

Ширина характерных участков зоны термического влияния зависит от режима сварки и толщины свариваемого металла. Свариваемость стали тем выше, чем меньше в ней углерода и легирующих элементов. Влияние углерода является определяющим. С увеличением его концентрации усиливается склонность к образованию горячих и холодных трещин.

Горячие трещины образуются непосредственно в сварном шве в процессе кристаллизации, когда металл находится в двухфазном состоянии. Причинами их возникновения являются кристаллизационные усадочные напряжения, а также образование сегрегаций примесей (серы, фосфора, кислорода), ослабляющих связи между формируемыми зернами. Углерод расширяет интервал кристаллизации и усиливает склонность стали к возникновению горячих трещин.

Холодные трещины образуются при охлаждении сварного шва ниже 200–300°C преимущественно в зоне термического влияния. Это наиболее распространенный дефект при сварке легированных сталей. Причина их образования – внутренние напряжения, возникающие при структурных превращениях (особенно мартенситном) в результате местной закалки (подкалки). Увеличивая объемный эффект мартенситного превращения, углерод способствует появлению холодных трещин.

Высокой свариваемостью обладают стали, у которых содержание углерода до 0,2% С. В эту группу входят углеродистые стали Ст1–Ст4, 0,5, 08, 10, 15, 20; низколегированные стали 09Г2(Д), 09Г2С, 14Г2, 15ГФ(Д), 16ГС, 17ГС и др., применяемые для изготовления различных металлоконструкций (трубопроводов, мостов, вагонов, судов), а также стали с карбонитридным упрочнением 14Г2АФ(Д), 15Г2СФ(Д), 16Г2АФ и др., применяемые для изготовления металлоконструкций (мостов, цехов, кранов, резервуаров). Все они содержат небольшие добавки ванадия в сочетании с повышенным содержанием азота (до 0,025%).

Сварка полуфабрикатов из этих сталей при толщинах до 15 мм не вызывает затруднений. Сварка при больших толщинах и в термически упрочненном состоянии требует подогрева и термической обработки.

4.2. Железоуглеродистые сплавы с высокими литейными свойствами

Литейные свойства сплавов оценивают жидкотекучестью, усадкой, а также склонностью к образованию пористости, ликвации, горячих и холодных трещин. От литейных свойств зависит не только возможность получения сложной отливки, но и ее конструкционная проч-

ность, так как многие дефекты литой структуры – пористость, ликвационная неоднородность, микротрещины – эффективные концентраторы напряжений.

Литейные свойства сплавов тем выше, чем меньше их температурный интервал кристаллизации. В связи с этим наиболее высокими литейными свойствами обладают сплавы, испытывающие эвтектическое превращение. Из сплавов на основе железа лучшие литейные свойства имеют чугуны.

4.2.1. Разновидности чугунов

Уже много веков человечество использует чугун. Он отличается достаточной прочностью, обладает антифрикционными свойствами и имеет относительно невысокую стоимость. Единственным недостатком чугунных деталей является их хрупкость. Но при правильной технологии получения чугуна этот недостаток минимизируется, поэтому чугунные детали так широко применяются в промышленности.

Чугун представляет собой сплав железа с углеродом (более 2,14%) и другими элементами. В зависимости от состава, условий кристаллизации и скорости охлаждения углерод в чугуне может находиться в химически связанном состоянии в виде цементита (белые чугуны) или в структурно свободном состоянии в виде графита (серые чугуны).

В белых чугунах весь углерод, как сказано выше, находится в виде карбида железа, поэтому они отличаются высокой твердостью, хрупкостью и практически не поддаются обработке резанием. Белый чугун не находит применения в качестве конструкционного материала. Обычно белые чугуны идут в переплавку для выплавки стали или применяют так называемые *отбеленные чугуны*, в которых поверхностные слои имеют структуру белого, а сердцевина – серого чугуна. Высокая твердость поверхности отбеленного чугуна (HB 400...500) обеспечивает хорошую сопротивляемость изнашиванию.

В машиностроении используют, главным образом, *серые, высокопрочные чугуны, чугуны с вермикулярным графитом и ковкие чугуны*.

Для работы при повышенных температурах и в окислительных средах применяют *жаростойкие, коррозионностойкие и жаропрочные чугуны*, которые предназначены для эксплуатации при температурах до 1100°C. Их химический состав и механические свойства регламентированы ГОСТ 7769-82. Применяют *модифицированный чугун*, который отличается от обычного чугуна более высокими механическими и особыми свойствами: жаропрочностью, коррозионной стойко-

стью, возможностью термической обработки и др. Его получают добавкой в ковш небольшого количества графитизирующих (ферросилиций, силикокальций или силикоалюминий) и легирующих (молибден, никель и др.) элементов.

Для чугунов широко применяется термическая обработка. При этом необходим строгий учет структуры и механических свойств материала в исходном состоянии. В результате изотермической закалки чугунных изделий значительно повышаются прочность, ударная вязкость, износостойкость и другие свойства.

При выборе марки чугуна следует учитывать, что с уменьшением прочности чугунов улучшаются их литейные свойства и уменьшаются остаточные напряжения и коробление, а с увеличением толщины стенок (диаметра) отливок механические свойства изделий понижаются вследствие ухудшения структуры металла.

4.2.2. Серые чугуны

Серыми называются чугуны с пластинчатой формой графита, они являются основным литейным машиностроительным материалом. Обладают хорошими литейными свойствами, средней прочностью, малым удлинением при разрушении, ограниченной ударной вязкостью, удовлетворительной износостойкостью, хорошей обрабатываемостью резанием. Показателем механических свойств серых чугунов, в соответствии с ГОСТ 1412-85, является прочность при статическом растяжении.

Марка серого чугуна состоит из букв СЧ (серый чугун) и цифры, показывающей уменьшенное в 10 раз значение (в мегапаскалях) временного сопротивления при растяжении (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Механические свойства чугунов

Марка чугуна	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ , %	НВ	Структура металлической основы
	МПа				
1	2		3	4	5
Серые чугуны (ГОСТ 1412-85)					
СЧ 10	100	—	—	190	Ф
СЧ 15	150	—	—	163–210	Ф
СЧ 25	250	—	—	180–245	Ф + П
СЧ 35	350	—	—	220–275	П

1	2	3	4	5	
Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293-85)					
ВЧ 35	350	220	22	140–170	Ф
ВЧ 45	450	310	10	140–225	Ф + П
ВЧ 60	600	370	3	192–227	Ф + П
ВЧ 80	800	490	2	248–351	П
ВЧ 100	1000	700	2	270–360	Б
Чугуны с вермикулярным графитом (ГОСТ 28394-89)					
ЧВГ 30	300	240	3	130–180	Ф
ЧВГ 35	350	260	2	140–190	Ф + П
ЧВГ 40	400	320	1,5	170–220	Ф + П
ЧВГ 45	450	380	0,8	190–250	П
Ковкие чугуны (ГОСТ 1215-79)					
КЧ 30-6	300	–	6	100–163	Ф + до 10% П
КЧ 35-8	350	–	8	100–163	
КЧ 37-12	370	–	12	110–163	
КЧ 45-7	450	–	7	150–207	
КЧ 60-3	600	–	3	200–269	П + до 20% Ф
КЧ 80-1,5	800	–	1,5	270–320	

В серых чугунах весь углерод находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита. Эти чугуны могут иметь структуру, состоящую из ферритной основы (рис. 4.3, б) и включений графита. Такие чугуны содержат, кроме углерода, примеси кремния, марганца и фосфора. С уменьшением содержания кремния цементит, находящийся в составе перлита, распадается лишь частично, при этом образуется так называемая ферритно-перлитная структура с включениями графита. Путем модифицирования повышают прочностные характеристики серых чугунов за счет образования мелких графитных включений.

Из серых чугунов изготавливают литые детали простой конфигурации (крышки, стойки, кожухи, шкивы и т.п.). Серые чугуны также используют в узлах трения в качестве заменителя цветных металлов. Основными условиями применения антифрикционного чугуна в узлах трения являются качественная смазка и увеличение зазора по сравнению с цветными металлами на 15–30%. Химический состав и механические свойства этих чугунов регламентированы ГОСТ 1585-79.

Для машиностроения в основном применяется серый чугун, имеющий в своем составе графит. Детали, изготовленные из такого материала, не реагируют на возникающие напряжения, они поглоща-

ют колебания, появляющиеся в случае вибрации механизмов. Из него изготавливают детали ответственного назначения: втулки, станины станков, тяжелые основания.

В качестве конструкционного материала его применяют практически на всех предприятиях машиностроительной отрасли.

Детали тракторов, материалом которых стал серый чугун, достигают 20% от всего количества его деталей. Такое использование этого сплава связано с высокой износостойкостью. Он не задирается в случае большого трения и при отсутствии смазки обладает демпфирующей способностью. Из него изготавливают: блоки, крышки подшипников, тормозные диски, феррадо.

Для изготовления головки блока различных двигателей используют низколегированный сплав следующих марок: СЧ20, СЧ25.

Для моторов автомобилей любой конструкции используются гильзы цилиндров, изготовленные из специального легированного сплава. В большинстве случаев используется его фосфористая фракция. Главными требованиями, предъявляемыми к СЧ при производстве гильз, являются перлитная структура, графит, высокая твердость. Такие же требования соблюдаются при изготовлении отливок гильз, материалом которых является низколегированный сплав. Химический состав этого материала зависит от нескольких технологических характеристик: способа плавки, габаритов отливки и технологичности формы.



Рис. 4.3. Микроструктуры серых чугунов, $\times 300$: а – перлитного; б – ферритного

Дизельные двигатели при работе создают большую нагрузку на блок цилиндров, поэтому для них используют легированные чугуны. Головки цилиндров изготавливают из высокоуглеродистых легированных марок.

На автомобилях устанавливают чугунные распределительные валы, отличающиеся высокой износостойкостью. Этот параметр достигается благодаря поверхностной закалке, которой подвергают металл.

Когда деталь эксплуатируется на больших скоростях, когда имеет место сухое трение, необходимо чтобы была повышенная износостойкость материала и высокий коэффициент трения. Именно в таких условиях данный сплав просто незаменим. *Тормозные барабаны*, работающие в таких условиях, изготавливают из СЧ20. Когда деталь испытывает высокие нагрузки и возможно появление термических трещин, используют специальный термостойкий сплав с высоким содержанием углерода и высоким уровнем легирования.

Для особо тяжелых условий устанавливают детали, материалом которых является перлитный чугун (рис. 4.3, а). В его составе находится вермикулярный графит (рис. 4.4).

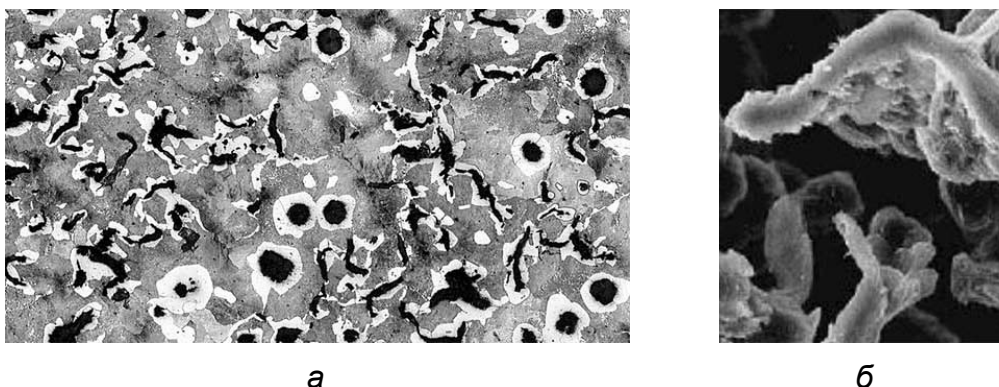


Рис. 4.4. Микроструктура вермикулярного чугуна: а – общий вид, б – формирование ответвлений кораллоподобного графита

Вращение маховика при работе достигает 7000 об/мин. Такая скорость вызывает появление растягивающих напряжений. Вращающаяся поверхность маховика постоянно касается рабочей поверхности другой детали. Такое трение вызывает сильное выделение тепла, в результате возникают термические трещины, которые отрицательно влияют на прочность детали.

Чтобы повысить прочность, учитывая большой вес маховика и размер его сечения, он изготавливается из различных марок: СЧ25, СЧ30, СЧ35. Он должен обеспечивать прочность заготовки выше 250 Н/мм^2 . Иногда СЧ 35 имеет прочность, которой не хватает для обеспечения нормальной работы маховика. В этом случае используют чугун, в который добавляют шаровидный графит.

В легковых автомобилях чугунными крышками закрывают коренные подшипники. Эта конструкция встречается в большинстве случаев

на машинах с карбюраторным двигателем. Чтобы обеспечить перлитную структуру, а также высокую твердость, превышающую 200 НВ, для изготовления крышек подшипников применяют СЧ25.

В автомобиле на выпускные коллекторы действуют выхлопные газы, температура которых доходит до 90°. Коллекторы под воздействием агрессивной среды окисляются, деформируются и трескаются. Использование серого чугуна обеспечивает долговечность таким деталям и высокую экономичность. В связи с тем, что толщина стенок коллектора мала, для его изготовления применяют СЧ15. Чтобы повысить его жаростойкость, проводят легирование чугуна хромом или никелевыми добавками. Для изготовления коллекторов, испытывающих большие термические нагрузки, используют ковкий чугун с добавками шаровидного графита.

4.2.3. Высокопрочные чугуны

Высокопрочными 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 металлической основы высокопрочный чугун может быть ферритным или перлитным. Ферритный чугун в основном состоит из феррита и шаровидного графита, допускается до 20% перлита. Структура перлитного чугуна – сорбитообразный или пластинчатый перлит и шаровидный графит, допускается до 20% феррита (рис. 4.5).

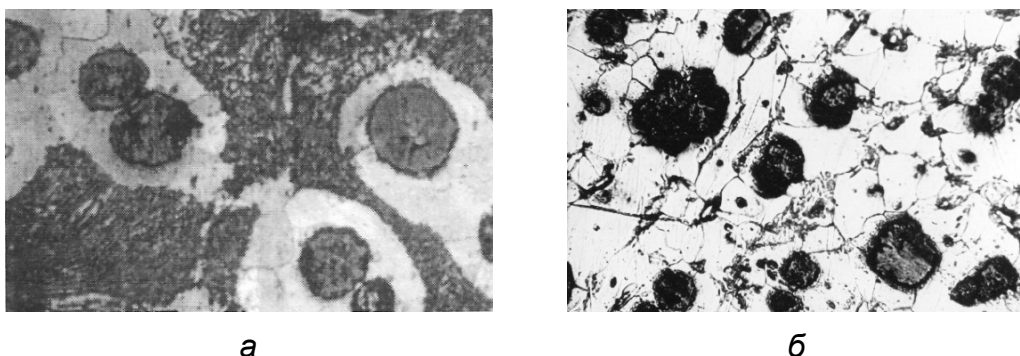


Рис. 4.5. Микроструктура высокопрочного чугуна, х300:
а – перлитного; б – ферритного

Шаровидный графит – менее сильный концентратор напряжений, чем пластинчатый, поэтому он меньше снижает механические свойства

металлической основы. Чугуны с шаровидным графитом обладают более высокой прочностью и некоторой пластичностью. Марка высокопрочного чугуна состоит из букв ВЧ и числа, обозначающего уменьшение в 10 раз значение его временного сопротивления (табл. 4.2).

Высокопрочные чугуны применяют в машиностроении: в дизеле-, тракторо- и автомобилестроении – *коленчатые валы, поршни и многие другие ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания.*

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

4.2.4. Чугуны с вермикулярным графитом

В чугунах с вермикулярным графитом (ЧВГ) структура формируется под действием комплексного модификатора, содержащего магний и редкоземельные металлы. Графит приобретает шаровидную (до 40%) и вермикулярную – в виде мелких тонких прожилок – форму (рис. 4.4). Такая форма графита препятствует возникновению и распространению трещин и, как следствие, повышает механические свойства и теплопроводность.

По механическим свойствам чугуны с вермикулярным графитом занимают промежуточное положение между серыми и высокопрочными чугунами. Они прочнее серых чугунов, особенно при циклических нагрузках, механические свойства этих чугунов в меньшей степени зависят от массы отливок. Они отличаются хорошей теплопроводностью (40–50 Вт/(м·К)), что обеспечивает их стойкость к теплосменам. Чугуны с вермикулярным графитом заменяют серые чугуны в отливках, подвергаемых циклическим нагрузкам и частым теплосменам. При введении в состав чугунов до 1,2% Ni и 0,4% Mo они хорошо противостоят изнашиванию и кавитации.

Чугун с вермикулярным графитом (*в Европе данный чугун называют «Чугун с компактным графитом», сокращенно CGI*) обладает редким сочетанием высоких показателей специфических свойств (*прочность, пластичность и теплопроводность*), необходимых для производства деталей в автомобилестроении, работающих в условиях теплосмен и значительного перепада температур, таких как: *поршни, гильзы, крышки цилиндров двигателей внутреннего сгорания, блоки цилиндров, головки блоков цилиндров дизельных и крупных*

бензиновых двигателей, к которым дополнительно предъявляются высокие требования по низкой металлоемкости деталей, что вызывает заметный интерес к данному виду чугуна и стимулирует его широкое применение в автомобилестроении, тракторостроении, тепловозостроении, судостроении, в первую очередь для производства тяжело нагруженных дизельных двигателей.

Более полный список применения ЧВГ представлен в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Области применения чугуна с вермикулярным графитом в машиностроении

Марка чугуна	Область применения	Примеры отливок
ЧВГ 30 ЧВГ 35 ЧВГ 40	Детали общего машиностроения (взамен серого чугуна), работающие при повышенных циклических механических нагрузках. Детали двигателей внутреннего сгорания, работающих при переменных повышенных температурах и механических нагрузках: в автомобилестроении и тракторостроении, дизелестроении, транспортном машиностроении, энергетическом машиностроении, металлургическом машиностроении	Маслоприводы для тракторов, опорные детали, головки цилиндров, крепежные детали рам, бандажные кольца шестерен автомобилей повышенной грузоподъемности, тормозные рычаги тракторов, тормозные кронштейны, вентиляционная подушка, соединительные фланцы, крышки коробки передач, корпуса, крышки и головки цилиндров, корпуса турбокомпрессоров, выпускные патрубки, ступицы колес, балансиры, V-образные блоки 12-цилиндровых двигателей, блоки 6-цилиндровых двигателей. Тормозные диски для высокоскоростных поездов, корпуса выпускных клапанов. Корпусы газовых турбин, корпуса компрессоров
ЧВГ 40	Детали, работающие при значительных механических нагрузках, в условиях трения, износа, гидрокавитации и при повышенных термоциклических нагрузках	Корпусы винтовых передач, поршни и гильзы ДВС, корпуса гидроаппаратуры высокого давления, эксцентриковые зубчатые колеса и др.

Условное обозначение марки включает: букву Ч – чугун; буквы ВГ – вермикулярный графит (форма графита).

Чугуны с вермикулярным графитом производят четырех марок: ЧВГ 30; ЧВГ 35; ЧВГ 40; ЧВГ 45 (табл. 4.2). Число в марке обозначает уменьшенное в 10 раз значение временного сопротивления.

4.2.5. Ковкие чугуны

Ковкими называются чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают отжигом белых доэвтектических чугунов. По этой причине графит ковых чугунов называют углеродом отжига. Такой графит, в отличие от пластинчатого, меньше снижает механические свойства металлической основы, вследствие чего ковые чугуны по сравнению с серыми обладают более высокой прочностью и пластичностью. Маркируют ковые чугуны буквами КЧ и числами, первое из которых указывает уменьшенное в 10 раз значение σ_B , второе – значение δ . Из табл. 4.2 следует, что ферритные чугуны имеют более высокую пластичность, а перлитные – более высокие прочность и твердость.

По структуре металлической основы, которая определяется режимом отжига, ковые чугуны бывают ферритными и перлитными (рис. 4.6).

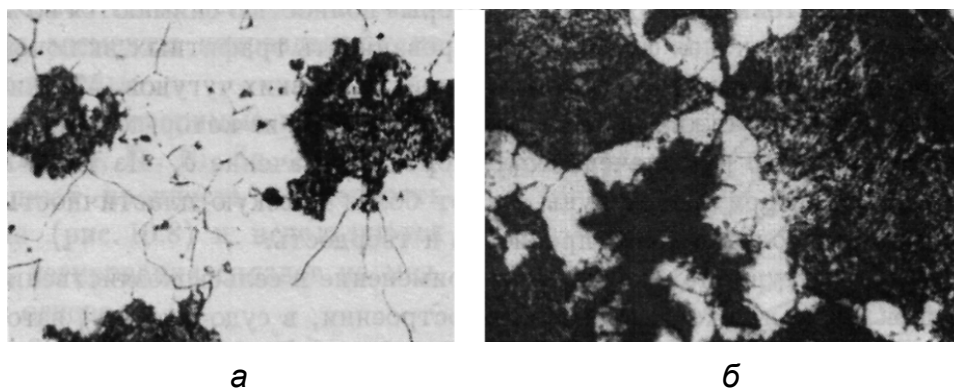


Рис. 4.6. Микроструктуры ковых чугунов, $\times 300$: а – ферритного; б – перлитного

Ковкие чугуны нашли широкое применение в транспортном, автомобильном машиностроении, в судо-, котло-, вагоно- и дизелестроении. Из них изготавливают детали высокой прочности, работающие в тяжелых условиях износа, способные воспринимать ударные и знакопеременные нагрузки, а также изготавливают детали, работающие при средних и высоких статических и динамических нагрузках (подшипники, кронштейны, картеры редукторов, поршни, ступицы и др.).

Хорошие литейные свойства исходного белого чугуна позволяют производить отливки сложной формы.

Широкое применение ковых чугунов в машиностроении связано с тем, что он дешевле стали и обладает высокой стойкостью к коррозии, недостаток – повышенная по сравнению с остальными чугунами стоимость из-за продолжительного дорогостоящего отжига.

Серые, высокопрочные и ковкие чугуны применяются также в качестве антифрикционных материалов. Металлическая основа таких чугунов является в основном перлитной или перлитно-ферритной. Буква А в марках этих чугунов означает антифрикционный.

Антифрикционные серые перлитные чугуны марок АЧС-1, АЧС-2 и АЧС-3 рекомендуется применять при давлении до 500 МПа. Антифрикционные высокопрочные чугуны с шаровидным графитом марок АЧВ-1, АЧВ-2 и ковкие антифрикционные чугуны с хлопьевидным графитом марок АЧК-1, АЧК-2 применяют в узлах трения при повышенных давлениях от 500 МПа до 1200 МПа. Все виды антифрикционных чугунов предназначены для работы в паре с термообработанными (закаленными или нормализованными) и термически не обработанными валами.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое технологическая пластичность?
2. Что такое свариваемость металла?
3. Объясните процесс кристаллизации металла шва при сварке.
4. Нарисуйте строение сварного соединения и назовите участки зоны термического влияния.
5. Каковы основные причины образования трещин в сварных соединениях?
6. Назовите стали, используемые для сварки.
7. Какие сплавы называют чугунами?
8. Состав, свойства и применение серых чугунов в машиностроении. Маркировка серых чугунов.
9. Высокопрочные чугуны, их получение, состав, свойства, маркировка и применение в машиностроении.
10. Чугун с вермикулярным графитом. Его химический состав, структура, свойства, получение, маркировка и применение.
11. Ковкий чугун. Особенности его получения, структура, свойства, маркировка и область применения.
12. Назовите марки антифрикционных чугунов, их применение.