

# Металлы. Типы сплавов

Под термином **«чистый металл»** понимается металл, содержащий до 0,01% примесей. Чистые металлы обладают низкой прочностью и не обеспечивают требуемых свойств конструкционного материала.

Наиболее широко применяют **сплавы** на основе таких металлов, которые обладают более высокими прочностью и твердостью. Сплавы получают сплавлением или спеканием двух или более металлов или металлов с неметаллами.

Элементы, образующие сплав, называют *компонентами*. При кристаллизации сплавов образуются *структурные составляющие* следующих типов: *механические смеси, твердые растворы и химические соединения*.

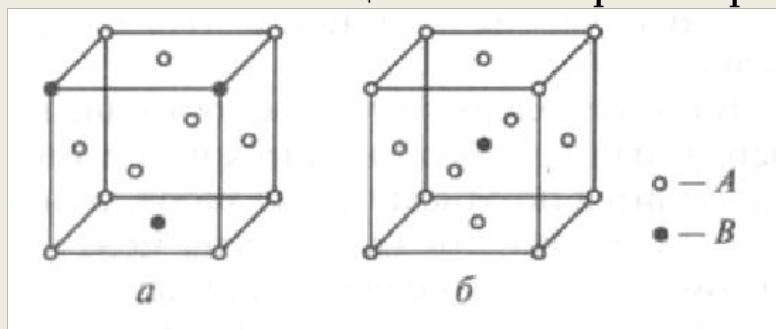
*Механические смеси* образуют компоненты сплава с большим различием атомных диаметров, не способные к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступающие в химическую реакцию. Каждый из компонентов сохраняет свой тип кристаллической решетки.

В *твердых растворах* один компонент *A* (растворитель) сохраняет свою кристаллическую решетку, а другой *B* (растворенный) – в виде атомов размещается в решетке растворителя. Свойства *твердого раствора A(B)* отличаются от свойств его компонентов. Например, запись  $Fe_{\alpha}(C)$  означает, что это твердый раствор углерода в кристаллической решетке железа аллотропной модификации  $\alpha$ , т. е. железа с решеткой ОЦК.

## Металлы. Типы сплавов

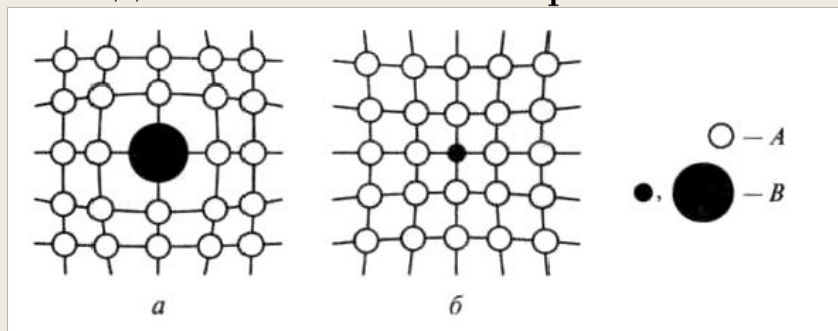
При образовании **твердых растворов внедрения** атомы растворенного компонента  $B$  размещаются в междоузлиях решетки растворителя  $A$ .

В **твердых растворах замещения** атомы растворенного компонента  $B$  занимают часть позиций атомов растворителя  $A$  в узлах его решетки.



Твердые растворы  $A(B)$ :  
 $a$  – замещения;  $b$  – внедрения;  $A$ ,  
 $B$  – компоненты твердого  
раствора

Т.к. размеры атомов растворенного компонента могут значительно отличаться от размеров атомов растворителя, образование твердого раствора сопровождается искажением кристаллической решетки растворителя.



Для образования твердого раствора замещения различие атомных радиусов компонентов не должно превышать 18%.

## Металлы. Типы сплавов

Твердые растворы замещения могут быть с **ограниченной и неограниченной растворимостью**. Неограниченно растворяются один в другом компоненты сплавов золото – серебро, медь – никель и др.

В отличие от химических соединений в твердых растворах отсутствует стехиометрическое соотношение компонентов, например,  $TiN_{0,54}$  или  $TiN_{1,22}$ .

В **Химических соединениях** кристаллическая решетка отличается от решеток элементов его образующих; свойства соединения резко отличаются от свойств составляющих элементов; химический и стехиометрический составы постоянны; подчинение законам валентности и постоянная формула типа  $A_nB_m$ , где  $A, B$  – компоненты системы;  $n, m$  – простые **целые** числа.

**Технические металлы** в твердом состоянии включают в себя огромное число кристаллов, которые называют **кристаллитами** или **зернами**. Они имеют неправильную форму и содержат дефекты кристаллического строения.

Зерна в структуре металла имеют размер около  $10^{-2}$  см, они по-разному ориентированы в пространстве. Каждое зерно также состоит из более мелких кристаллов, называемых **блоками**, которые более согласованно ориентированы и имеют более совершенное строение по сравнению с зерном. Размеры блоков около  $10^{-4}$  см.

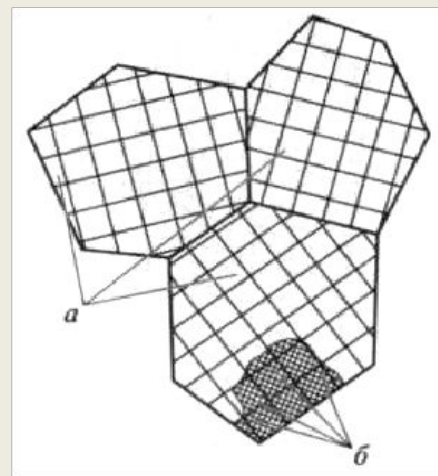


Рис. 3.4. Схема ориентации зерен (а) и блоков (б) в структуре металла

## Металлы. Диаграмма состояния железо–углерод

Сплавы железа с углеродом – стали и чугуны – наиболее широко востребованы в качестве промышленного материала конструкционного назначения.

Структуры стали и чугуна представлены на **диаграмме состояния железо–углерод**, т.е. данная диаграмма является основой металловедения. Используя ее, можно определять структуру железоуглеродистых сплавов с любым содержанием углерода при любой заданной температуре.

По оси абсцисс диаграммы (*ось концентрации*) отложено процентное содержание углерода в железе. Нулевое содержание углерода соответствует чистому железу, а 6,67% углерода содержится в химическом соединении железа с углеродом – карбиде железа  $Fe_3C$ , который называют **цементитом**. Поэтому **диаграмму железо–углерод называют также диаграммой железо–цементит** и часто указывают вторую ось абсцисс, на которой приводят содержание  $Fe_3C$  в диапазоне 0... 100%.

Сплошные линии на диаграмме представляют собой геометрическое место *критических точек*.

**Критическая точка** – это температура, при которой происходит изменение кристаллической решетки вещества. Экспериментальное определение критических точек основано на изучении процессов нагрева (температура  $A_c$ ) и охлаждения (температура  $A_r$ ) вещества.

## Металлы. Диаграмма состояния железо–углерод

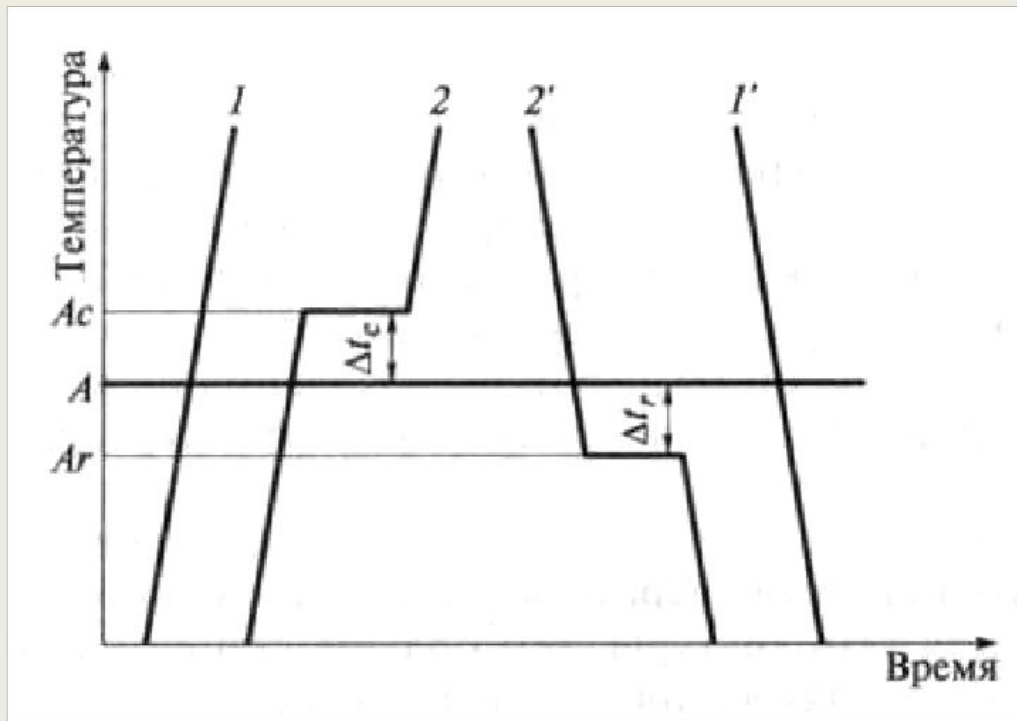


Схема определения критических точек:

1, 1' — кривые нагрева и охлаждения аморфного вещества;

2, 2' — кривые нагрева и охлаждения кристаллического вещества;

$\Delta T_c$  — степень перегрева;  $\Delta T_r$  — степень переохлаждения;

$A$  — равновесное значение температуры кристаллизации, т. е. теоретическое значение температуры критической точки;

$A_c$ ,  $A_r$  — экспериментальное значение температуры критической точки при нагреве и охлаждении

## Металлы. Диаграмма состояния железо–углерод

При нагревании **аморфного вещества** оно, постепенно размягчаясь, переходит в жидкое состояние, температура аморфного вещества в процессе нагревания повышается пропорционально (кривая 1). Охлаждение расплава аморфного вещества приводит к его постепенному загустеванию до исходного состояния, температура также монотонно снижается (кривая 1').

В случае нагревания **кристаллического вещества** (кривая 2) при определенной температуре, которую обозначают  $A_c$ , повышение его температуры прекращается. Подводимая теплота при этом расходуется на разрушение кристаллической решетки, т.е. на плавление. После завершения процесса плавления температура кристаллического вещества снова начинает повышаться.

В процессе охлаждения расплава того же кристаллического вещества (кривая 2') при температуре  $A_r$  также прекращается снижения температуры вещества. Это объясняется образованием кристаллической решетки с выделением теплоты кристаллизации, т. е. той тепловой энергии, которая была ранее (при нагреве) затрачена на ее разрушение.

Значения температур  $A_c$  и  $A_r$  не совпадают. Равновесная температура  $A$  кристаллизации – среднее реальных температур плавления  $A_c$  и кристаллизации  $A_r$ . Разность равновесной и реальной температур кристаллизации называют **степенью переохлаждения** и обозначают  $\Delta t_r$ , разность реальной температуры плавления и равновесной температуры кристаллизации называют **степенью перегрева** и обозначают как  $\Delta t_c$ .



## Металлы. Диаграмма состояния железо–углерод

Уменьшая скорость изменения температуры, можно достичь практически равновесного состояния системы, т.е. определить теоретическое значение температуры критической точки *A*.

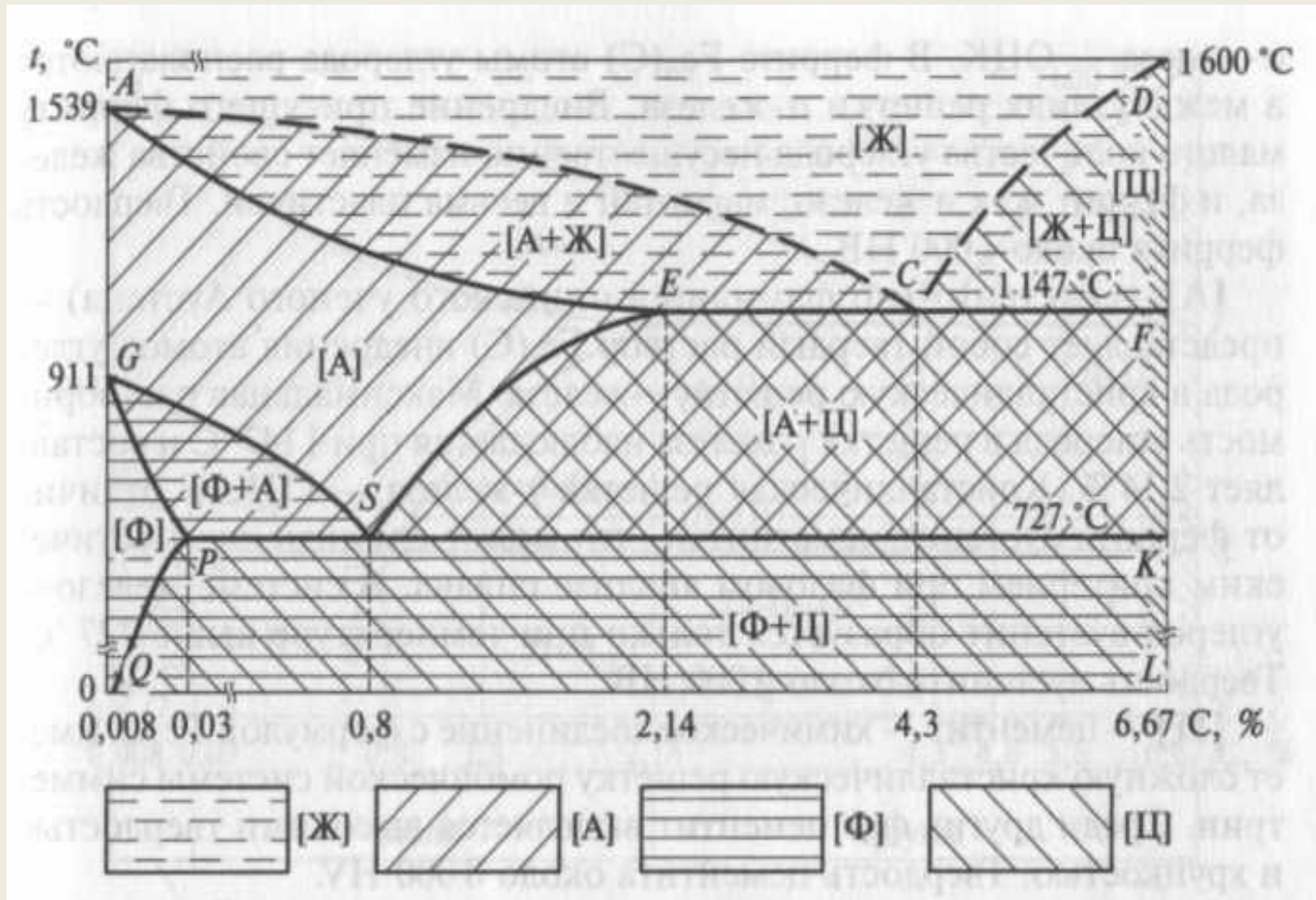
При минимальной скорости изменения температуры строят диаграмму железо–углерод, которая характеризует равновесное состояние системы. На диаграмму наносят в виде сплошных линий теоретические значения критической точки для набора сплавов системы железо–углерод с разным содержанием углерода. Эти линии разделяют области существования однородных частей сплавов, находящихся в равновесии при данной температуре.

Однородные части сплава, разделенные поверхностью раздела, называют *фазами*. Свойства сплава при пересечении этой поверхности меняются скачкообразно. Фазами могут быть отдельные металлы, их химические соединения, а также твердые и жидкие растворы на основе металлов.

Анализ состояния сплавов системы железо–углерод начинают с определения числа фаз и мест их расположения в координатах температура–содержание углерода в сплаве.

Для обозначения фаз используются квадратные скобки [...].

# Металлы. Диаграмма состояния железо–углерод



Фазовый состав сплавов системы железо–углерод:

$A, C, D, E, F, G, P, S, K, Q$  – стандартные узловые точки; [Ж] – жидкий расплав; [А] – аустенит; [Ф] – феррит; [Ц] – цементит.



## Металлы. Диаграмма состояния железо–углерод

**[Ж]** – жидкий раствор углерода в железе. При пересечении в процессе охлаждения температуры линии *ACD* фрагменты жидкого раствора превращаются в зародыши, наиболее устойчивые из них затем развиваются до размера кристаллов.

Линию *ACD* называют *линией ликвидуса* (от лат. *liquor* – жидкость). Процесс выделения кристаллов из жидкости называют *первичной кристаллизацией*. Выше линии ликвидуса все сплавы находятся только в жидком состоянии.

Линия *AECF* называется *линией солидуса* (от лат. *solidus* – твердый), она характеризует температуру окончания процесса первичной кристаллизации. Ниже линии солидуса все сплавы находятся в твердом состоянии. Закристаллизовавшиеся сплавы состоят из трех фаз в разном их сочетании: [А], [Ф], [Ц].

**[Ф]** – феррит (от лат. *ferrum* – железо) – сплав с небольшим содержанием углерода, по свойствам наиболее близкий железу. Железо – серебристо-белый мягкий металл с температурой плавления 1539 °С. Феррит – твердый раствор  $Fe_{\alpha}(C)$  внедрения атомов углерода в кристаллическую решетку  $\alpha$ -железа. Максимальное содержание углерода в феррите составляет 0,03% при 727°С и 0,008% при комнатной температуре. Кристаллическая решетка – ОЦК. Твердость феррита около 1000 НВ.

## Металлы. Диаграмма состояния железо–углерод

[А] – аустенит – твердый раствор  $Fe_\gamma(C)$  внедрения атомов углерода в кристаллическую решетку  $\gamma$ -железа. Кристаллическая решетка – ГЦК. В отличие от феррита аустенит немагнитен. Аустенит образуется только при температуре выше  $727^\circ C$ . Твердость – около 2000 НВ.

[Ц] – цементит – химическое соединение с формулой  $Fe_3C$ , имеет сложную кристаллическую решетку ромбической системы симметрии. Выделяется высокими твердостью и хрупкостью. Твердость цементита около 8000 НВ.

Однофазные сплавы выделены штриховкой.

Фазовый состав других областей диаграммы определяется при помощи так называемого *правила концентраций*. Через каждую точку, заданную температурой и содержанием углерода в сплаве, проводят горизонтальную линию (изотерму) до пересечения со сплошными линиями диаграммы. Точки пересечения укажут фазовый состав сплава, а проекция этих точек на ось концентраций покажет содержание углерода в соответствующей фазе.

Для однофазных сплавов правило концентраций не работает, так как содержание углерода в фазе равно содержанию углерода в исходном сплаве.

Следующим этапом анализа является определение числа и местоположения на диаграмме вторичных образований выделившихся фаз, которые являются *структурными составляющими* сплава, которые могут быть однофазными и состоять из смеси двух фаз.

# Металлы. Диаграмма состояния железо–углерод

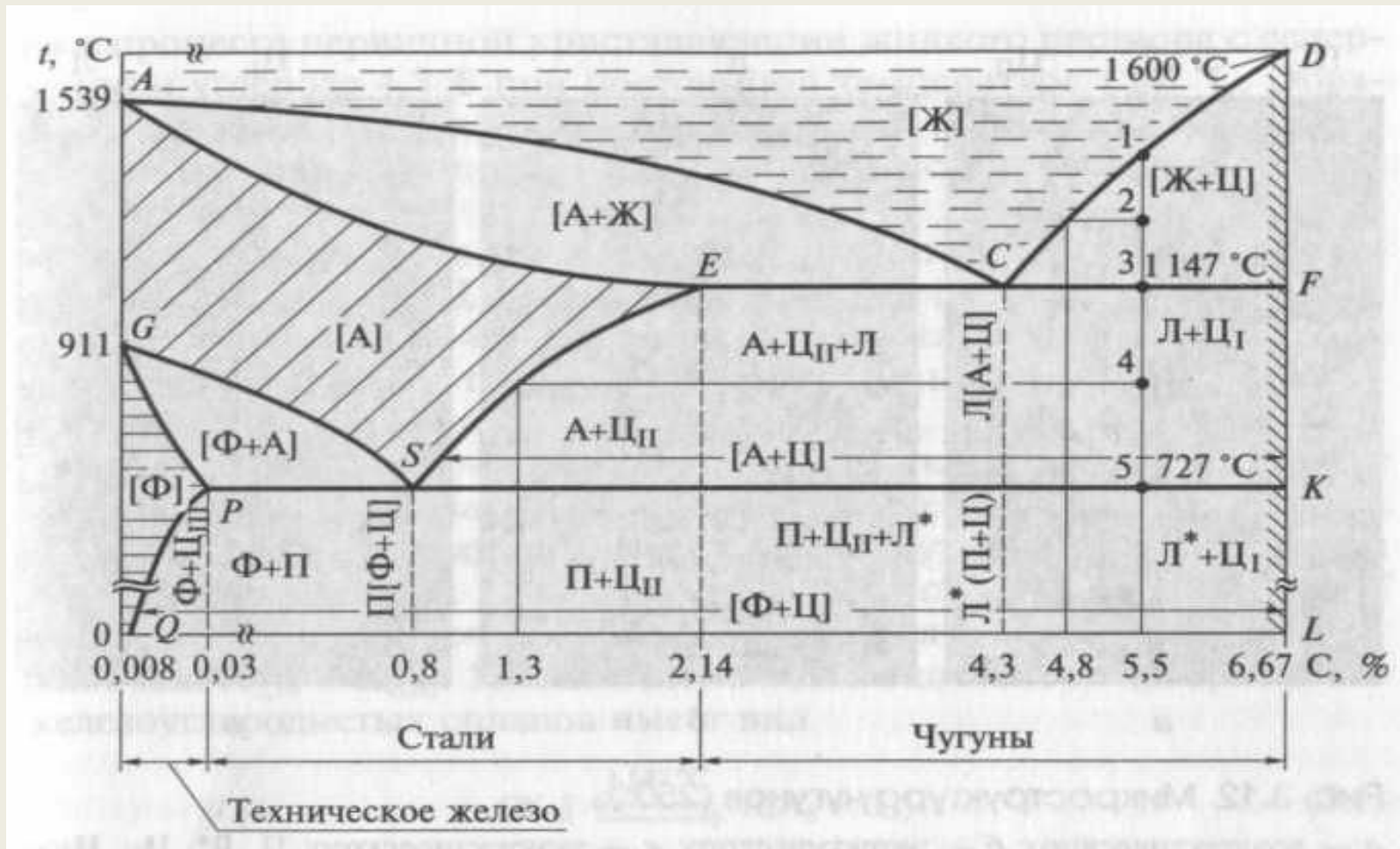


Диаграмма состояния системы железо–углерод:

П – перлит; Л, Л\* – ледебурит;  $\text{Ц}_{\text{I}}$   $\text{Ц}_{\text{II}}$   $\text{Ц}_{\text{III}}$  – цементит первичный, вторичный, третичный; 1–5 – точки, характеризующие структурные превращения при охлаждении сплава, содержащего 5,5% С,

## Металлы. Диаграмма состояния железо–углерод

Полный вариант диаграммы состояния системы железо–углерод включает структурные составляющие сплавов. Области существования сплавов с однородной структурой разделены вертикальными штриховыми линиями.

Цементит [Ц] в зависимости от геометрических размеров и формы может образовывать однофазные образования цементит первичный Ц<sub>I</sub>, цементит вторичный Ц<sub>II</sub> и цементит третичный Ц<sub>III</sub>, а также двухфазные образования – ледебурит Л и перлит П. Рассмотрим каждую из этих структурных составляющих.

Ц<sub>I</sub> выделяется в процессе охлаждения жидкого раствора в интервале температур 1600... 1147 °С между линиями ликвидуса и солидуса.

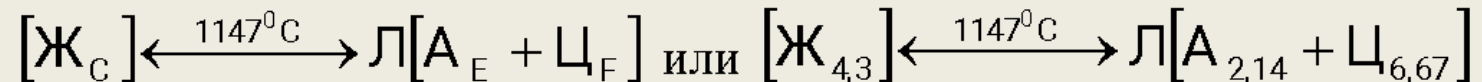
Ц<sub>II</sub> выделяется в процессе охлаждения аустенита в интервале температур 1147... 727 °С. Образование его происходит без плавления сплава (линия диаграммы находится ниже линии солидуса). Процесс кристаллизации вещества в твердой фазе без его плавления называют *вторичной кристаллизацией*. В этих условиях (твердая среда и относительно низкие температуры) цементит выделяется в виде прослойки между зернами аустенита. Образовавшуюся структуру обозначают как А + Ц<sub>II</sub>.

Ц<sub>III</sub> выделяется в процессе вторичной кристаллизации феррита в интервале температур 727...20°С. В этих условиях цементит Ц<sub>III</sub> формируется на границах зерен феррита в виде мелких включений. Таковую структуру обозначают как Ф + Ц<sub>III</sub>.

## Металлы. Диаграмма состояния железо–углерод

**Л** – ледобурит представляет собой смесь двух фаз – аустенита и цементита. На диаграмме обозначен как **Л [А + Ц]**, образуется в процессе первичной кристаллизации жидкого раствора с содержанием углерода 4,3% при постоянной температуре 1147 °С. Образующаяся смесь называется **эвтектикой** (от греч. *eutektos* — легкоплавкий), а приводящее к образованию смеси **превращение – эвтектическим**.

Полная схема **эвтектического превращения** железоуглеродистых сплавов имеет вид:



Эвтектическое превращение характеризуется следующими особенностями:

- в равновесии находятся три фазы: [Ж], [А], [Ц];
- одновременно кристаллизуются две фазы: [А] и [Ц];
- температура кристаллизации постоянна и составляет 1147 °С;
- температура кристаллизации эвтектики (1147 °С) меньше, чем температуры кристаллизации составляющих эвтектику фаз – аустенита (1539 °С) и цементита (1600 °С).

На последней особенности эвтектического превращения основано использование разных солей для борьбы с обледенением тротуаров. Например, поваренная соль имеет температуру плавления около 800 °С, лед плавится при температуре около 0 °С, а их эвтектическая смесь имеет температуру плавления значительно ниже 0 °С.



## Металлы. Диаграмма состояния железо–углерод

**П** – перлит – является смесью двух фаз феррита и цементита. Перлит **П[Ф+Ц]** образуется при медленном охлаждении в процессе вторичной кристаллизации аустенита, содержащего 0,8% С, при постоянной температуре 727° С. Образующаяся смесь называется **эвтектоидом**, она является результатом **эвтектоидного превращения**.

Схема **эвтектоидного превращения** железоуглеродистых сплавов имеет вид:



Эвтектоидное превращение имеет те же особенности, что и эвтектическое.

### Физико-механические свойства фазовых и структурных составляющих железоуглеродистых сплавов

Фазовые и структурные составляющие	HV, МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
Феррит	1000	250	50
Аустенит	2 000	800	40
Цементит	10000	30	0
Перлит	2 000	800	10
Ледебурит	4 000	—	0

## Металлы. Классификация сплавов железа

Железоуглеродистые сплавы, содержащие до 0,03% С, называют *техническим железом*.

Сплавы, содержащие менее 0,008% С, являются однофазными и имеют структуру феррита, а сплавы, содержащие 0,008... 0,03% С, состоят из феррита и цементита третичного  $\Phi + \text{Ц}_{\text{III}}$ .

*Стальями* называют железоуглеродистые сплавы, содержание углерода в которых не превышает 2,14%. Стали с содержанием углерода до 0,8% называются доэвтектоидными, 0,8 % – эвтектоидными, больше 0,8 % – заэвтектоидными.

*Чугунами* называют сплавы железа с углеродом, содержащие углерода более 2,14%. Чугуны, содержащие менее 4,3% С, называются доэвтектическими, содержащие 4,3% С – эвтектическими и содержащие более 4,3% С – заэвтектическими.

Для определения структуры сталей и чугунов, как и для определения их фазового состава, используют первую часть правила концентраций.

В данном случае изотермы проводят до пересечения как со сплошными линиями диаграммы, разделяющими однофазные области, так и с тонкими штриховыми линиями, выделяющими структурные составляющие. Точки пересечения укажут структуру сплава.

## Металлы. Углеродистые стали

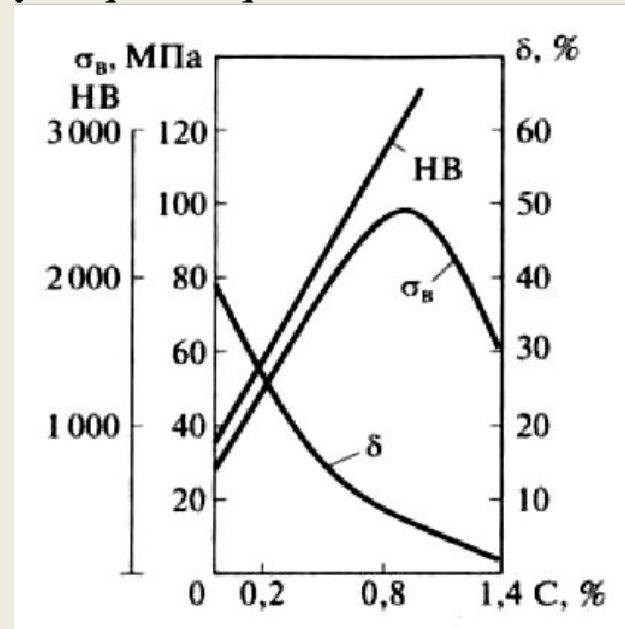
**Сталь** – основной вид продукции предприятий черной металлургии.

Известно не менее 2000 марок сталей. Из общего количества выплавляемой стали около **80%** – **углеродистая сталь**. Оставшиеся **20%** – **легированные стали со специальными свойствами**.

**Углеродистая сталь** относится к самым дешевым металлическим материалам промышленного производства. Главное техническое достоинство – **высокий модуль упругости ( $E = 210$  ГПа)**, что позволяет использовать углеродистые стали в силовых элементах конструкции,

Применяются только стали, содержащие до 1,3% углерода.

Это связано с тем, что рост прочности стали приостанавливается по достижении содержания углерода 0,8%. Дальнейшее повышение содержания углерода приводит к падению прочности.



Влияние содержания углерода в стали на ее механические свойства:

НВ, σ<sub>в</sub>, δ – соответственно твердость, временное сопротивление (предел прочности при растяжении), относительное удлинение при растяжении (пластичность)

## Металлы. Углеродистые стали. Вредные примеси

В стали кроме **углерода** всегда присутствуют неизбежные примеси. Такие примеси, как сера и фосфор, являются вредными.

**Сера** образует с железом химическое соединение – сульфид железа FeS, который в процессе первичной кристаллизации стали образует эвтектику состава Fe – FeS с температурой плавления около 1000 °С, что приводит к появлению дефекта – **красноломкости** (*свойства сплавов давать трещины при горячей обработке давлением*). Поэтому в состав стали вводят марганец, который связывает серу в сульфид марганца MnS. С железом MnS не образует легкоплавкую эвтектику, плавится при ~1600 °С, т.е. выше температур обработки сплава давлением и при этих температурах MnS пластичен, не хрупок, т.е. явление красноломкости предотвращается.

**Фосфор**, растворяясь до 1,2 % в феррите, приводит к **хладноломкости** (*свойства сплавов давать трещины при холодной механической обработке*), которую характеризуют температурой охрупчивания стали  $t_{50}$ . Борьба с данным дефектом стали крайне затруднительна и основана на устранении загрязнения фосфором исходного сырья на стадии подготовки ее к металлургическому производству.

Вредные примеси склонны к **ликвации**, поэтому даже при их содержании в стали в пределах регламентированных норм возможно наличие зон, обогащенных фосфором или серой. Ликвация – свойство сплавов распадаться при переходе из жидкого в твердое состояние на составные части или отдельные соединения, которые имеют разные точки плавления.

## Металлы. Углеродистые стали. Вредные примеси

**Кислород** – также вредная примесь. Взаимодействуя с железом, кислород окисляет его до FeO, наличие которого вызывает проявление дефектов стали. FeO придает стали и *красноломкость* и *хладноломкость*.

Кислород удаляют, проводя технологическую операцию **раскисления**. *Сталь, прошедшая такую обработку, называется раскисленной.*

Для раскисления стали используются **марганец, кремний и алюминий**.

Сталь, раскисленную *марганцем*, называют **кипящей** и обозначают в маркировке стали буквами «**кп**».

Кипящая сталь наиболее дешевая. Поэтому кипящую сталь используют преимущественно в виде листового проката для изготовления деталей методом холодной штамповки. Самое массовое применение – в производстве кузовных деталей, в частности, автомобиля.

Для максимального удаления кислорода сталь раскисляют последовательно такими раскислителями, *как марганец, кремний и алюминий*. Такую сталь называют **спокойной** и обозначают в маркировке буквами «**сп**».

Спокойная сталь обладает лучшими потребительскими свойствами, чем кипящая. Предназначена для изготовления ответственных деталей машин и оборудования, она более дорогая, чем кипящая сталь.

Иногда при раскислении марганцем и кремнием из стали удаляется не весь кислород. Такую сталь называют **полуспокойной** и маркируют буквами «**пс**». Она занимает промежуточное положение между кипящей и спокойной сталью по стоимости и потребительским свойствам.



## Металлы. Углеродистые стали. Вредные примеси

Марганец и кремний, вводимые в сталь в качестве технологической добавки, повышают прочность стали.

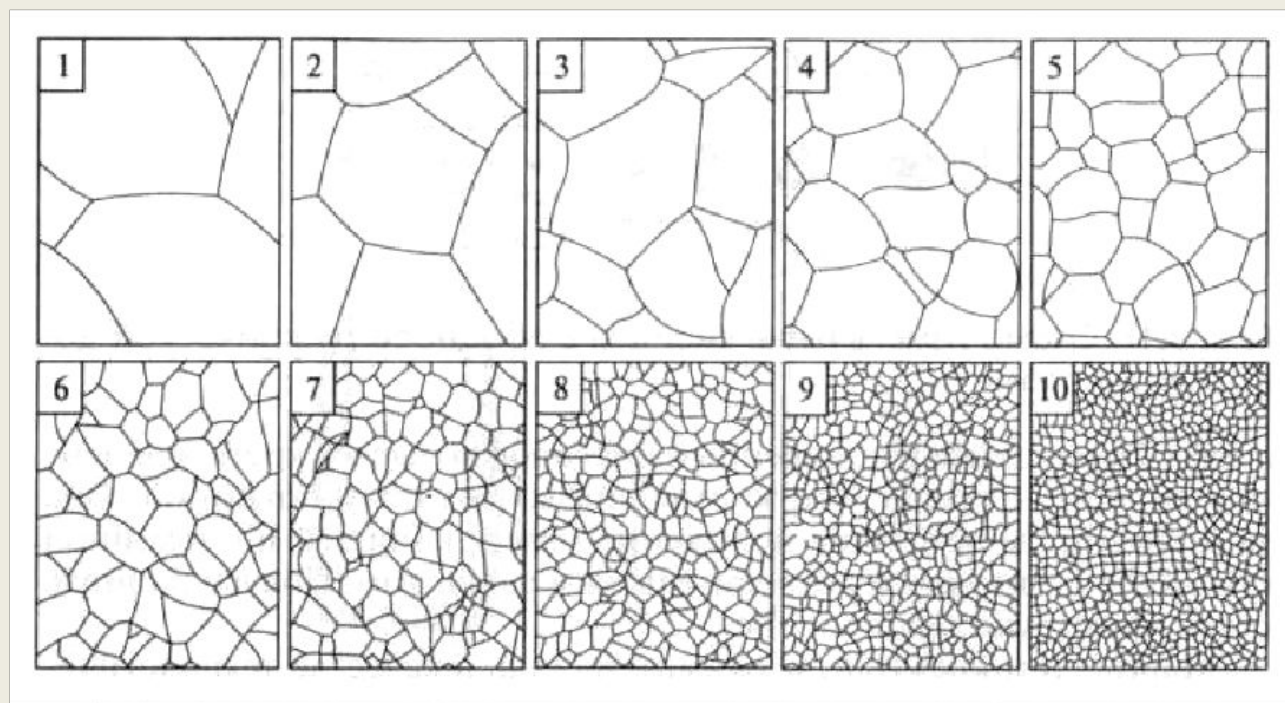
Кислород оказывает отрицательное влияние на свойства стали, так как он образует оксиды  $Me_xO_y$ , которые вместе с нитридами  $Me_xN_y$  – продуктами химического взаимодействия атмосферного азота с металлом – входят в состав неметаллических включений.

**Неметаллические включения** снижают прочность стали, поэтому их содержание в стали регламентируют.

## Металлы. Углеродистые стали. Эталонная шкала зернистости стали

Одной из важнейших характеристик стали является **величина зерна**.

Мелкозернистые материалы имеют наиболее благоприятное сочетание физико-механических свойств. Величину зерна оценивают при помощи десятибалльной эталонной шкалы зернистости стали. Зерна исследуемого образца стали выявляют путем травления поверхности микрошлифа химическими реактивами. Увеличение номера шкалы соответствует уменьшению величины зерна. Используют увеличение  $\times 100$ .



1–10 – баллы размера зерна

## Металлы. Углеродистые стали. Классификация по назначению

Углеродистые стали классифицируют по назначению и качеству.

**По назначению** углеродистые стали разделяют на **конструкционные** и **инструментальные**.



**Стали конструкционного назначения** используют для изготовления деталей машин и оборудования, строительных и других конструкций. Содержат до 0,7% углерода. Их структура представлена зернами феррита и перлита.

Из **сталей инструментального назначения** изготавливают режущий и штамповый инструмент для обработки материалов, а также измерительный инструмент. Содержат 0,7... 1,3% углерода. Структура их состоит из перлита и цементита.

## Металлы. Углеродистые стали. Классификация по качеству

В основе классификации сталей **по качеству** лежит содержание вредных примесей – серы и фосфора.

Наиболее широкое применение получили углеродистые стали обыкновенного качества (50 % суммарного выпуска всех углеродистых сталей).

В обозначение марки **углеродистой конструкционной стали обыкновенного качества** входят буквы Ст, цифры 0 – 6 (условный номер марки в зависимости от химического состава стали, с увеличением номера содержание углерода в стали возрастает) и буквы, определяющие степень **раскисления стали**. Например, марки Ст1кп; Ст2пс; Ст3сп.

**Качественные углеродистые конструкционные стали** маркируют двузначным числом, указывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента, например 08; 10; 55 и буквы кп, пс. Например, сталь 15кп, 20пс. (Для спокойной стали буквы не добавляют.)

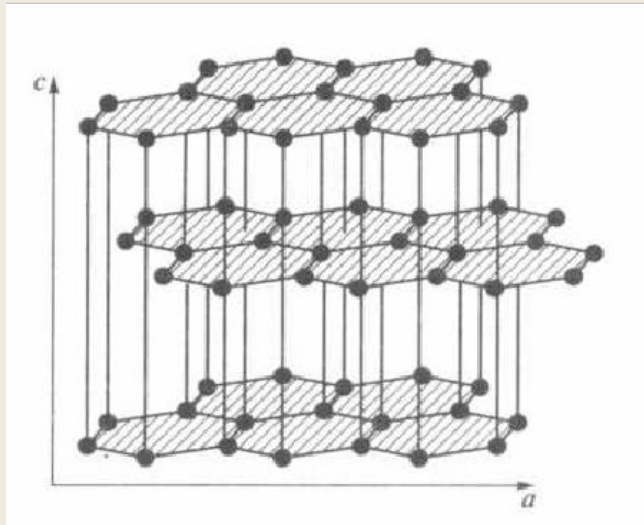
**Инструментальные стали обыкновенного качества не производятся.**

**Инструментальные углеродистые качественные стали** маркируют буквой У (углеродистая), и числом, указывающим среднее содержание углерода в десятых долях процента. Например, У7, У8 – У13.

В обозначении высококачественных сталей любой группы в конце марки указывается буква А. Например, У10А, 45А.

## Металлы. Чугуны

Представленные на диаграмме железо-углерод **ЧУГУНЫ**, в которых весь углерод находится в связанном состоянии, называют **белыми** по виду излома. Белые чугуны в качестве конструкционного материала не используют вследствие их хрупкости. Около 80% белых чугунов используют в качестве полуфабриката для выплавки стали. Оставшиеся 20% перерабатывают в **графитизированные чугуны**, в которых часть углерода переводят в свободное состояние в виде самостоятельной фазы графита. Графитизированные чугуны широко применяют в машиностроении в качестве дешевого конструкционного материала литейной технологии.



Графит – фаза, имеющая практически нулевую прочность. Вместе с тем наличие в структуре свободного графита определяет **ряд преимуществ графитизированного чугуна перед сталью**:

- хорошее стружкообразование: стружка при обработке чугуна сыпучая, а не непрерывная как у стали;
- хорошие антифрикционные свойства из-за смазывающего действия графита;
- высокие демпфирующие свойства (гашение вибраций);
- практически полное отсутствие чувствительности к поверхностным дефектам и концентраторам.



## Металлы. Графитизированные чугуны

**Графитизированные чугуны** классифицируют по двум критериям: по форме включений графита и структуре металлической основы чугуна.

Форма графитных включений во многом определяет механические свойства графитизированных чугунов и зависит от условий кристаллизации.

**Серыми называют чугуны**, в которых включения графита в плоскости шлифа имеют пластинчатую форму. Название чугуны получили по темно-серому цвету излома.

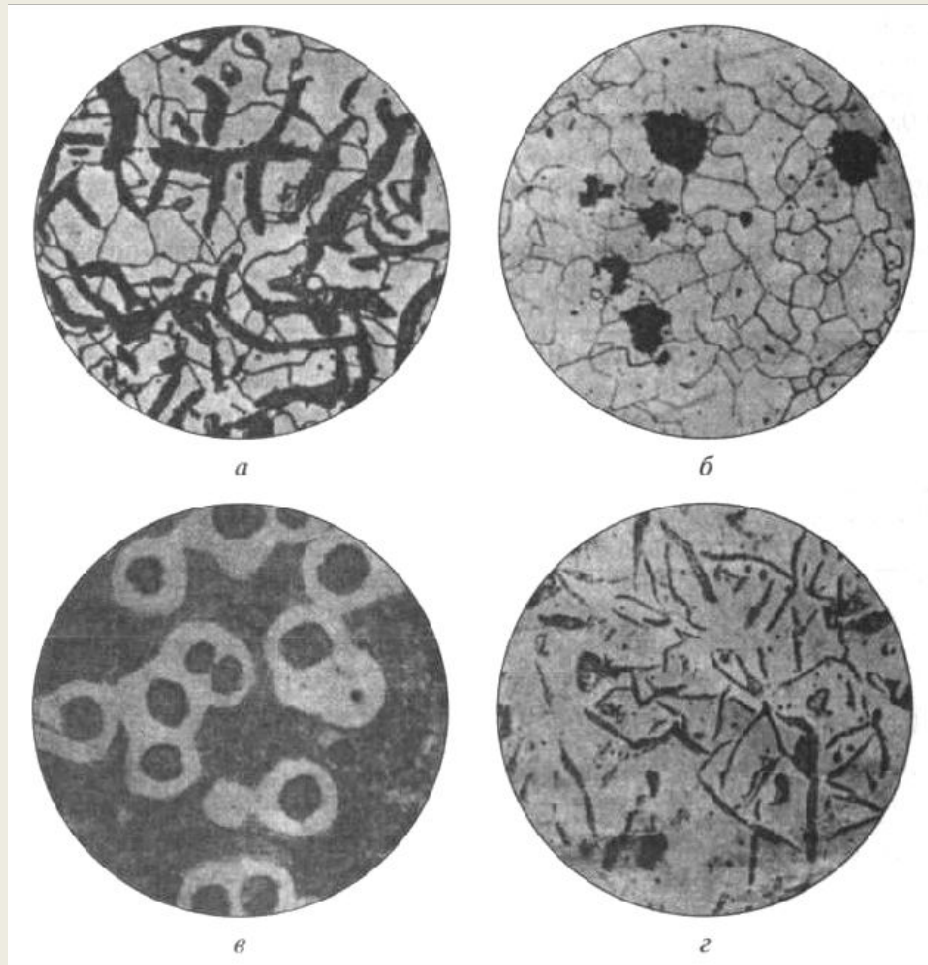
Серые чугуны обладают наименьшей прочностью. Пластинки графита в сером чугуне можно рассматривать как трещины, нарушающие целостность металла.

**Ковкий чугун** имеет хлопьевидные включения графита. Они названы ковкими вследствие их относительно высокой пластичности по сравнению с серыми чугунами, но ковать их нельзя, так как их механические свойства не позволяют осуществить пластическую деформацию.

В **высокопрочных чугунах** графит имеет шаровидную форму. Название отражает высокие механические свойства таких чугунов. Шаровидные нарушения сплошности металлической основы оказывают меньшее влияние на механические свойства высокопрочного чугуна, чем пластинчатые надрезы в сером чугуне.

Разновидностью серого чугуна является **чугун с вермикулярным графитом**.

## Металлы. Графитизированные чугуны



В графитизированных чугунах углерод содержится как в связанном, так и в свободном состояниях:

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{св}} + C_{\text{связ}}$$

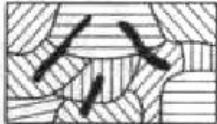






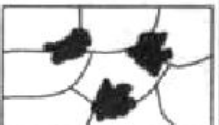
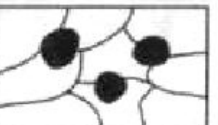
Долю свободного углерода  $C_{\text{св}}$  называют **степенью графитизации**. Структура металлической основы чугуна определяется содержанием в ней связанного углерода  $C_{\text{связ}}$ .


Содержание связанного углерода в графитизированных чугунах не превышает 0,8%, т. е. их можно рассматривать как металлическую основу из конструкционной стали, в которой находятся пустоты,


заполненные графитом. Соответственно графитизированный чугун может иметь структуру металлической основы: ферритную – при содержании связанного углерода до 0,03%, ферритно-перлитную – при 0,03...0,8%  $C_{\text{связ}}$  и перлитную – при 0,8%  $C_{\text{связ}}$ .

## Металлы. Классификация графитизированных чугунов по структуре металлической основы и форме графита

Твердость и прочность перлита выше, чем феррита, поэтому при одинаковой форме графита наибольшими твердостью и износостойкостью будут обладать графитизированные чугуны с перлитной структурой металлической основы, наименьшими – с ферритной основой.

Характеристика металлической основы		Серый чугун	Ковкий чугун	Высокопрочный чугун
		Форма графита		
Содержание $C_{\text{спвяз}}$ , %	Структура	пластинчатая	хлопьевидная	шаровидная
0,8	Перлит (П)			
0,033 ... 0,8	Феррит и перлит (Ф + П)			
До 0,03	Феррит (Ф)			


  
 Твердость ↑  
 Износостойкость ↑



## Металлы. Маркировка графитизированных чугунов

Графитизированные чугуны маркируют сочетанием букв и групп чисел. Буквами обозначают название чугуна:

**СЧ** – серый чугун, **КЧ** – ковкий чугун, **ВЧ** – высокопрочный чугун.

Следующая за буквами группа чисел характеризует прочность чугуна и означает предел прочности при растяжении в килограмм-силы на квадратный миллиметр ( $1 \text{ кгс/мм}^2 \sim 10 \text{ МПа}$ ).

Вторая группа чисел, которую отделяют от первой дефисом, характеризует пластичность чугуна и означает относительное удлинение при растяжении в процентах. **Для серого и высокопрочного чугунов относительное удлинение не указывают.**

Например, для чугуна СЧ 15  $\sigma_B = 150 \text{ МПа}$ ; для чугуна КЧ 45-7  $\sigma_B = 450 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 7\%$ , а для чугуна ВЧ 100  $\sigma_B = 1000 \text{ МПа}$ .

Главным технологическим преимуществом чугуна следует считать его хорошие литейные свойства. Это позволяет использовать графитизированные чугуны в массовом производстве, изготавливая детали наиболее дешевым и технологически конкурентоспособным методом.

В машиностроении доля чугуна составляет около 50% массы машин и технологического оборудования, а в станкостроении – достигает 80%.