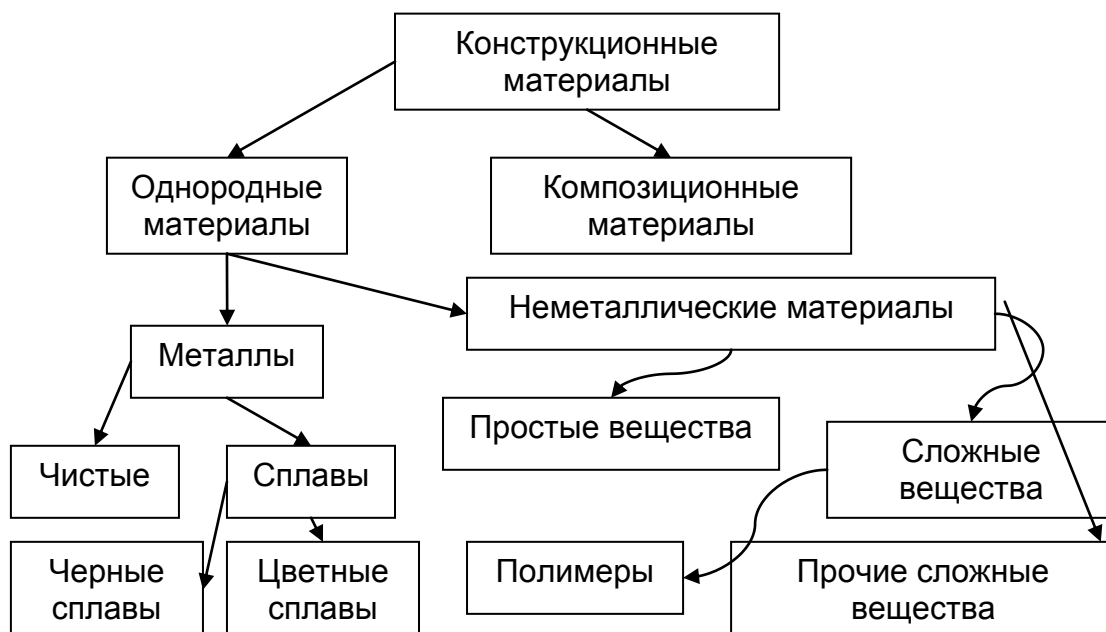


## 6. КЛАССИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ



По промышленной классификации металлы и их сплавы делятся на черные и цветные. Черные – железо и его сплавы - чугун и сталь. Цветные – все остальные. Кроме того, цветные металлы и сплавы делятся на:

тяжелые с плотностью от 7,14 – 11,34 г/см<sup>3</sup> (медь, никель, цинк, свинец, олово);

легкие с плотностью 0,53 – 3,5 г/см<sup>3</sup> (алюминий, магний, кальций, калий, натрий, барий, бериллий);

**Свойства легких металлов**

*Таблица 4*

<b>Свойства</b>	<b>Металл</b>			
	<b>Mg</b>	<b>Be</b>	<b>Al</b>	<b>Ti</b>
Плотность, Мг/м <sup>3</sup>	<b>1.74</b>	<b>1.85</b>	<b>2.72</b>	<b>4.5</b>
Температура плавления, °С	<b>651</b>	<b>1285</b>	<b>658</b>	<b>1725</b>

благородные – золото, серебро, платина;

редкие - тугоплавкие (молибден, вольфрам, ванадий, титан и т. д.)

- легкие (стронций, цезий, скандий и т.п.)

радиоактивные - уран, радий, торий;

рассеянные и редкоземельные германий, галлий, индий, таллий, церий.

**Вторичные металлы выплавлены не из руд, а из металлолома и отходов производства.**

## 7. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Объединение различных ценных свойств отдельных материалов позволило создать единое целое - композицию. Современное материаловедение уже добилось значительных успехов в исследовании и разработке композиционных материалов (КМ).

Практически всякий современный материал представляет собой композицию, поскольку материалы редко используются в чистом виде.

**Композиционные материалы** - гетерофазные системы, полученные из двух и более компонентов с сохранением индивидуальности каждого отдельного компонента. При этом

- состав и форма компонента определены заранее;
- композиция должна представлять собой объемное сочетание хотя бы **двух химически разнородных материалов** с четкой границей раздела между этими компонентами (фазами);
- компоненты присутствуют в количестве, обеспечивающем заданные свойства материала;
- материал является однородным в макромасштабе и неоднороден в микромасштабе;
- композиция характеризуется свойствами, которых не имеет никакой из ее компонентов в отдельности;
- размеры частиц входящих компонентов могут колебаться в широких пределах - от сотых долей микрометра (для порошковых наполнителей) до нескольких миллиметров (при использовании волокнистых наполнителей)
- один из компонентов, обладает непрерывной по всему объему матрицей.

Композицию получают путем введения в основной материал (матрицу) определенного количества другого материала, который добавляется в целях получения специальных свойств.

Композиционные материалы состоят из сравнительно пластичного матричного материала и более твердых и прочных веществ, являющихся упрочняющими наполнителями. Матрица связывает композицию и придает ей нужную форму.

Отличие большинства КМ от традиционных материалов в том, что процесс получения КМ технологически совмещается с процессом изготовления изделия.

Проектирование изделия из КМ начинается с конструирования самого материала - выбора его компонентов и назначения оптимальных технологических процессов производства. Особенность создания конструкций из КМ в отличие от конструкций из традиционных материалов заключается в том, что конструирование материала, разработка технологического процесса изготовления и проектирование самой конструкции - это единый взаимосвязанный процесс.

Физико-механические свойства КМ в зависимости от концентрации компонентов, их геометрических параметров и ориентации, а также технологии изготовления могут меняться в очень широких пределах. Тем самым открывается возможность специального создания (конструирования) материала с заданными свойствами для определенного изделия.

### **Классификация композиционных материалов**

Все КМ условно можно классифицировать по следующим признакам.

#### **1.Материал матрицы**

**Матрица в армированных композициях является основой, придает изделию форму и делает материал монолитным.** Материал матрицы должен позволять композиции воспринимать внешние нагрузки. Матрица принимает участие в создании несущей способности композиции, обеспечивая передачу силы на волокна. При нагружении за счет пластичности матрицы силы от разрушенных или дискретных (коротких) волокон передаются соседним волокнам. Передача нагрузки зависит прежде всего от качества соединений, т.е. от хорошей адгезии между компонентами КМ. Без этого невозможны передача нагрузки волокон и, следовательно, армирование.

В зависимости **от материала матрицы** КМ можно разделить на следующие основные группы: композиции с металлической матрицей - **металлические компо-**

**зиционные материалы (МКМ), с полимерной - полимерные композиционные материалы (ПКМ), с резиновой - резиновые композиционные материалы (РКМ) и с керамической - керамические композиционные материалы (ККМ).**

Название ПКМ обычно присваивают в зависимости от армирующего материала. Например, ПКМ, армированные стеклянными волокнами, называют стеклопластиками. Аналогично получили свои названия металлопластики, асбестопластики, углепластики, боропластики и т.д.

У металлических и керамических КМ пока еще нет четких правил присвоения названий. Обычно вначале указывают материал матрицы, а затем армирующий материал, например медно-вольфрамовые, алюминий-стальные КМ и т.п.

**2.Типу арматуры и ее ориентации** КМ подразделяют на две основные группы: **изотропные** и **анизотропные**.

**Изотропные КМ имеют одинаковые свойства во всех направлениях.** К этой группе относят КМ с **порошкообразными наполнителями**. К числу изотропных условно относят и КМ, армированные короткими (дискретными) частицами. КМ при этом получаются квазиизотропными, т.е. изотропными в объеме всего изделия, но анизотропными в микрообъемах.

**У анизотропных материалов свойства зависят от направления армирующего материала.** Их подразделяют на **однонаправленные, слоистые и трехмерно-направленные**. Анизотропия материала закладывается конструктором для получения КМ с заданными свойствами. Однонаправленные КМ чаще всего проектируют для изготовления изделий, работающих на растяжение. Слоистые КМ получают путем продольно-поперечной укладки с правильным чередованием слоев. Трехмерно-направленное армирование обычно достигается за счет использования "сшитых" в поперечном направлении армирующих тканей, сеток и т.п. Кроме такой анизотропии образуется еще технологическая анизотропия, возникающая при пластическом деформировании изотропных материалов (металлов).

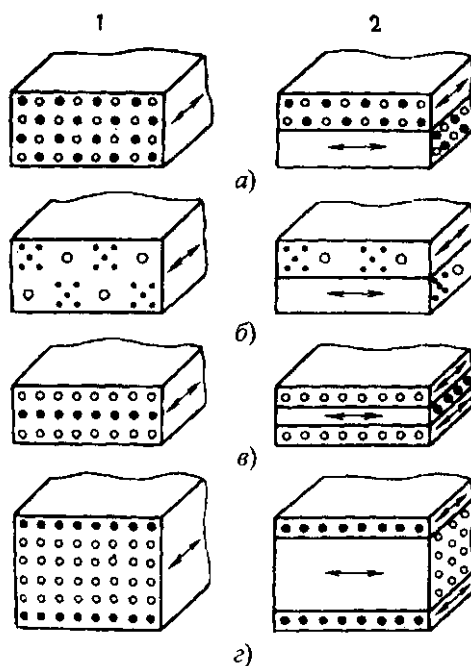
В последнее время находят широкое применение так называемые гибридные КМ.

**Гибридными называют КМ, содержащие в своем составе три или более компонентов.** В зависимости от распределения компонентов гибридные КМ обычно делят на следующие классы: **однородные КМ** (рис. 14, а), с **равномерным распределением каждого армирующего компонента по всему объему** композиции; **линейно неоднородные КМ с объединением отдельных волокон в жгуты** (рис. 14, б); **КМ с плоскостной неоднородностью** (рис. 14, в), в которых волокна каждого типа образуют чередующиеся слои, и **макронеоднородные КМ**, когда разнородные волокна образуют зоны, соизмеримые с характерным размером изделия из КМ (рис. 14, г). При этом возможно использовать структуру типа "оболочка - сердцевина". Такое сочетание компонентов рассматривается как наиболее перспективное. Конструктор, проектируя изделие из КМ, армирующие волокна (например, из углерода, бора и др.) помещает в оболочку из металлической проволоки, сетки, фольги и т.п. Такие "полуфабрикаты" характеризуются высокой технологичностью при изготовлении изделий из волокнистых КМ. Помимо рассмотренных возможны и другие сочетания компонентов в композиции.

**Армирующие материалы подразделяют на порошкообразные и волокнистые.**

**Применяют в основном три вида волокон:**

**1) нитевидные кристаллы, ("усы") рассматривают как наиболее перспективный материал для армирования металлов, полимеров, керамики.** Сверхвысокая прочность в широком диапазоне рабочих температур, малая плотность, химическая инертность ко многим материалам матрицы и ряд других свойств делают их незаменимыми в качестве армирующих материалов. Однако широкое их внедрение сдерживается пока несовершенством технологии их получения в промышленных масштабах, сложностью ориентации их в материале матрицы, сложностью технологии деформирования изделий из композиций с нитевидными кристаллами и др.



**Рис. 14. Схемы армирования КМ: 1 - одномерного; 2 – двумерного**

**2) металлическая проволока из высокопрочной стали, вольфрама, молибдена и других металлов имеет меньшую прочность, чем нитевидные кристаллы.** Однако ее выпускают промышленно в больших количествах и в связи с более низкой стоимостью широко применяют в качестве арматуры, особенно для КМ на металлической основе.

**3) неорганические и поликристаллические волокна** имеют малую плотность, высокую прочность и химическую стойкость. Широко применяют углеродные, борные, стеклянные и другие волокна для армирования пластмасс и металлов.

**Основное назначение наполнителей - придание КМ специальных свойств.** Например, волокнистые наполнители вводят с целью получения максимальных прочностных характеристик.

**3. По способу получения композиции и изделий из них** полимерные и резиновые КМ разделяют на литейные и прессованные. Металлические КМ аналогично делят на литейные и деформируемые. Литейные получают путем пропитки арматуры расплавленным матричным материалом (сплавом). Для получения деформируемых МКМ применяют спекание, прессование, штамповку, ковку на молотах и др.

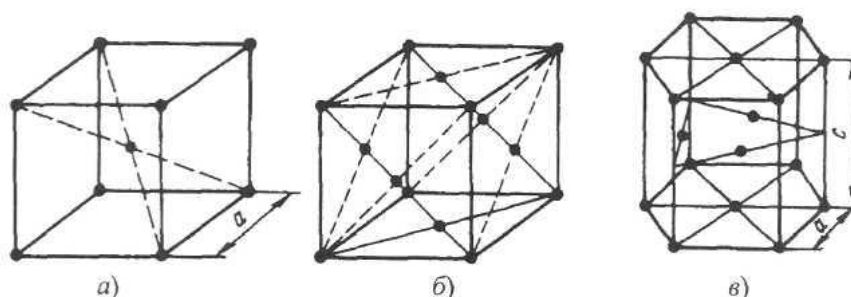
по назначению.

**4. По назначению** КМ разделяют на общеконструкционные, термостойкие, пористые, фрикционные и антифрикционные и т.д.

**Создавая новые КМ жидкофазными способами,** следует принимать во внимание, что материал матрицы должен полностью смачивать армирующие волокна, не должен разъедать или иным способом разрушать волокна. Кроме того, матрице отводится роль защитного покрытия, предохраняющего волокна от механических повреждений и окисления.

## 8. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

**Металл** – химический элемент, кристаллическая решетка которого состоит из однородных атомов, обладающих определенными физико-химическими и технологическими свойствами.



**Рис. 15** Схемы кристаллических решеток:  
**а-объемно-центрированная кубическая; б-гранецентрированная кубическая; в-гексагональная плотноупакованная**

Кристаллическое строение, характеризуется определенным закономерным расположением атомов в пространстве. Для описания атомно-кристаллической структуры используют понятие кристаллической решетки, являющейся воображаемой пространственной сеткой с ионами (атомами) в узлах.

Наиболее часто металлы имеют кристаллические решетки следующих типов (рис.15): **объемно-центрированный куб** или **сокращенно ОЦК**; **гранецентрированный куб (ГЦК)**; **гексагональная плотноупакованная (ГП)**.

**Сплавы** - вещества, полученные сплавлением двух или нескольких элементов, называемых компонентами.

В сплавах могут быть примеси:

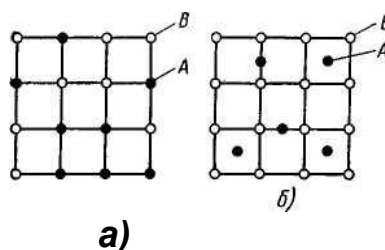
**полезные**, улучшающие свойства, **вредные**, **специальные** (которые вводят для придания определенных свойств), **случайные**.

Компоненты могут образовывать

**механическую смесь** (отсутствует взаимодействие между компонентами, нет взаимного растворения, компоненты не вступают в химическую реакцию и их кристаллические решетки различны);

**химическое соединение** (компоненты сплава вступают в химическое взаимодействие; при этом образуется новая кристаллическая решетка);

**твердые растворы** (компоненты сплава взаимно растворяются друг в друге, при этом образуется новая кристаллическая решетка).



**Рис. 16.**Схемы образования твердых растворов

Различают два основных вида твердых раствора: **з а м е щ е н и я** (рис.16а) и **в н е д р е н и я** (рис.16б).

## 9. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Свойства материала деталей могут во многом определять свойства производимых изделий. При выборе материала для конструкции исходят из комплекса свойств, которые подразделяют на механические, физико-химические, технологические и эксплуатационные.

Механическими свойствами материалов называют свойства, которые выявляются испытаниями при воздействии внешних нагрузок. В результате таких испытаний определяют количественные характеристики механических свойств. Эти характеристики необходимы для выбора материалов и режимов их технологической обработки, расчетов на прочность деталей и конструкций, контроля и диагностики их прочностного состояния в процессе эксплуатации.

Основными признаками, позволяющими классифицировать виды механических испытаний, являются:

- способ нагружения (растяжение (рис.17.а), сжатие (рис.17.б), изгиб (рис.17.в), кручение (рис.17.г), срез (рис.17.д), циклическое нагружение (рис.18) и др.);
- скорость нагружения (статическая, динамическая);
- протяженность процесса испытания во времени (кратковременная, длительная).

К основным механическим свойствам относят прочность, пластичность, ударную вязкость, твердость, усталостную прочность, ползучесть

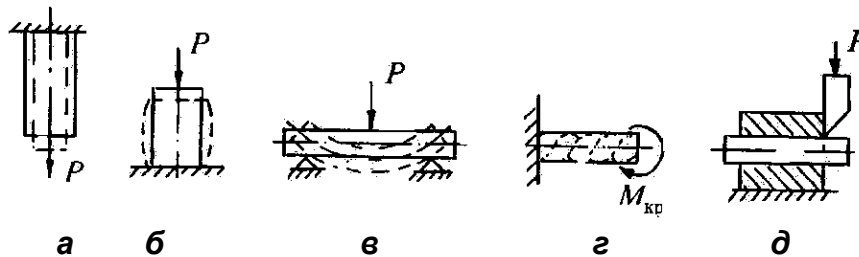


Рис. 17. Основные виды нагружения:

а — растяжением; б — сжатием; в — изгибом; г — кручением; д — срезом

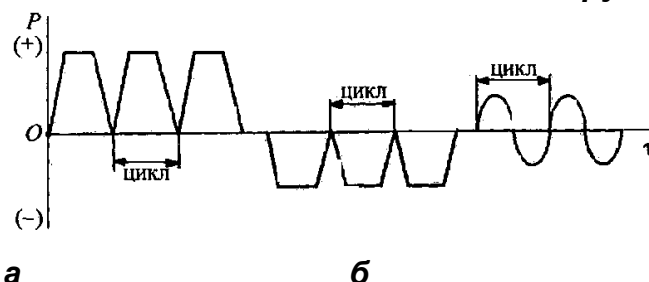


Рис.18 Схемы циклического нагружения:

а — растяжением, б- сжатием, в- знакопеременным нагружением

Под воздействием внешних нагрузок в материале конструкции возникают внутренние силы, которые могут быть выражены через внешние нагрузки. Внутренние силы, приходящиеся на единицу площади поперечного сечения тела, называют **напряжениями**. Введение понятия напряжений позволяет проводить расчеты на прочность конструкций и их элементов.

Таким образом, 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, м<sup>2</sup>.

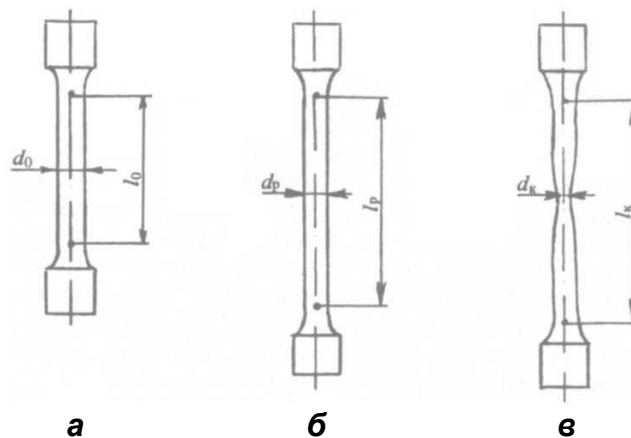
Деформация - это изменение формы и размеров тела под влиянием воздействия внешних сил или в результате процессов, возникающих в самом теле (например, усадки и т.п.). Деформация может быть упругая (исчезающая после снятия нагрузки) и пластическая (остающаяся после снятия нагрузки). При увеличении нагрузки упругая деформация переходит в пластическую; при дальнейшем повышении нагрузки происходит разрушение тела.

**1). 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 (ГОСТ 1497-73), так как позволяют получить достаточно полную информацию о механических свойствах материала. Для этого применяют специальные образцы, имеющие в поперечном сечении форму круга (цилиндрические образцы) или прямоугольника (плоские образцы). На рис. 19 представлена схема цилиндрического образца на различных стадиях растяжения.

Перед испытанием образец закрепляют в вертикальном положении в захватах испытательной машины. На рис. 20 представлена принципиальная схема типичной испытательной машины, основными элементами которой являются: приводной нагружающий механизм, обеспечивающий плавное нагружение образца вплоть до его разрыва; силоизмерительное устройство для измерения силы сопротивления образца растяжению; механизм для автоматической записи диаграммы растяжения.

В процессе испытания диаграммный механизм непрерывно регистрирует так называемую первичную (машинную) диаграмму растяжения в координатах нагрузка ( $P$ )—абсолютное удлинение образца ( $\Delta l$ ) (рис. 21). На диаграмме растяжения пластичных металлических материалов можно выделить три характерных участка: участок  $OA$  — прямолинейный, соответствующий упругой деформации; участок  $AB$  — криволинейный, соответствующий упругопластической деформации при возрастании нагрузки; участок  $BC$  — также криволинейный, соответствующий упругопластической деформации при снижении нагрузки. В точке  $C$  происходит окончательное разрушение образца с разделением его на две части. В области упругой деформации (участок  $OA$ ) зависимость между

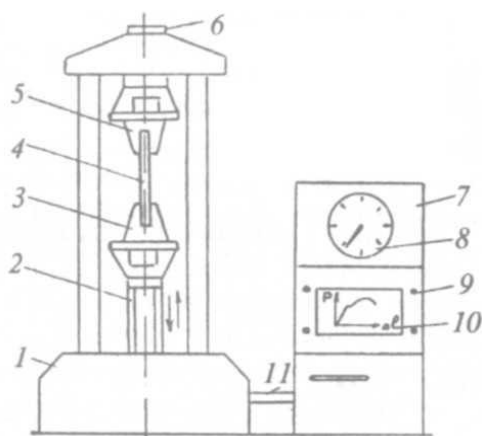


**Рис. 19. Схемы цилиндрического образца на различных стадиях растяжения:**  
**а** — образец до испытания ( $l_0$  и  $d_0$  — начальные расчетные длина и диаметр);  
**б** — образец, растянутый до максимальной нагрузки ( $l_p$  и  $d_p$  — расчетные длина и диаметр образца в области равномерной деформации);  
**в** — образец после разрыва ( $l_k$  — конечная расчетная длина;  $d_k$  — минимальный диаметр в месте разрыва)

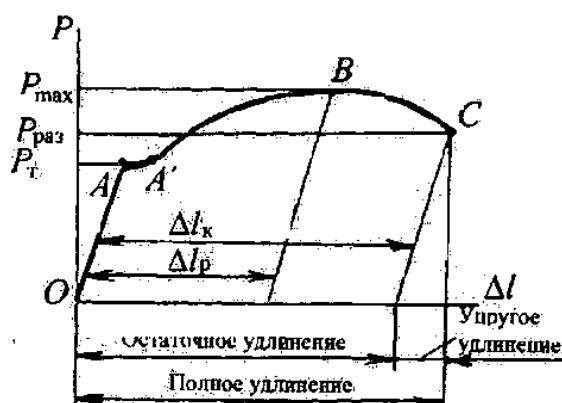
нагрузкой  $P$  и абсолютным упругим удлинением образца  $\Delta l$  пропорциональна и известна под названием закона Гука:

$$P = k \Delta l$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от геометрии образца (площади поперечного сечения  $F_0$  и длины  $l_0$ ) и свойств материала.



**Рис. 20. Схема испытательной машины: 1 — собственно машина; 2 — винт грузовой; 3 — нижний захват (активный); 4 — образец; 5 — верхний захват (пассивный); 6 — силоизмерительный датчик; 7 — пульт управления с электроприводной аппаратурой; 8 — индикатор нагрузок; 9 — рукоятки управления; 10 — диаграммный механизм; 11 — кабель**



**Рис.21. Схема машинных (первичных) диаграмм растяжения пластичных материалов**

Прочность при статических нагрузках оценивается временным сопротивлением  $\sigma_B$  и пределом текучести  $\sigma_T$ ;  $\sigma_B$  - это условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца (предел прочности на растяжение);  $\sigma_T$  - напряжение, при котором начинается пластическое течение металла.

Прочность при динамических нагрузках определяют по данным испытаний:

а) на ударную вязкость (разрушение ударом стандартного образца на копре)

Основным динамическим испытанием является метод испытания на ударный изгиб (ГОСТ 9454-78) с определением ударной вязкости металла. Метод основан на разрушении образца с надрезом одним ударом маятникового копра (рис. 22).

Образец устанавливают на опорах копра и наносят удар по стороне образца, противоположной надрезу. **Ударная вязкость Дж/ м<sup>2</sup>:**

$$KCV = A/F,$$

где  $A$  - работа, затраченная на разрушение образца, Дж;  $F$  - площадь образца в месте надреза, м<sup>2</sup>.



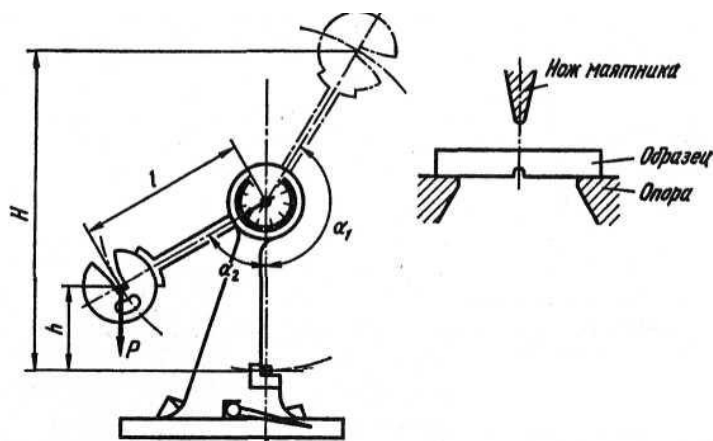


Рис.22. Схема испытаний ударной вязкости

б) на усталостную прочность (определение способности материала выдерживать, не разрушаясь, большое число повторно-переменных нагрузок),

Большинство разрушений деталей и конструкций при эксплуатации происходит в результате циклического нагружения. Металл, подверженный такому нагружению, может разрушаться при более низких напряжениях, чем при однократном плавном нагружении.

Процесс постепенного накопления повреждений в материале при действии циклических нагрузок, приводящий к образованию трещин и разрушению, называют усталостью. Свойство материалов противостоять усталости называют выносливостью.

в) на ползучесть (определение способности нагретого материала медленно и непрерывно деформироваться при постоянных нагрузках).

2) Пластичность - это способность материала получать остаточное изменение формы и размера без разрушения. Пластичность характеризуется относительным удлинением  $\delta$  при разрыве, %:

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

где  $l_k$  - длина образца после разрыва, мм;  $l_0$  - первоначальная длина образца, мм (рис.19).

3) Твердость - это способность материала сопротивляться внедрению в него другого, не получающего остаточных деформаций тела.

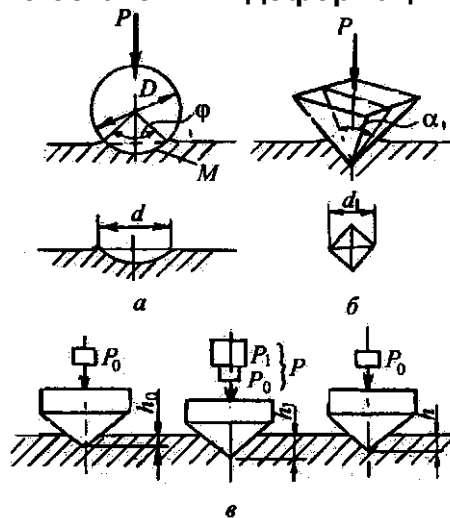


Рис. 23. Методы определения твердости: а — по Бринеллю; б — по Виккерсу; в — по Роквеллу;

Значение твердости и ее размерность для одного и того же материала зависят от применяемого метода измерения. **Значения твердости, определенные различными методами**, пересчитывают по таблицам и эмпирическим формулам. Например, **твердость по Бринеллю** (НВ, МПа) (ГОСТ 9012-59) определяют из отношения нагрузки  $P$ , приложенной к шарик, к площади поверхности полученного отпечатка шарика  $F_{отп}$  (рис. 23, а)

$$HВ = P / F_{отп}$$

**По методу Роквелла** (рис. 23,в) (ГОСТ 9013-59) в испытуемую поверхность вдавливают алмазный конус с углом при вершине  $120^\circ$  или стальной шарик малого диаметра. **Число твердости HR обратно пропорционально глубине внедрения алмазного конуса**. В зависимости от шкалы прибора введены следующие обозначения чисел твердости: **HRA, HRB и HRC**. При нагрузках на алмазный конус по шкале С и шкале А проводят измерения просто твердых или очень твердых и тонких материалов. Шкала В предназначена для испытания мягких материалов.

**Метод Виккерса** (рис. 23,б) (ГОСТ 2999-75) позволяет измерять твердость как мягких, так и очень твердых материалов и сплавов. **Твердость HV определяется по диагонали отпечатка  $d_1$  от вдавливаемой алмазной пирамиды**.

К **физическим** свойствам металлов и сплавов относятся температура плавления, плотность, температурные коэффициенты линейного и объемного расширения, электросопротивление и электропроводимость.

Физические свойства сплавов обусловлены их составом и структурой.

К **химическим** свойствам относятся способность к химическому взаимодействию с агрессивными средами, а также антикоррозионные свойства. Способность материала подвергаться различным методам горячей и холодной обработки определяют по его **технологическим** свойствам.

К **технологическим свойствам металлов и сплавов относятся литейные свойства, деформируемость (ковкость), свариваемость и 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.

Обрабатываемостью называют свойства металла поддаваться обработке резанием. Критериями обрабатываемости являются режимы резания и качество поверхностного слоя.

Технологические свойства часто определяют выбор материала для конструкции. Разрабатываемые материалы могут быть внедрены в производство только в том случае, если их технологические свойства удовлетворяют необходимым требованиям.

**К эксплуатационным свойствам в зависимости от условия работы машины 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  $0^\circ\text{C}$ . 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.

### СХЕМА ПРЕВРАЩЕНИЙ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ИЗДЕЛИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

