



Матеріалознавство

«Діаграма стану сплавів системи залізо-вуглець»

Влияние химического состава на свойства углеродистых сплавов»

Использованы материалы из электронного учебника МАДИ

Автор: доц. Глушкова Д.Б.

Lect 5_1M_TKMIM_GDB_3.03.15

План

1. Железо-углеродистые сплавы

2. Диаграмма Fe-Fe₃C

3. Углеродистые стали

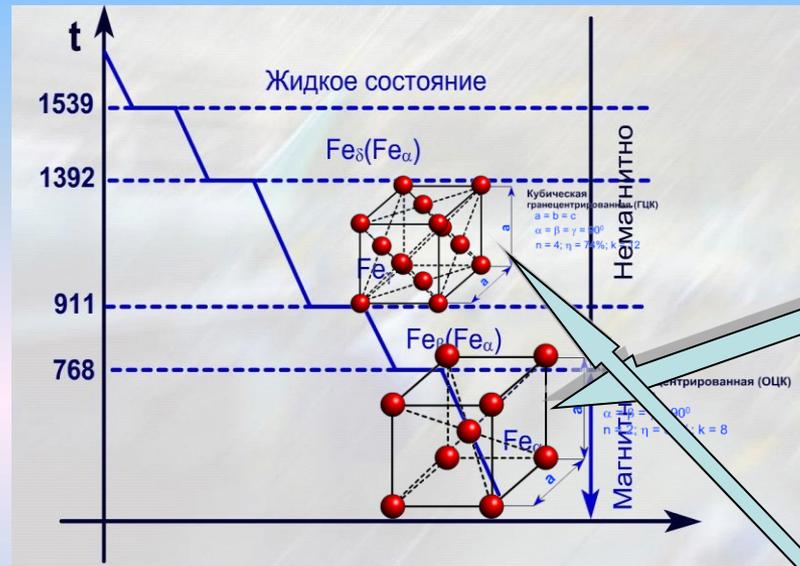
4. Зависимость механических свойств от содержания углеродов в сталях

5. Чугуны

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

Железоуглеродистые сплавы являются наиболее распространёнными в современной промышленности..

Преобразования в твердом состоянии, происходящие в сплавах этой системы, обусловлены полиморфизмом железа



ниже температуры 911 °С железо имеет объемноцентрированную решетку (ОЦК)

В интервале температур 911–1392 °С железу присуща гранецентрированная кубическая решетка (ГЦК) и оно существует в γ -модификации (Fe_γ).

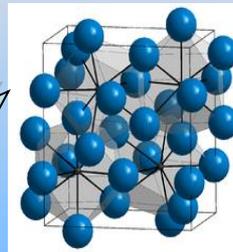
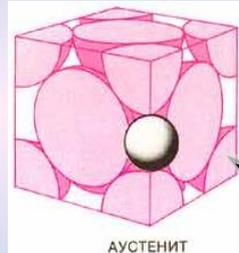
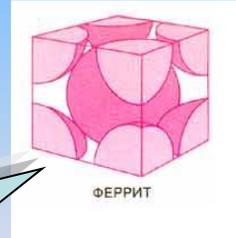
При температуре выше 1392 °С происходит γ - δ превращение

Высокотемпературная модификация α -железа называется δ -железа

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

В твёрдом состоянии железо с углеродом образует три фазы: феррит, аустенит, цементит.

Феррит представляет собой твёрдый раствор углерода в Fe α . Растворимость углерода в Fe α невелика, при температуре 727 °C – 0,03 %. С понижением температуры растворимость углерода в Fe α уменьшается и при комнатной температуре составляет 0,006 %. Феррит – очень мягкая и пластичная структурная составляющая



Аустенит – это твёрдый раствор углерода в Fe γ . Максимальная растворимость углерода в Fe γ при температуре 1147 °C составляет 2,14 %. С понижением температуры растворимость углерода уменьшается и при 727 °C составляет 0,8 %. **Аустенит** – твёрдый раствор внедрения ограниченной растворимости.

При концентрации углерода 6,67 % железо вступает с углеродом в химическую реакцию, образуя химическое соединение Fe $_3$ C, которое называется *цементитом* (карбид железа).

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

Диаграмма состояния Fe–Fe₃C

КОМПОНЕНТЫ ДИАГРАММЫ



Железо

Переходный металл серого цвета, атомный номер 26, атомная масса 55,85, атомный радиус 0,127 нм.

Температура плавления 1539°C.

Имеет две полиморфные модификации.

Чистое железо (99,9917% Fe) имеет твердость 490МПа, плотность 7,874 г/м³, пластично ($\delta \sim 40 - 45\%$)



Углерод

Неметаллический элемент, атомный номер 6, атомная масса 12, плотность 2,5 г/см³, атомный радиус 0,077 нм, температура плавления 3500°C.

Обладает полиморфизмом.

В обычных условиях может существовать в виде графита и алмаза.

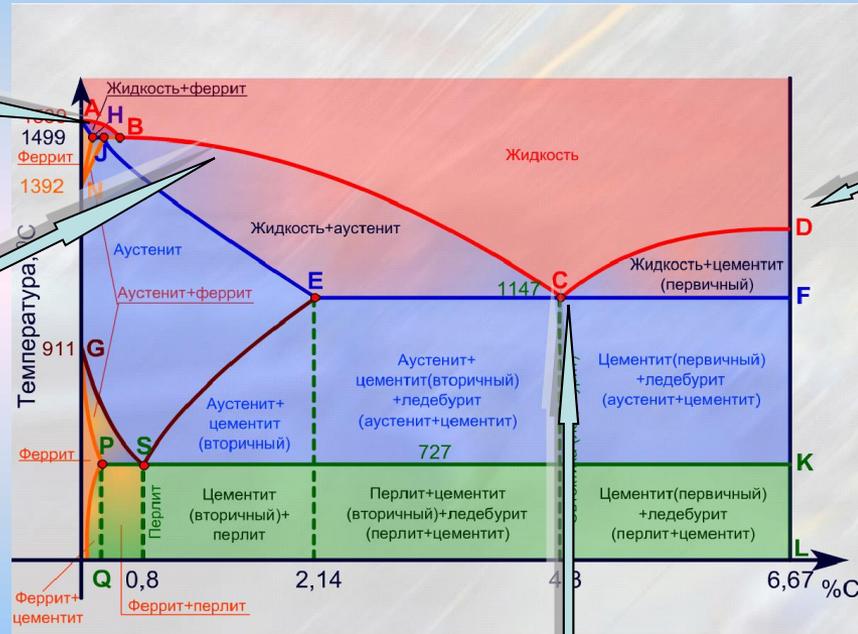
Межатомные расстояния очень малы.

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

Диаграмма состояния Fe–Fe₃C строится в координатах температура – концентрация углерода (количество цементита). По оси абсцисс – две шкалы: одна (верхняя) показывает количество углерода, другая (нижняя) – количество цементита.

Точка *A* (на левой ординате) соответствует температуре плавления (кристаллизации) железа (1539 °C).

ACD является линией ликвидуса (критическая температура).



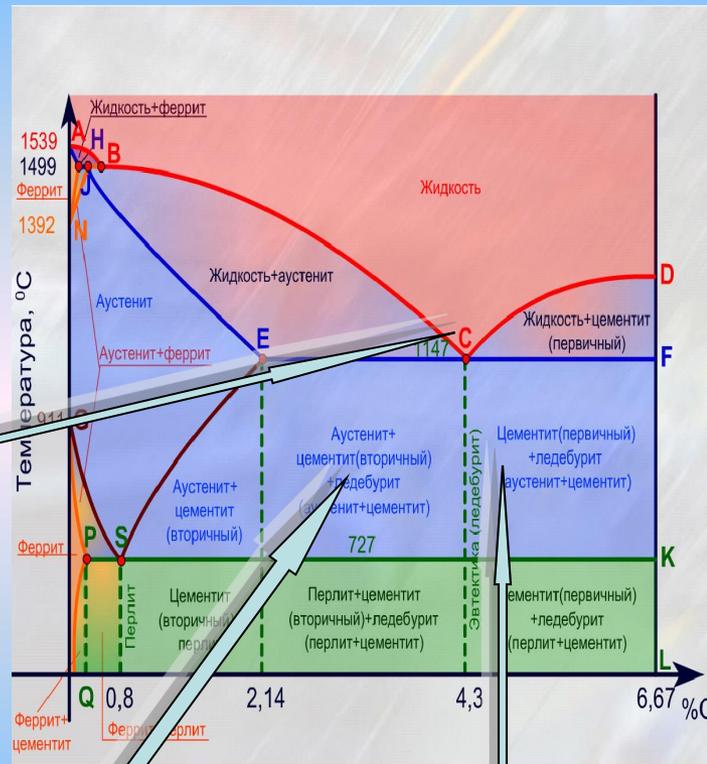
Точка *D* (на правой ординате) показывает приблизительную температуру плавления цементита (1200 °C).

Точка *C* – эвтектическая точка. Она соответствует концентрации углерода 4,3 %

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

Линия *ECF* (1147 °C) – эвтектическая горизонталь (критическая температура).

При этой температуре все сплавы, расположенные на диаграмме правее точки *E* ($C = 2,14\%$), закачивают кристаллизацию образованием **эвтектики**, которая представляет собой механическую смесь аустенита и цементита первичного. Такая механическая смесь называется **ледебуритом**.



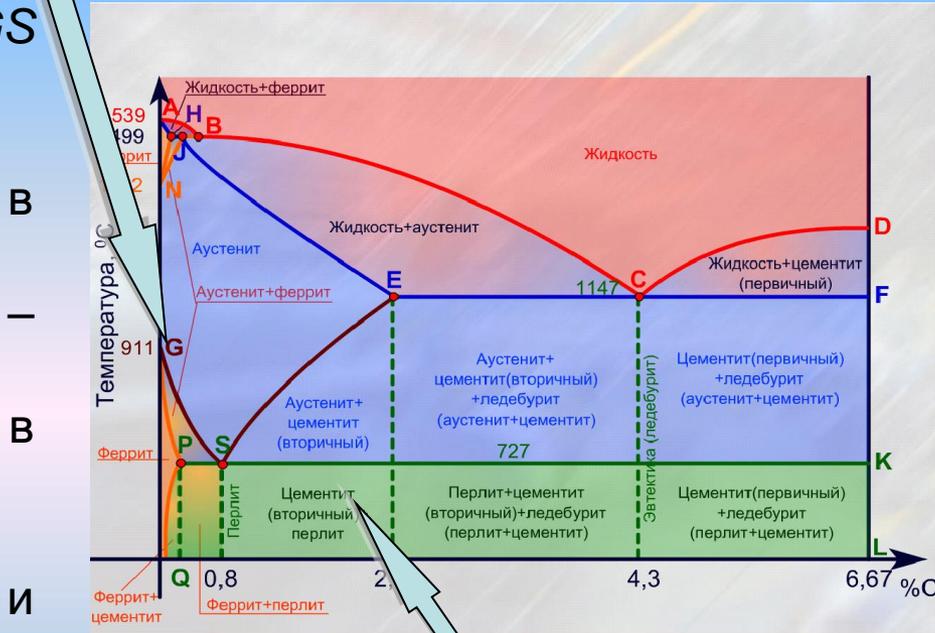
Сплавы с C от 2,14 до 4,3 % до эвтектические сплавы. Выше 4,3 % C заэвтектические сплавы

Структура сплавов с концентрацией углерода от 2,14 до 4,3 % ниже линии *EC* состоит из аустенита, вторичного цементита и ледебурита, с 4,3 % – ледебурита, с концентрацией углерода больше 4,3% – ледебурита и цементита первичного. Фазовый состав этих сплавов ниже эвтектической горизонтали – **аустенит и цементит**.

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

Точка *G* (911 °C) на левой ординате – температура полиморфного $\gamma \leftrightarrow \alpha$ превращения железа.

По линии *GS* проходит превращение аустенита в феррит. Область *GSP* – двухфазная область, которой присутствуют феррит и аустенит.



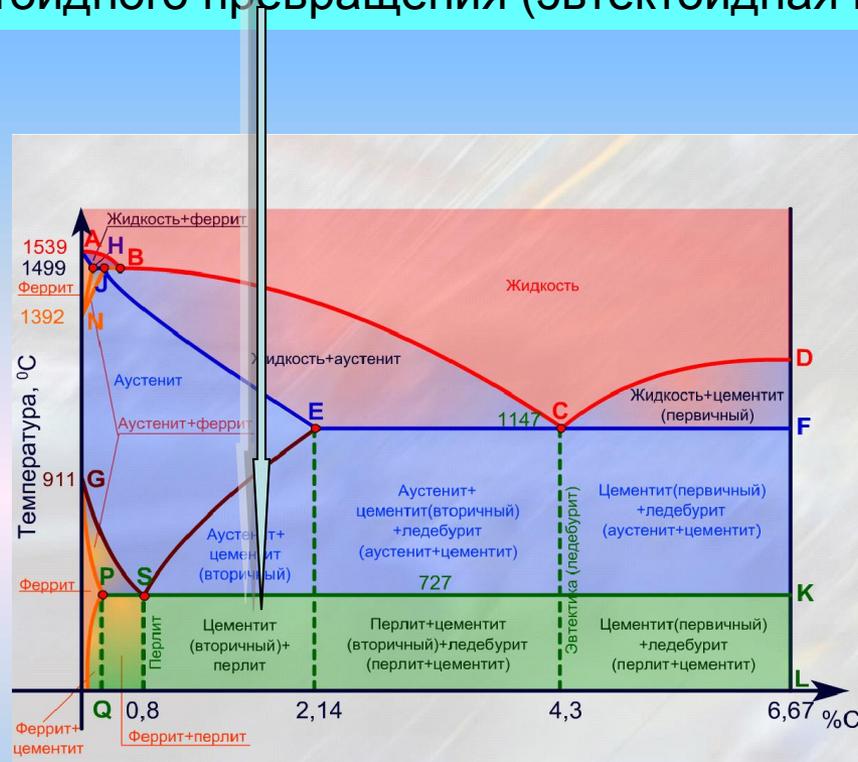
При температуре 727 °C (линия *PSK*) аустенит превращается в однородную механическую смесь феррита и цементита вторичного, которая называется *перлитом*.

Эта структура аналогична эвтектике. Отличие в том, что подобная структура образуется не из жидкого, а из твердого раствора и называется *эвтектоидом*.

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

Линия *PSK*, по которой происходит образование перлита, называется линией эвтектоидного превращения (эвтектоидная горизонталь).

Для всех железоуглеродистых сплавов по этой линии (температура $727\text{ }^{\circ}\text{C}$) происходит превращение аустенита в перлит. В области *GPQ* существует чистый феррит.



Т. *P* показывает максимальную растворимость углерода в феррите. Точка *Q* соответствует минимальной растворимости углерода в феррите при комнатной температуре. У сплавов с концентрацией углерода менее 0,8 % – феррит и перлит. При содержании углерода 0,8 % – перлит. Если углерода более 0,8 %, то структура состоит из перлита и цементита вторичного.

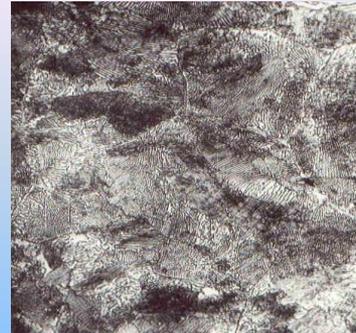
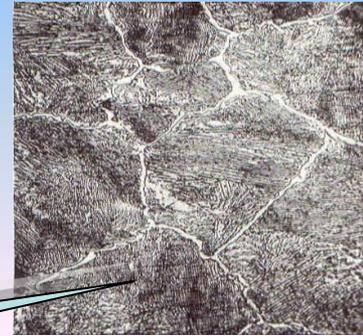
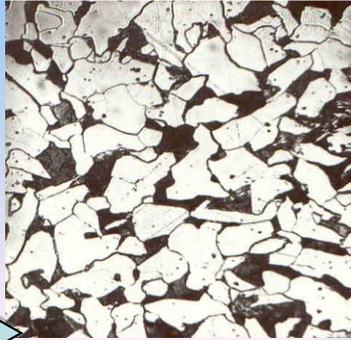
У сплавов с содержанием углерода от 2,14 % до 4,3 % структура – перлит, ледебурит и цементит вторичный. Если углерода содержится 4,3 %, то структура представляет собой ледебурит, при содержании углерода более 4,3 % структура – ледебурит и цементит первичный. При этом выше температуры $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ ледебурит – смесь аустенита и цементита первичного, а ниже $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ – смесь перлита и цементита первичного.

УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

Железоуглеродистые сплавы, которые содержат углерода $\leq 2,14$ %, называются сталями. Железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода $> 2,14$ %, называются чугунами.

Стали в зависимости от содержания углерода делятся на

доэвтектоидные ($C < 0,8$ %),
эвтектоидную ($C = 0,8$ %) и
заэвтектоидные ($C > 0,8$ %).



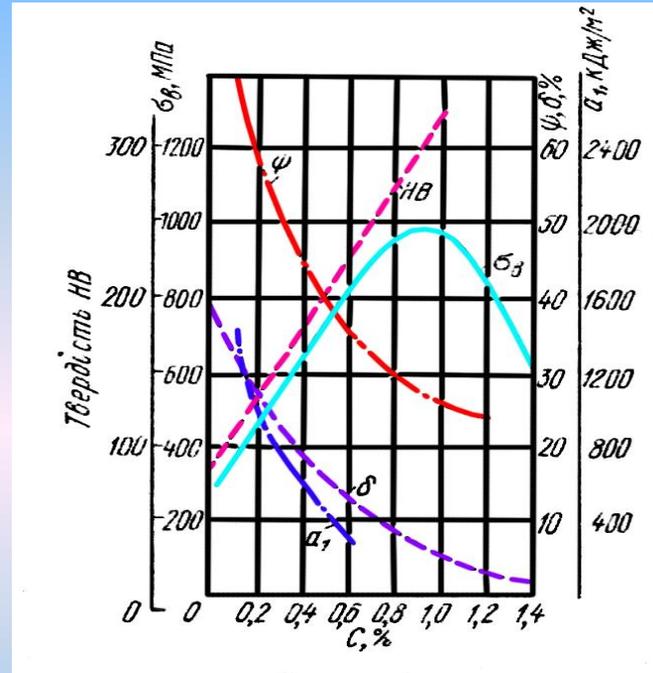
Структура доэвтектоидной стали при комнатной температуре представляет собой феррит и перлит. При этом чем больше в стали углерода, тем больше перлита.

С увеличением концентрации углерода в стали уменьшается количество мягкого феррита и возрастает доля твёрдого и хрупкого цементита, который или входит в состав перлита, или самостоятельно существует в виде структурной составляющей, как в заэвтектоидных сталях

СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

С повышением содержания углерода возрастают твёрдость и прочность стали, но уменьшаются пластичность и ударная вязкость

Такая закономерность наблюдается при повышении содержания углерода до 0,9 %. При повышении количества углерода свыше 0,9 %, твёрдость стали продолжает увеличиваться, а предел прочности и текучести начнёт снижаться. Это обусловлено тем, что дальнейшее увеличение количества цементита существенно повышает хрупкость стали.



Влияние углерода на механические свойства сталей

Заэвтектоидные стали отличаются высокой твёрдостью, но невысокой пластичностью, поэтому их применяют для инструмента.

Таким образом, доэвтектоидные стали имеют достаточно высокую пластичность, но сравнительно невысокую твёрдость. Поэтому такие стали применяют для изготовления деталей машин и металлоконструкций, где необходимо сочетание высокой пластичности и ударной вязкости со сравнительно высокой прочностью.

СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Постоянными примесями в стали являются сера, фосфор, марганец, кремний и газы – кислород, азот и водород.

Сера с железом образует сернистое железо, которое плавится при довольно низкой температуре ~ 1000 °С, что вызывает охрупчивание стали в горячем состоянии при ковке, прокатке и т.д. Это явление называется *красноломкостью*.



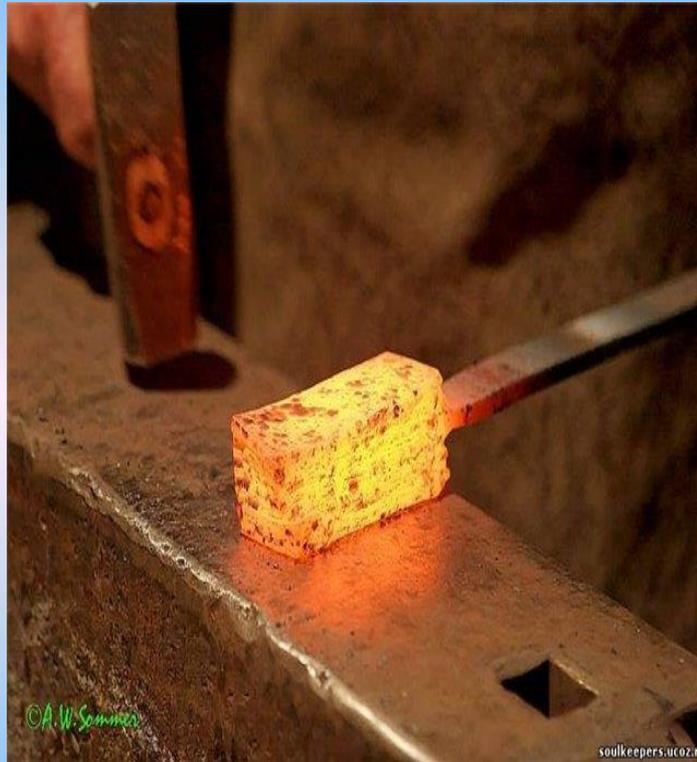
Сернистые соединения существенно снижают ударную вязкость, пластичность, ухудшают свариваемость и способность стали формировать прочное сварное соединение без дефектов, коррозионную стойкость.

Марганец и кремний являются полезными примесями в стали. Содержание марганца находится в пределах 0,5–0,8 %. Марганец нейтрализует вредное влияние серы, снижая красноломкость.

СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Вредное влияние фосфора проявляется в резком увеличении хрупкости стали при обычной и пониженной температуре. Это явление называется *хладноломкостью*.

Фосфор повышает порог хладноломкости, снижает пластичность и ударную вязкость. Поэтому содержание фосфора и серы не должно превышать 0,05–0,06 %.



Кремний существенно повышает предел текучести. В сталях, предназначенных для холодной пластической деформации, количество кремния должно быть минимальным.

Газы ухудшают свойства стали. Кислород и азот, образуя хрупкие неметаллические включения (окислы, нитриды), увеличивают хрупкость стали и порог хладноломкости.

СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Стали по назначению делятся на конструкционные и инструментальные

Углеродистые

конструкционные стали
подразделяются на:

1. стали обыкновенного
качества ДСТУ2651-94;

Конструкционные
углеродистые стали

обыкновенного качества

маркируются буквами «Ст»

и имеют порядковый

номер от 0 до 6, способ

раскисления стали

указывается после цифры

(кп – кипящая, сп –

спокойная, пс –

полуспокойная). Например,

сталь Ст3пс. Содержание

серы и фосфора в этих

сталях $\leq 0,06$ %.



Детали трубопроводов из углеродистой стали

СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

качественные стали ГОСТ 1050-88;

Стали конструкционные углеродистые качественные содержат серы и фосфора $\leq 0,035$ %. К ним предъявляются более жёсткие требования по макро- и микроструктуре. Эти стали поставляются с гарантируемым химическим составом и механическими свойствами. Они маркируются цифрами 08, 10, 15, 20, 25–85. Цифра показывает среднее содержание углерода в сотых долях: сталь 20 (содержание углерода 0,20 %), сталь 45 (содержание углерода 0,45 %).



Клинки из качественной стали

СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

стали конструкционные повышенной и высокой обрабатываемости резанием

Известны как автоматные, так как они используются для изготовления деталей на станках-автоматах. Основное требование, которое предъявляется к ним – это хорошая обрабатываемость резанием. Это достигается повышением содержания серы и фосфора (0,08–0,15 %). С целью компенсации вредного влияния серы, в частности уменьшения красноломкости, увеличивают содержание марганца до 0,8–1,2 %.



Для обеспечения хорошей обрабатываемости вводят также свинец, селен, кальций. Стали этой группы маркируются буквой А (автоматная) и цифрой, которая показывает среднее содержание углерода в сотых долях.

Например, А11, А12, А14, А20. В сталях АС35, А35Е буква С свидетельствует о наличии свинца (0,15–0,30 %), буква Е – о наличии селена, а цифра соответствует среднему количеству углерода в сотых долях процента.

СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

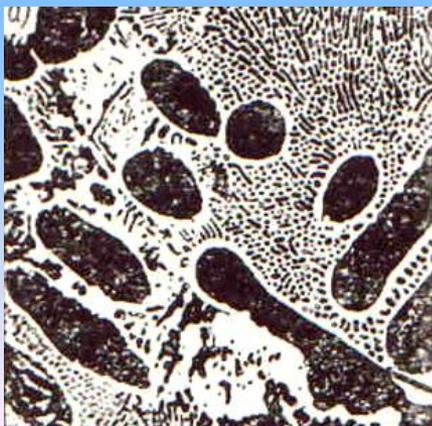
Инструментальные углеродистые стали ГОСТ 1435-74

производятся качественными (У7, У8, У9–У13) и высококачественными (У7А, У8А, У9А–У13А). Буква **У** в марке стали указывает, что сталь углеродистая. Цифра обозначает среднее содержание углерода в десятых долях процента. Буква **А** свидетельствует о том что высококачественная с уменьшенным содержанием серы и фосфора ($\leq 0,025\%$)



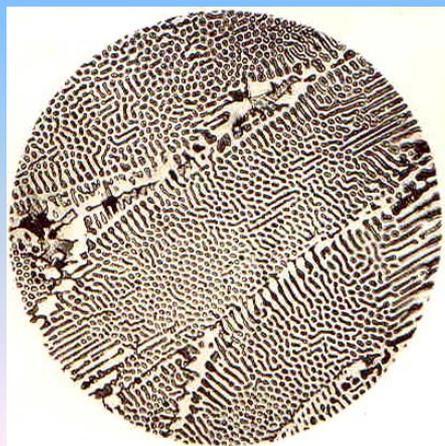
ЧУГУНЫ

Различают *белые* и *графитизированные* чугуны. В белых чугунах весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита.



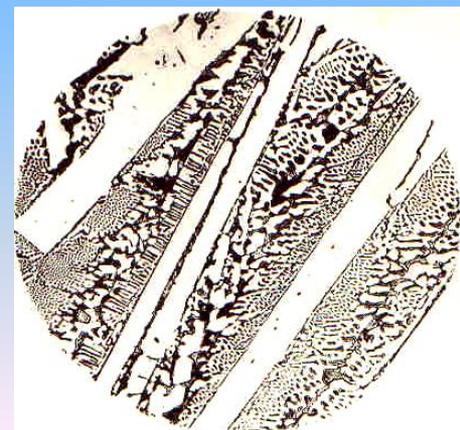
$C < 4,3\%$

ДОЭВТЕКТИЧЕСКИЙ



$C = 4,3\%$

ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ



$C > 4,3\%$

ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИЙ

Белые чугуны из-за наличия в них большого количества цементита обладают высокой твердостью, хрупкостью и практически не поддаются обработке резанием, поэтому применяются ограниченно.

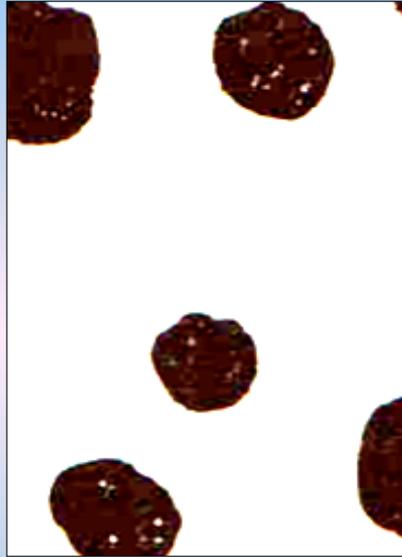
ЧУГУНЫ

Графитизированные. В зависимости от формы графита различают серый, ковкий и высокопрочный чугуны, чугуны с вермикулярным графитом.



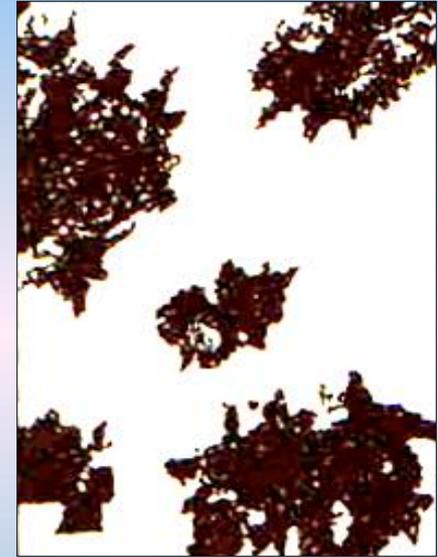
Серый

Пластинчатый
графит



Высокопрочный

Шаровидный
графит



Ковкий

Хлопьевидный
графит

СЕРЫЙ ЧУГУН

Чугуны с пластинчатым графитом называют *серыми*

Наличие пластинчатых включений графита с острыми концами, создаёт концентрацию напряжений, что и обуславливает низкие механические свойства серого чугуна. Предел его прочности при растяжении составляет 100–350 МПа, относительное удлинение – 0,2–0,8 %.



Маркируется серый чугун следующим образом: СЧ15, СЧ20 и т.д. (ГОСТ 1412-87). Буквы означают принадлежность к серому чугуну, цифры показывают предел прочности в МПа · 10⁻¹. Например, чугун марки СЧ15: $\sigma_{\text{в}} = 150$ МПа.

структура металлической основы может быть ферритной феррито-перлитной и перлитной

КОВКИЙ ЧУГУН

Ковкий чугун имеет хлопьевидную форму графитных включений. Получают его длительной выдержкой белого чугуна при высокой температуре (~ 1000 °С).

Такая термическая обработка называется графитизирующим отжигом. Цементит распадается с выделением графита в виде хлопьев. Такие включения меньше разобцают основу по сравнению с серым чугуном. Поэтому ковкий чугун прочнее и пластичнее серого чугуна. Другие две или одна – относительное удлинение δ в процентах. Например, чугун марки КЧ30-6: $\sigma_{\text{в}} = 300$ МПа, $\delta = 6$ %.



Предел прочности его находится в пределах 300–800 МПа, относительное удлинение $\delta = 2$ –12 %. Обозначают ковкие чугуны буквами КЧ, первые две цифры указывают на предел прочности $\sigma_{\text{в}}$ в МПа · 10⁻¹ (ГОСТ 1215-79).

Различают ферритный и перлитный ковкий чугун

Высокопрочный чугун

Чугун, у которого графит имеет шаровидную форму, называется *высокопрочным*.

. Шаровидная форма графитных включений исключает острые надрезы в металлической основе. Механические свойства такого чугуна значительно лучше: предел прочности достигает 1000 МПа, относительное удлинение находится в пределах 2–22 %. Такой чугун в ряде случаев является полноценным заменителем стали.



Маркируется высокопрочный чугун так: ВЧ350-22, ВЧ400-15...ВЧ1000-2 (ДСТУ 3925-99). Буквы обозначают принадлежность к высокопрочному чугуну, первые числа (до дефиса) указывают на предел прочности σ_B в МПа, а число через дефис – относительное удлинение δ в процентах.

Например, чугун марки ВЧ 350-22: $\sigma_B = 350$ МПа, $\delta = 22$ %.

На самостоятельную работу выносятся:

1. Чугун с вермикулярным графитом.
Особенности структуры, свойства,
маркировка, применение

Литература

Гладкий И.П. Технология конструкционных материалов и материаловедение /И.П. Гладкий,В.И.Мощенок,В.П.Тарабанова - Х.:ХНАДУ,2014.-576с.

Лахтин Ю.М. Материаловедение: учебн. для машиностроительных вузов/Ю.М.Лахтин,В.П.Леонтьева.-М.:Машиностроение,1990.-528с.

<http://dl.khadi.kharkiv.edu/course/view>. Логин: glushkova639