

## Чугуны, их свойства и области применения

Сплав железа с углеродом(>2,14%С) называется чугуном. Присутствие эвтектики в структуре чугуна обуславливает его использование исключительно в качестве литейного сплава. Углерод в чугуне может находиться в виде цемента или графита. Цементит придает излому специфический белый светлый блеск, поэтому чугун называется белым. Графит придает излому чугуна серый цвет. В зависимости от формы графита и условий его образования различают следующие группы чугунов: серый, высокопрочный с шаровидным графитом и ковкой.



### Структура и свойства чугунов

В микроструктуре чугуна следует различать металлическую основу и графитные включения.

В зависимости от углерода, связанного в цементит, различают несколько видов чугунов:

**Белый Чугун** – весь углерод находится в виде  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Структура чугуна – перлит и ледебурит.

**Половинчатый чугун** – большая часть углерода (свыше 0,8%) находится в виде  $\text{Fe}_3\text{C}$ .

Структура чугуна – перлит, ледебурит и пластичный графит.

**Перлитный серый чугун.** Структура – перлит и пластинчатый графит.

В том чугуне 0,7 - 0,8% углерода, и он находится в виде  $\text{Fe}_3\text{C}$ , входящего в состав перлита.

**Ферритно-перлитный серый чугун.** Структура - перлит, феррит и пластичный графит. В этом чугуне в зависимости от степени распада эвтектоидного цементита в связанном состоянии находится от 0,7 до 0,1% С.

**Ферритный серый чугун.** Структура – феррит и пластичный графит. В этом случае весь углерод находится в виде графита.

Из структуры серых чугунов видно, что их металлическая основа похожа на структуру эвтектоидной стали, доэвтектической стали и железа.

Следовательно, по структуре чугуны отличаются от стали тем, что в чугунах

имеются графитовые включения, что предопределяет их специфические свойства.

Металлическая основа в серых чугунах обеспечивает наибольшую прочность и износостойкость, если она имеет перлитную структуру. Присутствие в структуре феррита, не увеличивая пластичности и вязкости чугуна, снижает его прочность и износостойкость. Наименьшей прочностью обладает ферритный серый чугун.

### Влияние примесей

Обычный промышленный чугун не является двойным железоуглеродистым сплавом, а содержит те же примеси, что и углеродистые стали. Эти примеси существенно влияют главным образом на условия графитизации и, следовательно, на структуру и свойства чугуна.

Количество марганца в чугуне не превышает 1,25-1,4%. Марганец препятствует процессу графитизации, то есть затрудняет выделение графита и повышает способность чугуна к отбеливанию.



**Сера** – вредная примесь, ухудшающая механические и литейные свойства чугуна, поэтому ее содержание ограничивают до 0,1-0,12%. В сером чугуне сера образует сульфиды ( $\text{FeS}$ ,  $\text{MnS}$ ) или их твердые растворы ( $\text{FeS}$ ,  $\text{Mn}$ ) S.

**Содержание фосфора** в сером чугуне – около 0,2%, допускается иногда – 0,5%. При повышенном содержании фосфора в структуре чугуна образуются твердые

включения фосфидной эвтектики. Образование эвтектики улучшает литейные свойства чугуна (повышает жидкотекучесть), повышает общую твердость и износостойкость, однако увеличивает хрупкость чугуна.

**Кремний** – особенно сильно влияет на структуру чугуна, усиливая графитизацию. Содержание кремния в чугунах колеблется в широких пределах – от 0,03-0,5 до 3-5%. Изменяя содержание кремния, можно получить чугуны, совершенно различные по свойствам и структуре: от белого до ферритного (серого с пластинчатым графитом или высокопрочного с шаровидным графитом).

Кроме этих постоянных примесей в чугун часто вводят и другие элементы.

**Такие чугуны называются легированными.** Преимущественно чугун легируют хромом, никелем, медью, алюминием, титаном. Хромом препятствует графитизации чугуна, а медь и никель способствуют ей.

## Серые чугуны

В структуре серых чугунов большая часть или весь углерод находится в виде графита. Наибольшее применение нашли доэвтектические группы, содержащие 2,4-3,8% С. Чем выше содержание С, тем больше образуется графита и тем ниже содержание С, тем больше образуется графита и тем ниже его механические свойства. В связи с этим количество углерода в чугуне обычно не превышает (хорошей жидкотекучести) углерода должно быть не меньше 2,4%.

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

Графит по сравнению со сталью обладает ничтожно низкими механическими свойствами, и поэтому графитные включения можно считать в первом приближении просто за пустоты, трещины. Отсюда следует, что чугун можно рассматривать как сталь, но испещренную большим количеством пустот и трещин.

Чем больше объема занимают эти пустоты, тем ниже будут свойства чугуна. При одинаковом объеме пустот, то есть количестве графита, свойства чугуна будут зависеть от его формы и расположения.

Чем меньше графитовых включений, чем они мельче и больше степень изолированности их друг от друга, тем выше прочность чугуна.

Чугун с мелкими и завыренными графитными включениями обладает более высокими свойствами.



**Твердость чугуна в зависимости от металлической основы равна 143-255 НВ.**

Округлые включения шаровидного графита не создают резкой концентрации напряжений; такие включения не являются трещинами, и чугун с шаровидным графитом показывает значительно более высокую прочность при растяжении и изгибе, чем чугун с пластинчатым графитом. Отсюда и название чугуна с шаровидным графитом – *высокопрочный чугун*. Ковкий чугун с хлопьевидным графитом занимает промежуточное положение по прочности между обычным серым и высокопрочным чугуном.

Таким образом, прочность чугуна (в отношении нормальных напряжений) определяется строением металлической основы и формой графитных включений.

**Благодаря наличию графита чугун имеет некоторые преимущества перед сталью:**

- наличие графита облегчает обрабатываемость резанием, делает стружку ломкой;
- графит повышает износостойкость и антифрикционные свойства чугуна вследствие собственного «смазывающего» действия и повышения прочности пленки смазки;
- наличие графитных включений быстро гасит вибрации и резонансные колебания;

- чугун почти не чувствителен к дефектам поверхности, надрезам и т.д. Графит, нарушая оплошность металлической основы, делает чугун малочувствительным ко всевозможным внешним концентраторам напряжений (дефектам поверхности, надрезам, выточкам и т.д.). Вследствие этого серый чугун имеет примерно одинаковую конструктивную прочность и в отливках простой формы или с ровной поверхностью, и в отливках сложной формы с надрезом или плохо обработанной поверхностью;

- следует также указать на превосходство чугуна перед сталью по литейным свойствам. Более низкая температура плавления и окончание кристаллизации при постоянной температуре (образование эвтектики) обеспечивают лучшую жидкотекучесть и заполняемость формы.

Указанные достоинства чугуна делают его ценным конструкционным материалом, широко применяемым для изготовления деталей машин, главным образом тогда, когда детали не испытывают значительных растягивающих и ударных нагрузок.

Серый чугун маркируется буквами С (серый) и Ч (чугун). После букв следуют цифры, указывающие среднее значение временного сопротивления при растяжении.

Серые чугуны по свойствам и применению можно разделить на следующие группы.

**Ферритные и ферритно-перлитные чугуны (СЧ10,СЧ15)** имеют при растяжении  $Q_b$  10-15 кгс/мм<sup>2</sup> (100-150МПа), при изгибе – 28-32 кгс/мм<sup>2</sup> (280-320 МПа). Их примерный состав: 3,5-3,7%С; 2,0-2,6%Si; 0,5-0,8% Мп;  $\leq 0,3\%$  Р;  $\leq 0,15\%$  S. Структура чугуна – перлит, феррит и графит грубый и средних размеров. Эти чугуны применяют для изготовления малоответственных деталей, испытывающих небольшие нагрузки в работе с толщиной стенки отливки 10-30мм. Так, чугун СЧ10 используют для изготовления строительных колон, фундаментных плит, а чугуны СЧ15 и СЧ18 – для литых малонагруженных деталей станков, автомобилей и тракторов, арматуры.



**Перлитные чугуны (СЧ21, СЧ32, СЧ36, СЧ40)** применяют для отливки станин мощных станков и механизмов, поршней цилиндров, деталей, работающих на износ в условиях больших давлений (компрессорное, турбинное литье, дизельные цилиндры, блоки двигателей, детали металлургического оборудования). Структура этих чугунов – мелкопластинчатый перлит (сорбит) с мелкими завыхренными графитными включениями. К перлитным чугунам относятся так называемые сталистые и модифицированные чугуны.

**Сталистые чугуны (СЧ24, СЧ28)** получают выплавкой с добавлением в шихту 20-30% стального лома;

Чугуны имеют пониженное содержание углерода, что обеспечивает получение более дисперсной перлитной основы с меньшим количеством графических включений. Содержание кремния в этих чугунах должно быть достаточным для предотвращения возможности отбеливания чугуна.

**Модифицированные чугуны (СЧ30, СЧ36, СЧ40, СЧ45)** получают добавлением в жидкий чугун перед разливкой специальных модификаторов. Модифицирование применяют для получения в крупных отливках с различной толщиной стенок перлитной основы с вкраплением небольшого количества изолированных пластинок графита средней величины. Модифицированию подвергают низкоуглеродистый чугун, содержащий небольшое количество кремния и повышенное количество марганца. Примерный состав чугуна до модификаций: половинчатый чугун, то есть ледебурит, перлит и графит (2,8-3,3% С; 1,0-1,5%Si; 0,8-1,2% Mn; не более 0,3%Р и 0,12%S).

### **Антифрикционные чугуны**

Антифрикционные чугуны применяют для изготовления подшипников скольжения, втулок и других деталей, работающих при трении о металл, чаще в присутствии смазки. Эти чугуны должны обеспечивать низкое трение, то есть антифрикционность.

Антифрикционность определяется формой графита и соотношением перлита и феррита в основе.

Антифрикционные чугуны с глобулярным графитом изготавливают двух марок: АЧВ-1 – с перлитной структурой и АЧВ-2 – с повышенным содержанием кремния и ферритно-перлитной структурой.

АЧВ-1 предназначен для работы в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с закаленными или нормализованным валом. Чугун АЧВ-2 применяют в паре с нетермообработанным валом.

Перлитный чугун, содержащий повышенное количество фосфора (0,3-0,5%), используют для изготовления поршневых колец. Высокая износостойкость колец обеспечивается металлической основой, состоящей из тонкого перлита и фосфидной эвтектики при наличии пластинчатого графита.

## **Белый и отбеленные чугуны**

Белый чугун вследствие присутствия в нем цементита обладает высокой твердостью, хрупок и не поддается обработке резанием, поэтому имеет ограниченное применение.

*Отбеленными* называются чугуны, в которых поверхностные слои имеют структуру белого (или половинчатого) чугуна, а середина – структуру серого чугуна.



Отбел на некоторую глубину (10-30мм) является следствием быстрого охлаждения поверхности, возникающего в результате отливки чугуна в металлические формы (кокиль) или в песчаную форму.

Высокая твердость поверхности (HB = 400-500) обуславливает хорошую сопротивляемость износу. Поэтому из отбеленного чугуна изготавливают прокатные валки листовых станов, колёса, шары для мельниц.

Вследствие различной скорости охлаждения и получения разных структур отливка имеет большие внутренние напряжения, для снятия которых отливки подвергают термообработке, то есть их нагревают при 500-550 С.

## **Высокопрочные чугуны**

Выше говорилось о том, какое большое значение для качества чугунов имеет форма и размер графитных включений.

Степень графитизации зависит от содержания графитизирующих примесей и скорости охлаждения.

Размер и форма графитных включений зависят от этих факторов, а также от наличия в жидком чугуне центров кристаллизации. Наличие большого числа центров кристаллизации в виде различных частичек способствует образованию структуры мелкого графита.

Для этого в жидкий чугун перед разливкой его по формам вводят не большую добавку модификаторов. Чаще для этой цели применяют Mg ( 0,03-0,07% ). В результате процесса кристаллизации графит принимает сферическую форму. Сферический графит, имеющий минимальную поверхность, значительно меньше ослабляет металлическую основу чугуна, чем пластинчатый. Сферический графит не является активным центром концентрации напряжений.

Чугуны с сферическим графитом имеют более высокие механические свойства, не уступающие литой углеродистой стали, сохраняя при этом хорошие литейные свойства и обрабатываемость резанием, способность гасить вибрации, высокую износостойкость.

Маркируют высокие чугуны буквами ВЧ, затем следуют цифры. Цифры показывают среднее значение временного сопротивления при растяжении ( кгс/мм): чугуны марок ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100, ВЧ120 имеют перлитную металлическую основу, ВЧ45 – перлитно-ферритную, ВЧ38, ВЧ42 – ферритную.

Для указания формы графита иногда в маркировке ставят буквы ШГ (шаровидный графит) или ВГ (вермикулярный графит). Например: ВЧШГ – высокопрочный чугун с шаровидным графитом, ВЧВГ – высокопрочный чугун с вермикулярным графитом.

Для снятия внутренних напряжений, повышения механических свойств чугуны подвергают термообработке.

Отливки из высокопрочных чугунов широко используют в различных отраслях: в автопромышленности и дизелестроении - для изготовления коленчатых валов, крышек цилиндров; в тяжелом машиностроении – для изготовления многих деталей прокатных станков, кузнечнопрессового оборудования (например, для шабот-Молотов, траверс-прессов, прокатных валов); в химической и нефтехимической промышленности – для изготовления корпусов насосов, вентилялей и т.д.

### **Ковкие чугуны**

Ковкими называют чугун с хлопьевидным графитом, который получается из белого чугуна путем специального графитизирующего отжига – томления. Металлическая основа ковкого чугуна – феррит, реже – перлит. Наибольшей пластичностью обладает ферритный ковкий чугун, который применяют в машиностроении.

Химический состав белого чугуна, отжимаемого на ковкий чугун, выбирают в следующих пределах: 2,2-2,8% С; 0,6-1,4% Si;  $Mn \leq 0,4\%$ ;  $S \leq 0,1\%$ ;  $P \leq 0,2\%$

Для ускорения отжига применяют различные меры: чугун модифицируют Алуминием (реже – бромом, висмутом и другими элементами), повышают температуру нагрева чугуна перед разливкой, применяют перед отжигом старение, чаще в процессе нагрева до температуры отжига при 350-400С повышают температуру стадии графитизации, но не выше 1080С.

Ковкий чугун маркируют буквами КЧ и цифрами. Первые две цифры указывают предел прочности при растяжении, вторые – относительное удлинение. Отливки из ковкого чугуна применяют для деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках.

**Ферритные чугуны КЧ37-12, КЧ35-10** используют для изготовления деталей, испытывающих высокие статические и динамические нагрузки (картеры, ступицы, крюки, скобы), КЧ30-6, КЧ33-8 – для изготовления менее ответственных деталей (головки, хомутики, гайки, фланцы, муфты).

Твердость ферритного чугуна HB = 163.

**Перлитные чугуны КЧ50-4, КЧ56-4, КЧ60-3, КЧ63-2** обладают высокой прочностью, умеренной пластичностью и хорошими антифрикционными свойствами; HB=240-270.

Из перлитного ковкого чугуна изготавливают вилки карданных валов, втулки, муфты, тормозные колодки. Ковкий чугун применяют главным образом для изготовления тонкостенных деталей – в отличие от ВЧ, который используют для деталей большого сечения.

## Легированные чугуны

При легировании чугунов применяются те же элементы, что и при легировании стали (хром, никель, медь, титан, молибден и др.). Чугун с повышенным содержанием кремния (свыше 4%) и марганца (свыше 2%) относится к легированным чугунам. В зависимости легирования различают низколегированные (с содержанием легирующих элементов до 1-3%), среднелегированные (3-10%) и высоколегированные чугуны (свыше 10%). Маркировка легированных чугунов начинается с буквы Ч. Последующие буквы показывают наличие легирующих элементов. Цифры обозначают последовательно среднее содержание легирующих элементов в процентах. Буква Ш означает, что графит в чугуне имеет шаровидную форму. Все легирующие элементы изменяют как процесс графитизации при эвтектическом превращении, так и процесс формирования металлической основы при эвтектоидном превращении. Они увеличивают устойчивость жидкой фазы и аустенита, способствуя большей степени переохлаждения. Вследствие этого кристаллизация и формирование структуры металлической основы происходят в более благоприятных условиях для получения мелкого и среднего графита и более дисперсной основы. Правильно подбирая содержание основных и легирующих элементов, можно получить ферритную, перлитную, сорбитную, трооститную, мартенситную и аустенитную структуры металлической основы при определенных размерах, форме и распределении графита.



### По химическому составу различают несколько групп легированных чугунов:

хромистые, кремнистые, алюминиевые, марганцевые и никелевые, а по условиям эксплуатации – жаростойкие, жаропрочные износостойкие, коррозионностойкие и немагнитные. При этом один и тот же легирующий элемент придает чугуну одновременно несколько специальных свойств.

**Хромистые чугуны** применяют главным образом как жаростойкие, коррозионностойкие и износостойкие материалы. Износостойкость чугуна определяется его структурой и твердостью, большая часть высокохромистых

чугунов успешно работает в условиях ударного абразивного изнашивания и истирания.

**Кремнистые чугуны** применяют главным образом как окалино- и коррозионностойкие материалы. Механические свойства кремнистых чугунов относительно низкие как при нормальных так и при повышенных температурах и понижаются с увеличением содержания кремния. С целью повышения механических свойств, кремнистые чугуны иногда легируют медью.



Литейные свойства низкокремнистых чугунов мало отличаются от свойства СЧ и ВЧШГ.

**Алюминиевые чугуны** применяют как жаростойкие и износостойкие материалы. Увеличение содержания Al до 12% приводит к непрерывному снижению прочности, которая в дальнейшем стабилизируется.

Максимальную твердость имеют чугуны, содержащие 10-17% Al и свыше 26% Al. Наиболее технологичным является чугун, содержащий 19-25% Al(ЧЮ22), причем чугун с шаровидным графитом обладает повышенной прочностью и жаропрочностью.

**Марганцевые чугуны** применяют как немагнитные и износостойкие материалы. В марганцевых антифрикционных чугунах, как и в высоконикелевых, медленное охлаждение и отпуск способствуют выпадению большого количества карбидов и снижению легированности аустенита. В структуре антифрикционных марганцевых чугунов содержится 45-55% аустенита и 10-30% карбидов – в литом состоянии; 80-90% аустенита и 5-8% карбидов – после закалки. Именно поэтому твердость чугуна в незакаленном состоянии бывает выше, чем в закаленном (1800-2900 и 1400-1800 МПа соответственно).

**Никелевые чугуны** – немагнитные, коррозионностойкие, жаропрочные и хладостойкие материалы. Прочность и твердость никелевых чугунов возрастает с увеличением содержания Ni, Cr. Аустенитный чугун с ШГ обладает высокой жаропрочностью. Дополнительное легирование повышает жаропрочность. Чугун ЧН20ДГ является жаропрочным и хладостойким материалом.

**Старение чугунов.** Старение применяют для стабилизации размеров отливок, предотвращения коробления и снятия внутренних напряжений.

***Естественное старение осуществляют*** на открытом воздухе или в помещении. Изделия после литья выдерживаются в течении 6-15 месяцев. При естественном старении снижение напряжений в отливках составляет 3-10%.

При вибрационном старении снижение напряжений достигает 10-15%. Во время вибрации в отливке возникают дополнительные временные напряжения, вызывающие локальные пластические деформации чугуна и таким образом повышающие стойкость к короблению.

***Старение методом статистической перегрузки*** отличается тем, что для создания дополнительных временных напряжений деталь подвергают воздействию статистических внешних нагрузок. При этом методе снижение напряжений достигает 10-30%.

Старение методом термоударов (термоциклическое старение) осуществляют путем быстрого нагрева и охлаждения всей детали или отдельных ее участков. Стойкость против коробления повышается за счет пластических деформаций, вызываемых временными температурными напряжениями. Общий уровень напряжений снижается на 10-20%.

Термоциклическое старение осуществляют по следующему режиму: загрузка в печь и нагрев за 3-3,5ч до 350С, выдержка 2-2,5ч, затем резкое охлаждение (на воздухе), снова поверхностный нагрев (за 1-1,5ч) до 320С, выдержка 4-5ч, охлаждение вместе с печью до 150-100С.

***Искусственное старение осуществляют*** при повышенных температурах; длительность – несколько часов.

При искусственном старении отливки чугуна загружают в печь, нагретую до 100-200С, нагревают до температуры 555-570С со скоростью 30-60С/ч, выдерживают 3-5ч и охлаждают вместе с печью со скоростью 20-40С/ч до температуры 150-200С, а затем охлаждают на воздухе. Обычно старение проводят после грубой механической обработки.