

# Чугуны

Курс лекций

для специалистов-техников по специальностям с  
машиностроительным уклоном

Богородский политехнический техникум

Преподаватель Кабатов В.М.

## Железоуглеродистые сплавы с высокими литейными свойствами.

- Литейные свойства сплавов оценивают жидкотекучестью, усадкой, а так же склонностью к образованию пористости, ликвации, горячих и холодных трещин. 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.
- Сплав железа с углеродом ( $>2,14\%$  C) называют чугуном

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА

- *Литейные свойства*

- *Жидкотекучесть*

- *Ликвация*

- *Усадка при кристаллизации*

- склонностью к образованию горячих и холодных трещин

- склонностью к образованию пористости

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА

- **Жидкотекучесть** — способность металла или сплава в расплавленном состоянии заполнять литейную форму.
- **Усадкой** называется уменьшение объема расплавленного металла или сплава при его затвердевании.
- **Ликвация** — неоднородность химического состава сплавов, возникающая при их кристаллизации.

# Графитизация

- В результате превращения углерод может не только химически взаимодействовать с железом, но и выделяться в элементарном состоянии в форме графита. Графит – это полиморфная модификация углерода. При высоких температурах цементит разлагается с выделением графита. **Процесс образования графита в сплавах железа с углеродом называется графитизацией.**
- Графитизацию из жидкой фазы, а также от распада цементита первичного и цементита, входящего в состав эвтектики, называют *первичной стадией графитизации*.
- Выделение вторичного графита из аустенита называют *промежуточной стадией графитизации*.
- Образование эвтектоидного графита, а также графита, образовавшегося в результате цементита, входящего в состав перлита, называют *вторичной стадией графитизации*.
- Структура чугунов зависит от степени графитизации, т.е. от того, сколько углерода находится в связанном состоянии.

# Влияние графита на механические свойства отливок

- Графитовые включения можно рассматривать как соответствующей формы пустоты в структуре чугуна. Около таких дефектов при нагружении концентрируются напряжения, значение которых тем больше, чем острее дефект. Отсюда следует, что **графитовые включения** пластинчатой формы в максимальной мере **разупрочняют металл**. Более благоприятна хлопьевидная форма, а оптимальной является шаровидная форма графита. Пластичность зависит от формы таким же образом. Относительное удлинение ( $\delta$ ) для серых чугунов составляет 0,5 %, для ковких – до 10 %, для высокопрочных – до 15%.
- Наличие графита наиболее резко снижает сопротивление при жестких способах нагружения: удар; разрыв. Сопротивление сжатию снижается мало

# Положительные стороны наличия графита

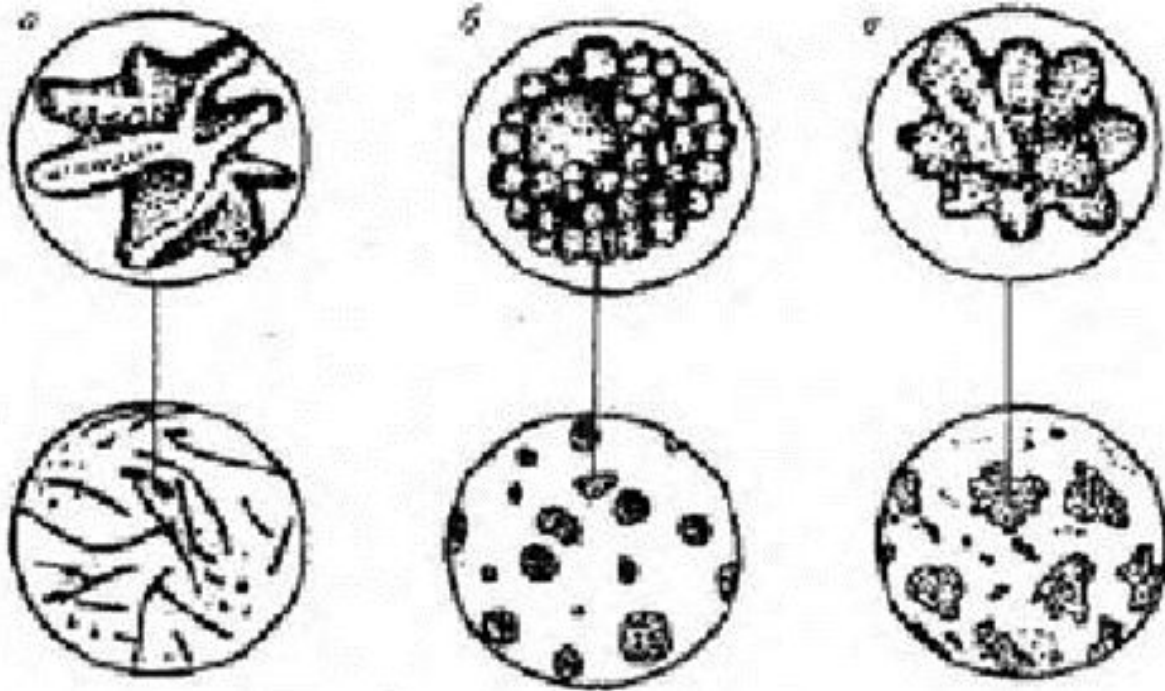
- графит улучшает обрабатываемость резанием, так как образуется ломкая стружка;
- чугун имеет лучшие антифрикционные свойства, по сравнению со сталью, так как наличие графита обеспечивает дополнительную смазку поверхностей трения;
- из-за микропустот, заполненных графитом, чугун хорошо гасит вибрации и имеет повышенную циклическую вязкость;
- детали из чугуна не чувствительны к внешним концентраторам напряжений (выточки, отверстия, переходы в сечениях);
- чугун значительно дешевле стали;
- производство изделий из чугуна литьем дешевле изготовления изделий из стальных заготовок обработкой резанием, а также литьем и обработкой давлением с последующей механической обработкой.

# Классификация чугунов.

- **Структура чугунов состоит из металлической основы** (металлическая основа похожа на структуру эвтектоидной или доэвтектоидной стали или технического железа) **и графитовых включений**, определяющих специальные свойства чугунов.
- Признаки классификации чугуна :
  - — *по состоянию углерода* — свободный или связанный;
  - — *по форме включений графита* — пластинчатый, шаровидный, хлопьевидный
  - — *по типу структуры металлической основы (матрицы)* — ферритный, перлитный; со смешанной структурой: например феррито-перлитные;
  - — *по химическому составу* — нелегированные чугуны (общего назначения) и легированные чугуны (специального назначения).



# Структура чугуна с графитом различной формы:



- а — пластинчатый графит в сером чугуне;*  
*б — шаровидный графит в высокопрочном чугуне;*  
*в — хлопьевидный графит в ковком чугуне*

# Классификация чугунов

В зависимости от формы выделения углерода в чугуне различают:

- **белый чугун**, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита  $Fe_3C$ ;
- *половинчатый чугун*, в котором основное количество углерода (более 0,8 %) находится в виде цементита;
- серый чугун**, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита;
- *отбеленный чугун*, в котором основная масса металла имеет структуру серого чугуна, а поверхностный слой — белого;
- **высокопрочный чугун**, в котором графит имеет шаровидную форму;
- **ковкий чугун**, получающийся из белого путем отжига, при котором углерод переходит в свободное состояние в виде хлопьевидного графита

- **Чугун**

- Белый

- серый

- Высокопрочный

- ковкий

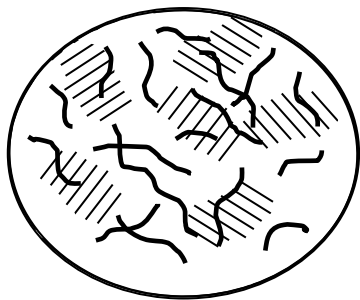
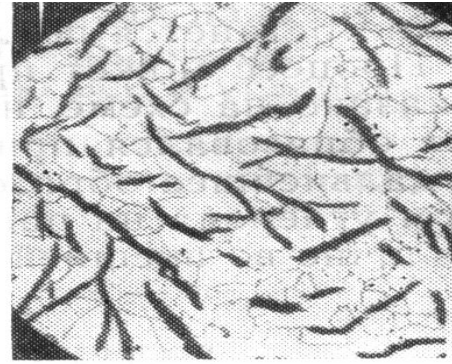
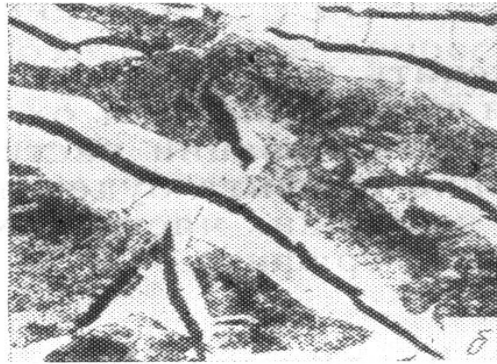
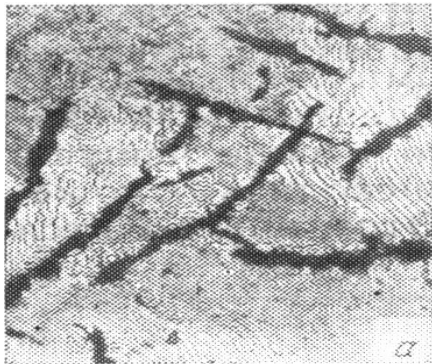
# Серый чугун

- Структура не оказывает влияние на пластичность, она остается чрезвычайно низкой. Но оказывает влияние на твердость. Механическая прочность в основном определяется количеством, формой и размерами включений графита. Мелкие, завитой формы чешуйки графита меньше снижают прочность. Такая форма достигается путем модифицирования. В качестве модификаторов применяют алюминий, силикокальций, ферросилиций.
- Серый чугун широко применяется в машиностроении, так как легко обрабатывается и обладает хорошими свойствами.
- В зависимости от прочности серый чугун подразделяют на 10 марок.
- Серые чугуны при малом сопротивлении растяжению имеют достаточно высокое сопротивление сжатию.
- Серые чугуны содержат углерода – 3,2...3,5 %; кремния – 1,9...2,5 %; марганца – 0,5...0,8 %; фосфора – 0,1...0,3 %; серы – < 0,12 %.

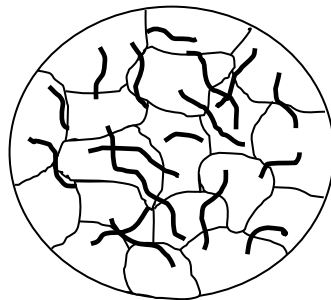
# Серый чугун

- С увеличением содержания углерода и кремния увеличивается степень графитизации и склонность к образованию ферритной структуры металлической основы. Это ведет к разупрочнению чугуна без повышения пластичности. Лучшими прочностными свойствами и износостойкостью обладают перлитные серые чугуны.
- Учитывая малое сопротивление отливок из серого чугуна растягивающим и ударным нагрузкам, **следует использовать этот материал для деталей, которые подвергаются сжимающим или изгибающим нагрузкам. Это – базовые, корпусные детали, кронштейны, зубчатые колеса, направляющие; в автостроении - блоки цилиндров, поршневые кольца, распределительные валы, диски сцепления.** Отливки из серого чугуна также используются в электромашиностроении, для изготовления товаров народного потребления.
- Обозначаются индексом СЧ (серый чугун) и числом, которое показывает значение предела прочности, умноженное на 10 (СЧ 15-серый чугун предел прочности при растяжении-150 МПа (15кгс/мм<sup>2</sup>)).

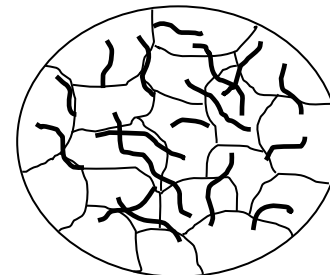
# Структура серых чугунов и схемы их зарисовки



*a*



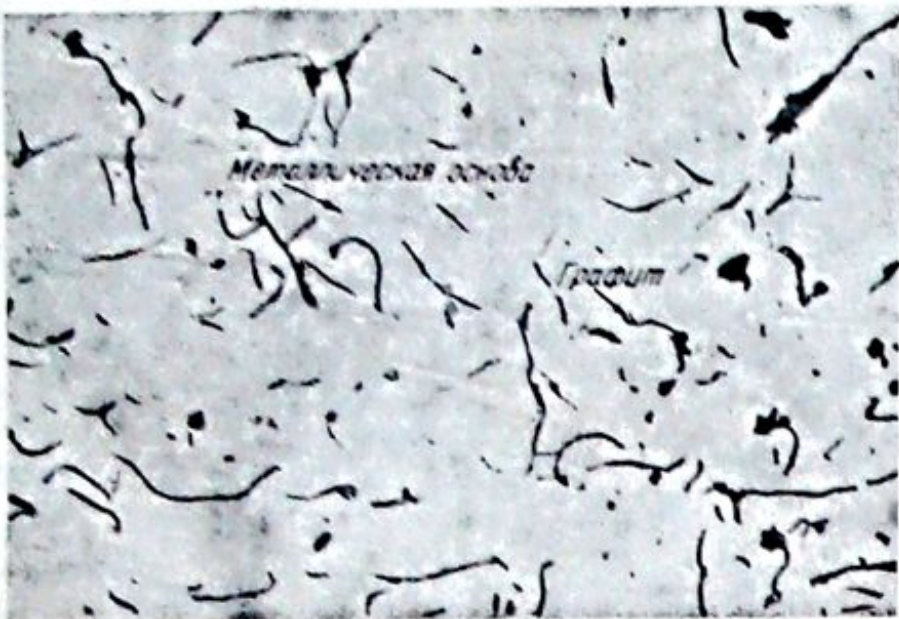
*б*



*в*

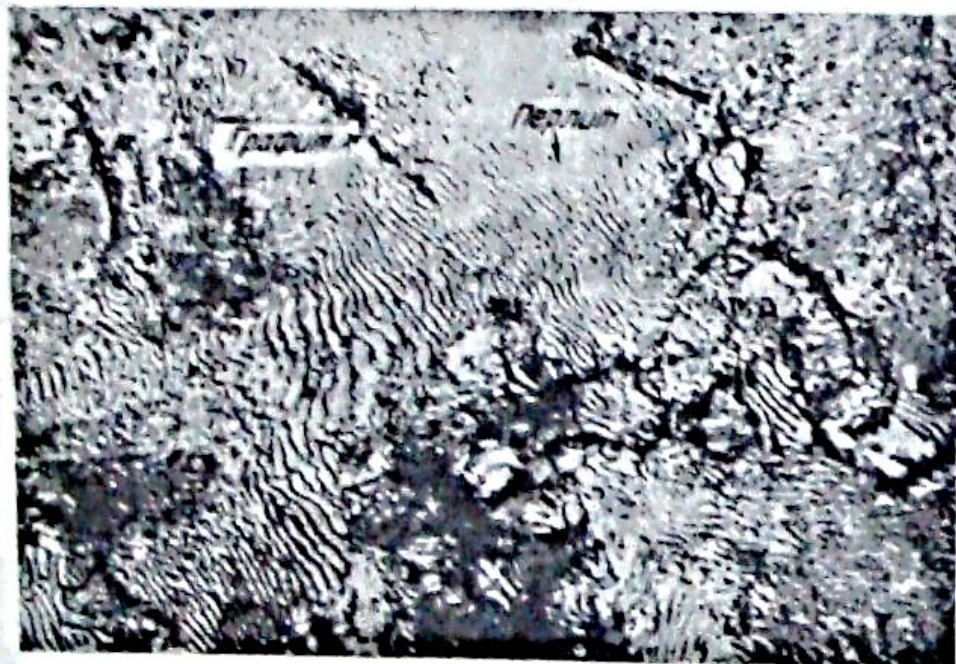
*a* – перлитный чугун, х 200; *б* – ферритно-перлитный чугун, х100,  
*в* – ферритный чугун, х100

# СЕРЫЙ ЧУГУН



ДО ТРАВЛЕНИЯ

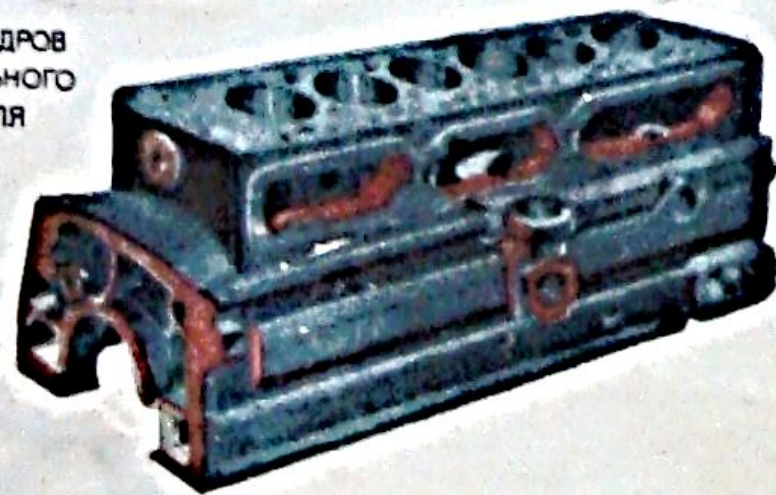
× 300



ПОСЛЕ ТРАВЛЕНИЯ

× 1000

БЛОК ЦИЛИНДРОВ  
АВТОМОБИЛЬНОГО  
ДВИГАТЕЛЯ



УДЛИНЕНИЕ 0,2%

## Высокопрочный чугун с шаровидным графитом.

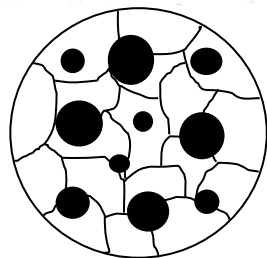
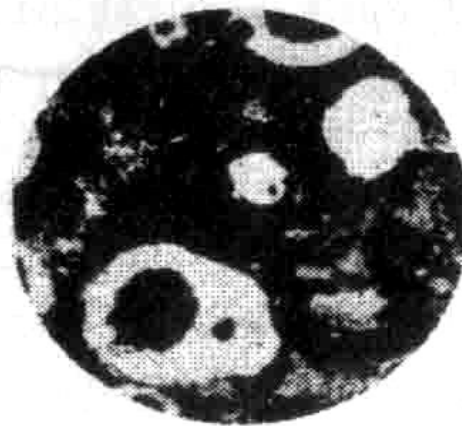
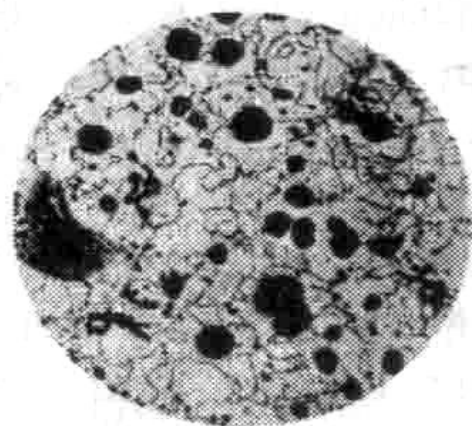
- Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293) могут иметь ферритную (ВЧ 35), феррито-перлитную (ВЧ45) и перлитную (ВЧ 80) металлическую основу.
- **Получают из серых, в результате модифицирования магнием или церием** (добавляется 0,03...0,07% от массы отливки). По сравнению с серыми чугунами, механические свойства повышаются, это вызвано отсутствием неравномерности в распределении напряжений из-за шаровидной формы графита.
- Содержат: углерода – 3,2...3,8 %, кремния – 1,9...2,6 %, марганца – 0,6...0,8 %, фосфора – до 0,12 %, серы – до 0,3 %.
- Эти чугуны обладают высокой жидкотекучестью, линейная усадка – около 1%. Достаточно высокая обрабатываемость резанием. Обладают удовлетворительной свариваемостью.

# Высокопрочный чугун

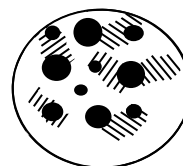
- Из высокопрочного чугуна **изготавливают тонкостенные отливки (поршневые кольца), шаботы ковочных молотов, станины и рамы прессов и прокатных станов, изложницы, резцедержатели, планшайбы.**
- Отливки коленчатых валов массой до 2..3 т, взамен кованых валов из стали, обладают более высокой циклической вязкостью, малочувствительны к внешним концентраторам напряжения, обладают лучшими антифрикционными свойствами и значительно дешевле.
- **Обозначение - ВЧ (высокопрочный чугун) и числами, которое показывают:**
- **1) значение предела прочности при растяжении, умноженное на 10;**
- **2) относительное удлинение.**
- **ВЧ 50-2** это высокопрочный чугун с пределом прочности при растяжении  $\sigma_B = 500 \text{ Мпа}$  ( $50 \text{ кгс/мм}^2$ ) и относительным удлинением  $\delta = 2\%$



# Структуры высокопрочных чугунов и схемы их зарисовки

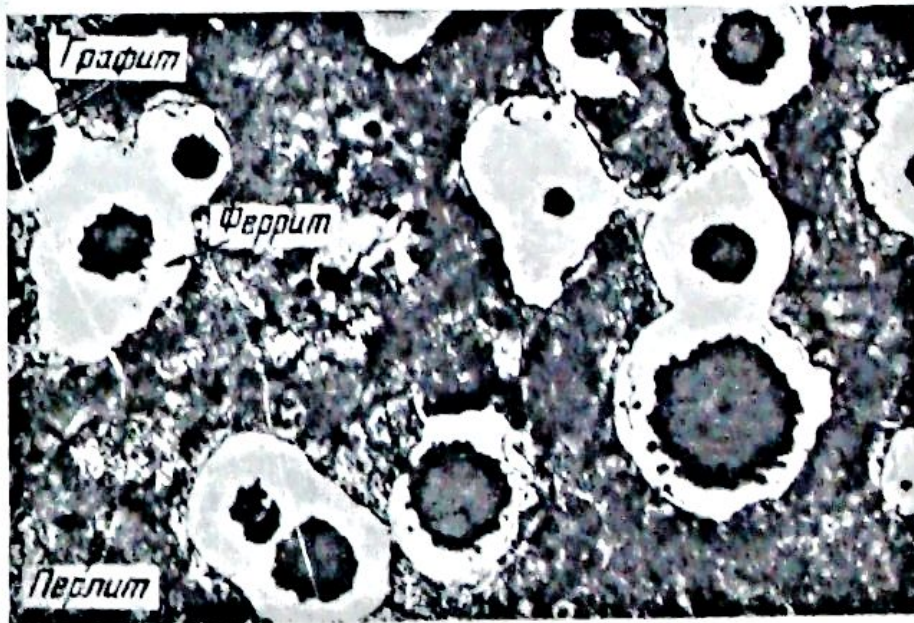


*a*



*б*

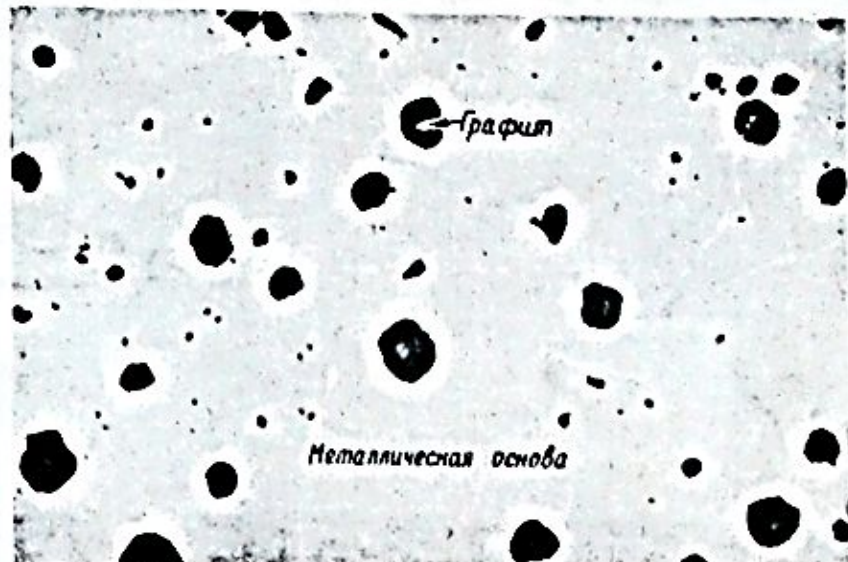
*a* – высокопрочный чугун на ферритной основе;  
*б* – высокопрочный чугун на ферритно-перлитной  
основе



ПОСЛЕ ТРАВЛЕНИЯ

× 300

## ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН



ДО ТРАВЛЕНИЯ

× 300

## КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ



ПРЕДЕЛ  
ПРОЧНОСТИ  
ПРИ  
РАСТЯЖЕ-  
НИИ  
60 кг/мм<sup>2</sup>



УДЛИНЕНИЕ 5%

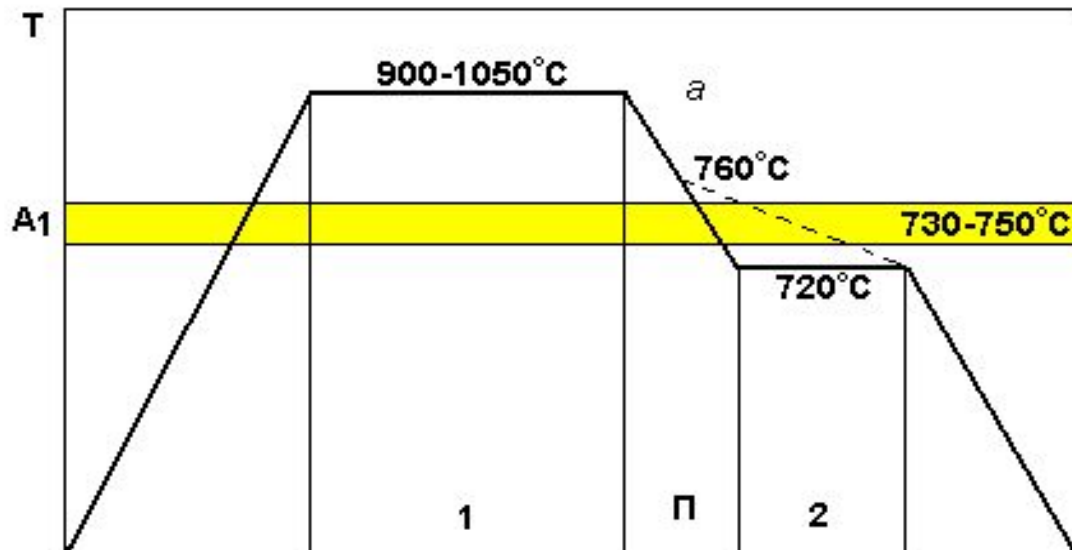
# Ковкий чугун

- **Получают отжигом белого доэвтектического чугуна.**
- Хорошие свойства у отливок обеспечиваются, если в процессе кристаллизации и охлаждения отливок в форме не происходит процесс графитизации. Чтобы предотвратить графитизацию, чугуны должны иметь пониженное содержание углерода и кремния.
- Содержат: углерода – 2,4...3,0 %, кремния – 0,8...1,4 %, марганца – 0,3...1,0 %, фосфора – до 0,2 %, серы – до 0,1 %.
- Отливки из ковкого чугуна **применяют для деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках.**
- Из ферритных чугунов изготавливают **картеры редукторов, ступицы, крюки, скобы, хомутики, муфты, фланцы..**

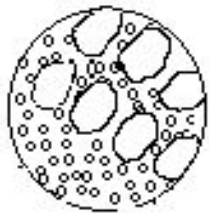
# КОВКИЙ ЧУГУН

- Отливки выдерживаются в печи при температуре 950...1000°C в течении 15...20 часов. Происходит разложение цементита.
- Различают 7 марок ковкого чугуна: три с ферритной (КЧ 30 – 6) и четыре с перлитной (КЧ 65 – 3) основой (ГОСТ 1215). По механическим и технологическим свойствам ковкий чугун занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью. Недостатком ковкого чугуна по сравнению с высокопрочным является ограничение толщины стенок для отливки и необходимость отжига.
- Маркировка: КЧ 35-10 **Ковкий чугун**, предел прочности при растяжении  **$\sigma_B = 350 \text{ МПа}$  (35кгс/мм<sup>2</sup>)** и относительным удлинением  **$\delta = 10\%$**

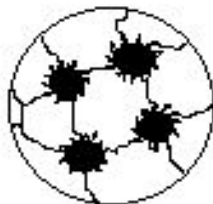
# График режима отжига на ковкий чугун



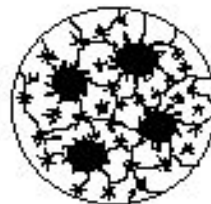
б



в



г



д

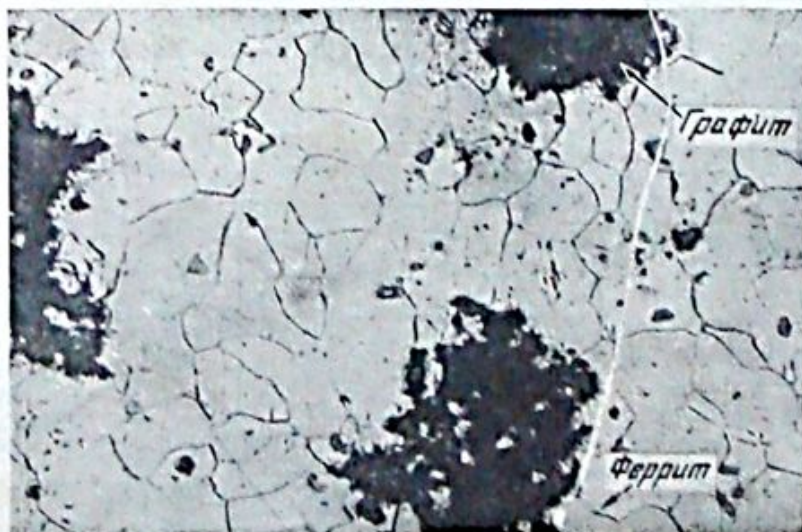
б – исходная структура доэвтектического белого чугуна;  
в – структура белого чугуна при высокой температуре (900–1050 °С) до начала процесс графитизации (в начальном этапе выдержки);  
г – по окончании выдержки при температуре 900–1050 °С;  
д – после окончания второй стадии графитизации (конечная структура)

# НОВЫЙ ЧУГУН



ДО ТРАВЛЕНИЯ

× 300



ПОСЛЕ ТРАВЛЕНИЯ

× 300

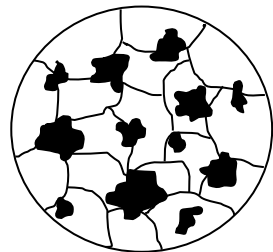
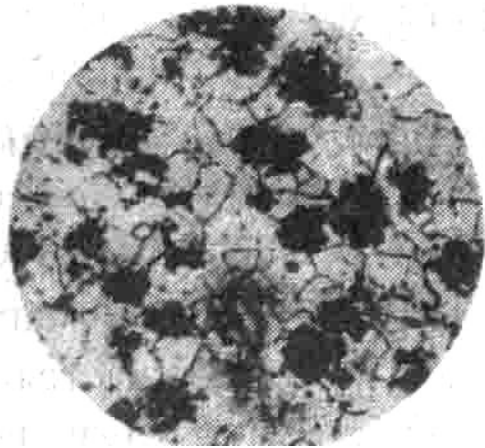
ПАЛЕЦ РЕЖУЩЕГО  
АППАРАТА КОСИЛКИ



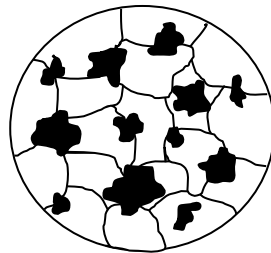
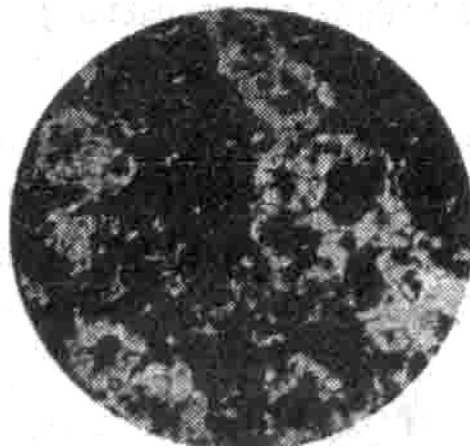
ПРЕДЕЛ  
ПРОЧНОСТИ  
ПРИ  
РАСТЯЖЕ-  
НИИ  
35 кг/мм<sup>2</sup>

УДЛИНЕНИЕ 10%

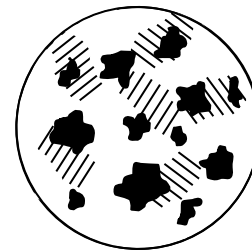
# Структуры ковких чугунов и схемы их зарисовки



*a*



*б*



*в*

***a* – ферритный ковкий чугун, ×200;**

***б* – ферритно-перлитный ковкий чугун, ×200;**

***в* – перлитный ковкий чугун, ×200**

# Отбеленные и другие чугуны

- Отбеленные – отливки, поверхность которых состоит из белого чугуна, а внутри серый или высокопрочный чугун.
- В составе чугуна 2,8...3,6 % углерода, и пониженное содержание кремния –0,5...0,8 %.
- Имеют высокую поверхностную твердость (950...1000 НВ) и очень высокую износостойкость. Используются для изготовления прокатных валов, вагонных колес с отбеленным ободом, шаров для шаровых мельниц.
- Для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного износа, используются белые чугуны, легированные хромом, хромом и марганцем, хромом и никелем. Отливки из такого чугуна отличаются высокой твердостью и износостойкостью.
- Для деталей, работающих в условиях износа при высоких температурах, используют высокохромистые и хромоникелевые чугуны. Жаростойкость достигается легированием чугунов кремнием (5...6 %) и алюминием (1...2 %). Коррозионная стойкость увеличивается легированием хромом, никелем, кремнием.
- Для чугунов можно применять термическую обработку



# Маркировка чугунов

Серый чугун маркируют буквами «С» — серый и «Ч» — чугун. Число после буквенного обозначения показывает среднее значение предела прочности чугуна при растяжении. Например, СЧ 20 — чугун серый, предел прочности при растяжении 200 МПа

Высокопрочный чугун маркируются буквами «В» — высокопрочный, «Ч» — чугун и числом, обозначающим среднее значение предела прочности чугуна при растяжении. Например, ВЧ 100- высокопрочный чугун, предел прочности при растяжении 1000 МПа (или 100

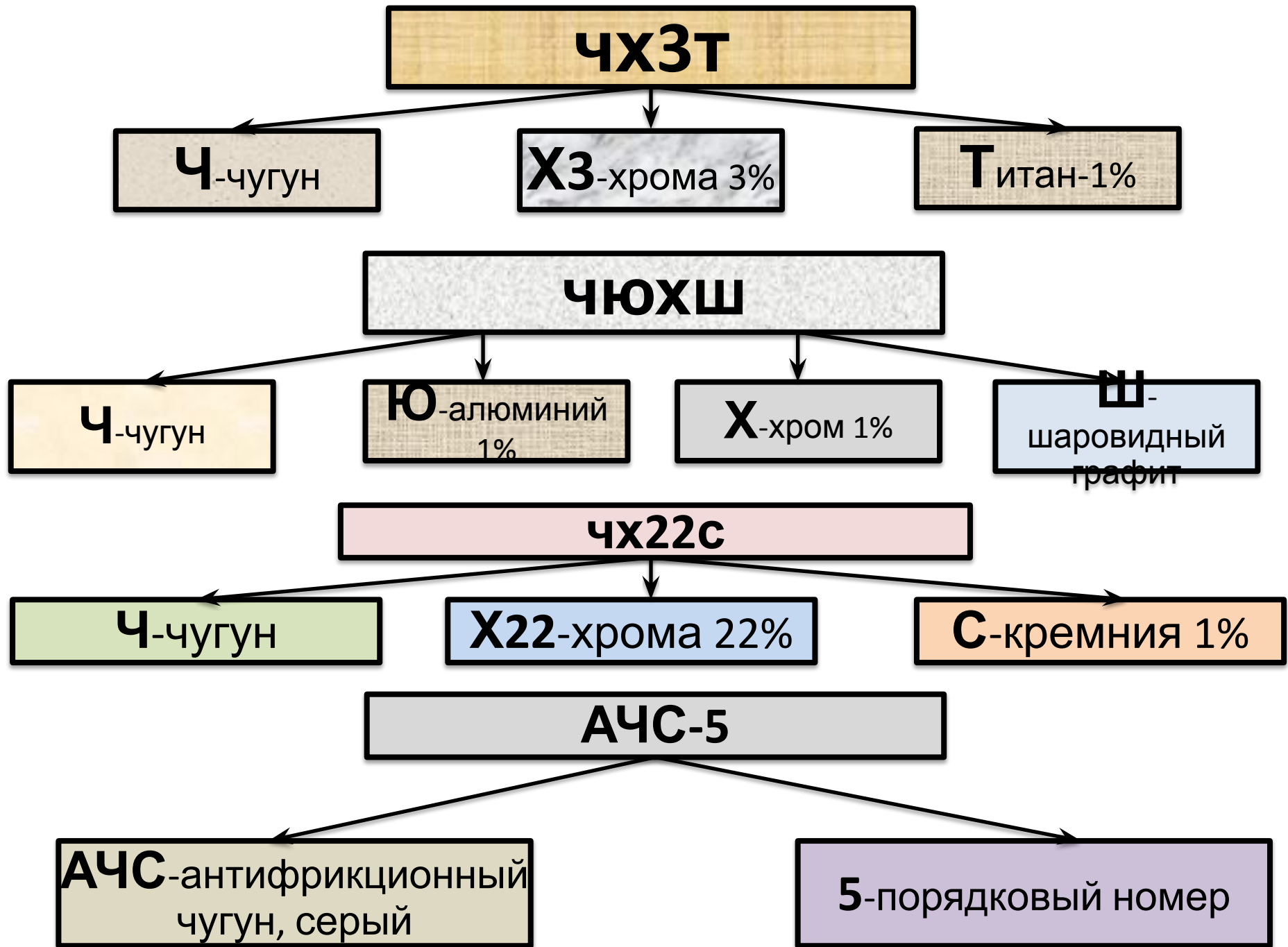
Ковкие чугуны маркируют буквами «К» — ковкий, «Ч» — чугун и цифрами. Первая группа цифр показывает предел прочности чугуна при растяжении, вторая — относительное его удлинение при разрыве. Например, КЧ 33-8 означает: ковкий чугун с пределом прочности при растяжении 33 кг/мм<sup>2</sup> (330 МПа) и относительным удлинением при

# Маркировка чугунов

Жаростойкие легированные чугуны ЧХ 2, ЧХ 3.  
Жаропрочные легированные чугуны ЧНМШ,  
ЧНИГ7Х2Ш.

Коррозионно-стойкие легированные чугуны  
марок ЧХ 1, ЧНХТ, ЧНХМД, ЧН2Х  
(низколегированные).

- Антифрикционные чугуны (АЧС-1 — АЧС-6) (АЧВ-1, АЧВ-2)



# Характеристики серого и специального (легированного)

ЧУГУН	МАРКИ	ТВЁРДОСТЬ НВ	ПРИМЕНЕНИЕ
Малой прочности	СЧ10 СЧ20	170...229	Шкивы. Блоки цилиндров, кронштейны, головки блоков цилиндров, картеры сцепления, коробки передач, корпуса водяных и масляных насосов .
Повышенной прочности	СЧ20-СЧ45	170...241	Зубчатые колёса, маховики, поршни, тормозные барабаны, гильзы блоков цилиндров, тормозные цилиндры.
Ковкий	КЧ30-6 КЧ63-2	180...249	Кронштейны рессор, педали, крышки подшипников, корпуса коробок передач и т.д.
Высокой прочности	ВЧ35-ВЧ100	180...260 (для ВЧ50)	Детали паровых турбин, детали автомобилей и тракторов(коленчатые валы, поршни) и т.д.
Износостойкий	ЧХ3Т ЧХ16 ЧХ28Д2 ЧН4Х2	440...590 440...590 440...590 440...650	Детали находящиеся в контакте с абразивом, футеровки барабанов и крышек, черпаки питателей, загрузочные патрубки, шары и т.д.
Жаростойкий	ЧЮХШ ЧЮ22Ш	180...356 235...356	Детали печного оборудования, газовых двигателей и компрессоров, колосники, горелки кокиле.
Коррозионно-стойкий	ЧХ22С ЧХ28 ЧХ32	215...340 215...270 245...370	Детали находящиеся в контакте с концентрированной азотной и фосфорной кислотами, печная арматура и т.д.
жаропрочный		120...250 120...250	Детали турбокомпрессоров криогенной техники

# Чугун антифрикционный

марки	Твёрдость НВ	Применение
АЧС-1	180...240	ДЕТАЛИ РАБОТАЮЩИЕ В ПАРЕ С ДЕТАЛЯМИ ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТИ
АЧС-6	100...120	
АЧК-1	180...241	
АЧК-2	180...241	
АЧВ-1	180...241	
АЧВ-2	180...241	

ПРИМЕЧАНИЕ. АЧК и АЧВ –соответственно ковкий и высокопрочный Антифрикционные чугуны