

8. Чугун

Чугун отличается от стали по составу – более высоким содержанием углерода, по технологическим свойствам – лучшими литейными качествами, малой способностью к пластической деформации (в обычных условиях не поддается ковке). Кроме того, чугун дешевле стали.

В зависимости от состояния углерода в чугуне различают:

- *белый чугун*, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде карбида;
- *серый чугун*, в котором углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме *пластинчатого графита*;
- *высокопрочный чугун*, в котором углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме *шаровидного графита*;
- *ковкий чугун*, получающийся в результате отжига отливок из белого чугуна. В ковком чугуне весь углерод или значительная его часть находится в свободном состоянии в форме *хлопьевидного графита* (углерода отжига).

Таким образом, чугун (кроме белого) отличается от стали наличием в структуре графитовых включений, а между собой чугуны различаются формой этих включений.

Процесс графитизации

Углерод может существовать в двух аллотропических формах – алмаз и графит. Алмаз – редкая форма существования углерода и в сплавах не встречается.

В железоуглеродистых сплавах в свободном виде углерод находится в форме графита. Высокоуглеродистой фазой в железоуглеродистых сплавах может быть и цементит.

Рассматривая кристаллическую структуру и состав аустенита, цементита и графита, следует сделать вывод: кристаллические структуры цементита и аустенита близки, тогда как кристаллические структуры аустенита и графита существенно различны. По составу аустенит и цементит ближе друг к другу, чем аустенит и графит. Поэтому образование цементита из жидкости или из аустенита происходит гораздо легче, с меньшим запасом энергии, чем образование графита. Следовательно кинетически их аустенита и из жидкости более выгодна кристаллизация цементита, а не графита.

Вместе с тем графит – более устойчивая фаза, а цементит – менее устойчивая. Следовательно, термодинамические факторы способствуют образованию не цементита, а не графита.

Эти два обстоятельства необходимо учитывать при изучении условий образования графита. Если кинетические условия позволяют, то образуется структура с графитом, если нет, то с цементитом; в этом случае образование графита является вторичной реакцией, и графит будет продуктом распада цементита.

На графике (слайд) показаны изменения свободных энергий для случаев образования цементита и графита. Схематично линии изменений свободных энергий жидкого расплава и смеси аустенит+цементит при изменении

температуры пересекутся при тем-ре 1147 °С. Ниже этой температуры протекает процесс кристаллизации, выше – процесс плавления.

Учитывая, что графит более термодинамически устойчивая фаза, чем цементит, линия, характеризующая образование графита будет располагаться при всех температурах ниже линии, характеризующей свободную энергию смеси аустенит+цементит. Следовательно, эта линия пересечется с линией характеризующей жидкий расплав при более высокой температуре, т.е. при 1153 °С.

Исходя из этого, можно сделать следующие выводы.

1. Ниже точки равновесия (1147 °С) кристаллизация протекает с образованием цементита, т.к. кинетически это легче осуществимо. Графит в металле будет вторичным продуктом, он может образоваться в результате распада цементита.

2. В интервале 1147-1153 °С образование из жидкости аустенито-цементитной смеси принципиально не возможно, и в данных температурных условиях кристаллизация происходит с образованием аустенитно-графитной смеси непосредственно из жидкости.

Образование графита из жидкости или асугенита – медленно протекающий процесс, т.к. работа образования зародыша графита велика и требуется значительная диффузия атомов углерода для образования кристаллов графита, также необходим и отвод атомов железа от фронта кристаллизации графита.

В чистых железоуглеродистых сплавах непосредственное образование графита из жидкости было бы редко наблюдаемым явлением, если бы не одно обстоятельство, способствующее образованию графита.

Дело в том, что жидкость в высокоуглеродистых сплавах (чугунах) не является практически совершенно чистой. Обычно чугун после его расплавления «замутнен», т.е. содержит во взвешенном состоянии мельчайшие частицы различных включений и примесей, в том числе и мельчайшие частицы графита. На этих частицах начинается процесс кристаллизации графита, они являются стенкой, на которой оседают атомы углерода, давая кристалл графита. В этом случае работа образования зародыша графита может быть и не больше образования зародыша цементита. Введение различных добавок к чугуну может привести к возникновению дополнительных центров кристаллизации графита.

В зависимости от условий кристаллизации образуется графит различной формы, что имеет большое значение.

Кроме рассмотренного ранее процесса образования графита непосредственно при кристаллизации, возможен и другой способ образования графита. Как уже неоднократно указывалось, цементит – неустойчивое соединение и при определенных условиях распадается с образованием аустенита и графита или феррита и графита. Для осуществления этого процесса требуется диффузия углерода к центрам кристаллизации графита и самодиффузия железа от мест, в которых графит выделяется.

При нормальной комнатной температуре этот процесс практически не протекает, но с повышением температуры резко ускоряется.

Предположим (**слайд**), что охлаждение было достаточно быстрое и получился белый чугун (перлит + цементит) – исходное состояние. В результате нагрева белого чугуна выше линии PSK перлит превращается в аустенит; выдержка при этих температурах приводит к графитизации избыточного нерастворившегося цементита. Если процесс закончился полностью, то при высокой температуре структура будет состоять из аустенита + графит, а после охлаждения из перлита + графит. При незавершенности процесса первичной графитизации сохраняется цементит, и структура состоит из аустенит + графит + цементит – при высокой или перлита + графит + цементита – при низкой температуре.

При переходе через критическую точку аустенит превращается в перлит и выдержка при температурах близких, но ниже критической точки, может привести к распаду цементита перлита (вторая стадия графитизации). При полностью завершённом процессе весь цементит перлита разложится, образуя феррито-графитовую структуру, а при частичном превращении останется перлит.

Структура чугуна. Формы графита

Белый чугун. Такое название он получил по виду излома, который имеет матово-белый цвет. Структура белого чугуна состоит из цементита и перлита. Следовательно, в белом чугуне весь углерод находится в форме цементита, степень графитизации равна нулю. Белый чугун обладает высокой твердостью и хрупкостью, практически не поддается обработке режущим инструментом.

Серый чугун. Такое название чугун получил по виду излома, который имеет серый цвет. В структуре серого чугуна имеется графит, количество, формы и размеры которого изменяются в широких пределах. Таким образом, в сером чугуне имеется графит, а в белом его нет.

В микроструктуре чугуна следует различать металлическую основу и графитные включения.

Схематично можно привести следующую классификацию чугуна по строению металлической основы и форме графита (**слайд**).

По строению металлической основы чугун разделяют на:

- *серый перлитный* чугун. Структура его состоит из перлита с включениями графита;
- *серый феррито-перлитный* чугун. Структура этого чугуна состоит из феррита + перлит и включения графита;
- *серый ферритный* чугун. В этом чугуне металлической основой является феррит, и весь углерод, имеющийся в сплаве, присутствует в форме графита.

Графит в чугунах может быть в трех основных формах:

- *пластинчатый* графит. В обычном сером чугуне графит образуется в виде прожилок, лепестков; именно такой графит называется пластинчатым;

- *шаровидный* графит. В высокопрочных чугунах, выплавленных с присадкой небольшого количества магния, графит приобретает форму шара;
- *хлопьевидный* графит. Если при отливке получить белый чугун, а затем, используя неустойчивость цементита, с помощью отжига разложить его, то образующийся графит приобретает компактную, почти равноосную, но не округлую форму. Такой графит называется хлопьевидным, или углеродом отжига.

Свойства чугуна

Поскольку структура чугуна состоит из металлической основы и графита, то и свойства чугуна будут зависеть как от свойств металлической основы, так и от количества и характера графитных включений.

Графит по сравнению со сталью обладает низкими механическими свойствами, и поэтому графитные включения можно считать в первом приближении просто пустотами, трещинами.

Очевидно, что чем больший объем пустот (т.е. количества графита), тем ниже свойства чугуна. При одинаковом объеме пустот свойства чугуна будут зависеть от их формы и расположения. Самые низкие механические свойства получаются тогда, когда графитные включения образуют замкнутый скелет.

При растягивающих нагрузках облегчается образование очагов разрушения по концам графитных включений. По механическим свойствам чугун характеризуется низким сопротивлением развитию трещины, и следовательно, обладает низкими механическими свойствами при испытании на растяжение.

На сжатие свойства чугуна оказываются достаточно высокими и практически становятся близкими к стали того же состава и структуры, что и металлическая основа чугуна.

Поэтому предел прочности на сжатие и твердость чугуна зависят главным образом от строения металлической основы.

Такие же свойства чугуна, как сопротивление разрыву, изгибу, кручению, в основном обуславливаются количеством, формой и размерами графитных включений.

Сказанное относится главным образом к серому чугуну с пластинчатым графитом. По мере скругления графитных включений указанное отрицательное влияние графитных включений уменьшается.

Округлые включения шаровидного графита не создают резкой концентрации напряжений, они не являются трещинами, и поэтому чугун с шаровидным графитом имеет значительно более высокую прочность при растяжении и изгибе. Ковкий чугун с хлопьевидным графитом занимает промежуточное положение по прочности между серым и высокопрочным.

Таким образом, прочность чугуна определяется строением металлической основы и формой графитных включений.

Пластичность чугуна с графитом разной формы характеризуется следующими значениями относительного удлинения, %:

<i>Графит</i>	<i>Пластинчатый</i>	<i>Хлопьевидный</i>	<i>Шаровидный</i>
δ , %	0,2...0,5	5...10	10...15

Пластичность мало зависит от строения металлической основы. Твердость *HV* определяется структурой металлической основы и имеет следующие значения:

<i>Чугун</i>	<i>Ферритный</i>	<i>Феррито-перлитный</i>	<i>Перлитный</i>
Твердость, <i>HV</i>	150	200	250

Твердость мало зависит от формы графита.

Мы отметили, что графитные включения – вредное явление. Однако такое рассмотрение односторонне и не всегда правильно. В некоторых условиях образование графитных включений может быть полезным.

В ряде случаев именно благодаря наличию графита чугун имеет преимущества перед сталью:

1. наличие графита облегчает обрабатываемость резанием, делает стружку ломкой;
2. чугун обладает хорошими антифрикционными свойствами благодаря смазывающему действию графита;
3. наличие графитных включения быстро гасит вибрации и резонансные колебания;
4. чугун почти не чувствителен к дефектам поверхности, надрезам.
5. обладает лучшими литейными свойствами по сравнению со сталью. Более низкая температура плавления и окончание кристаллизации при постоянной температуре (образование эвтектики) обеспечивают не только удобство в работе, но и лучшие жидкотекучесть и заполняемость формы.

Влияние примесей

Обычный промышленный чугун – не двойной железоуглеродистый сплав – он содержит те же примеси, что и углеродистые стали, т.е. марганец, кремний, серу и фосфор, но в большем количестве, чем сталь.

Кремний особенно сильно влияет на структуру чугуна, усиливая графитизацию. Изменяя содержание кремния, можно получить чугуны, совершенно различные по свойствам и структуре – от малокремнистого белого до высококремнистого ферритного.

Марганец в отличие от кремния препятствует графитизации или, как говорят, способствует *отбеливанию* чугуна.

Сера тоже способствует отбеливанию чугуна, но одновременно ухудшает литейные свойства, поэтому содержание серы в чугуне лимитируется: верхний предел для мелкого литья 0,08 %, для более крупного до 0,1...0,12 %.

Фосфор практически не влияет на процесс графитизации. Одна фосфор – полезная примесь в чугуне, т.к. он улучшает жидкотекучесть. Это объясняется образованием относительно легкоплавкой тройной эвтектики, плавящейся при 950 °С. Твердые участки фосфидной эвтектики повышают общую твердость и износостойкость чугуна.

Кроме этих постоянных примесей, в чугун часто вводят и другие элементы. Такие чугуны называются легированными. Наиболее часто чугун легируют хромом, никелем, медью, алюминием, титаном. Хром препятствует, а медь и никель способствуют графитизации чугуна.

Влияние скорости охлаждения

Практикой было отмечено, в одной отливке чугун может иметь разную структуру. В тонких частях отливки, у ее поверхности степень графитизации меньше, чем в более массивных частях и в сердцевине. Другими словами, там где скорость охлаждения была больше, образуется больше цементита, а там где чугун охлаждался медленнее – больше графита. Факторы, определяющие степень графитизации в чугуне – это содержание углерода и кремния, а также скорость охлаждения.

Маркировки чугунов

Серый, а также высокопрочный чугун разделяются на марки в зависимости от значений механических свойств.

Серый чугун маркируется буквами СЧ и двумя цифрами, обозначающими величину минимального временного сопротивления при растяжении в МПа·10⁻¹. ГОСТ 1412-85 предусматривает следующие марки серых чугунов: СЧ 10, СЧ 15, СЧ 18, СЧ 20, СЧ 21, СЧ 24, СЧ 25, СЧ 30, СЧ 35.

Высокопрочный чугун маркируется буквами ВЧ и цифрой, также обозначающей минимальную величину временного сопротивления при растяжении в МПа·10⁻¹. ГОСТ 7293-85 предусматривает следующие марки высокопрочных чугунов: ВЧ 35, ВЧ 40, ВЧ 45, ВЧ 50, ВЧ 60, ВЧ 70, ВЧ 80, ВЧ 100.

Ковкий чугун (**слайд**) поскольку он получается путем отжига из белого чугуна (*графитизирующий отжиг, томление*) не стандартизован, но принято ковкий чугун обозначать буквами КЧ и цифрой, обозначающей тоже самое, что и в высокопрочных чугунах. Например: КЧ 30.