

6 ЧУГУНЫ

Чугуны, в зависимости от того, в какой форме присутствует углерод в сплавах, различают белые, серые, высокопрочные и ковкие. Высокопрочные чугуны являются разновидностью серых, но из-за повышенных механических свойств их выделяют в особую группу.

6.1 Белые чугуны

Белыми называют чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита. Эти чугуны, фазовые превращения которых протекают согласно диаграмме состояния Fe – Fe₃C, подразделяют на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические.

Из-за большого количества цементита белые чугуны тверды (4500-5500 НВ), хрупки и для изготовления деталей машин мало используются. Ограниченное применение имеют отбеленные чугуны – отливки из серого чугуна со слоем белого чугуна в виде твердой корки на поверхности. Из них изготавливают прокатные валки, лемехи плугов, тормозные колодки и другие детали, работающие в условиях износа.

В промышленности широко применяют серые, высокопрочные и ковкие чугуны, в которых весь углерод или часть его находится в виде графита. Графит обеспечивает пониженную твердость, хорошую обрабатываемость резанием, а также высокие антифрикционные свойства вследствие низкого коэффициента трения. Вместе с тем включения графита снижают прочность и пластичность, так как нарушают сплошность металлической основы сплава. Серые, высокопрочные и ковкие чугуны различаются условиями образования графитных включений и их формой, что отражается на механических свойствах отливок.

6.2 Серые чугуны

Серыми называют чугуны с пластинчатой формой графита. По химическому составу серые чугуны разделяют на обычные (нелегированные) и легированные. Обычные серые чугуны – сплавы сложного состава, содержащие основные элементы: Fe-C-Si и постоянные примеси: Mn, P, S. В небольших количествах в обычных чугунах может содержаться Cr, Ni и Cu, которые попадают из руды. Почти все эти элементы влияют на условия графитизации, количество графитных включений, структуру металлической основы и, как следствие, свойства чугуна.

Углерод оказывает определяющее влияние на качество чугуна, изменяя количество графита и литейные свойства. Чем выше концентрация углерода, тем больше выделений графита в чугуне и тем ниже его механические свойства.

Кремний обладает сильным графитизирующим действием; способствует выделению графита в процессе затвердевания чугуна и разложению выделившегося цементита.

Марганец затрудняет графитизацию чугуна, несколько улучшает его механические свойства, особенно в тонкостенных отливках.

Сера – вредная примесь. Она ухудшает механические и литейные свойства чугунов: понижает жидкотекучесть, увеличивает усадку и повышает склонность к образованию трещин.

Фосфор в количестве до 0,3 % растворяется в феррите. При большей концентрации он образует с железом и углеродом тройную «фосфидную» эвтектику. Она имеет низкую температуру плавления (950 °С), что увеличивает жидкотекучесть чугуна, но дает высокую твердость и хрупкость.

Таким образом, степень графитизации в чугуне возрастает с увеличением содержания углерода и кремния.

Кроме химического состава, структура чугуна и его свойства зависят от технологических факторов, главным из которых является скорость охлаждения. С уменьшением скорости охлаждения увеличивается количество графита, с увеличением – количество химически связанного углерода.

Ухудшая механические свойства, графит в то же время придает чугуну ряд ценных свойств. Он измельчает стружку при обработке резанием, оказывает смазывающее действие и, следовательно, повышает износостойкость чугуна, придает ему демпфирующую способность. Кроме того, пластинчатый графит обеспечивает малую чувствительность чугуна к дефектам поверхности. Благодаря этому сопротивление усталости деталей из чугуна соизмеримо со стальными деталями.

В чугунах с высоким содержанием кремния при медленном охлаждении отливки первичная кристаллизация происходит в соответствии со стабильной диаграммой Fe – C; в этом случае графит появляется непосредственно из жидкой фазы. С увеличением скорости охлаждения создаются условия для первичной кристаллизации в соответствии с метастабильной диаграммой Fe – Fe₃C (рис. 4.3); из жидкой фазы выделяется цементит, а графит образуется вследствие его распада при дальнейшем охлаждении.

Чем крупнее и прямолинейнее форма графитовых включений, тем ниже сопротивление серого чугуна разрыву. И, наоборот, чем мельче и разобценнее графитовые включения, тем меньше их отрицательное влияние.

По структуре металлической основы серые чугуны разделяют на три вида.

1. Серый перлитный со структурой (рис.6.1а) перлит + графит (рис. 6.2, область III). В этом чугуне количество связанного углерода составляет 0,8 %.

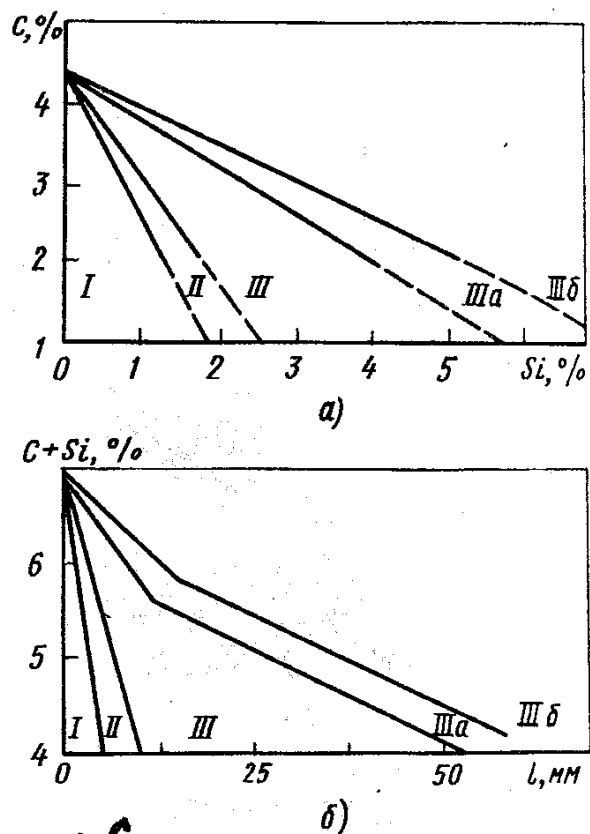
2. Серый ферритно-перлитный со структурой (рис.6.1б) феррит + перлит + графит (рис.6.2, область IIIа). Количество связанного углерода в нем менее 0,8 % .

3. Серый ферритный со структурой (рис.6.1в) феррит + графит (рис.6.2, область IIIб). В это чугуне весь углерод находится в виде графита.



а – перлитный; б – ферритно-перлитный; в – ферритный

Рис. 6.1- Микроструктуры серых чугунов



I – белый чугун; II – половинчатый чугун; III, IIIa, IIIб – серый перлитный, ферритно-перлитный и ферритный чугун соответственно

Рис.6.2. Структурная диаграмма чугунов в зависимости от содержания кремния и углерода (а) и толщины стенки отливки (б):

Механические свойства серого чугуна зависят от свойств металлической основы и, главным образом, количества, формы и размеров графитных включений. Прочность, твердость и износостойкость чугунов растут с увеличением количества перлита в металлической основе, которая по строению аналогична сталям. Решающее значение графита обусловлено тем, что его пластинки, прочность которых ничтожно мала, действуют как надрезы или трещины, пронизывающие металлическую основу и ослабляющие ее.

Номенклатура отливок из серого чугуна и их масса разнообразны: от деталей в несколько граммов (например, поршневые кольца двигателей) до отливок в 100 т и более (станины станков). Выбор марки чугунов для конкретных условий работы определяется совокупностью технологических и механических свойств (таблица 6.1).

Таблица 6.1- Механические свойства некоторых марок серых чугунов (ГОСТ 1412-85)

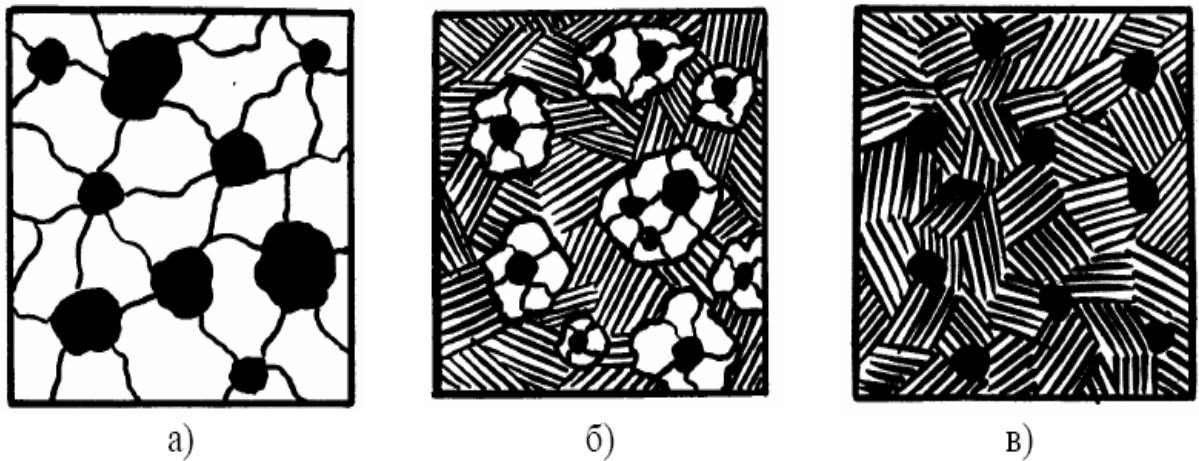
Чугун	σ_b , МПа	δ , %	НВ, МПа	Структура металлической основы
СЧ 15	150	-	1630-2290	Феррит
СЧ 25	250	-	1800-2500	Феррит + перлит
СЧ 40	400	-	2070-2850	Перлит
СЧ 45	450	-	2290-2890	Перлит

Марка серого чугуна состоит из букв СЧ (серый чугун) и цифры, показывающей значение временного сопротивления при растяжении в кгс/см²

6.3 Высокопрочные чугуны

Высокопрочными чугунами называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. Их получают модифицированием магнием, который вводят в жидкий чугун в количестве 0,02-0,08 %. Ввиду того, что модифицирование чугунов чистым магнием сопровождается сильным пироэффектом, чистый магний заменяют лигатурами (например, сплавом магния и никеля).

По структуре высокопрочный чугун может быть ферритным, ферритно-перлитным или перлитным (рис.6.3).



а – ферритный; б - ферритно-перлитный; в – перлитный

Рис. 6.3. Микроструктура высокопрочного чугуна.

Шаровидный графит – менее сильный концентратор напряжений, чем пластинчатый графит, и поэтому меньше снижает механические свойства основы. Чугуны с шаровидным графитом обладают более высокой прочностью и некоторой пластичностью. Маркируют высокопрочные чугуны по пределу прочности и относительному удлинению (таблица 6.2).

Таблица 6.2- Механические свойства некоторых высокопрочных чугунов (ГОСТ 7293-85)

Чугун	σ_b , МПа	δ , %	НВ, МПа	Структура металлической основы
ВЧ 38-17	380	17	1400-1700	Феррит с небольшим количеством перлита
ВЧ 42-12	420	12	1400-2000	
ВЧ 50-7	500	7	1710-2410	
ВЧ 60-2	600	2	2000-2800	Перлит с небольшим количеством феррита
ВЧ 80-2	800	2	2500-3300	
ВЧ 120-2	1200	2	3020-3800	

Высокопрочные чугуны применяют в различных отраслях техники, эффективно заменяя сталь во многих изделиях и конструкциях. Из них изготавливают оборудование прокатных станов (прокатные валки массой 12 т), кузнечно-прессовое оборудование (траверса прессы, шабот ковочного молота), в турбостроении – корпус паровой турбины, лопатки направляющего аппарата, в дизеле-, тракторо- и автомобилестроении – коленчатые валы, поршни и многие другие ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках и условиях изнашивания.

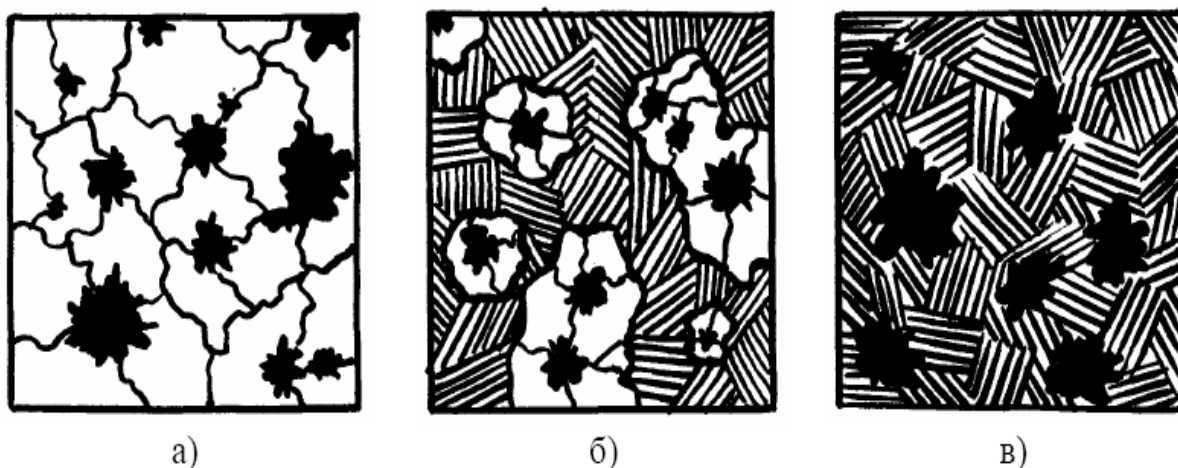
В некоторых случаях для улучшения механических свойств применяют термическую обработку отливок; для повышения прочности – закалку и отпуск при 500-600 °С; для увеличения пластичности – отжиг, способствующий сфероидизации перлита.

6.4 Ковкие чугуны

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают отжигом белых доэвтектических чугунов. По этой причине графит ковких чугунов называют углеродом отжига. Такой графит, в отличие от пластинчатого, меньше снижает механические свойства металлической основы, вследствие чего ковкий чугун по сравнению с серым обладает более высокой прочностью и пластичностью.

Отливки из белого чугуна, подвергаемые отжигу на ковкий чугун, изготавливают тонкостенными. Они не должны иметь сечение более 50 мм, иначе в сердцевине при кристаллизации выделяется пластинчатый графит, чугун становится непригодным для отжига.

По структуре металлической основы, которая определяется режимом отжига, ковкие чугуны бывают ферритными и перлитными (рис. 6.4).



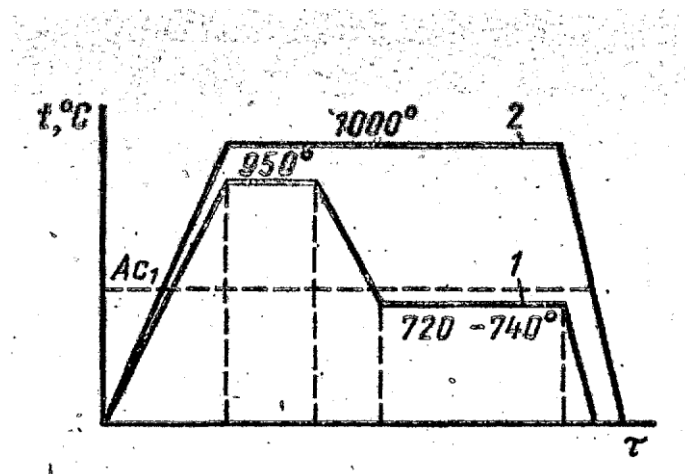
а – ферритный; б – ферритно – перлитный; в - перлитный

Рис. 6.4- Микроструктура ковких чугунов.

Отжиг на ферритные чугуны проводят по режиму 1 (рис.6.5), обеспечивающему графитизацию всех видов цементита белого чугуна. Перлитный ковкий чугун получают отжигом, который проводят в окислительной среде по режиму 2 (рис. 6.5).

Графитизация цементита перлита практически не происходит, чугун приобретает структуру, состоящую из перлита и углерода отжига. Отсутствие литейных напряжений, которые полностью снимаются во время отжига, компактная форма и изолированность графитных включений обуславливают

высокие механические свойства ковких чугунов. Принцип их маркировки тот же, что и высокопрочных чугунов: КЧ $\sigma_b - \delta$ (таблица 6.3).



1 – на ферритный; 2 – на перлитный

Рис. 6.5- Схема отжига белого чугуна на ковкий:

Из таблицы видно, что ферритные чугуны имеют более высокую пластичность, а перлитные – более высокую прочность и твердость. Ковкие чугуны нашли широкое применение в сельскохозяйственном, автомобильном и текстильном машиностроении, в судо-, котло-, вагоно- и дизелестроении.

Таблица 6.3- Механические свойства некоторых марок ковких чугунов (ГОСТ 1215-79)

Чугун	σ_b , МПа	δ , %	НВ, МПа	Структура металлической основы
КЧ 30-6	300	6	1000-1630	Феррит + (10-3%) перлита
КЧ 35-10	350	10	1000-1630	
КЧ 37-12	370	12	1100-1630	
КЧ 45-7	450	7	1500-2070	Перлит + (20-0%) феррита
КЧ 60-3	600	3	2000-2690	
КЧ 80-1,5	800	1,5	2700-3200	

Из них изготавливают детали высокой прочности, работающие в тяжелых условиях износа, способные воспринимать ударные и знакопеременные нагрузки. Большая плотность отливок ковкого чугуна позволяет изготавливать детали водо- и газопроводных установок; хорошие литейные свойства исходного белого чугуна – отливки сложной формы.

Недостаток ковких чугунов – повышенная стоимость из-за продолжительного дорогостоящего отжига.

