

ФГБ ОУ ВПО

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»**

Кафедра «Строительные материалы и технологии»

В.Д.Парфенов

**Структура и механические свойства
чугунов**

**Рекомендовано редакционно-издательским советом
университета в качестве методических указаний для студентов
строительных специальностей СЖД, МТ и СГС**

Москва – 2011

УДК 669.1

П–18

Парфенов В.Д., Структура и механические свойства чугунов:
Методические указания. – М.: МИИТ, 2011. – 51с.

В методических указаниях рассматривается микроструктура основных видов чугунов и её влияние на механические свойства. Исследуются фазы и структурные составляющие чугунов, а также превращения, происходящие в них при охлаждении. Изложена общая классификация маркировка и применение белых, серых и ковких чугунов

Методические указания предназначены для лабораторных занятий по разделу «Металлические материалы в строительстве» и разработаны в соответствии с планом и программой по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» для студентов строительных специальностей (СЖД, МТ и СГС).

©ФГБ ОУ ВПО
«Московский государственный университет
путей сообщения», 2011

Подписано к печати–

Формат 60x84x1/16

Изд. № 38-11

150048, Ярославль, Московский пр-т д. 151

Типография Ярославского ж.д. техникума – филиала МИИТ

Усл.-печ.–

Тираж 100 экз.

Заказ №

Содержание

Введение.....	4
1. Микроскопический анализ металлов и сплавов.....	5
2. Основные положения.....	6
3. Общая классификация чугунов.....	7
4. Диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов.....	10
5. Структура, свойства, марки и применение чугунов.....	12
5.1. Передельные белые чугуны.....	13
5.2. Литейные чугуны.....	18
5.2.1. Серые чугуны.....	19
5.2.2. Высокопрочные чугуны.....	30
5.2.3. Ковкие чугуны.....	32
6. Применение чугунных изделий в строительстве.....	39
7. Задания для студентов и порядок выполнения лабораторной работы.....	41
8. Контрольные вопросы и задачи.....	45
Список литературы.....	48

Введение

Чугуны являются важнейшим материалом современной техники. Благодаря высоким технологическим свойствам, достаточной прочности и относительной дешевизне они нашли широкое применение в транспортном, гражданском и промышленном строительстве.

Студентам необходимо знать и уметь использовать основные механические и технологические свойства чугунов, которые в значительной степени определяются его структурой.

Цель лабораторной работы – исследовать микроструктуру белых, серых, высокопрочных и ковких чугунов и её влияние на механические свойства, изучить маркировку и практическое применение графитизированных чугунов

На основе анализа диаграммы состояния «железо – цементит» ($\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$) студенты исследуют фазы, структурные составляющие, микроструктуру доэвтектических, эвтектических и заэвтектических белых чугунов, изучают механические свойства чугунов (статическую прочность, твёрдость, пластичность и ударную вязкость), устанавливают связь между содержанием, структурой углерода и механическими свойствами чугунов.

В процессе работы студенты вырабатывают навыки анализа фазового и структурного составов чугунов, характера взаимодействия компонентов в твёрдом состоянии и последовательности фазовых превращений в чугунах, определения вида чугуна по характеру графитовых включений и структуры металлической основы.

Данные методические указания к лабораторным работам помогут будущим инженерам строительных специальностей, изучающим дисциплину «**Материаловедение. Технология конструкционных материалов**» получить более глубокое представление о структуре и механических свойствах чугунов.

1. Микроскопический анализ металлов и сплавов

Микроскопический анализ заключается в исследовании микроструктуры и пороков металлов и сплавов с помощью оптического или электронного микроскопа.

С помощью микроанализа можно определить количество, форму, размеры отдельных фаз, их взаимное расположение, имеющиеся включения, микродефекты, следовательно, судить о свойствах металлов и сплавов.

Исследованию подвергаются **микрошлифы**, приготовленные определённым способом.

Микроскопический анализ состоит из следующих этапов:

а) приготовления шлифов, б) травления шлифов, в) исследования микроструктуры металлов и сплавов.

Микрошлифом называют небольшой образец металла, имеющий особо подготовленную поверхность для микроанализа.

После соответствующей шлифовки и полировки образцы подвергают **травлению** определённым химическим реактивом для выявления микроструктуры сплава.

Микроскопическое исследование приготовленных указанным способом шлифов осуществляется с помощью металлографического микроскопа, который в отличие от биологического позволяет рассматривать прозрачные тела в отражённом свете.

2. Основные положения

Чугунами называются железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода **более 2,14%**. В зависимости от того, в какой форме присутствует углерод в сплаве, различают **белый, серый, высокопрочный и ковкий чугун**.

Чугуны выплавляют в доменных печах, вагранках и электропечах. Выплавляемые в доменных печах чугуны бывают передельными, специальными (ферросплавы) и литейными. Передельные и специальные чугуны используют для последующей выплавки стали и чугуна. В вагранках и электропечах переплавляют литейные чугуны. Около 20% всех выплавляемых чугунов используются для изготовления отливок.

Строительные и машиностроительные чугуны относятся к **литейным сплавам**. Широкое распространение отливок из чугуна объясняется его высокими литейными свойствами: **хорошей жидкотекучестью и малой усадкой**, что позволяет получать качественные отливки сложной формы даже при малой толщине стенок.

Изделия, полученные из чугунных отливок значительно дешевле, чем детали изготовленные обработкой резанием из горячекатаных стальных профилей или из поковок и штамповок.

Из-за большого количества цементита белые чугуны очень тверды (**HB 450-550**) и хрупки. Поэтому для изготовления деталей машин и элементов конструкций они не используются.

В промышленности и строительстве широко применяют **серые, высокопрочные и ковкие** чугуны, в которых углерод частично или полностью находится в виде **графита**. Наличие графита в них обеспечивает пониженную твёрдость, хорошую обрабатываемость резанием и высокие антифрикционные свойства благодаря низкому коэффициенту трения. Вместе с тем, включения графита вызывают снижение прочности и пластичности, так как нарушают сплошность металлической основы сплава. Наиболее сильно прочность снижается при растягивающих нагрузках и относительно мало – при сжимающих.

3. Общая классификация чугунов

Чугуны представлены в современной технике и строительстве большим числом марок (составов) и классифицируются по следующим основным признакам.

1. **По способу производства** – на **передельный чугун**, используемый для передела в сталь, и **литейный чугун** (для изготовления отливок). К **передельным** чугунам относят **белый чугун**, к **литейным** – **серый, высокопрочный и ковкий**.

2. **По состоянию углерода** (химически связанный или структурно свободный) – на **белый, серый и половинчатый чугун**;
В **белом чугуне** (такое название он получил по цвету излома) углерод химически связан с железом в виде цементита (Fe_3C). Белый чугун обладает высокой твёрдостью, хрупкостью и плохой обрабатываемостью резанием. Основная масса белого чугуна идёт на переделку в сталь.

В **сером чугуне** (серый излом) углерод находится в свободном состоянии в виде графитовых включений. Серый чугун отличается от белого меньшей твёрдостью и хрупкостью, а также хорошей обрабатываемостью резанием. Хорошие литейные свойства серого чугуна играют важную роль при получении отливок.

Половинчатый (отбеленный) чугу́н занимает промежуточное положение между белыми и серыми чугунами. Углерод содержится в нём частично в свободном состоянии в виде графита и частично в связанном – в виде цементита (более 0,8%). Такой чугун имеет структуру перлита, ледебурита и пластинчатого графита. обладает высокой износостойкостью, но плохо обрабатывается резанием. Применяется в качестве фрикционного материала, работающего в условиях сухого трения (тормозные колодки), а также для изготовления деталей повышенной износостойкости (прокатные, бумагоделательные, мукомольные валки)

3. **По форме графитных включений** (рис.1) – на чугу́н с пластинчатым графитом (*серый чугу́н*), чугу́н с шаровидным графитом (*высокопрочный чугу́н*), чугу́н с хлопьевидным графитом (*ковкий чугу́н*) и чугу́н с вермикулярным (червеобразным) графитом.

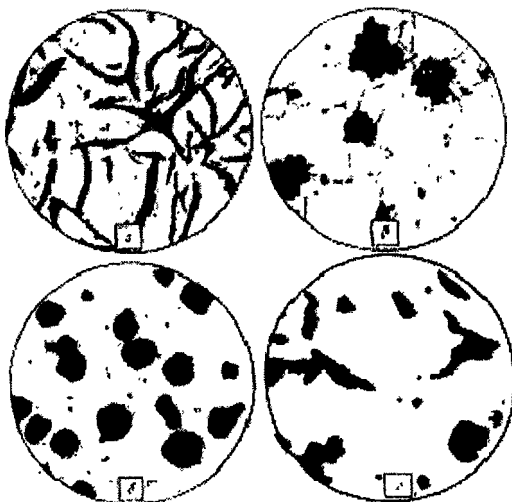


Рис. 1 Классификация графитных включений по форме: а) пластинчатые; б) хлопьевидные; в) шаровидные; г) вермикулярные. Структура металлической основы не видна, так как шлиф не травлен.

4. По типу структуры металлической основы (рис.2) – на ферритный, перлитный и ферритно-перлитный чугуны;

5. По назначению – на конструкционный чугун общего назначения (серый, высокопрочный, ковкий) и чугун со специальными свойствами (антифрикционный, износостойкий коррозионностойкий, жаростойкий, жаропрочный);

Специальные чугуны являются, как правило, легированными.


Металлическая основа	Форма графитных включений			
	Пластинчатая	Хлопьевидная	Шаролидная	Вермикулярная
Феррит				
Феррит + перлит				
Перлит				

Рис.2. Классификация чугуна по форме графитных включений и структуре металлической основы (схемы структур)

6. По химическому составу – на легированный и нелегированный чугун;

7. По технологии получения – на обычный чугун (немодифицированный) и модифицированный чугун.

Модифицирование – это введение в расплав чугуна в небольших количествах специальных добавок – модификаторов, которые способствуют измельчению пластинок графита или получению графита в форме шара. В результате модифицирования механические свойства чугуна улучшаются: возрастает прочность, пластичность и вязкость.

4. Диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов

Начало изучения диаграммы состояния сплавов «железоуглерод» было положено в 1868 году Черновым Д.К – русским учёным в области металлургии и металловедения в результате открытия критических точек в стали.

Имеются две диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов: **метастабильная**, характеризующая превращения в системе «железо – карбид железа» ($Fe - Fe_3C$), и **стабильная** с превращениями в системе «железо – графит».

Чугуны при кристаллизации и дальнейшем охлаждении могут вести себя по-разному): либо в соответствии с метастабильной диаграммой состояния $Fe - Fe_3C$ (белые чугуны, в которых углерод присутствует в виде Fe_3C), либо в соответствии со стабильной диаграммой $Fe - \Gamma$ (железо – графит) (серые чугуны, в которых углерод присутствует в виде графита).

На представленных диаграммах (рис.3) большинство линий не совпадают. В системе $Fe - \Gamma$ графитная эвтектика содержит **4,26%** и образуется при **1153° С**. Эвтектоидное превращение протекает при **738°С**. Пользование диаграммами $Fe - \Gamma$ и $Fe - Fe_3C$ принципиально не отличаются друг от друга.

Графит образуется только при малых скоростях охлаждения в узком интервале температур, когда мала степень переохлаждения жидкой фазы. При ускоренном охлаждении и при переохлаждении жидкого сплава ниже 1147°C происходит образование цементита.

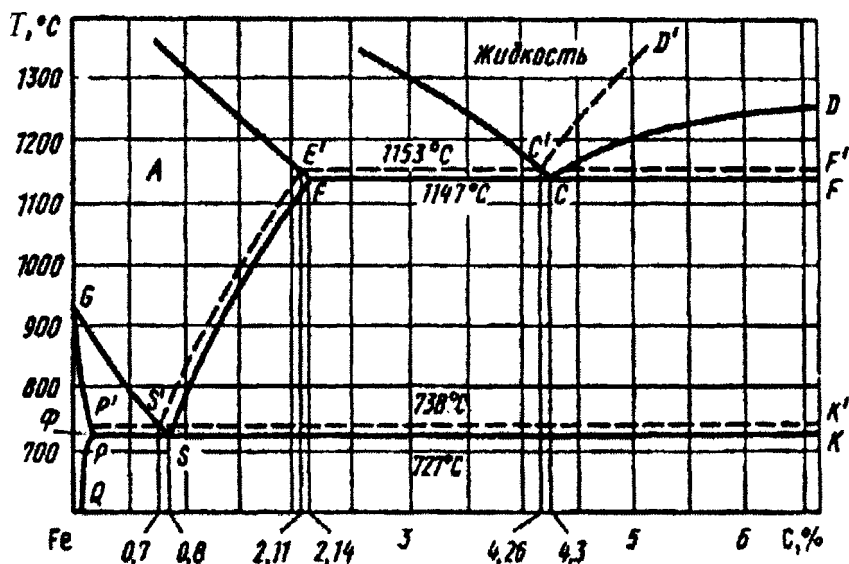


Рис.3. Диаграмма Fe – C. Сплошные линии – цементитная система, пунктирная – графитная.

Для сталей превращения при кристаллизации совершаются в соответствии с метастабильной диаграммой. В чугунах превращения при первичной кристаллизации часто идут по стабильной диаграмме, а при дальнейшем охлаждении в твёрдом состоянии – по метастабильной.

Диаграмма состояния «железо – карбид железа» имеет главное значение, так как для большинства сплавов превращения реальные происходят по этой диаграмме.

Поскольку карбид железа представляет собой цементит (Fe_3C), то метастабильную диаграмму железоуглеродистых сплавов называют цементитной диаграммой, т.е. диаграммой состояния системы «железо – цементит» ($\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$).

Цементитная диаграмма является основой для выбора режимов термической обработки сталей и чугунов. Поэтому при изучении её необходимо не только запомнить как выглядит эта диаграмма, но глубоко понять сущность всех превращений, которые происходят при нагреве и охлаждении сплавов железа с углеродом разного состава и характеризуются этой диаграммой.

5. Структура, свойства, марки и применение чугунов

5.1 Передельные белые чугуны

Белыми (передельными) называются чугуны, в которых углерод практически полностью находится в связанном состоянии в виде цементита.

Цементит (Ц) – сложная структурная составляющая, химическое соединение, карбид железа Fe_3C с содержанием углерода 6,67%. Имеет сложную ромбическую решётку. Цементит очень твёрд (НВ 800) и хрупок ($\alpha_n = 0$). При высоких температурах он неустойчив и разлагается на графит и аустенит, поэтому температура плавления цементита точно не определена и принимается равной 1600°C . При охлаждении меняется лишь форма и размер его кристаллов, что отражается на свойствах сплавов.

Из-за большого количества цементита белый чугун имеет высокую твёрдость (**HB 450-550**) и прочность, плохо обрабатывается резанием, хрупок. Используется в качестве **передельного на сталь и ковкий чугун**. Для изготовления деталей машин и элементов конструкций не применяется.

Белые чугуны получают при ускоренном охлаждении и при переохлаждении жидкого чугуна ниже **1147°С**, когда в силу структурных и кинетических особенностей будет образовываться метастабильная фаза **Fe₃C**, а не графит.

Структура и фазовый состав белых чугунов представлены на метастабильной диаграмме системы **Fe – Fe₃C** (рис. 4 и 5), получившей название цементитной диаграммы.

На диаграмме представлены две основные составные части: область сталей (**0,02 – 2,14% углерода**) и область белых чугунов (**2,14 – 6,67% углерода**). Сплавы, содержащие менее **0,02% углерода** представляют собой **техническое железо**.

При охлаждения железоуглеродистых сплавов в них происходят два важнейших превращения: **эвтектическое** и **эвтектоидное**.

При температуре **1147°С** (линия **ECF**) в сплавах с концентрацией углерода **2,14 – 6,67%** происходит **эвтектическое превращение**. В процессе превращения жидкий раствор (**Ж**) затвердевает в виде механической смеси кристаллов аустенита и цементита, которая называется **ледебуритом**.

При **1147₀С**, **Ж_{C=4,3%} → эвтектика (А_{C=2,14%} + Ц_{C=6,67%})**

Во всех сплавах системы с концентрацией углерода более 0,02% при температуре 727°C (линия PSK) происходит эвтектоидное превращение, заключающееся в распаде аустенита на дисперсную механическую смесь чередующихся пластинок феррита и цементита, которая называется перлитом.

При 727° С, $A_{C=0,8\%} \rightarrow$ эвтектоид ($\Phi_{C=0,02\%} + \text{Ц}_{C=6,67\%}$)

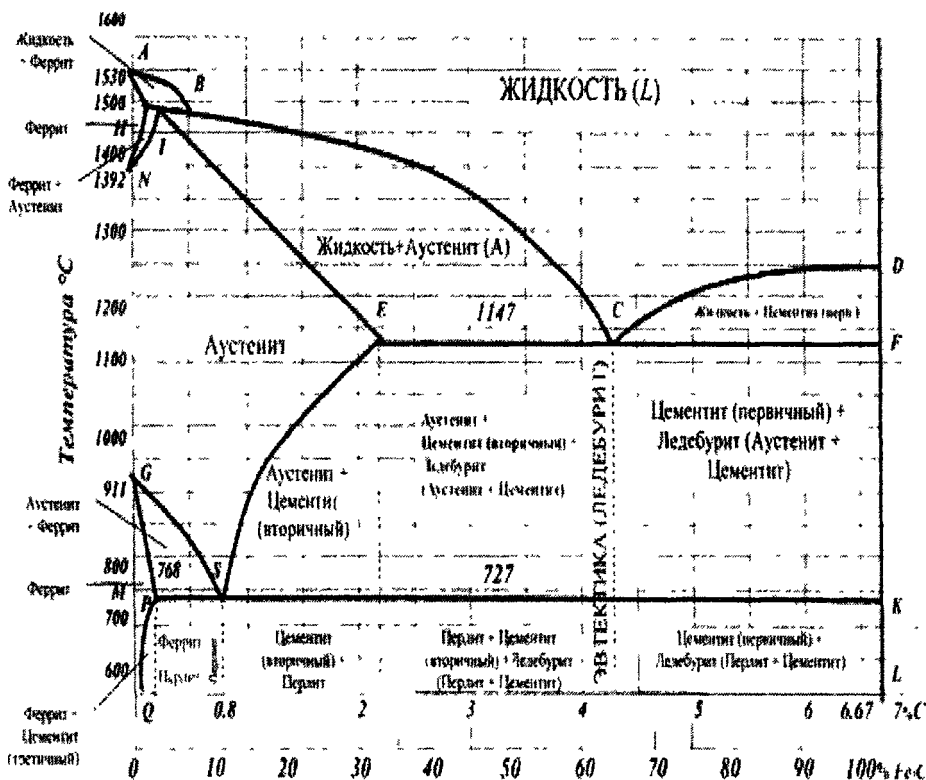


Рис.4. Диаграмма состояния Fe – Fe₃C
(с распределением структурных составляющих)

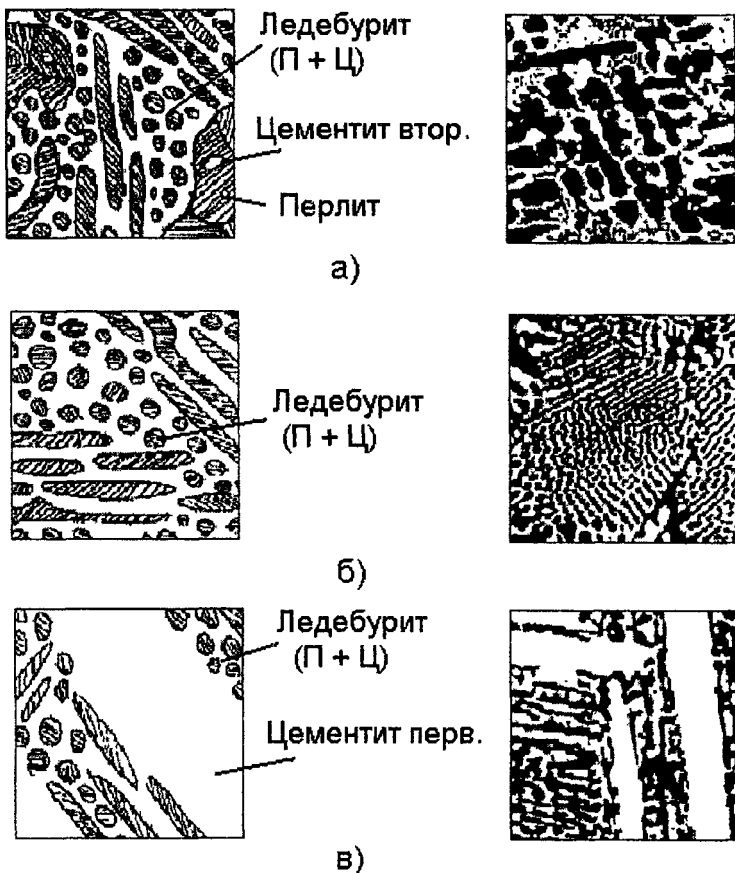


Рис.6. Микроструктура белых чугунов (слева схематическое изображение): а) эвтектический; б) эвтектический; в) заэвтектический.

Затвердевание доэвтектических чугунов начинается ниже линии ликвидуса АС с кристаллизации аустенита. По мере кристаллизации аустенита жидкий раствор обогащается углеродом и при температуре 1147°C , когда концентрация углерода в жидком сплаве достигнет 4,3%, затвердевание доэвтектических чугунов заканчивается

на прямолинейном участке линии **солидуса ЕС** одновременной кристаллизацией аустенита и цементита с образованием **ледебурита**.

Ледебурит (Л) – сложная структурная составляющая, *эвтектическая смесь* кристаллов аустенита и цементита с содержанием углерода **4,3%**. Ледебурит образуется при температуре **1147⁰С** только в белых чугунах в результате превращения жидкого сплава в *эвтектику*. Названа структура в честь немецкого учёного **А.Ледебур**.

Чугун, содержащий **4,3%** углерода, затвердевает при постоянной температуре **1147⁰ С** с образованием эвтектики, состоящей из предельно насыщенного углеродом **аустенита (2,14%)** и **цементита**. Такой чугун называется **эвтектическим**.

Затвердевание **заэвтектических** чугунов, содержащих от **4,3** до **6,67%** углерода, начинается на линии ликвидуса **CD** кристаллизацией из жидкого сплава тонких пластинчатых кристаллов первичного цемента. При этом с понижением температуры состав жидкости меняется – уменьшается содержание углерода по линии ликвидуса **DC**. При температуре **1147⁰ С** концентрация углерода в жидком сплаве достигнет **4,3%** и он затвердевает с образованием эвтектики – **ледебурита**.

Дальнейшие превращения в железоуглеродистых сплавах ниже линии **солидуса АЕСF**, т.е. когда сплавы находятся в твёрдом состоянии обусловлены полиморфизмом железа и изменением растворимости углерода в **γ-Fe** и **α-Fe** при понижении температуры.

При температуре **1147⁰ С** (линия солидуса **ЕСF**) жидкая составляющая всех чугунов кристаллизуется с образованием **эвтектики (ледебурита)**. При этой температуре структура чугунов следующая: **доэвтектического** – **аустенит + ледебурит**; **эвтектического** – **ледебурит**; **заэвтектического** – **ледебурит + цементит первичный**.

При дальнейшем понижении температуры в интервале **1147 – 727° С** *доэвтектические* чугуны имеют структуру: **аустенит + цементит вторичный + ледебурит**. Появление вторичного цементита обусловлено его выделением из аустенита вследствие уменьшения растворимости углерода в γ -модификации железа (по линии **ES** от **2,14 до 0,8%**) при понижении температуры.

В этом же температурном интервале структура *эвтектических* сплавов – **ледебурит, заэвтектических – ледебурит + цементит первичный**.

На линии перлитовых превращений при **727° С** аустенит, содержащий **0,8%** углерода, распадается и образуется перлит.

Поэтому ниже **727° С** (линии **PSK**) ледебурит, представляющий собой уже смесь цементита и перлита, получил название **ледебурит перлитовый (Лп)**. В этой структурной составляющей цементит образует сплошную матрицу, в которой размещены колонии перлита. Такое строение ледебурита является причиной его большой твёрдости (**HB \geq 600**) и хрупкости.

5.2 ЛИТЕЙНЫЕ ЧУГУНЫ

В зависимости от формы графитных включений (рис.7) литейные чугуны разделяют на следующие виды:

- 1) **Чугун с пластинчатым графитом** (серый чугун)
- 2) **Чугун с шаровидным графитом** (высокопрочный чугун)
- 3) **Чугун с хлопьевидным графитом** (ковкий чугун).
- 4) **Чугун с вермикулярным графитом**

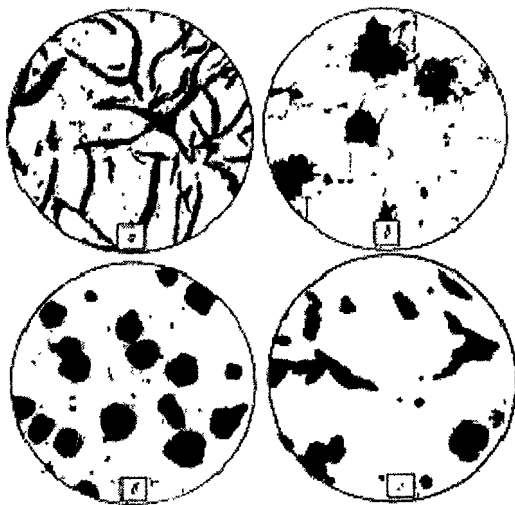


Рис.7. Возможные формы графитных включений: а) пластинчатая; б) хлопьевидная; в) шаровидная г) вермикулярная

5.2.1 СЕРЫЕ ЧУГУНЫ

Серым называют чугун, в котором графит преимущественно имеет форму слегка изогнутых пластинок или разветвлённых розеток с пластинчатыми лепестками (рис.).

Более точное название серого чугуна которое закреплено ГОСТом 1412-85 – чугун с пластинчатым графитом.

У серых чугунов хорошие технологические и прочностные свойства, что определяет широкое применение их как конструкционного материала. Наличие графита определяет существенные достоинства серого чугуна: высокие литейные свойства (хорошая жидкотекучесть и малая усадка), хорошая обрабатываемость резанием, так как графит делает стружку ломкой, высокие демпфирующие и антифрикционные свойства.

Происхождение графита в серых чугунах

Графит является характерной структурной составляющей серых чугунов, наличие его определяет тёмный серый цвет излома. Поэтому этот чугун и получил название **серого**.

Графитизация – это процесс выделения графита при кристаллизации или охлаждении чугунов. Графит может образовываться как из жидкой фазы при кристаллизации, так и из твёрдой фазы. Графитизация чугуна и её полнота зависит от скорости охлаждения, химического состава и наличия центров кристаллизации. Чем медленнее охлаждение чугуна, тем большее развитие получает процесс графитизации.

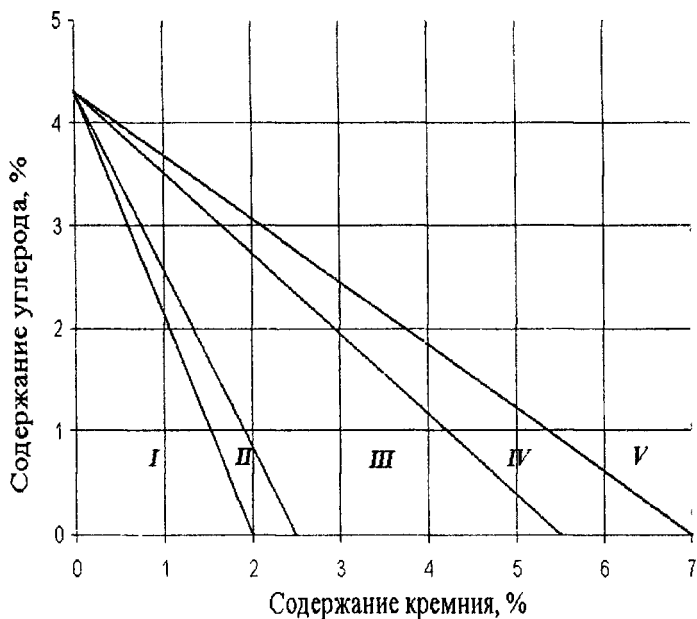
Графит в серых чугунах получается в результате распада цементита, образующегося при затвердевании сплавов по цементитной диаграмме состояния системы $\text{Fe}_3\text{C} - \text{C}$, а также путём непосредственного выделения из жидкого или твёрдого раствора (аустенита или феррита). При высоких температурах цементит распадается по реакции $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3 \text{Fe} + \text{C}$ (**графит**). Чем выше температура и меньше скорость охлаждения, тем больше образуется графита в чугуне.

Наиболее сильное положительное влияние на графитизацию оказывает присутствие в чугуне **кремния, который является необходимым компонентом серых чугунов**.

При одинаковой скорости охлаждения и прочих равных условиях количество образующегося графита тем больше, чем выше в чугунах содержание кремния. Меняя содержание кремния можно получать чугуны с различной структурой и свойствами

Углерод также способствует графитообразованию: чем его больше, тем больше при прочих равных условиях в серых чугунах графита.

Наглядное представление о влиянии углерода и кремния на степень графитизации чугуна даёт структурная диаграмма чугунов (рис.8).



а)

Рис.8. Структурная диаграмма чугунов в зависимости от содержания кремния и углерода: I – белый чугун ($\text{П} + \text{Л} + \text{Ц}_2$); II – половинчатый чугун; III – серый перлитный чугун ($\text{П} + \text{Г}$); IV – серый ферритоперлитный чугун ($\text{Ф} + \text{П} + \text{Г}$); V – серый ферритный чугун ($\text{Ф} + \text{Г}$).

В чугунах с высоким содержанием кремния при медленном охлаждении отливки первичная кристаллизация происходит по стабильной диаграмме железо-углерод (графит), т.е. в этом случае графит появляется непосредственно из жидкой фазы. С увеличением скорости охлаждения создаются условия для первичной кристаллизации по метастабильной диаграмме железо-цементит и графит образуется вследствие распада цементита при дальнейшем охлаждении. Иногда ледебурит не разлагается и остаётся в структуре (получается отбел).

Вторичная кристаллизация преимущественно протекает в соответствии с метастабильной диаграммой, вторичный цементит и цементит перлита могут сохраниться или графитизироваться в зависимости от содержания кремния и скорости охлаждения.

Серые чугуны образуются только при малых скоростях охлаждения в узком интервале температур, когда мала степень переохлаждения жидкой фазы. В этих условиях весь углерод или его большая часть графитизируется в виде пластинчатого графита., а содержание углерода в виде цементита составляет не более **0,8%**. Промышленные чугуны содержат **2,0–4,5 % углерода, 1-3,5% кремния, 0,5-1,0 марганца, до 0,3 % фосфора, до 0, 2% серы.**

Классификация и структура серых чугунов

Серые чугуны разделяют по структуре металлической основы и по размерам, форме и расположению графитных включений.

По структуре металлической основы различают серые чугуны:(рис.9):

- 1) на ферритной основе (со структурой *феррит + графит*));**
- 2) на ферритно-перлитной основе (*феррит + перлит + графит*);**
- 3)на перлитной основе (*перлит = графит*).**

Количество химически связанного углерода в серых чугунах не превышает 2%, поэтому их металлическая основа аналогична сталям доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной.

Металлическая основа может быть перлитной, когда 0,8% углерода находится в виде цементита, а остальной углерод в виде графита; ферритно-перлитной, когда количество углерода в виде цементита менее 0,8% углерода; ферритной, когда углерод находится практически полностью в виде графита.



Рис.9. Микроструктура серых чугунов: а) ферритного ($\Phi + \Gamma$); б) ферритно-перлитного ($\Phi + \Gamma$); в) перлитного ($\Pi + \Gamma$)

Следовательно, серый чугун можно рассматривать как структуру, состоящую из сталистой механической основы с рассеянными в ней графитными включениями (рис.10) Свойства чугуна зависят от свойств металлической основы и характера графитных включений.

По сравнению с металлической основой графит имеет низкую прочность. Поэтому графитовые включения можно считать нарушениями сплошности (пустотами) в металлической основе.

Тем самым чугун можно рассматривать как сталь, пронизанную включениями графита, ослабляющими его металлическую основу.

По размерам, форме и расположению графита различают чугуны с крупными, средними и мелкими графитовыми включениями; с прямолинейными и завихренными включениями; с равномерным, гнездовым и эвтектическим расположением графита.

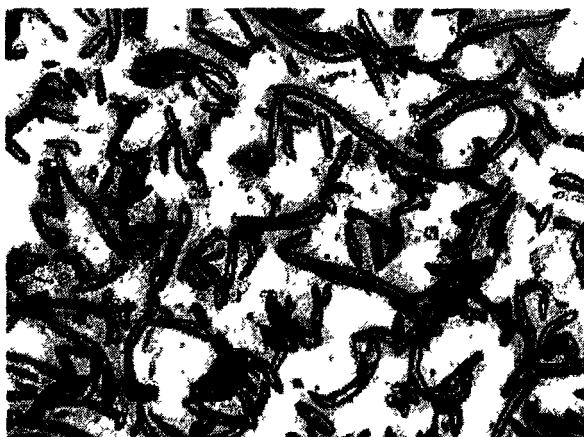


Рис.10. Графитовые включения пластинчатой формы

Марки, свойства и применение серых чугунов

ГОСТ 1412-85 предусматривает следующие марки чугуна с пластинчатым графитом (серого чугуна): **СЧ 10, СЧ 15, СЧ 20, СЧ 25, СЧ 30, СЧ 35.**

По требованию потребителя для изготовления отливок допускаются марки чугуна **СЧ 18, СЧ 21, СЧ 24.**

Условное обозначение марки включает буквы **СЧ** – серый чугун и цифровое обозначение величины минимального временного сопротивления (прочности) при растяжении в **МПа·10⁻¹**.

В таблицах 1 и 2 приведены прочность, химический состав и физические свойства чугунов с пластинчатым графитом.

Табл.1. Прочность и химический состав (в %) серых чугунов

Марки чугуна	Прочность при растяжении σ_b , МПа (кгс/мм ²)	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
					не более	
СЧ 10	100 (10)	3,5–3,7	2,2–2,6	0,5–0,8	0,3	0,15
СЧ 15	150 (15)	3,5–3,7	2,0–2,4	0,5–0,8	0,2	0,15
СЧ 20	200 (20)	3,3–3,5	1,4–2,4	0,7–1,0	0,2	0,15
СЧ 25	250(25)	3,2–3,4	1,4–2,2	0,7–1,0	0,2	0,15
СЧ 30	300 (30)	3,0–3,2	1,3–1,9	0,7–1,0	0,2	0,12
СЧ 35	350 (35)	2,9–3,0	1,2–1,5	0,7–1,1	0,2	0,12

Серые чугуны – это сплавы сложного состава, содержащие помимо железа и углерода кремний, марганец и неизбежные примеси: серу и фосфор.

Химический состав серых чугунов колеблется в следующих пределах: **3,2-3,8% углерода, 1-5% кремния, 0,5-0,8% марганца, 0,2-0,4% фосфора, до 0,12% серы.** Иногда в чугуне присутствуют в небольшом количестве медь, никель, хром, которые попадают из руды.

Табл.2. Физические свойства серого чугуна

Марки чугуна	Плотность ρ , кг/м ³	Линейная усадка, ϵ , %	Модуль упругости при растяжении, $E \cdot 10^{-2}$, МПа	Коэффициент линейного расширения α , 1/град
СЧ 10	$6,8 \cdot 10^3$	1,0	700–1100	$8,0 \cdot 10^{-6}$
СЧ 15	$7,0 \cdot 10^3$	1,1	700–1100	$9,0 \cdot 10^{-6}$
СЧ 20	$7,1 \cdot 10^3$	1,2	850–1100	$9,5 \cdot 10^{-6}$
СЧ 25	$7,2 \cdot 10^3$	1,2	900–1100	$10,0 \cdot 10^{-6}$
СЧ 30	$7,3 \cdot 10^3$	1,3	1200–1100	$10,5 \cdot 10^{-6}$
СЧ 35	$7,4 \cdot 10^3$	1,3	1300–1100	$11,0 \cdot 10^{-6}$

Механические свойства чугуна зависят от свойств металлической основы и количества, а также формы и размеров графитовых включений. Металлическая основа чугуна аналогична по строению и близка по свойствам стали.

Зависимость свойств серого чугуна от структуры значительно сложнее, чем в стали, так как серые чугуны состоят из металлической основы и включений графита, вкрапленных в эту основу.

Для характеристики структуры серого чугуна необходимо определять размеры, форму, распределение графита, а также структуру металлической основы. Графитные включения лучше определять на нетравлёных шлифах.

Можно качественно оценить влияние графитных включений на механические свойства серого чугуна. Чем меньше графитных включений, чем они мельче и больше степень изолированности их друг от друга, тем выше прочность чугуна при одной и той же металлической основе. Оценку графитовых включений дают по типовой шкале **ГОСТ 3443-57**.

При одинаковом характере графитовых включений чугун с преобладающим количеством перлита (**перлитовый чугун**) обладает более высокими механическими свойствами, чем чугун с преобладающим количеством феррита (**ферритный чугун**).

Графит имеет ничтожно низкую прочность, поэтому полости, занятые графитом, часто рассматривают как надрезы или трещины в металлической основе чугуна, которые значительно снижают его прочность и пластичность. **Относительное удлинение** серых чугунов при растяжении примерно равно **0,5%**. Чем больше в структуре присутствует графита и чем крупнее его включения, тем ниже механические свойства.

Благодаря включениям графита чугун отличается высокой демпфирующей способностью, т.е. способностью материала гасить возникающую в нём вибрацию. Решающее значение для уровня демпфирующих свойств чугуна имеют количество, форма и распределение графита в чугуне. Наибольшей демпфирующей способностью обладают чугуны с пластинчатым графитом марок **СЧ 10** и **СЧ 15**, которые имеют в своей структуре максимальное количество графита.

Графит делает стружку ломкой, благодаря чему серый чугун хорошо обрабатывается резанием. Лучшими литейными свойствами (большой жидкотекучестью, меньшей усадкой из-за увеличения удельного объёма при образовании графита) обладают чугуны низких

марок (**СЧ 10, СЧ 15**). Но всё же наиболее широко в машиностроении используют более прочные чугуны марок **СЧ 20 – СЧ 35**.

Отливки из чугуна с пластинчатым графитом, как правило подвергаются термической обработке, – чаще всего, **отжигу при 450 – 600° С** для уменьшения литейных напряжений, всегда возникающих при фасонном литье.

Удельная теплоёмкость серых чугунов (при температуре от 20 до 200° С) составляет **460–545 Дж·(кг·град)⁻¹**. Коэффициент теплопроводности (при 20° С) – **42–60 Вт(м·град)⁻¹**

Серый перлитный чугун в отливках отличается наибольшей прочностью и хорошей обрабатываемостью. **Ферритно-перлитный** по сравнению с перлитным обладает меньшей прочностью, но лучшей обрабатываемостью. **Ферритный чугун** самый непрочный и легко обрабатывается резанием.

На долю серого чугуна с пластинчатым графитом приходится **80%** общего производства чугунных отливок.

Пластины графита с острыми краями уменьшают живое сечение металлической матрицы и, главное, являются внутренними концентраторами напряжений, способствующими зарождению и развитию трещин. Пластины графита сильно снижают прочность и пластичность чугуна при растяжении. Относительное удлинение серых чугунов с пластинчатым графитом, как правило, не превышает **0,5 – 1,0%** и стандартом не гарантируются. На прочность при сжатии включения графита влияют значительно слабее, поэтому чугун особенно выгодно использовать для изготовления деталей, работающих на сжатие. Наличие большого количества внутренних концентраторов напряжений в виде пластин графита делает серый чугун малочувствительным к внешним концентраторам напряжений и резким переходам между

сечениями отливки, надрезам, выточкам, царапинам, и другим неровностям поверхности отливки.

Серый чугун – наиболее широко применяемый вид чугунов (машиностроение, сантехника, строительные изделия). Для деталей из серого чугуна характерны малая чувствительность к влиянию внешних концентраторов напряжений при циклических нагружениях и более высокий коэффициент поглощения колебаний при вибрации деталей (в 2-4 раза выше, чем у стали. Важная конструкционная особенность серого чугуна – более высокое, чем у стали, отношение предела текучести к пределу прочности на растяжение. Наличие графита улучшает условия смазки при трении, что повышает антифрикционные свойства чугуна.

Серый перлитный чугун имеет высокие прочностные свойства и применяется для цилиндров, втулок и других нагруженных деталей двигателей, станин и т.д.. Для менее ответственных деталей используют серый чугун с ферритно-перлитной металлической основой.

Выбор марки чугунов для конкретных условий работы обуславливается совокупностью технологических и механических свойств. *Ферритные серые чугуны СЧ10, СЧ15, СЧ18* предназначены для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, диски сцепления и др. *Феррито-перлитные СЧ20, СЧ21, СЧ25* применяют для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: блоков цилиндров, картеров двигателя, поршней цилиндров, барабанов сцепления и др. *Перлитные серые модифицированные чугуны СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45* обладают наиболее высокими механическими свойствами и их используют для изготовления гильз цилиндров, распределительных валов и др.

5.2.2 Высокопрочные серые чугуны

Высокопрочными называются чугуны, в структуре которых имеется графит **шаровидной формы**.

Высокопрочный чугун, характеризующийся шаровидной или близкой к ней формой включений графита, получают **модифицированием жидкого чугуна присадками магния или цезия**

При введении в чугун перед разливкой около **0,5% магния** графит кристаллизуется в **шаровидной форме**. Этот процесс называется **модифицированием**. Шаровидный графит в меньшей степени, чем пластинчатый, ослабляет сечение металлической матрицы и не является таким сильным концентратором напряжений. Это обстоятельство позволяет придавать чугунам высокую прочность, пластичность и повышенную ударную вязкость.

У чугунов с чисто **перлитной структурой** свойства приближаются к свойствам углеродистых сталей.. В случае **ферритной матрицы** обеспечивается повышенный уровень пластичности. Высокопрочный чугун обладает хорошими литейными и технологическими свойствами (**жидкотекучесть, линейная усадка, обрабатываемость резанием**), но по значению сосредоточенной объёмной усадки приближается к стали.

По структуре высокопрочный чугун может быть ферритным, ферритно-перлитным или перлитным. **Ферритный чугун** в основном состоит из феррита и шаровидного графита. **Перлитовый чугун** в основном состоит из сорбитообразного или пластинчатого перлита и шаровидного графита.

На рис.11 приведена микроструктура высокопрочного чугуна марки ВЧ 60 на ферритно-перлитной металлической основе. Глобулярные включения графита (чёрный), окружённые слоем феррита (светлый) в тёмной перлитной матрице. Модифицирование проведено магнием.

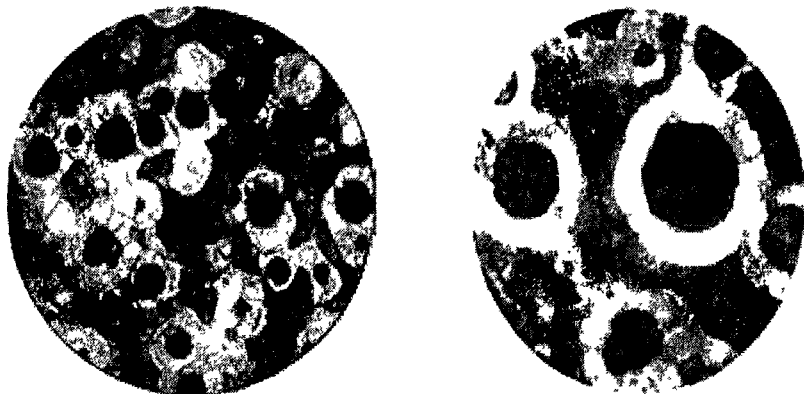


Рис. 11 Микроструктура высокопрочного чугуна

Чугуны с шаровидным графитом (ГОСТ 7293-85) подразделяются на восемь марок ВЧ 35, ВЧ 40, ВЧ 45, ВЧ 50, ВЧ 60, ВЧ 70, ВЧ 80, ВЧ 100.

Марка чугуна определяется его **временным сопротивлением при растяжении σ_b** и **условным пределом текучести $\sigma_{0,2}$**

Условное обозначение марки включает буквы ВЧ – **высокопрочный чугун** и цифровое обозначение минимального значения **временного сопротивления при растяжении σ_b в МПа·10¹**.

В таблицах 3 и 4 приведены механические свойства и химический состав высокопрочных чугунов

Табл. 3. Механические свойства высокопрочных чугунов

Марки чугуна	Прочность при растяжении σ_b , МПа (кгс/мм ²)	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	Относительное удлинение δ , %	Твёрдость по Бригеллю НВ
	не менее			
ВЧ 35	350 (35)	220 (22)	22	140–170
ВЧ 40	400 (40)	250 (25)	15	140–202
ВЧ 45	450 (45)	310 (31)	10	140–225
ВЧ 50	500 (50)	320 (32)	7	153–245
ВЧ 60	600 (60)	370 (37)	3	192–277
ВЧ 70	700 (70)	420 (42)	2	228–302
ВЧ 80	800 (805)	480 (48)	2	248–351
ВЧ 100	1000 (100)	700 (70)	2	270–360

Высокопрочные чугуны применяются для отливки деталей ответственного назначения, для замены стальных литых и кованных деталей из ковкого и обычного серого чугуна коленчатых валов, валков прокатных станов, подшипников скольжения, шаботов, молотов, деталей вентилях, компрессоров.

5.2.3 Ковкие чугуны

Ковким называется **чугун с хлопьевидным графитом**, получаемый из белого чугуна в результате специального **графитообразующего отжига** (томления).

Табл.4. Химический состав (в %) высокопрочных чугунов

Марки чугуна	C	Si	Mn	P	S	Cr	Другие
				не более			
ВЧ 35	3,3-3,8	1,9-2,9	0.2-0.6	0,1	0,02	0,05	-
ВЧ 40	3,3-3,8	1,9-2,9	0.2-0.6	0,1	0,02	0,1	-
ВЧ 45	3,3-3,8	1,9-2,9	0.3-0.6	0,1	0,02	0,1	-
ВЧ 50	3,2-3,7	1,9-2,9	0.3-0.7	0,1	0,02	0,15	-
ВЧ 60	3,2-3,6	2,4-2,6	0.4-0.7	0,1	0,02	0,15	0,3 Cu 0,4 Ni
ВЧ 70	3,2-3,6	2,6-2,9	0.4-0.7	0,1	0,015	0,15	0,4 Cu 0,6 Ni
ВЧ 80	3,2-3,6	2,6-2,9	0.4-0.7	0,1	0,01	0,15	0,6 Cu 0,6 Ni
ВЧ 100	3,2-3,6	3,0-3,8	0.4-0.7	0,1	0,01	0,15	0,6 Cu 0,8 Ni

Термин «ковкий чугун» является условным и характеризует пластические, а не технологические свойства чугуна, так как изделия из него, как и из других чугунов получают литьём, а не ковкой.

Получение ковкого чугуна

Процесс получения отливок из ковкого чугуна включает две операции:

- Получение фасонных отливок из белого чугуна;
- Графитизирующий отжиг полученных отливок с целью распада цементита белого чугуна и образования графита хлопьевидной формы.

В результате отжига из хрупкого и твёрдого белого чугуна получается более пластичный и менее хрупкий ковкий чугун.

Ковкий чугун получают длительным нагревом (**томлением**) в печи при $950-1000^{\circ}\text{C}$ отливок из белого чугуна с умеренным количеством кремния ($0,6-1,4\%$). Отливают преимущественно мелкие изделия сложной формы. Отжиг проводят в две стадии – на каждой из них до полного распада ледебурита (1 стадия), аустенита и цементита (2 стадия) и образования феррита и графита (рис.12).

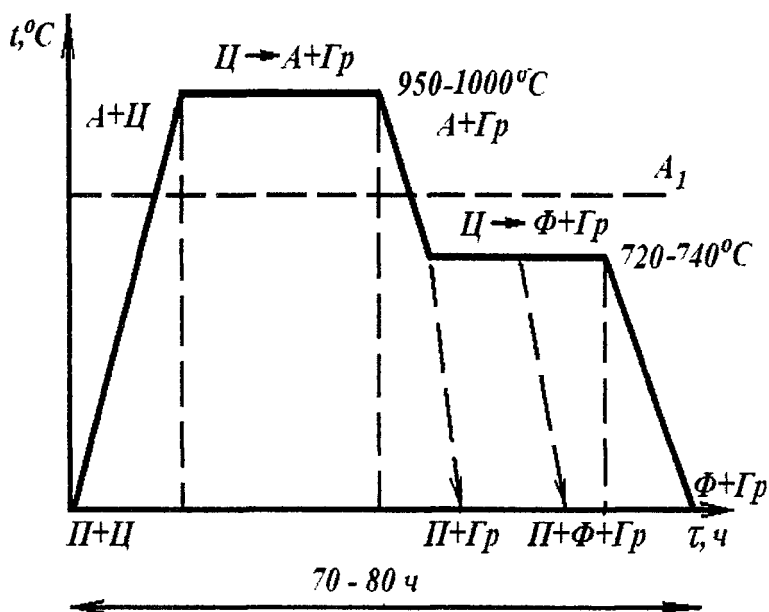


Рис. 12 График режима отжига белого чугуна для получения ковкого чугуна.

Графит выделяется в виде скоплений **округлой хлопьевидной формы**, придающих чугуну высокую пластичность. Излом его бархатисто-чёрный. Если охлаждение ускорить, то образуется ковкий чугун

с перлитной основой, снижающей пластичность и придающий излому светлый (сталистый) вид. Эти изолированные включения графита меньше разобщают металлическую основу и чугун получает способность пластически деформироваться в холодном состоянии.

Графитизирующий отжиг является продолжительной и дорогой операцией. Длительность отжига (несколько десятков часов) является существенным недостатком технологического процесса получения ковкого чугуна.

Микроструктура ковкого чугуна

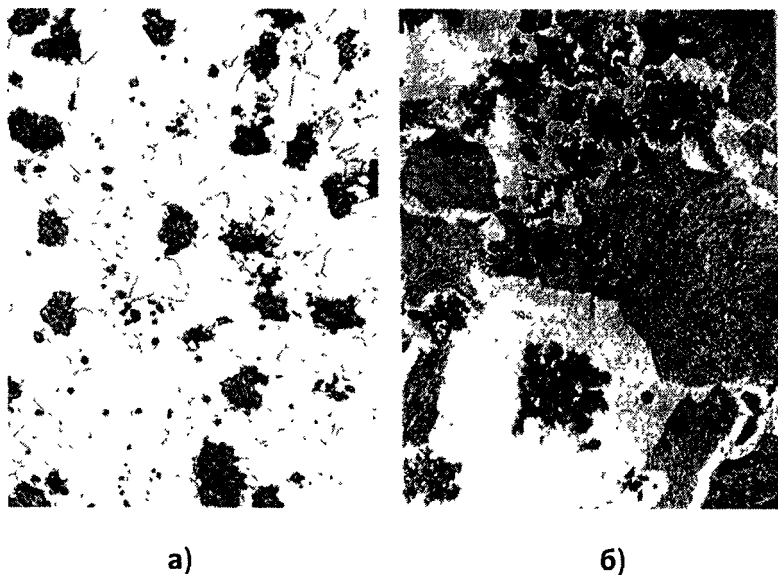


Рис. 13. Микроструктура ковкого чугуна. а) ферритного класса;
б) перлитного класса

В зависимости от режима термической обработки получают *ковкие чугуны на ферритной (феррит + графит) или на перлитной основе (феррит + перлит + графит) основе.*

В зависимости от состава микроструктуры металлической основы ковкий чугун делят на **ферритный (Ф) и перлитный (П) классы** (рис 13).

Марки, механические свойства и применение ковких чугунов

ГОСТ 1215-79 устанавливает **11 марок** ковкого чугуна. Он регламентирует механические свойства ковкого чугуна (временное сопротивление при растяжении, относительное удлинение, твёрдость).

Отливки изготавливают из ковкого чугуна **следующих марок**: **КЧ 30-6; КЧ 33-8; КЧ 35-10; КЧ 37-12 ферритного класса**, характеризующегося ферритной или ферритно-перлитной структурой металлической основы и **КЧ 45-7; КЧ 50-5; КЧ 55-4; КЧ 60-3; КЧ 65-3; КЧ 70-2; КЧ 80-1,5 перлитного класса**(в основном с перлитной структурой металлической основы).

По своим литейным и механическим свойствам ковкий чугун занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью.

По сравнению со сталью ковкий чугун более дешёвый, имеет лучшие литейные свойства, повышенную демпфирующую способность, меньшую чувствительность к надрезам. Отливки из ковкого чугуна в результате отжига почти полностью свободны от остаточных напряжений.

По сравнению с серым чугуном ковкий чугун более пластичный, вязкий и прочный. Серьёзным конкурентом ковкого чугуна является высокопрочный чугун, у которого высокие механические свойства могут быть получены при менее сложных технологических процессах.

Для повышения механических свойств (твёрдости, износостойкости и прочности) ковкий чугун подвергают нормализации или закалке с высоким отпуском для получения зернистого перлита.

Механические свойства ковких чугунов должны соответствовать требованиям, указанным в табл.3.

Обычный состав ковкого чугуна **2,4 –2,8 % углерода, 0,8–1,4% кремния, менее 1,0% марганца, до 0,2 % фосфора, до 0, 1% серы.**

Ковкие чугуны состоят из тех же структурных составляющих (**феррит, перлит и графит**), что и серые чугуны, но в отличие от них обладают большей пластичностью.

Ферритный чугун обладает более высокой пластичностью, чем перлитный, но более высокая твёрдость перлитного чугуна обеспечивает лучшую стойкость против износа.

Хлопьевидный графит по сравнению с пластинчатым графитом серого чугуна в меньшей степени расчленяет металлическую основу, повышая прочность, пластичность и вязкость отливок.

В зависимости от структуры металлической основы (матрицы) различают **ферритный и перлитный ковкий чугун**. Ферритный чугун более мягкий и пластичный, перлитный – более прочный и хрупкий и износостойкий.

На практике чаще получают отливки из ферритного чугуна. **Ферритный ковкий чугун** называется чёрносердечным, так как его излом имеет бархатисто-чёрный цвет из-за наличия большого количества графита. **Перлитный чугун** с небольшим количеством графита имеет светлый блестящий излом и поэтому называется белосердечным.

Табл.3. Механические свойства ковких чугунов

Марки чугуна	Временное сопротивление разрыву, МПа (кгс/мм ²), не менее	Относительное удлинение, %, не менее	Твёрдость по Бринеллю НВ
КЧ 30-6	294 (30)	6	100–163
КЧ 33-8	323 (33)	8	100–163
КЧ 35-10	333 (35)	10	100–163
КЧ 37-12	362 (37)	12	110–163
КЧ 45-7	441 (45)	7	150–207
КЧ 50-5	490 (50)	5	170–230
КЧ 55-4	539 (55)	4	192–241
КЧ 60-3	588 (60)	3	200–269
КЧ 65-3	637 (65)	3	212–269
КЧ 70-2	686 (70)	2	241–285
КЧ80-1,5	784 (80)	1,5	270–320

По своим механическим свойствам ковкие чугуны занимают промежуточное положение между сталями и серыми чугунами.

Из ковкого чугуна изготавливают некоторые строительные детали, например кронштейны и фитинги (соединительные части для трубопроводов). Ковкий чугун широко применяют в машиностроении, в частности при изготовлении некоторых деталей сельскохозяйственных машин, автомобилей, судов. Из него изготавливают детали высокой прочности, работающие в тяжёлых условиях износа, способные воспринимать ударные и знакопеременные нагрузки. Большая плотность отливок ковкого чугуна позволяет изготавливать детали водо-, газопроводных установок, хорошие литейные свойства исходного белого чугуна – отливки сложной формы.

6. Применение чугунных изделий в строительстве

Чугунные изделия получили широкое распространение в современном гражданском, промышленном, сельскохозяйственном и транспортном строительстве

Среди них в первую очередь следует назвать **санитарно-технические изделия** и оборудование, например, **отопительные радиаторы, ванны, мойки, вентили**. **Чугунные трубы** применяют для стояков санитарно-технических кабин, канализационных сетей, для отвода промышленных вод .

К весьма распространённым строительным изделиям из чугуна относят **люки колодцев, трубы водопроводные и канализационные**, фасонные изделия к ним, **чугунная запорная арматура, плитки для полов**.

В помещениях, где полы выдерживают большие ударные нагрузки, для их покрытия используют **гладкие и рифлёные чугунные дырчатые и штампованные плиты**. Чугунные плиты с опорными выступами предназначены для горячих цехов (кузнечных, сталеплавильных, литейных, прокатных). Их применяют в залах, где пол нагревается до температуры **1000 – 1400° С** (остывание на полу раскалённых металлических болванок и деталей, попадание расплавленного металла в виде брызг).

Чугунные литые изделия изготавливают различными способами, среди которых наиболее простым является литьё в формы. Прогрессивные формы литья чугуна – под давлением и центробежный.

В строительстве находят применение все виды рассмотренных чугунов с графитным включением

Серые чугуны используются в строительных конструкциях, работающих на статическую сжимающую нагрузку (*колонны, фундаментные плиты, опорные плиты под фермы, балки, арки канализационные трубы, люки*),. Их используют для литья печных приборов (*топочные дверцы, задвижки, колосники, решётки*) , а также *архитектурно-художественных изделий*.

Высокопрочные и ковкие чугуны, обладающие повышенной прочностью, пластичностью и вязкостью, используют в конструкциях, подвергающихся динамической и вибрационной нагрузке и износу (*полы промышленных зданий, фундаменты тяжёлого кузнечно-прессового оборудования, подфемные опоры железнодорожных и автодорожных мостов, тубинги для крепления ответственных транспортных тоннелей* под землёй, в горах

Широко используются *конструкции чугунных обделок перегонных, станционных и эскалаторных тоннелей отечественного метрополитена*. из рядового серого чугуна марки **СЧ 20** и чугуна повышенной прочности марки **СЧ 35**.

Повсеместно применяются чугунные обделки в особо тяжёлых инженерно-геологических условиях заложения тоннелей. Практически единственным недостатком чугунных обделок принято считать их большую металлоёмкость т, вследствие этого – относительно высокую стоимость.

В отечественном метростроении эксплуатируются чугунные тубинги диаметром **5,5 – 6,0** м шириной кольца **0,75 – 1,0** м и массой **6 – 8** т. **Классический тубинг** – сегмент кольца круговой тоннельной обделки, имеет С или Е-образное поперечное сечение, отливается из серого чугуна марки **С 20** и работает в кольце на внецентренное сжатие.

Обделкой в сложных горно-геологических условиях служат чугунные тьюбинги, в более благоприятных условиях блоки или тьюбинги сборного железобетона, который в несколько раз дешевле. Выбор материала – чугуна или железобетона – зависит от степени обводненности грунта. Чугунные тьюбинги водонепроницаемы в отличие от железобетона.

7. Задание для студентов и порядок выполнения лабораторной работы

Тема данной лабораторной работы – «**Микроструктура чугунов и её влияние на механические свойства чугунов**»

Во время занятий студенты изучают микроструктуру белых, серых, высокопрочных и ковких чугунов и устанавливают связь между структурой и свойствами чугуна.

Задание

- ознакомиться с процессом приготовления микрошлифов, устройством металлографического микроскопа и методикой работы на нём
- изучить диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов и начертить её часть, относящуюся к области белых чугунов;
- охарактеризовать фазы и структурные составляющие белых чугунов;
- исследовать структуру белых, серых, высокопрочных и ковких чугунов;

- определить вид чугуна по характеру графитовых включений и структуры металлической основы;
- ознакомиться с процессом графитизации чугунов;
- изучить маркировку и возможные области применения чугунов;

Порядок выполнения работы

1. **Вычертить в масштабе дважды** правую часть цементитной диаграммы, относящуюся к области белых чугунов. На одной из них распределить структурные составляющие, а на другой фазы (см. рис...).
2. **Рассмотреть** под микроскопом коллекцию шлифов белых, серых, высокопрочных и ковких чугунов. и описать структуру.
3. **Зарисовать микроструктуру** доэвтектических, эвтектических и заэвтектических белых чугунов. (см. рис.)
4. **Зарисовать** различные виды графитовых включений.
5. **Зарисовать микроструктуру** серых чугунов на ферритной, ферритно-перлитной и перлитной металлической основе (см.рис.).
6. **Зарисовать микроструктуру** высокопрочных чугунов на ферритной и перлитной основе (см.рис.).
7. **Зарисовать микроструктуру структуру** ковких чугунов на ферритной и перлитной (см.рис.).

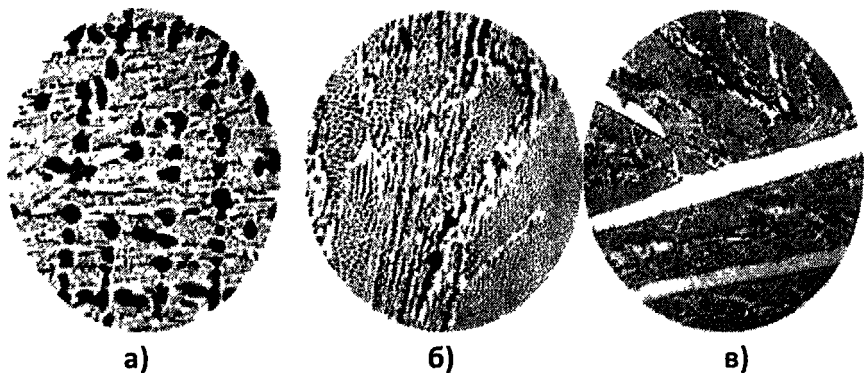


Рис. 14 .Микроструктура белых чугунов.: а) доэвтектический (П +Ц2 + Л_н); б) эвтектический (Л_н); в) заэвтектический(Л_н+Ц₁)



Рис. 15 Микроструктура серого чугуна на ферритной основе (разветвлённые пластины графита (темные) и зёрна феррита.

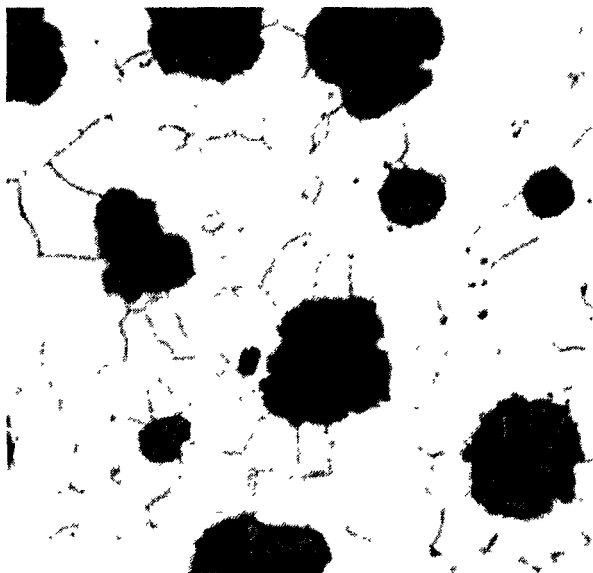


Рис. 16 .Микроструктура высокопрочного чугуна с шаровидным графитом на ферритной основе (Ф + Г)



Рис. 17. Микроструктура ковкого чугуна на ферритной основе (Ф + Г)

8. Контрольные вопросы и задачи

1. Нарисуйте **область белых чугунов** цементитной диаграммы и распределите в ней **структурные составляющие**.
2. В чём заключается **эвтектическое превращение** в железоуглеродистых сплавах.
3. При какой температуре и в сплавах какого состава происходит **эвтектическое превращение**?
4. Дайте определение **чугунам** и **белым чугунам**.
5. Как классифицируют **чугуны по микроструктуре**?
6. Какова структура **дозэвтектических, эвтектических и заэвтектических белых чугунов** при комнатной температуре?
7. Какие фазы образуют **эвтектику**?
8. Как называется **эвтектика** железоуглеродистых сплавов и каково в ней содержание углерода?
9. Дайте определение **перлиту** и **ледебуриту**.
10. Сколько углерода содержится в **цементите** и **ледебурите**?
11. Назовите **структурные составляющие** и **фазы доэвтектических, эвтектических и заэвтектических белых чугунов**.
12. Какие структурные превращения происходят в сплавах, содержащих **3% и 5% углерода** при медленном охлаждении из расплавленного состояния?

13. Дайте определение **белым, серым, высокопрочным и ковким чугунам**.
14. На какие группы подразделяются **белые чугуны по микро-структуре?**
15. Что представляет собой структура **ледебурит?**
16. Какими свойствами обладают **белые чугуны?**
17. Какова структура **серого Чугуна?**
18. Какие виды **металлической основы** присутствуют в **серых чугунах?**
19. Какое влияние оказывает **металлическая основа** на механические свойства **литейных чугунов?**
20. В какой форме могут находиться **графитовые включения** в **литейных чугунах?**
21. Какое влияние оказывает **форма графита** на механические свойства?
22. Что представляет собой **процесс графитизации?**
23. Как маркируются **серые, высокопрочные и ковкие чугуны?**
24. Охарактеризуйте **чугуны марки СЧ 30, ВЧ 40 и КЧ 50-5**.
25. На какие группы подразделяют **чугуны?**
26. Какую диаграмму состояния используют при анализе микро-структуры **белых чугунов?**
27. Почему **белый чугун** имеет ограниченное использование?

28. Какова структура **белых доэвтектических, эвтектических и заэвтектических чугунов?**
29. Как классифицируют **чугуны по способу производства?**
30. Как классифицируют **чугуны по состоянию углерода?**
31. Как классифицируют **литейные чугуны по форме графитных включений?**
32. Как классифицируют **чугуны по типу структуры металлической основы?**
33. Дайте определение **серым чугунам.**
34. Нарисуйте **структурную диаграмму** серых чугунов.
35. Как разделяют **серые чугуны по металлической основе?**
36. Перечислите и охарактеризуйте **марки серых чугунов.**
37. Чем отличаются по механическим свойствам **серые чугуны от белых?**
38. Дайте определение **высокопрочным чугунам.**
39. Перечислите и охарактеризуйте **марки высокопрочных чугунов.**
40. Дайте определение **ковким чугунам.**
41. Каким образом получают **ковкие чугуны?**
42. Подвергают ли ковке изделия из **ковкого чугуна?**
43. Перечислите и охарактеризуйте **марки ковких чугунов?**

Список литературы

1. Шейкин А.Е. Строительные материалы/ Учебник для вузов.– М.: Стройиздат, 1978. 432 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение./Учебник для вузов.– М.: Металлургия, 1977. 647 с.
3. Мозберг Р.К. Материаловедение./Учебное пособие.– Таллин, Изд-во «Валгус», 1976. 554 с.
4. Основы материаловедения./Учебник для вузов./под ред. Сидорина И.И.– М.: .Машиностроение, 1976. 436 с.
- 5.
6. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов/ Учебник для вузов.– М.: Металлургия, 1983. 360 с.
7. Технология металлов и сварка./Учебник для вузов / под общ. ред. Полухина И.И.– М. Высшая школа, 1977. 464 с.