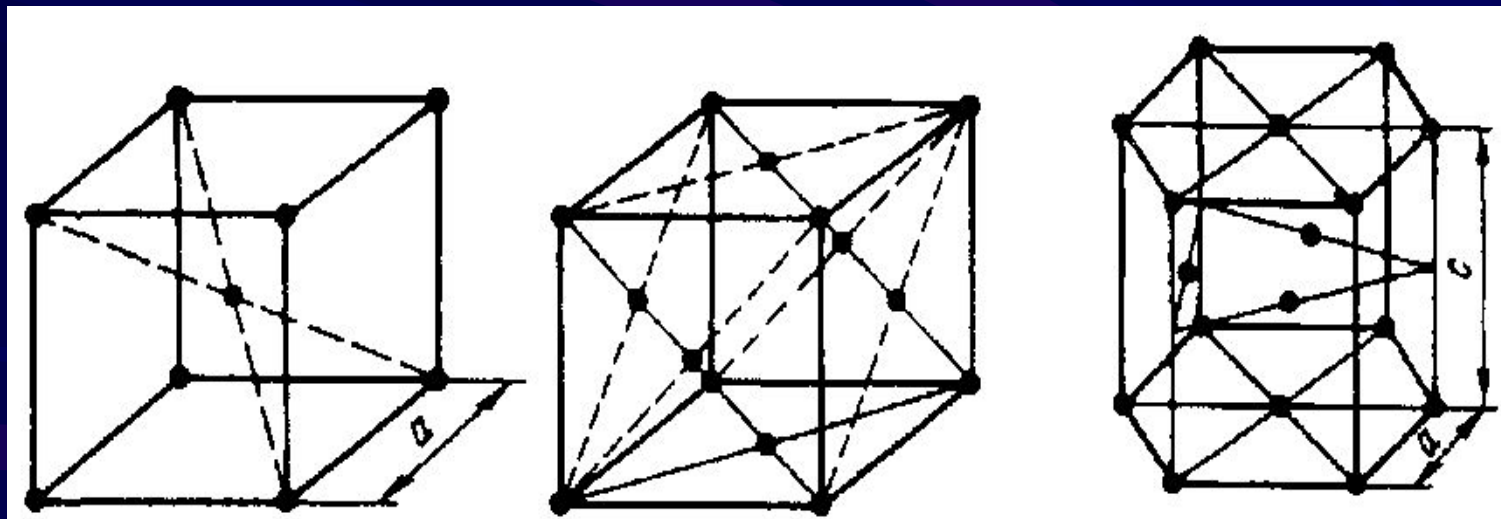
- высокие прочностные характеристики,
- повышенная коррозионная стойкость,
- жаропрочность,
- теплопроводность,
- электропроводимость,
- тугоплавкость,
- способностью сохранять эти свойства в условиях длительной работы под нагрузками

Технически чистые металлы (99,9 % основного металла), как правило, характеризуются низкими прочностными свойствами, поэтому применяют главным образом их сплавы.

- Сплавы на основе
 - железа в зависимости от содержания в них углерода называют **сталями** или **чугунами**;
 - на основе алюминия, магния, титана и бериллия, имеющих малую плотность, - **легкими цветными сплавами**;
 - на основе цинка, кадмия, олова, свинца, висмута и других металлов - **легкоплавкими цветными сплавами**;
 - на основе меди, свинца, олова и др. - **тяжелыми цветными сплавами**;
 - на основе молибдена, ниобия, циркония, вольфрама, ванадия и др. - **тугоплавкими цветными сплавами**.

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

Большинство металлов в твердом состоянии имеет кристаллическое строение: атомы расположены упорядоченно и образуют кристаллические решетки



а - объемно-центрированная кубическая, б - гранецентрированная кубическая,
в - гексагональная

- Для металлов характерны кристаллические решетки трех видов:
- кубическая объемно-центрированная (ОЦК), в которой атомы расположены по вершинам элементарной ячейки и один в ее центре (W, Mo, V, Nb, Fe-α, Cr, K, Na, Mn-α и др. (рис. а);
- кубическая гранецентрированная (ГЦК), в которой атомы расположены по вершинам элементарной ячейки и в центрах ее граней (Cu, Ni, Fe-γ, Ag, Al, Pt, Ca и др. (рис. б);
- гексагональная плотноупакованная (ГПУ), представляющая собой шестигранную призму, в которой атомы расположены в три слоя (Mg, La, Ti, Cd, Os, Ru и др.) (рис. в).

- С повышением температуры или давления параметры решеток могут изменяться.
Некоторые металлы в твердом состоянии в различных температурных интервалах приобретают разные кристаллические решетки, что всегда приводит к изменению их физико-химических свойств.
- Существование одного и того же металла в нескольких кристаллических формах носит название полиморфизма или аллотропии.
Перестройка кристаллических решеток при критических температурах называется полиморфными превращениями.
- Всем кристаллам присуща анизотропия, т.е. неравномерность свойств по направлениям, определяемая различными расстояниями между атомами в кристаллической решетке.

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

Сплав - вещество, полученное сплавлением двух и более элементов.

Элементами сплава могут быть металлы и неметаллы.

Элементы сплава называются **компонентами**.

В сплаве кроме основных компонентов могут содержаться **примеси**.

Примеси:

- **полезные**, улучшающие свойства сплава,
- **вредные**, ухудшающие его свойства.
- **случайные**, попавшими в сплав при его приготовлении,
- **специальные**, введенные для придания сплаву требуемых свойств.

Кристаллическое строение сплава сложнее, чем чистого металла, и зависит от взаимодействия его компонентов, которые при кристаллизации образуют **фазы** - однородные объемы, разграниченные поверхностями раздела.

Компоненты в твердом сплаве могут образовывать твердый раствор, химическое соединение и механическую смесь.

- **Твердый раствор** - компоненты сплава взаимно растворяются один в другом. В твердом растворе один из входящих в состав сплава компонентов сохраняет присущую ему кристаллическую решетку, а второй в виде отдельных атомов распределяется внутри кристаллической решетки, несколько изменяя ее размеры, но не меняя формы. Атомы растворяющегося вещества или замещают в кристаллической решетке часть атомов растворителя (твердый раствор замещения), или размещаются между атомами металла растворителя (твердый раствор внедрения).
- **Химическое соединение** - компоненты сплава вступают в химическое взаимодействие, при этом образуется новая кристаллическая решетка, отличная от решеток составляющих компонентов.
- **Механическая смесь** - компоненты сплава обладают полной взаимной нерастворимостью и имеют различные кристаллические решетки. При этих условиях сплав будет состоять из смеси кристаллов составляющих его компонентов. Механическая смесь имеет постоянную температуру плавления.

СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

При **выборе материала** для конструкции исходят из комплекса свойств, которые подразделяют на **механические, физико-химические, технологические и эксплуатационные.**

К основным **механическим** свойствам относят

- **прочность,**
- **пластичность,**
- **ударную вязкость,**
- **усталостную прочность,**
- **ползучесть,**
- **твёрдость**
- **износостойкость.**

Механические свойства проявляются при приложении к конструкции **внешней нагрузки**

Внешняя нагрузка вызывает в твердом теле **напряжение** и **деформацию**.

Напряжение - это сила, отнесенная к площади поперечного сечения, МПа:

$$\sigma = P/F,$$

где ***P*** - сила, МН; ***F*** - площадь поперечного сечения, м².

Деформация - это изменение формы и размеров тела под влиянием воздействия внешних сил или в результате процессов, возникающих в самом теле (например, фазовых превращений, усадки и т.п.).

Деформация может быть **упругая** (**исчезающая после снятия нагрузки**) и **пластическая** (**остающаяся после снятия нагрузки**). При увеличении нагрузки упругая деформация переходит в пластическую; при дальнейшем повышении нагрузки происходит **РАЗРУШЕНИЕ ТЕЛА**.

Прочность - это способность твердого тела сопротивляться деформации или разрушению под действием статических или динамических нагрузок. Прочность определяют с помощью специальных механических испытаний образцов, изготовленных из исследуемого материала.

Для определения прочности при статических нагрузках образцы испытывают на растяжение, сжатие, изгиб и кручение. Испытания на растяжение обязательны. Прочность при статических нагрузках оценивается **временным сопротивлением** σ_B и **пределом текучести** σ_T ; σ_B - это условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца; σ_T - напряжение, при котором начинается пластическое течение металла.

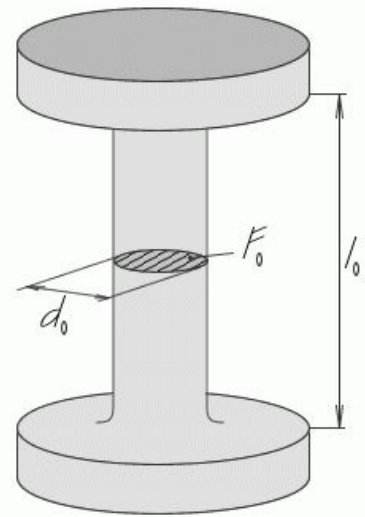
Прочность - способность материалов выдерживать нагрузки без разрушения.

Упругость – способность материалов изменять форму под действием нагрузки, и возвращаться в исходное состояние после снятия нагрузки.

Пластичность – способность материала приобретать необратимые изменения формы под действием нагрузки.

Для того чтобы исключить влияние размеров и форм испытываемых деталей на результат испытания:

1. Испытания проводят на стандартных образцах;



2. результат испытаний пересчитывают на относительные величины:

- **усилие в напряжение**
- **деформацию в относительную деформацию**

$$\sigma = \frac{P}{F_0}$$

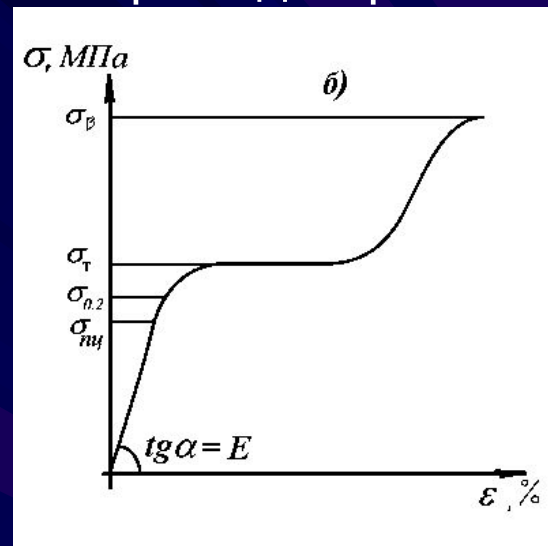
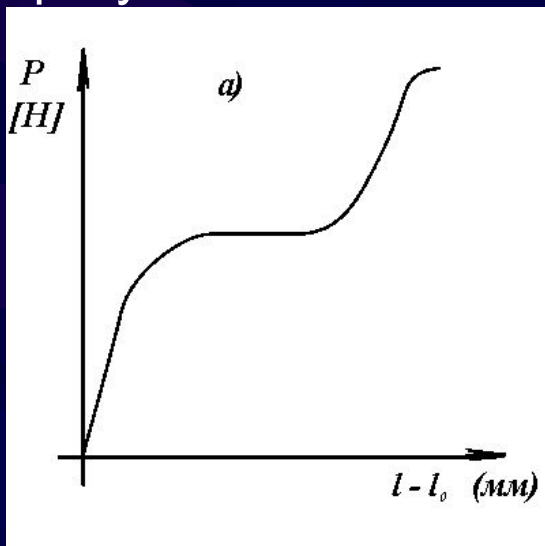
$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100\%$$

L_0 – начальная длина рабочей части;

L – длина рабочей части под действием усилия.

Видео

- Относительные величины применяют, чтобы охарактеризовать материал, а не образец.
- В результате испытаний на растяжение строят диаграммы растяжения.



а - характеризует процесс деформирования образца; б - характеризует деформирование материала образца

$\sigma_{пл}$ – предел пропорциональности – максимальное напряжение, до которого материал деформируется строго упруго, то есть соблюдается закон Гука $\sigma = \epsilon E$, где E – модуль упругости.

$\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести – это напряжение, вызывающее пластическую деформацию равную $0,2 \% = \epsilon_{пл}$.

σ_T – физический предел текучести – это напряжение, при котором происходит значительное увеличение пластической деформации, при этом напряжение остается постоянным (присутствует не у всех металлов).

σ_B – предел прочности – это максимальное напряжение, которое выдерживает материал не разрушаясь – основная характеристика механической прочности

Твердость

- **Твердость** – способность материалов сопротивляться проникновению в него другого тела при статическом вдавливании.
- Измерение твердости осуществляется следующим образом: в плоскую поверхность исследуемого образца с заданным усилием вдавливается специальный наконечник – **индентор**. О твердости судят либо по площади полученного отпечатка, либо по глубине вдавливание индентора.



Измерение твердости методом Бринелля

В качестве индентора используется стальной закаленный шарик диаметра 2,5; 5 или 10 мм.

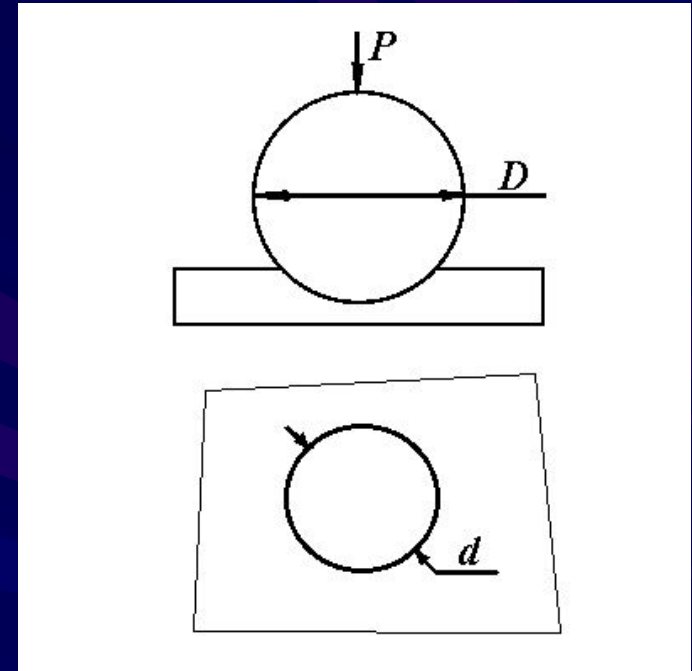
Твердость по методу Бринелля:

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

P – усилие вдавливания, D – диаметр шарика, d – диаметр полученного отпечатка, измеряемый после удаления индентора.

Достоинства метода: высокая универсальность, то есть способность к измерению материалов с разной структурой.

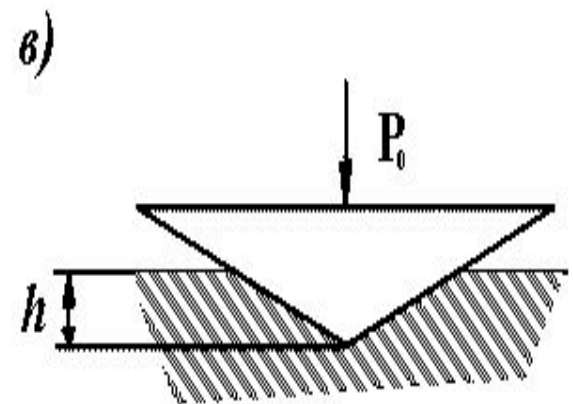
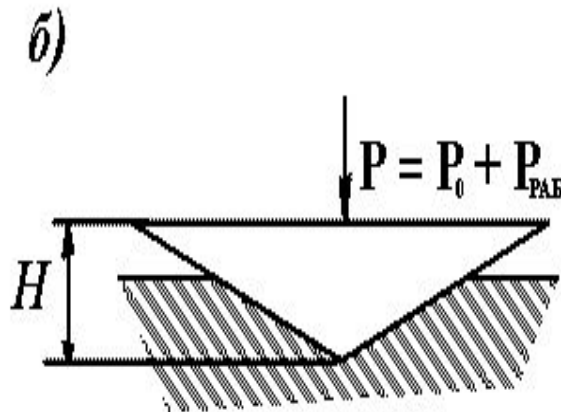
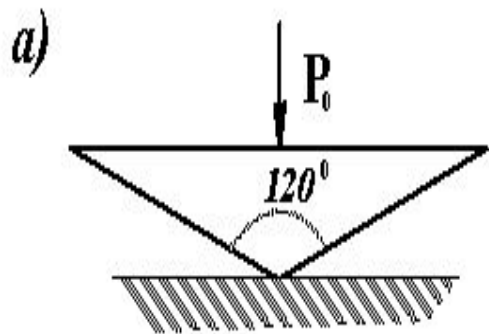
Недостатки метода: можно измерять твердость только относительно мягких материалов, также - необходимость дополнительных измерений; необходимость дополнительных расчетов для получения HB приводит к тому, что метод не оперативный.



- **Достоинства метода:** высокая универсальность, то есть способность к измерению материалов с разной структурой.
- **Недостатки метода:** можно измерять твердость только относительно мягких материалов, также - необходимость дополнительных измерений; необходимость дополнительных расчетов для получения *HV* приводит к тому, что метод не оперативный.
- **Средства измерения:** специальные прессы – твердомеры, которые развивают строго определенное усилие вдавливания, являющееся стандартным. За счет изменения диаметра индентора, можно измерять твердость материалов в широком диапазоне.

Измерение твердости методом Роквелла

- В методе Роквелла твердость определяется по глубине вдавливания индентора. В качестве индентора используется алмазный конус с углом при вершине 120° . Метод предназначен для определения твердости закаленной и отпущенной стали (HRC), для измерения твердости очень твердых материалов (HRA), а также этим методом можно измерить твердость мягких материалов (HRB).
- Нагружение в три этапа:
 - а) предварительное малое усилие P_0 для обеспечения контакта с образцом;
 - б) основное нагружение усилием $P = P_0 + P_{раб}$;
 - в) снятие рабочего усилия $P_{раб}$. Остается P_0 для обеспечения контакта с образцом.



- О твердости материала судят по глубине вдавливания h , измеряемого на 3-м этапе нагружения. Для метода Роквелла характерна высокая оперативность.
- Для повышения универсальности существуют три шкалы.
- Разным шкалам соответствуют разные рабочие усилия, что позволяет измерять материалы с разными характеристиками твердости.

шкала	обозначение	Нагрузка, кг
A	HRA	150
B	HRB	100
C	HRC	60

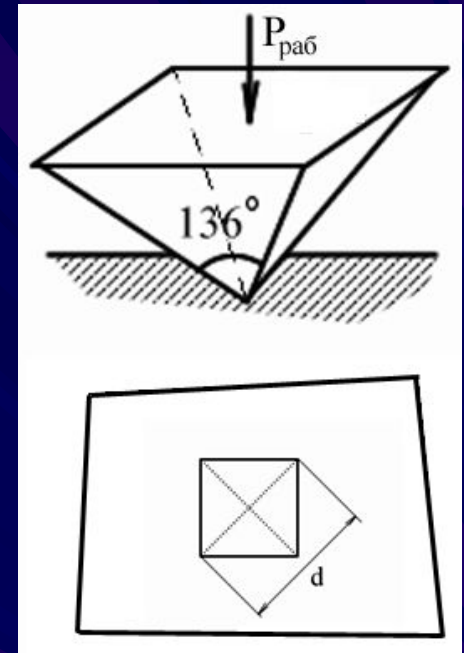
Измерение твердости методом Виккерса

- Методы Бринеля и Роквелла мало пригодны для измерения твердости тонких образцов из-за высоких усилий $9,8 \text{ Н} < P_{\text{раб}} < 1200 \text{ Н}$.

- При измерении твердости по Виккерсу в качестве индентора используется **четырёхгранная пирамида с углом при вершине 136 град**. Нагрузка составляет 5, 10, 20, 30, 50, 100 кг. Значение твердости рассчитывается по формуле:

где D – диагональ отпечатка, k – размерный коэффициент.

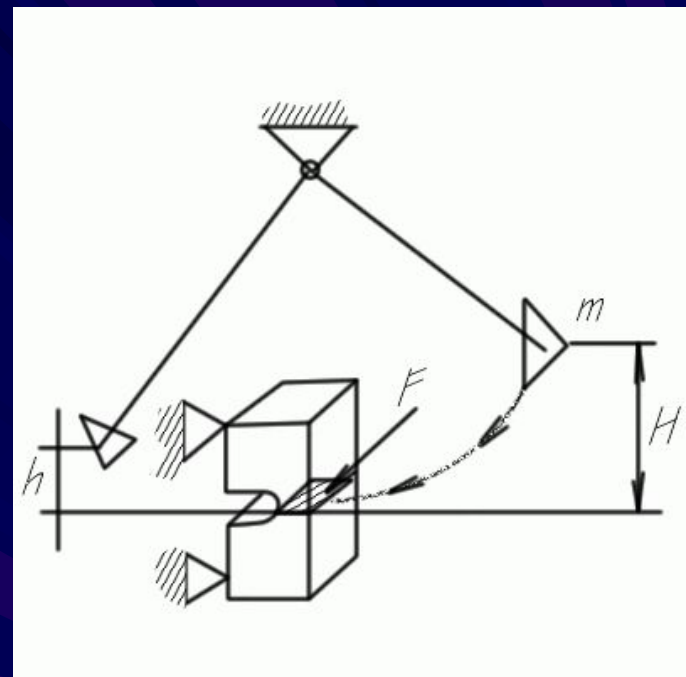
- **Недостатки метода:** дополнительные измерения и расчеты.
- **Достоинства метода:** возможность измерять тонкие образцы.



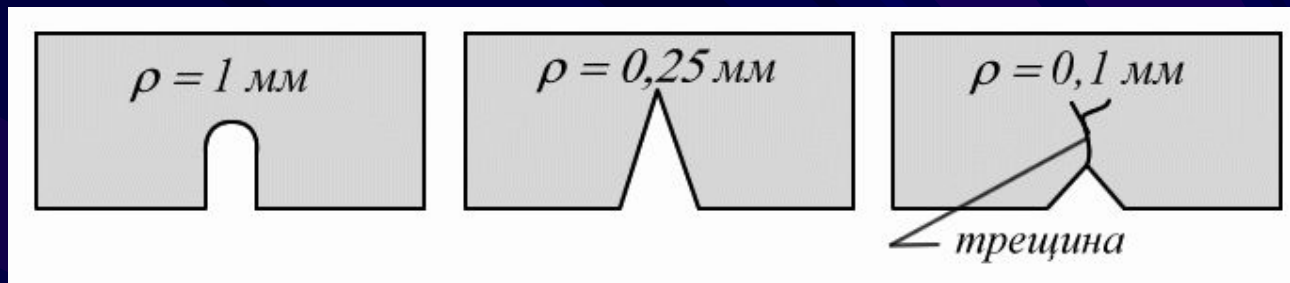
$$HV = k \frac{P_{\text{раб}}}{D^2}$$

Измерение ударной вязкости

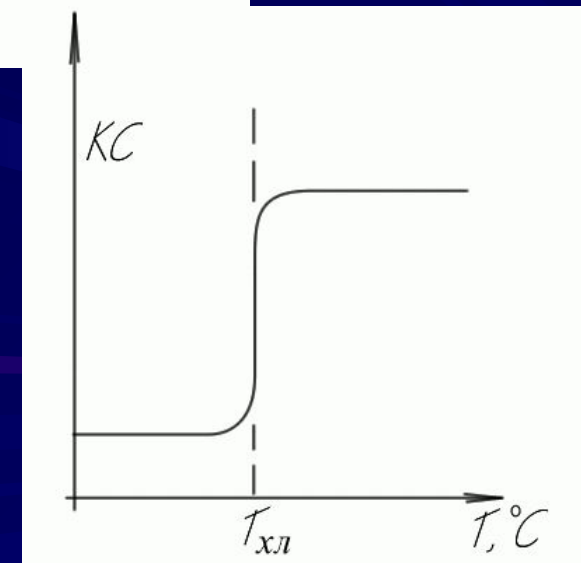
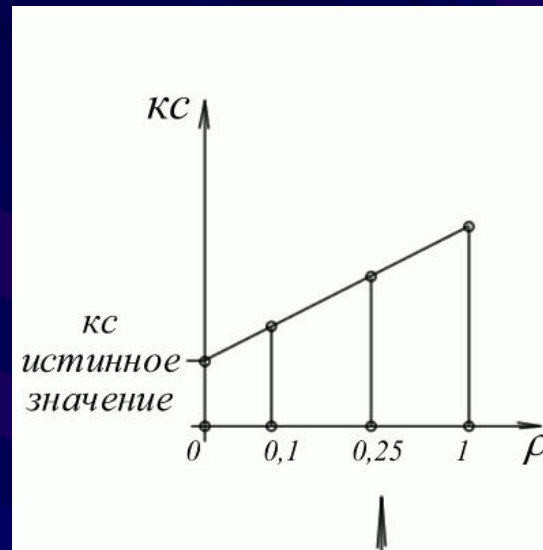
- Вязкость – способность материалов поглощать энергию развиваемых в нем трещин.
- Ударная вязкость измеряется в результате разрушения образцов при испытании на ударный изгиб.
- где $E_{\text{разр}} = mg(H - h)$ – энергия, поглощенная образцом при разрушении; $F_{\text{излома}}$ – площадь поверхности излома.
- Испытания проводят на образцах разного типа с разными надрезами.
- Значение KC при испытаниях на разных образцах различно. Это необходимо для определения значения KC материала. Используются три вида образца, чтобы зафиксировать место разрушения.



$$KC = \frac{E_{\text{разр}}}{F_{\text{излома}}}$$



Значение K_C сильно зависит от температуры. Для большинства конструкционных материалов существует пороговое значение температуры, при которой характер разрушения скачкообразно меняется: ниже – хрупкое разрушение, малая энергия поглощения; выше – вязкое разрушение, трещины распространяются с трудом.



Физические и химические свойства

К **физическим** свойствам металлов и сплавов относятся

- температура плавления,
- плотность,
- температурные коэффициенты линейного и объемного расширения,
- электросопротивление
- электропроводимость.

Физические свойства сплавов обусловлены их составом и структурой.

К **химическим** свойствам относятся способность к химическому взаимодействию с агрессивными средами, а также антикоррозионные свойства.

Технологические свойства

К технологическим свойствам металлов и сплавов относятся

- *литейные свойства*,
- *деформируемость*,
- *свариваемость*,
- *обрабатываемость* режущим инструментом.

Эти свойства позволяют производить формоизменяющую обработку и получать заготовки и детали машин.

- **Литейные свойства** определяются способностью расплавленного металла или сплава к заполнению литейной формы, степенью химической неоднородности по сечению полученной отливки, а также величиной усадки - сокращением размеров при кристаллизации и дальнейшем охлаждении.
- **Деформируемость** - это способность принимать необходимую форму под влиянием внешней нагрузки без разрушения и при наименьшем сопротивлении нагрузке.
- **Свариваемость** - это способность металлов и сплавов образовывать неразъемные соединения требуемого качества.
- **Обрабатываемость** - свойства металла поддаваться обработке резанием. Критериями обрабатываемости являются режимы резания и качество поверхностного слоя.

Эксплуатационные свойства

К **эксплуатационным** свойствам в зависимости от условия работы изделия или конструкции относят:

износостойкость,
коррозионную стойкость,
хладостойкость,
жаропрочность,
жаростойкость,
антифрикционность материала и др.

- **Износостойкость** - способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.
- **Коррозионная стойкость** - сопротивление сплава действию агрессивных кислотных и щелочных сред.

- **Хладостойкость** - способность сплава сохранять пластические свойства при температурах ниже 0 °С.
 - **Жаропрочность** - способность сплава сохранять механические свойства при высоких температурах.
 - **Жаростойкость** - способность сплава сопротивляться окислению в газовой среде при высоких температурах.
 - **Антифрикционность** - способность сплава прирабатываться к другому сплаву.
- Эти свойства определяются в зависимости от условия работы машин или конструкций специальными испытаниями.

При выборе материала для создания технологической конструкции необходимо **комплексно** учитывать его

- прочностные,*
- технологические*
- и эксплуатационные характеристики.*

КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ И ИХ МАРКИРОВКА

Классификация сталей.

Стали классифицируются по **химическому составу, качеству и назначению**.

По **ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ** классифицируют главным образом **конструкционные стали**, предназначенные для изготовления деталей машин и металлических конструкций. Конструкционные стали делят на **углеродистые** и **легированные**.

- Углеродистые стали могут быть
 - ▣ **низкоуглеродистые**: $C < 0,09...0,25\%$;
 - ▣ **среднеуглеродистые**: $C < 0,25...0,45\%$;
 - ▣ **высокоуглеродистые**: $C < 0,45...0,75\%$.
- ▣ Легированные стали условно подразделяют
 - ▣ **низколегированные** с содержанием легирующих элементов 2,5%;
 - ▣ **среднелегированные** - от 2,5 до 10%;
 - ▣ **высоколегированные** - более 10%.

Другие стали, например **инструментальные**, с особыми физико-химическими свойствами по химическому составу **не классифицируются**.

По **назначению** стали подразделяют на **конструкционные, инструментальные** и **стали и сплавы с особыми свойствами: жаропрочные, кислотостойкие, износостойкие, магнитные** и др

По **КАЧЕСТВУ** различают

- **стали общего назначения,**
- **качественные,**
- **высококачественные**
- **особовысококачественные** (в последнем случае в маркировке указывается способ выплавки и последующей обработки стали).

Под **качеством** стали понимают совокупность свойств, определяемых металлургическим процессом ее производства. Однородность химического состава, строения и свойств стали, а также ее технологичность во многом зависят от содержания газов (кислорода, водорода, азота) и вредных примесей - серы и фосфора:

- стали общего назначения содержат до 0,05 % S и 0,04 % P,
- качественные - не более 0,04 % S и 0,035 % P,
- высококачественные - не более 0,025 % S и 0,025 % P,
- особовысококачественные - не более 0,015 % S и 0,025 % P.

Стали **углеродистые обыкновенного качества** (ГОСТ 380-88) обозначаются индексом "Ст" и порядковым номером, например, Ст1, Ст3, Ст5. Чем выше номер в обозначении стали, тем выше ее прочность и ниже пластичность.

- **Качественные углеродистые стали** согласно ГОСТ 1050-88 маркируются цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента: сталь 10, сталь 15, сталь 80. Содержание серы и фосфора в этих сталях не должно превышать 0,035 %.
- **Углеродистые инструментальные стали** (ГОСТ 1435-99) с содержанием углерода более 0,7 % имеют в обозначении букву "У" и цифру, указывающую на содержание углерода в десятых долях процента: У7, У8, ..., У13.

Легированные конструкционные стали (ГОСТ 4543-71) в зависимости от содержания серы и фосфора подразделяются на

- **качественные,**
- **высококачественные**
- **особовысококачественные.**

В основу маркировки легированных сталей положена буквенно-цифровая система (ГОСТ 4543-71). Легирующие элементы обозначаются буквами русского алфавита: марганец - Г, кремний - С, хром - Х, никель - Н, вольфрам - В, ванадий - Ф, титан - Т, молибден - М, кобальт - К, алюминий - Ю, медь - Д, бор - Р, ниобий - Б, цирконий - Ц, азот - А.

Количество углерода указывается в сотых долях процента цифрой, стоящей в начале обозначения; количество легирующего элемента в процентах указывается цифрой, стоящей после соответствующего индекса. Отсутствие цифры после индекса элемента указывает на то, что его содержание менее 1,5 %. Высококачественные стали имеют в обозначении букву А, а особовысококачественные - букву Ш, проставляемую в конце.

Например, сталь 12Х2Н4А содержит 0,12 % С, около 2 % Сг, около 4 % Ni и менее 0,025 % S и P.

- В легированных инструментальных сталях цифра в начале указывает среднее содержание углерода в десятых долях процента, если его содержание менее 1 %, если равно 1 % или больше, то цифру не ставят, например: сталь 3Х2В8Ф содержит 0,3 % С, а сталь ХВГ - больше 1 % С.
- В маркировке сталей иногда ставят буквы, указывающие на их применение: А - автоматные, Р - быстрорежущие, Ш - шарикоподшипниковые, Э - электротехнические.

Классификация чугунов.

- Чугунами называются железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14% С.
- Благодаря сочетанию **высоких литейных свойств, достаточной прочности, износостойкости**, а также относительной **дешевизне** чугуны получили широкое распространение.
- Их используют для производства качественных **отливок сложной формы** при отсутствии жестких требований к габаритам и массе деталей.
- В зависимости от того, в какой форме присутствует углерод в сплавах, различают **белые, серые, высокопрочные чугуны, чугуны с вермикулярным графитом и ковкие чугуны**. Высокопрочные чугуны и чугуны с вермикулярным графитом являются разновидностью серых, но из-за повышенных механических свойств их выделяют в особые группы.
- **Белые чугуны** твердые (450 ... 550 НВ), хрупкие и для изготовления деталей машин не используются. Из них изготавливают прокатные валки, лемеха плугов, тормозные колодки и другие детали, работающие в условиях износа.

- **Серыми** называются чугуны с пластинчатой формой графита. По химическому составу серые чугуны разделяют на обычные (нелегированные) и легированные. Обозначают серые чугуны индексами СЧ 20, СЧ 25, СЧ 30. Цифра в обозначении указывает на предел прочности чугуна при растяжении в 0,1 МПа.
- **Высокопрочные** чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. Их получают модифицированием магнием, который вводят в жидкий чугун в количестве 0,02 ... 0,08%, иногда чистый магний заменяют лигатурами (например, сплавом магния и никеля). Марка **высокопрочного чугуна** состоит из букв ВЧ и числа, обозначающего уменьшенное в 10 раз значение его временного сопротивления.
- В **чугунах с вермикулярным графитом** структура формируется под действием комплексного модификатора, содержащего магний и редкоземельные металлы. Чугуны с вермикулярным графитом производят четырех марок: ЧВГ 30; ЧВГ 35; ЧВГ 40; ЧВГ 45. Число в марке обозначает уменьшенное в 10 раз значение временного сопротивления.
- **Ковкими** называются чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Ковкие чугуны обозначают индексом и последующими цифрами, первая из которых характеризует прочность, а вторая пластичность КЧ 30-6, КЧ 60-3 и т.д.

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

- **Алюминий** - легкий металл (плотность 2700 кг/м³, обладает высокими теплопроводностью [200 Вт/(м.К)] и электропроводимостью (10⁻⁵ См), стоек к коррозии. Температура плавления алюминия 658 °С.
- Алюминиевые сплавы разделяют на **деформируемые** и **литейные**. Те и другие могут быть неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой.
- К **деформируемым алюминиевым сплавам**, упрочняемым термической обработкой, относятся дуралюмины (Д16 - Д18), ковочные сплавы (АК6 - АК8), а также высокопрочные и жаропрочные сплавы сложного химического состава.
- **Литейные алюминиевые сплавы** применяют для изготовления деталей машин и приборов литьем (АК12, АК9ч, АК7ч).

Алюминий применяют для приготовления **спеченных алюминиевых сплавов** (САС) и **спекаемых алюминиевых пудр** (САП), из которых изготавливают детали методами порошковой металлургии, позволяющей получать детали с особыми свойствами: коррозионной стойкостью, прочностью, пористостью.

- **Магний** - легкий металл (плотность 1740 кг/м³), температура его плавления 651 °С. Промышленный магний марки Мг96 содержит 99,96% Mg, марки Мг95 - 99,85% Mg. Магниевые сплавы разделяют на деформируемые и литейные, не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой.
- **Медь** - тяжелый цветной металл, имеет плотность 8940 кг/м³, температуру плавления 1083°С, обладает высокой пластичностью, коррозионной стойкостью, малым удельным электросопротивлением (7.10-8 Ом.м), высокой теплопроводностью 385 Вт/(м.К), поэтому ее широко используют для изготовления электропроводов, деталей электрических машин и приборов, в химическом машиностроении.
- **Медные сплавы** разделяют на **бронзы** и **латуни**.
- **Бронзы** (ГОСТ 493-79, 613-79) -это сплавы меди с оловом, свинцом, алюминием, кремнием, сурьмой и фосфором.
- **Латуни** - это сплавы меди с цинком с небольшими добавками алюминия, кремния, никеля, марганца (ГОСТ 17711-93, 15527-70).
- Медные сплавы обозначают начальными буквами их названия (Л - латунь, Бр - бронза), после чего следуют первые буквы основных названий элементов, образующих сплав, и цифры, указывающие количество легирующего элемента в процентах. Например, ЛЦ40Мц1,5 - латунь, содержащая 40% Zn, 1,5% Mn, остальное Cu.

- **Титан** - тугоплавкий металл, температура плавления $1665 \pm 5^\circ\text{C}$, плотность 4500 кг/м^3 . Временное сопротивление чистого титана $\sigma_{\text{в}} = 250 \text{ МПа}$, относительное удлинение $\delta = 70\%$.
- Обладает высокой коррозионной стойкостью.
- Удельная прочность титана выше, чем у многих легированных конструкционных сталей. Поэтому при замене сталей титановыми сплавами можно при равной прочности уменьшить массу детали на 40%.
- Титан имеет низкую жаростойкость, так как при температурах выше $500\text{...}600^\circ\text{C}$ легко окисляется и поглощает водород.
- Титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается, из него изготавливают сложные отливки, но обработка его резанием затруднительна.
- Для получения сплавов с заданными свойствами титан легируют алюминием, молибденом и др. (ГОСТ 19807-91). Наибольшее применение нашли сплавы, легированные алюминием, например сплав ВТ5 (до 5 % А1) с $\sigma_{\text{в}} = 700\text{...}900 \text{ МПа}$, $\delta = 10\text{...}12\%$. Из этого сплава получают поковки, отливки.
- Для получения требуемых механических свойств титановые сплавы подвергают термической обработке (отжигу, закалке и старению) в печах с защитной атмосферой.
- Титан и его сплавы используют для изготовления деталей самолетов, в химическом машиностроении, судостроении и других областях.