

**Морозова И.Г.**

**Детали машин и основы конструирования.**

**Стали и чугуны для деталей силовых редукторов  
и мультипликаторов.**

**Учебное пособие для выполнения домашних  
заданий и курсового проектирования.**

В учебном пособии представлены материалы, посвященные сталям и чугунам, применяемым в общем машиностроении при производстве таких достаточно сложных конструкций, как редукторы и мультипликаторы. Подбор информации осуществлен на основе учебных программ. Пособие предназначено для студентов обучающихся по направлению 150100 «Металлургия».

# **Снижение материалоемкости конструкции - важный источник повышения эффективности общественного производства.**

Пути экономии материалов:

- выбор оптимальной схемы машины и узла;
- уточнение расчетов и снижение коэффициентов безопасности ;
- выбор оптимальных типов и конструктивных исполнений деталей;
  
- выбор оптимальных материалов и их термической обработки;
  
- применение прогрессивных технологий и приближение форм деталей к формам наиболее простых и дешевых заготовок

# ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

**Легирующими элементами** называют химические элементы, специально введенные в сталь для получения требуемых строения, структуры, физико-химических и механических свойств.

Основными легирующими элементами в сталях являются Mn, Si, Cr, Ni, Mo, W, Co, Cu, Ti, V, Zr, Nb, Al, B. В некоторых сталях легирующими элементами могут быть также P, S, N, Se, Te, Pb, Ce, La и др. Перечисленные элементы, а также H, O, Sn, Sb, As, Bi могут быть также применены в стали. Содержание легирующих элементов в стали может колебаться от тысячных долей процента до десятков процентов.

**Примесями** называют химические элементы, перешедшие в состав стали в процессе ее производства как технологические добавки или как составляющие шихтовых материалов. Содержание примесей в стали обычно ограничивается следующими пределами:  $Mn \leq 0,8\%$ ,  $Si \leq 0,4\%$ ,  $Cr \leq 0,3\%$ ,  $Ni \leq 0,3\%$ ,  $Cu \leq 0,3\%$ ,  $Mo \leq 0,10\%$ ,  $W \leq 0,2\%$ ,  $P \leq 0,025-0,040\%$ ,  $S \leq 0,015-0,050\%$ .

Как видно, примесями и легирующими добавками могут быть одни и те же химические элементы. Отнесение их к тому или иному признаку зависит от количества и роли в стали.

**Легируемые стали** – это сплавы на основе железа, в химический состав которых специально введены легирующие элементы, обеспечивающие при определенных способах производства и обработки требуемую структуру и свойства.

# КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ

Существуют несколько признаков классификации машиностроительных сталей:

**по составу:** углеродистые, легированные;

**по обработке:** улучшаемые, нормализуемые, цементуемые, азотируемые, мартенситно-старяющие и т.д.;

**по назначению:** пружинные, шарикоподшипниковые, криогенные и т.п.

Нет единой классификации сталей.

Существует много признаков, по которым классифицируют стали, но зачастую и они не могут быть однозначными для большого числа марок сталей.

# Конструкционные стали

Конструкционной сталью называется сталь, применяемая для изготовления различных деталей машин, механизмов и конструкций в машиностроении и строительстве и обладающая определенными механическими, физическими и химическими свойствами.

Конструкционные стали подразделяют на:

- строительные;
- машиностроительные;
- стали и сплавы с особыми свойствами – теплоустойчивые,
- жаропрочные, жаростойкие, коррозионностойкие.

# ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИОННЫМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ СТАЛЯМ

- высокая конструктивная прочность, определяемая оптимальным сочетанием прочности, вязкости и пластичности;
- необходимые технологические свойства – хорошая обрабатываемость давлением, резанием и свариваемость, малая склонность к образованию трещин, короблению, обезуглероживанию при термической обработке;
- специальные свойства: износостойкость, теплоустойчивость, определенные физические свойства и т.д.

# КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ ПО КАЧЕСТВУ

*По качеству* стали подразделяют на:

стали обыкновенного качества;

качественные стали;

высококачественные стали;

особовысококачественные стали.

Главными качественными признаками стали являются более жесткие требования по химическому составу и прежде всего по содержанию вредных примесей, таких как фосфора и серы.



# СОДЕРЖАНИЕ СЕРЫ И ФОСФОРА В СТАЛЯХ РАЗНОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА

Ниже приведено предельное содержание фосфора и серы, %  
(не более), в сталях разной категории качества:

	P	S
Обыкновенного качества.....	0,040	0,050
Качественная.....	0,035	0,035
Высококачественная.....	0,025	0,025
Особовысококачественная.....	0,025	0,015

Категория обыкновенного качества может относиться только к углеродистым сталям. Все остальные категории качества могут относиться к любым по степени легирования сталям.

# МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ

- В России принята буквенно-цифровая система обозначения марок сталей и сплавов.
- Углеродистые конструкционные и качественные стали обозначают двухзначным числом, указывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента (например, 05; 08; 10; 15; 20; 25 ... 80; 85).
- Для сталей, полностью не расчисленных (при  $C < 0,20\%$ ), в обозначение добавляются индексы: КП - кипящая сталь, ПС - полуспокойная сталь (например, 15кп, 20пс). Для спокойных сталей индекс не указывается. Углеродистые инструментальные стали обозначают буквой «У» и следующей за ней цифрой, указывающей среднее содержание углерода в десятых долях процента (например, У7; У8; У9; У10; У11; У12; У13).

# МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ

- Цифры после буквы в обозначении марки стали показывают примерное количество того или иного элемента округленное до целого числа. При среднем содержании легирующего элемента до 1,5 % цифру за буквенным индексом не приводят. Содержание углерода указывается в начале марки в сотых (конструкционные стали) или десятых (инструментальные стали) долях процента.
- Так, конструкционная сталь, содержащая 0,42 – 0,50 % С; 0,5 – 0,8 % Мn; 0,8 – 1,0 % Cr; 1,3 – 1,8 % Ni; 0,2 – 0,3 % Мо и 0,10 – 0,18 % V, обозначается маркой 45ХН2МФ.

# МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ

- Буква «А» в конце марки указывает, что сталь относится к категории высококачественной (30ХГСА), если та же буква в середине марки, то сталь легирована азотом (16Г2АФ), а в начале марки буква «А» указывает на то, что сталь автоматная, повышенной обрабатываемости (А35Г2). Индекс «АС» в начале марки указывает, что сталь автоматная со свинцом (АС35Г2).
- Особовысококачественная сталь обозначается добавлением через дефис в конце марки буквы «Ш» (30ХГС-Ш или 30ХГСА-Ш).
- Сталь, не содержащая в конце марки букв «А» или «Ш», относится к категории качественных (30ХГС).

# Трансляция российских марок сталей

- Принятая в России система маркировки наглядна и проста. В других странах применяют другие принципы обозначения сталей.

Россия	Германия	Франция	США	Япония
10	C10	XC10	1010	S9CK
50ХФ	50CrV4	50CV4	6150	SUP5
У8	C80W1	XC80	W1-0,8C	SK5
P18	X72WCrV1865	Z80W18	T1	SKH2
12X13	X10Cr13	Z12C13	410	SECI
12X18H9	X12CrNi18-8	Z12CN18-8	302	SEC7

# УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

- Углеродистые горячекатаные стали обыкновенного качества в зависимости от назначения и гарантируемых при поставке свойств подразделяются на три группы: А, Б, В.
- **Стали группы А** поставляют с регламентируемыми механическими свойствами. Химический состав их не нормируется. Поэтому стали этой группы наиболее часто применяются в конструкциях, узлы которых не подвергаются горячей обработке.

## Углеродистые стали обыкновенного качества

- **Стали группы Б** поставляют с регламентированным химическим составом, без гарантии механических свойств. Поэтому их применяют для изделий, подвергаемых горячей обработке, технология которой зависит от состава стали, а конечные механические свойства определяются самой обработкой.
- **Стали группы В** поставляют с регламентируемыми механическими свойствами и химическим составом. Как правило, такие стали применяют для изготовления сварных металлоконструкций, так как свариваемость стали определяется составом стали, а механические свойства вне зоны сварки определены в состоянии поставки. Стали группы В дороже, чем стали группы А и Б, их применяют для ответственных изделий.

# Углеродистые стали обыкновенного качества

Углеродистые стали обыкновенного качества бывают *спокойными* (сп), *полуспокойными* (пс), и *кипящими* (кп). В их составе разное содержание кремния, %:

- спокойные 0,12 – 0,30;
- полуспокойные 0,05 – 0,17;
- кипящие  $\leq 0,07$ .

Каждая марка стали может иметь различную категорию в зависимости от количества нормируемых показателей химического состава и механических свойств.

Обозначаются углеродистые стали обыкновенного качества буквами «Ст», за которыми следует цифра, указывающая порядковый номер марки стали, а не среднее содержание углерода в ней, хотя с повышением номера от Ст 1 до Ст 6 содержание углерода в стали увеличивается. Группы Б и В указывают впереди марки. Группа А в обозначении марки не указывается. Для обозначения степени раскисления после номера марки добавляют один из индексов сп, пс, кп, а категория нормируемых свойств (кроме категории 1) указывается последующей цифрой. Полуспокойные стали могут иметь повышенное содержание марганца (до 1,2 %). В этом случае после номера стали ставится буква «Г».



# Углеродистые стали обыкновенного качества

ВСтЗсп5 означает, что сталь СтЗ спокойная, группы В, категории 5 (нормируемыми для этой категории показателями являются: химический состав, временное сопротивление  $\sigma$  при растяжении, предел текучести, относительное удлинение, изгиб в холодном состоянии, ударная вязкость при  $-20^{\circ}\text{C}$  и после механического деформационного старения).

Ст2кп означает что сталь Ст2, кипящая, группы А, категории 1 (нормируемые показатели: временное сопротивление при растяжении и относительное удлинение).

БСт5Гпс2 означает, что сталь Ст5, полуспокойная, с повышенным содержанием марганца, группы Б, категории 2 (нормируется содержание С, Mn, Si, P, S, As, N, Cr, Ni, Cu).

# ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ УГЛЕРОДИСТЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

Марка стали	C%	S≤	P≤
Ст 0	≤0,23	0,07	0,055
Ст1	0,06-0,12	0,045	0,055
Ст2	0,09-0,15	0,045	0,055
Ст3	0,14-0,22	0,045	0,055
Ст4	0,18-0,27	0,045	0,055
Ст5	0,28-0,37	0,045	0,055
Ст6	0,38-0,49	0,045	0,055
Ст7	0,50-0,62	0,045	0,055

# СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СПОКОЙНЫХ И ПОЛУСПОКОЙНЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

Марка стали	Группа А				Группа Б	
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	Изгиб на 180° (а – толщина образца, d - диаметр оправки)	С, %	Mn, %
	не менее					
<b>Ст0</b>	310	—	23	d – 2a	≤0,23	—
<b>Ст1</b>	320 – 420	—	34	d – 0	0,06 – 0,12	0,25 – 0,50
<b>Ст2</b>	340 – 440	230	32	d – 0	0,00 – 0,15	0,25 – 0,50
<b>Ст3</b>	380 – 490	250	27	d – 0,5a	0,14 – 0,22	0,40 – 0,65
<b>Ст4</b>	420 – 540	270	24	d – 2a	0,18 – 0,27	0,40 – 0,70
<b>Ст5</b>	500 – 640	290	20	d – 3a	0,28 – 0,37	0,50 – 0,80
<b>Ст6</b>	600	320	15	—	0,38 – 0,49	0,50 – 0,80

Примечание: в таблице указывается лишь содержание основных элементов, а не полный марочный химический состав

# Применение конструкционных углеродистых сталей обыкновенного качества

Марка стали	Применение
<b>Ст0; Ст1</b>	Второстепенные элементы конструкций и неответственные детали, :настилы, арматура, шайбы, перила, кожухи и т. д.
<b>Ст2</b>	Неответственные детали, требующие повышенной пластичности, малонагруженные элементы сварных конструкций, работающие при постоянных нагрузках и положительных температурах.
<b>Ст3</b>	КП – малонагруженные элементы сварных конструкций, работающие в интервале температур Т°С от -10 до +400°С; СП – фасонный и листовой прокат – несущие элементы сварных конструкций, работающие при переменных нагрузках в интервале температур от -40 до +425°С
<b>Ст4</b>	ПС – сварные, клепаные, болтовые конструкции повышенной прочности в виде сортового проката, а также для малонагруженных валов, осей, втулок и др.
<b>Ст5</b>	ПС, СП - детали клепаных конструкций, болты, гайки, втулки, упоры, штыри, пальцы и т.д., работающие в интервале температур от 0 до +425°С.
<b>Ст6,Ст7</b>	ПС, СП – детали повышенной прочности – оси, валы, пальцы, поршни, шпонки и т. д.

# УГЛЕРОДИСТЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ СТАЛИ

В машиностроении находят применение для изготовления деталей и изделий, чаще всего неответственного назначения, дешевые углеродистые качественные стали.

Свойства углеродистых сталей определяются содержанием углерода и применяемой обработкой. Горячекатаные, нормализованные и отожженные стали имеют феррито-перлитную структуру. С увеличением содержания углерода количество перлита возрастает и при  $\sim 0,8\%$  С сталь имеет полностью перлитную структуру. В заэвтектоидной стали наряду с перлитом появляется избыточный цементит. Увеличение содержания углерода (перлита) приводит к росту прочности и падению пластичности вязкости феррито-перлитной стали, при этом порог хладноломкости существенно повышается.

# УГЛЕРОДИСТЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ СТАЛИ

Марки углеродистых качественных сталей:

08; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60

Цифры в обозначении марки стали показывают содержание углерода в сотых долях процента.

Пример химического состава (содержания углерода и примесей) качественной углеродистой стали.

Марка стали	C	Mn	Si	P ≤	S ≤	Cr ≤	Ni ≤	Cu ≤	As ≤
Сталь 30	<b>0,27-0,35</b>	<b>0,50-0,80</b>	<b>0,17-0,37</b>	<b>0,035</b>	<b>0,04</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,08</b>

# МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЕЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ

Группа сталей	Марка стали	Механические характеристики					
		$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_{1p}$ , МПа	$\sigma_{-1}$ , МПа	$\tau_{-1}$ , МПа	НВ
Углеродистые стали качественные	10	340-420	210	120-150	160-220	80-120	137
	20	420-500	250	120-160	170-220	100-130	156
	30	500-600	300	170-210	200-270	110-140	179
	40	580-700	340	180-240	230-320	140-190	187-217
	45	610-750	360	190-250	250-340	150-200	197-241
	50	640-800	380	200-260	270-350	160-210	207-241

# Применение конструкционных углеродистых качественных сталей

Марка стали	Применение
Сталь 15	Заменитель: стали 10, 20. Болты, винты, крюки и др. детали, к которым предъявляются требования высокой пластичности и работающие при температуре от -40 до 450°С. После ХТО – кулачки, гайки и др. детали с высокой поверхностной твердостью.
Сталь 30	Заменитель: стали 25 и 35. Рычаги, валы, соединительные муфты и др. детали невысокой прочности.
Сталь 40	Заменитель: стали 35 и 45. После ТО: коленчатые валы, шатуны, зубчатые колеса, оси и др. После ТВЧ: средних размеров валики, зубчатые колеса и др.
Сталь 50	Заменитель: стали 45 и 55. После ТО: зубчатые колеса, прокатные валки, тяжело нагруженные валы и оси, мало нагруженные пружины и рессоры и т.д.
Сталь 60	Заменитель: сталь 55. Цельнокатаные колеса вагонов, рабочие валки листовых станов для горячей прокатки, диски сцепления и др, т.е. детали с высокой прочностью и износостойкостью.



# ШАРИКОПОДШИПНИКОВЫЕ СТАЛИ

Шарикоподшипниковая сталь прежде всего должна обладать высокой твердостью, поэтому применяют высокоуглеродистые стали типа инструментальной (иногда низкоуглеродистые в цементованном состоянии).

Чтобы шарикоподшипниковая сталь легко принимала закалку (т.е. имела низкую критическую скорость закали) и в качестве закалочной среды для нее можно было бы применять масло, сталь легируют (обычно) хромом. Государственный стандарт предусматривает четыре основные марки шарикоподшипниковой стали.

# **МАРКИ ШАРИКОПОДШИПНИКОВЫХ СТАЛЕЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ**

# **СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ**

# Примеры применения конструкционных легированных сталей

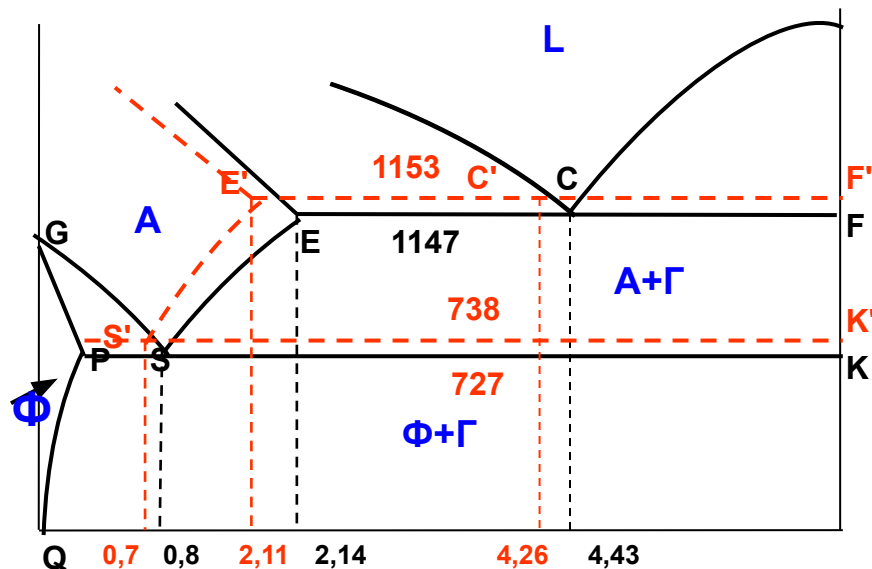
Стали	Применение
30X; 35X; 35XPA	Оси, рычаги, болты, гайки и др. некрупные изделия.
40X; 45X; 38XA; 40XH; 50X	Оси, валы, валы-шестерни, коленчатые и кулачковые валы, зубчатые колеса и др. улучшаемые детали повышенной прочности.
30XM; 30XMA; 35XM; 40XH; 30XM; 30XGSA	Валы, шестерни; шпильки; фланцы и др. ответственные детали, работающие при высоких нагрузках и при $T = 450 - 500^{\circ}\text{C}$
30XH2MFA; 30XH2BFA	Валы, цельнокованные роторы, детали редукторов, шпильки и др. детали турбин и компрессорных машин, работающие при повышенных температурах.
ШХ15; ШХ9; ШХ12	Шарики $d \leq 150$ мм, ролики $d \leq 23$ мм, кольца подшипников с толщиной стенки до 14 мм, ролики толкателей и др. детали от которых требуется высокая твердость, износостойкость и контактная прочность. В стали ШХ15: С – 1%; Mn – 0,3%; Si – 0,25%; <b>Cr – 1,5%</b> .
70; 65Г; 60С2А; 9ХС; 60С2; 55С2; 50ХФА	<b>Пружины, рессоры</b> , фрикционные диски и др. детали, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости и работающие без ударных нагрузок.

# ЧУГУНЫ

Белый чугун – название получил по матово-белому цвету излома;

- структура в не нагретом состоянии:  $\text{Ц} + \text{П}(\text{Ф} + \text{Г})$ ; т.е. весь углерод находится в форме цементита;
- свойства: высокая твердость и износостойкость, хрупкость, практически не поддается обработке режущим инструментом;
- марки: ИЧХ3, ИЧХ5, ИЧХ15... (износостойкий хромистый чугун с содержанием хрома 3%, 5%, 15% соответственно...);
- применение: детали, работающие в условиях интенсивного износа без ударных нагрузок(например, линейки направляющих, детали шаровых мельниц);
- не нашел широкого применения в общем машиностроении.

# Процесс графитизации



При определенных кинетических условиях и диффузионных процессах при охлаждении вместо цементита образуется графит (Г).

Диаграмма Fe – C называется стабильной, а Fe – Ц – метастабильной. Образование графита из жидкости или аустенита происходит в узком интервале температур между линиями стабильной и метастабильной диаграмм то есть в условиях малых переохлаждений и, следовательно при малых скоростях охлаждения

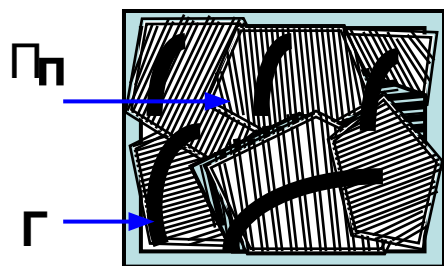
Кроме того, образование графита возможно при нагреве цементита (Ц – неустойчивое соединение) с образованием **A + Г** или **Ф + Г**.

$E'C'F'$  ( $1153^\circ$ ) – линия фазового равновесия **L** ↔ **A + Г**.

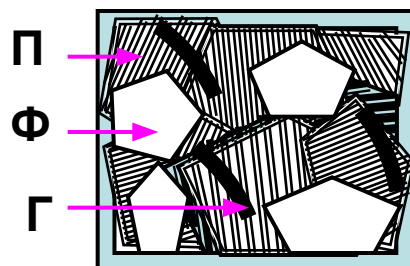
$P'S'K'$  ( $738^\circ$ ) – линия фазового равновесия **A** ↔ **Ф + Г**

# ЧУГУНЫ

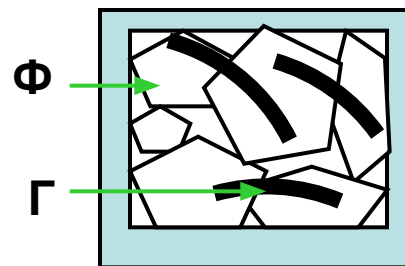
Излом серого чугуна имеет матовый серый цвет. Обладает хорошими литейными свойствами. В структуре присутствует графит, количество, форма и размеры которого изменяются в широких пределах. По строению металлической основы серые чугуны разделяют на: серый перлитный чугун (1) ; серый феррито-перлитный чугун (2); серый ферритный чугун (3). В обычном сером чугуне графит имеет пластинчатую форму (1 – 3).



1



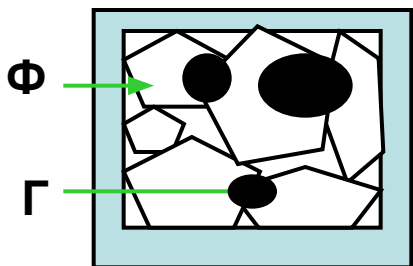
2



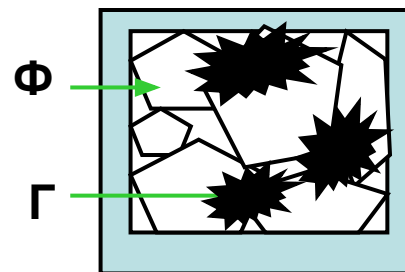
3

# ЧУГУНЫ

В высокопрочном сером чугуне графит находится в форме шаровидного графита, который принимает такую форму благодаря присадке магния или церия (модификаторов) (1). В ковком сером чугуне углерод находится в форме хлопьевидного графита (углерода отжига)(2), который образуется в процессе отжига белого чугуна.



1



2



# МАРКИ СЕРЫХ ЧУГУНОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Вид чугуна	Примеры маркировки	Свойства	Применение
Обычный серый	СЧ12-28 СЧ18-36	$\sigma_{\text{в}} = 12 \text{ кгс/мм}^2 = 120 \text{ МПа}$ $\sigma_{\text{и}} = 28 \text{ кгс/мм}^2 = 280 \text{ МПа}$ $\sigma_{\text{в}} = 18 \text{ кгс/мм}^2; \sigma_{\text{и}} = 36 \text{ кгс/мм}^2$	Станины; корпуса редукторов; тракторные отливки, поршневые кольца и др.
Высокопрочный чугун	ВЧ50-1,5 ВЧ45-5	$\sigma_{\text{в}} = 50 \text{ кгс/мм}^2 = 500 \text{ МПа}$ $\delta\% = 1,5\%$ $\sigma_{\text{в}} = 45 \text{ кгс/мм}^2; \delta\% = 5\%$	Коленчатые валы; арматура тоннелей метро; канализационные трубы; и др.
Ковкий чугун	КЧ35-10 КЧ45-6	$\sigma_{\text{в}} = 35 \text{ кгс/мм}^2 = 350 \text{ МПа}$ $\delta\% = 10\%$ $\sigma_{\text{в}} = 45 \text{ кгс/мм}^2; \delta\% = 6\%$	Литые детали машин, не испытывающие значительных растягивающих и ударных нагрузок.

$\sigma_{\text{в}}$ - предел прочности при растяжении;  $\delta\%$  - относительное удлинение после разрыва;  $\sigma_{\text{и}}$  – предел прочности при изгибе.

# АСПЕКТЫ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

***Механические (конструкционные) свойства материалов.***

***Технологические свойства материалов.*** Это часть общих физико-химических свойств, по которым на основании практического опыта проектируют и реализуют процесс получения узлов и деталей машин с наилучшими служебными свойствами. Методы определения технологических свойств стандартизованы. К числу важнейших относятся: свариваемость, паяемость, упрочняемость, обрабатываемость резанием, литейные свойства и технологическая деформируемость.

***Экономические параметры,*** связанные с затратами на изготовление деталей.

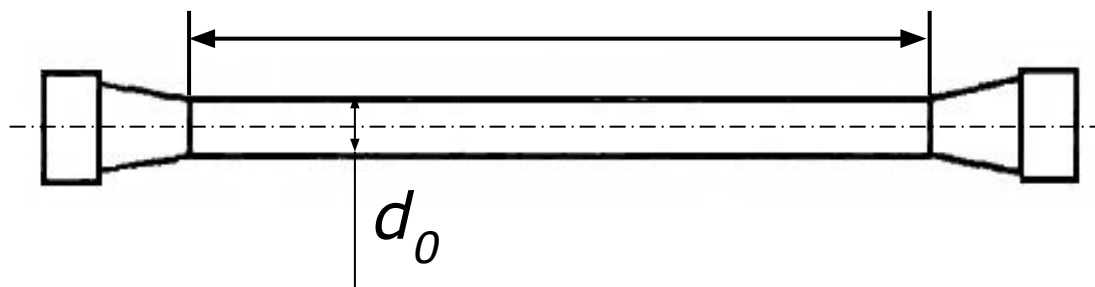
# Механические свойства металлических материалов и методы их определения

- Детали должны выдерживать (передавать) различные нагрузки: статические, динамические, циклические, тепловые и др.
- Способность материала в конструкции сопротивляться внешним воздействиям, (т.е. **свойства материала**), **принято оценивать механическими характеристиками**. Один и тот же материал при различных внешних условиях (температура, скорость нагружения и т.д.) может иметь различные механические свойства.
- Количественная оценка механических свойств материалов производится путем испытаний образцов в специальных испытательных машинах при определенных условиях. Размеры образцов и методики проведения испытаний стандартизованы.

# Испытание на растяжение

Образец для испытаний

$l_0$



Относительное

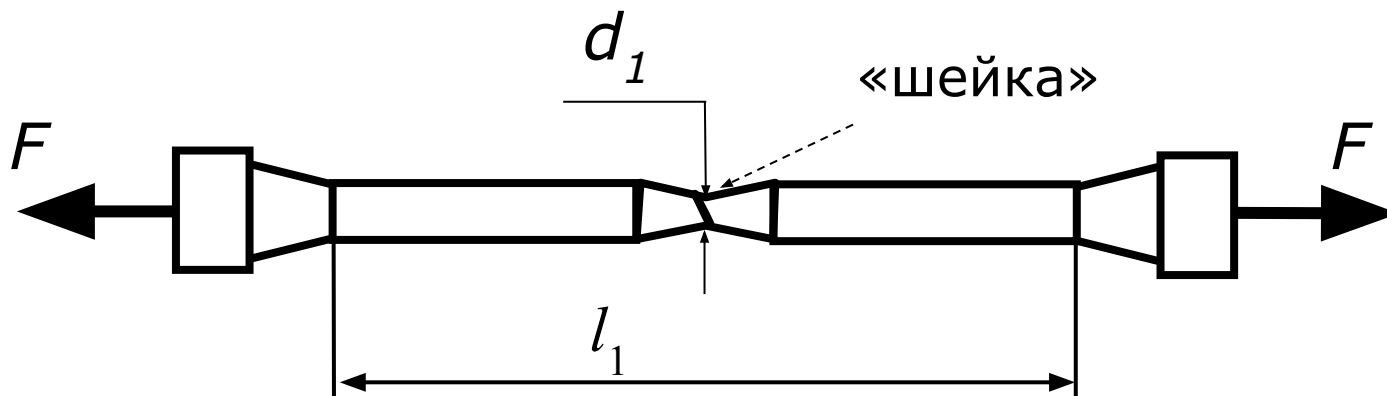
удлинение

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%$$

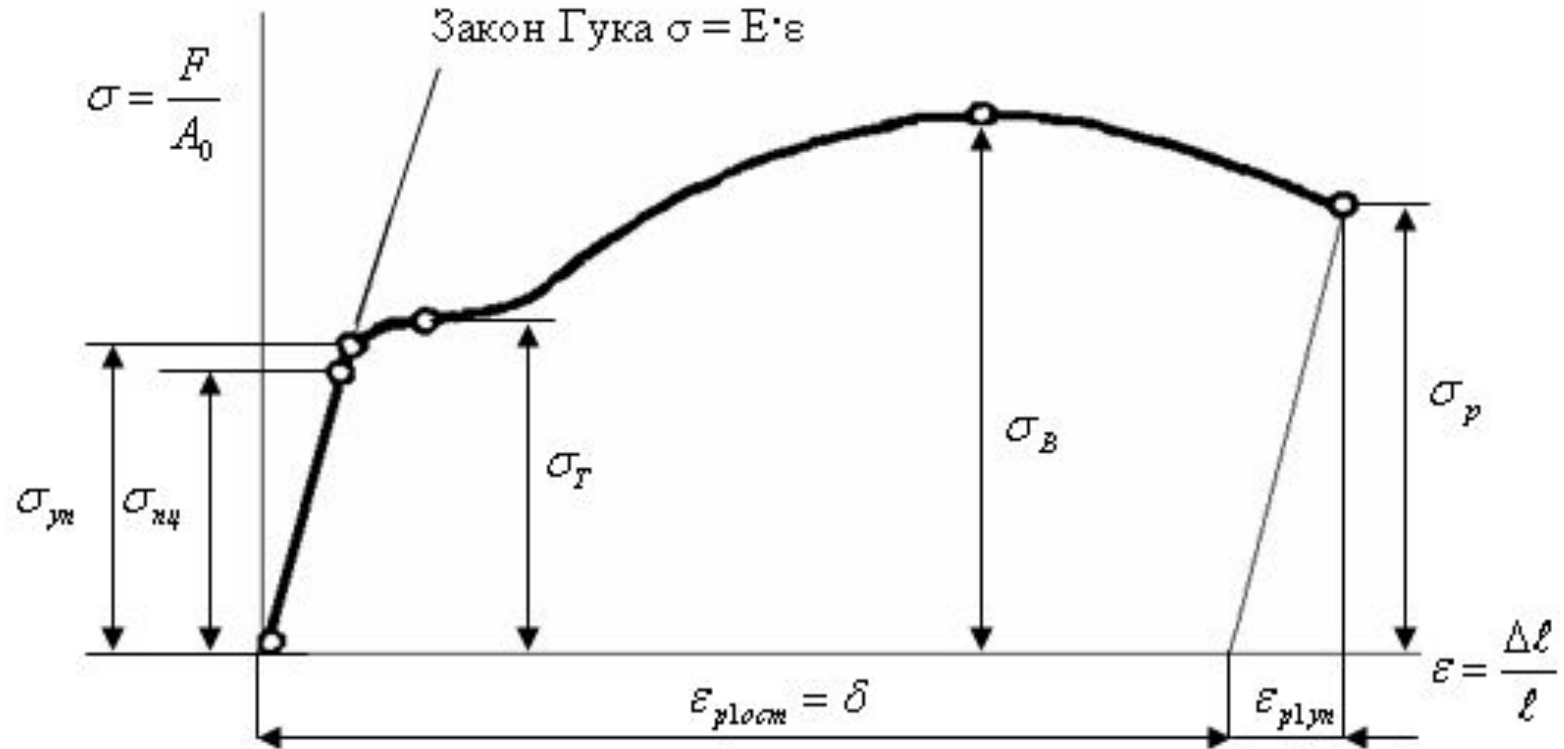
сужение

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100\%$$

Разрушение образца из  
пластичного материала

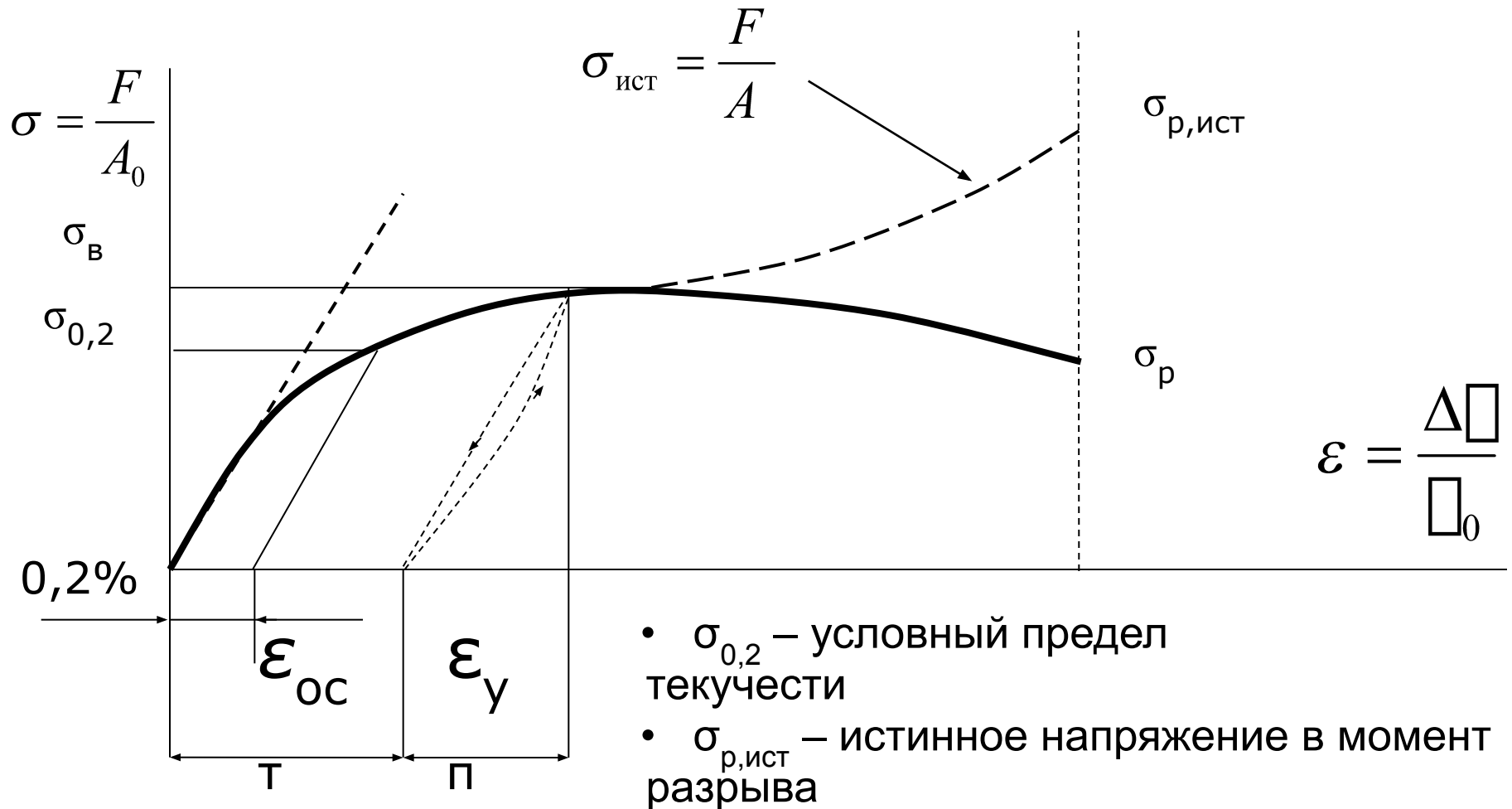


## Диаграмма растяжения с площадкой текучести



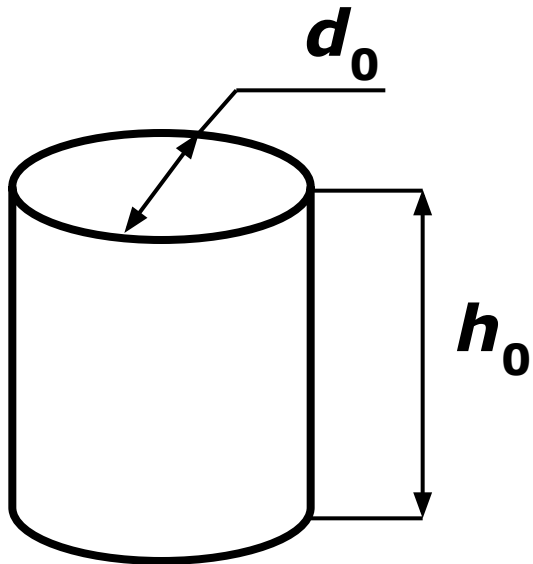
- $\sigma_{\text{пц}}$ ,  $\sigma_{\text{уп}}$  и  $\sigma_T$  – пределы пропорциональности, упругости и текучести;
- $\sigma_B$  – временное сопротивление;
- $\sigma_p$  – напряжение в момент разрыва.

# Диаграмма растяжения без площадки текучести

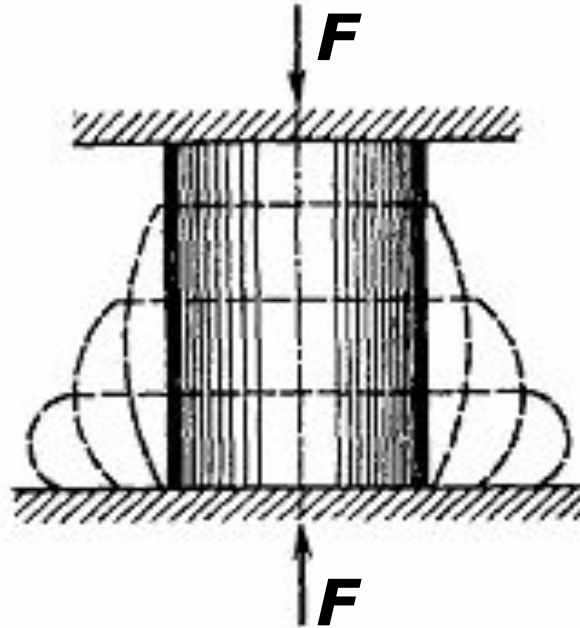


# Испытание на сжатие

Образец для испытаний

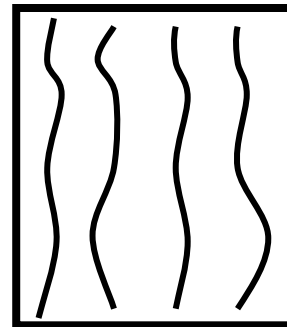
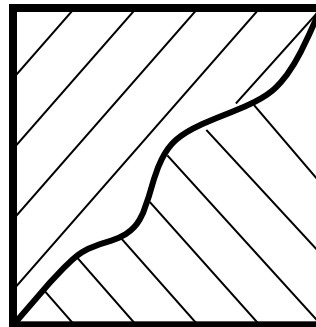


$$\frac{h_0}{d_0} = 1 \div 3$$



Деформация образца

из пластичного материала

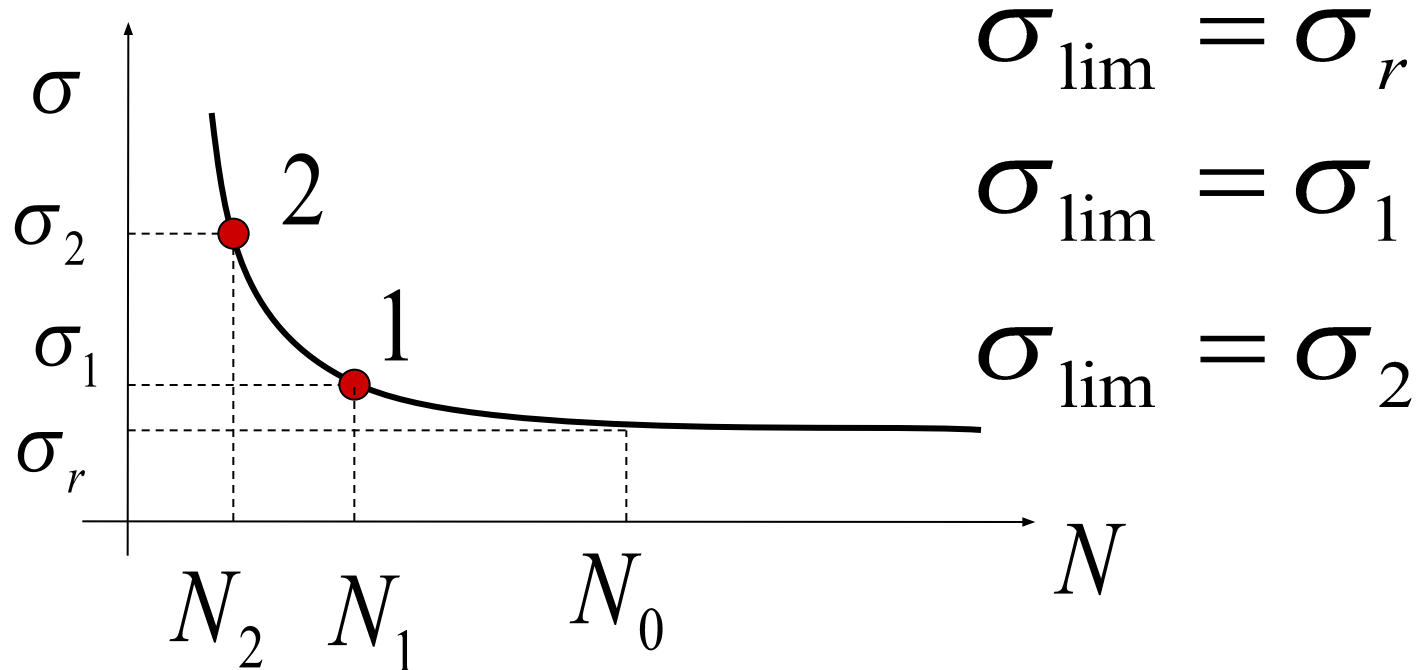


из хрупкого материала





## Кривая усталости



- $\sigma_r$  - предел выносливости - максимальное значение напряжения цикла изменения напряжений, при котором разрушение не происходит после практически неограниченного числа циклов изменения напряжений.
- Цикл изменения напряжений – совокупность последовательных значений переменных напряжений за один период их изменения.

## Методы определения твердости материалов.

- Измерение твердости – упрощенный метод определения прочности. Твердость – одна из характеристик сопротивления деформации.
- **Метод Бринелля:** в испытуемый материал под действием силы  $P$  внедряется шарик (индентор) диаметром  $D$ ; число твердости по Бринеллю –  $HB = P / S$ , где  $S$  – сферическая поверхность отпечатка с диаметром  $d$ .
- **Метод Роквелла:** индентор – алмазный конус или стальной шарик; числом твердости считают величину обратную глубине вдавливания  $h$ ; прибор имеет три шкалы: **HRB** – при вдавливании стального шарика; **HRA** и **HRC** при вдавливании алмазного конуса ( с различной нагрузкой).
- **Метод Виккерса:** индентор – алмазная пирамида; критерий числа твердости **HV** – диагональ отпечатка  $d$ .

## Методы определения твердости материалов.

- Методы **HB** и **HRB** применяют для мягких материалов; **HRC** - для твердых материалов (например, закаленных сталей); методы **HV** и **HRA** - для тонких слоев (листов).
- Между различными методами существует примерная корреляция. По соответствующим таблицам можно перевести значение твердости, полученное одним из методов в значения твердости соответствующие другим методам.
- Число твердости по Бринеллю приблизительно в три раза больше чем предел прочности:  $HB \approx \sigma_B / 3$ .
- Метод определения микротвердости **H** применим для определения твердости отдельных структурных составляющих. Индентор – алмазная пирамида при очень небольшой нагрузке (до 100г).
- Метод Шора - экспресс-метод определения твердости (**HSD**) крупных изделий в условиях производства по отскоку стального шарика