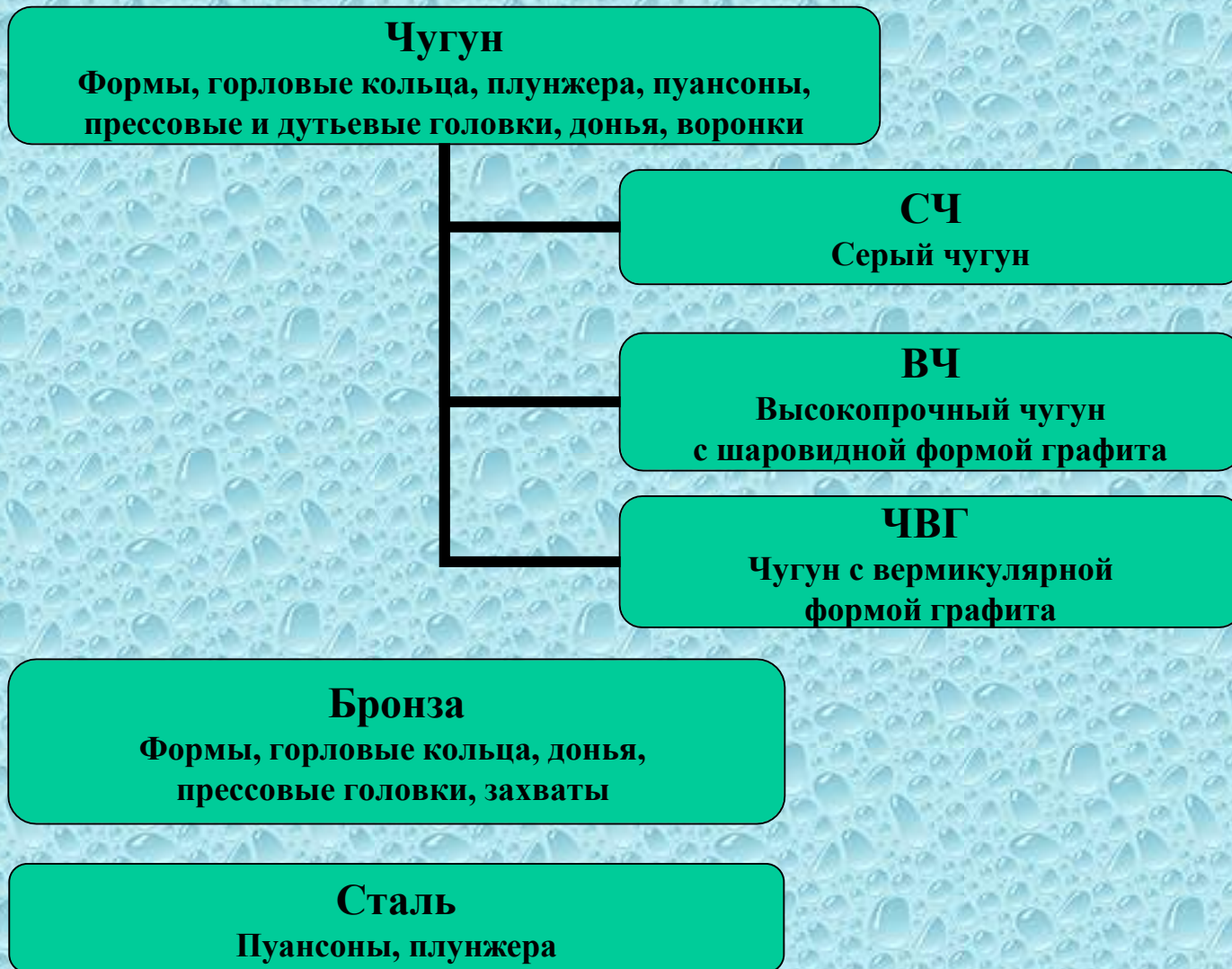


Материалы для производства формооснастки



Наиболее распространённые марки чугунов для производства формокомплектов

<i>Fonderie Valdelsane</i>	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Cr</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
<i>K250MMV</i>	<i>3,49</i>	<i>1,9</i>	<i>0,5</i>	<i>0,0</i>	<i>0,7</i>	<i>0,09</i>	<i>0,1</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,02</i>
	<i>3,65</i>	<i>2,1</i>	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>	<i>0,8</i>	<i>0,15</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,06</i>

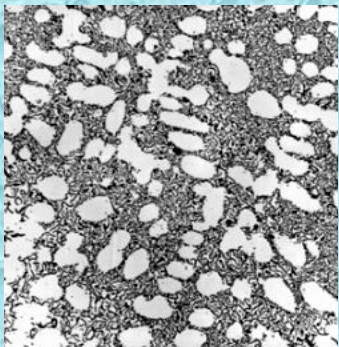
<i>OMCO Feniks</i>	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Cr</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
<i>EF-96Mo5</i>	<i>3,40</i>	<i>1,9</i>	<i>0,5</i>	<i>0,0</i>	<i>0,4</i>	<i>0,07</i>	<i>0,15</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,02</i>
	<i>3,65</i>	<i>2,1</i>	<i>0,7</i>	<i>0,5</i>	<i>0,6</i>	<i>0,15</i>	<i>0,25</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,08</i>

<i>Гласе Тулз</i>	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Cr</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
<i>ЧЗ</i>	<i>3,45</i>	<i>1,9</i>	<i>0,5</i>	<i>0,0</i>	<i>0,6</i>	<i>0,09</i>	<i>0,1</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,02</i>
	<i>3,65</i>	<i>2,1</i>	<i>0,7</i>	<i>0,5</i>	<i>0,8</i>	<i>0,15</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,06</i>

Микроструктуры низколегированных серых чугунов для производства формокомплектов

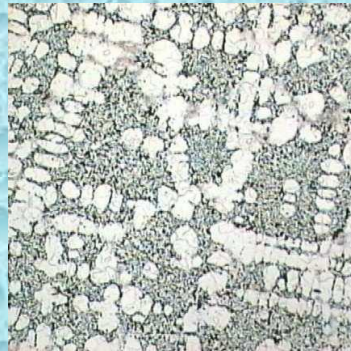
Elkem

Переохлаждённый
графит (тип D)



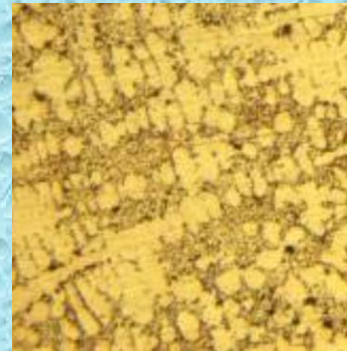
*Fonderie
Valdelsane*

K250MMV



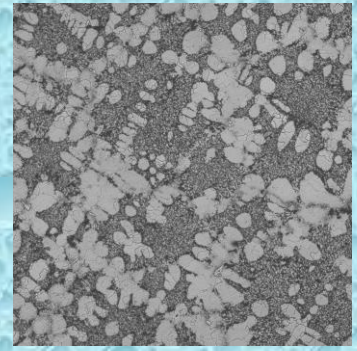
*OMCO
Feniks*

EF-96Mo5



*Гласс
Тулз*

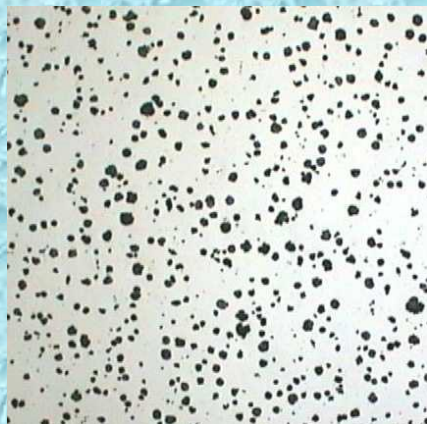
ЧЗ



Микроструктуры высокопрочных чугунов с шаровидной формой графита для производства формооснастки

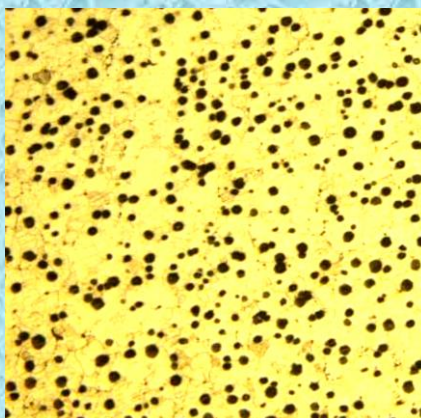
*Fonderie
Valdelsane*

K 250 GS 6/2



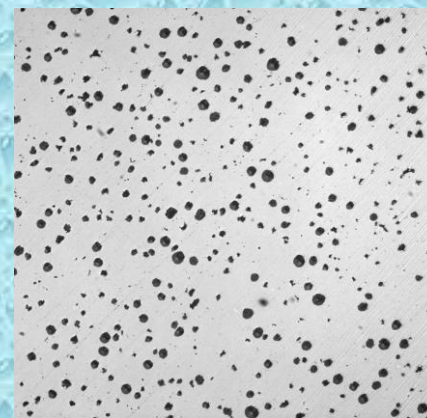
*OMCO
Feniks*

OMNOD



*Гласс
Туль*

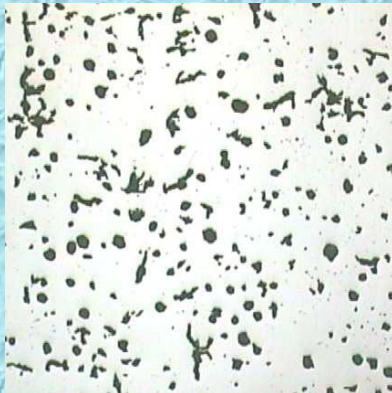
ВЧ50



Микроструктуры чугунов с вермикулярной формой графита для производства формооснастки

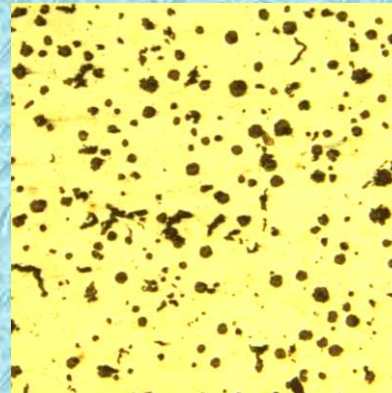
*Fonderie
Valdelsane*

K 250 GV 6/2



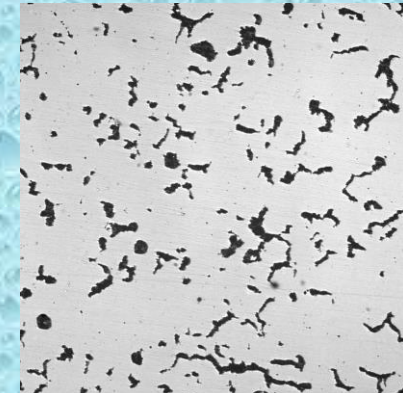
*OMCO
Feniks*

OMVER



*Гласс
Тульз*

ЧВГ45



Наиболее распространённые марки бронзы для производства формоснастки

<i>Fonderie Valdelsane</i>	<i>Al</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Pb</i>	<i>Sn</i>	<i>Cu</i>
<i>B210</i>	<i>7,0</i>	<i>14,0</i>	<i>7,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,9</i>	<i>0,45</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>Bal.</i>
	<i>10,0</i>	<i>16,0</i>	<i>9,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,1</i>	<i>0,55</i>	<i>0,1</i>	<i>0,15</i>	

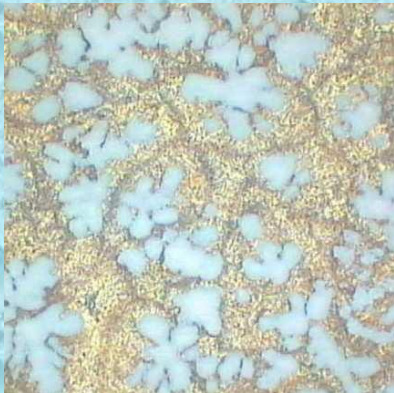
<i>OMCO Feniks</i>	<i>Al</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Pb</i>	<i>Sn</i>	<i>Cu</i>
<i>ALU-BRONS- OMX</i>	<i>9,5</i>	<i>15,0</i>	<i>7,5</i>	<i>0,0</i>	<i>0,8</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>Bal.</i>
	<i>10,0</i>	<i>16,5</i>	<i>9,0</i>	<i>1,5</i>	<i>1,2</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	

<i>Гласе Тулз</i>	<i>Al</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Pb</i>	<i>Sn</i>	<i>Cu</i>
<i>БрАЖНКЦ</i>	<i>7,0</i>	<i>13,0</i>	<i>4,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,7</i>	<i>0,1</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>Bal.</i>
	<i>9,0</i>	<i>14,0</i>	<i>5,5</i>	<i>1,2</i>	<i>1,0</i>	<i>0,45</i>	<i>0,1</i>	<i>0,15</i>	

Микроструктуры бронзы для производства формооснастки

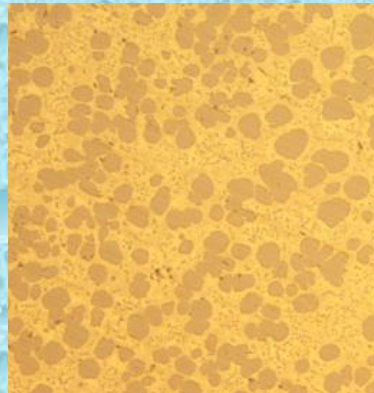
*Fonderie
Valdelsane*

B210



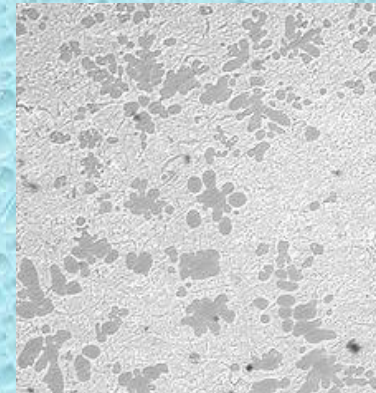
OMCO Feniks

**ALU-BRONS-
OMX**



Гласс Тулз

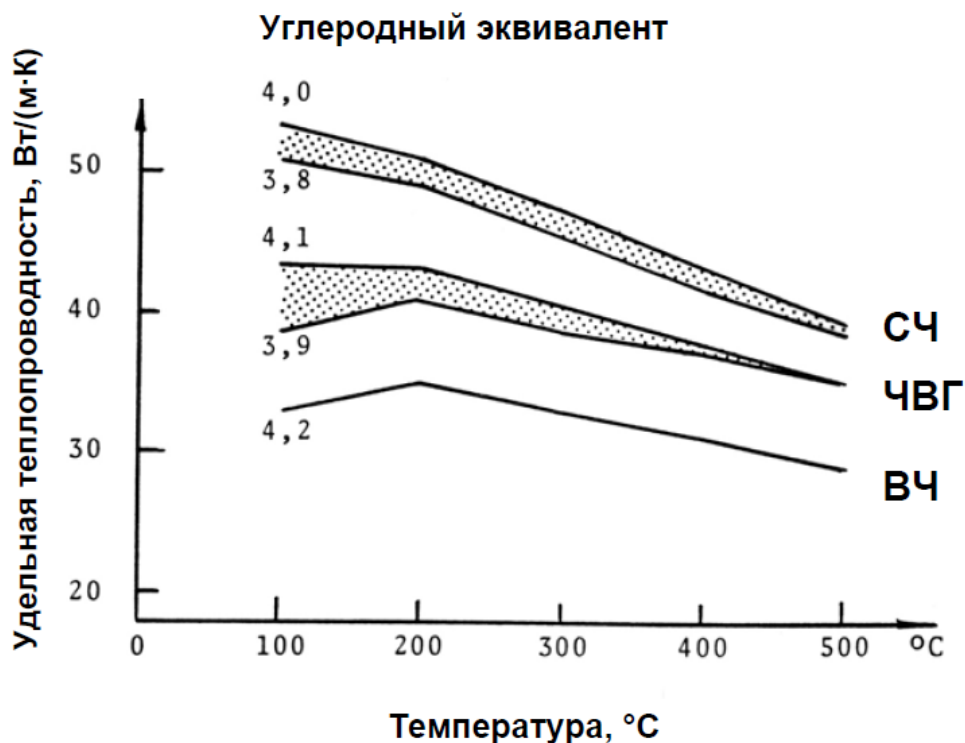
БрАЖНКЦ



Теплопроводность чугуна.

Теплопроводность чугуна в большей мере, чем другие физические свойства, зависит от структуры, ее дисперсности и мельчайших загрязнений, т. е. является структурно-чувствительным свойством.

Форма графита, его выделение и распределение также влияют на теплопроводность. Например, высокопрочный чугун имеет более низкую теплопроводность, чем серый чугун. Теплопроводность чугуна с вермикулярным графитом (ЧВГ) выше, чем у ЧШГ, и близка к λ серого чугуна с пластинчатым графитом.



Сравнение теплопроводность СЧ, ЧВГ и ВЧ как функции рабочей температуры отливки

Наименование материала	Твёрдость НВ	Теплопроводность, Вт/(м*°С)		
		60°С	250°С	500°С
Серый чугун	130-170	50-54	45-48	42-44
ВЧ с шаровидным графитом	130-180	33	33	30
ЧВГ	130-180	39-45	42-45	37-40
Бронза	180-210	75	87	97
Сталь 35	145-163	49	40	30

Краткое описание технологического процесса изготовления отливок

- Поступление заявки на изготовление изделия
- Разработка КД (проектирование модельной оснастки)
- Входной контроль поступающих шихтовых и формовочных материалов
- Изготовление модельной и технологической оснастки. Контроль качества
- Изготовление холодильников. Контроль качества
- Изготовление и подготовка литейных форм под заливку (визуальный осмотр, покраска, сборка). Контроль качества
- Плавка металла (контроль хим.состава), заливка форм (контроль температуры металла), охлаждение, выбивка
- Обрубка, очистка, зачистка (контроль геометрических размеров и внешнего вида изделий)
- Отжиг (контроль согласно диаграммы отжига, подготовка микрошлифа для контроля структуры)
- Дробемётная очистка от окалины (контроль внешнего вида и геометрических размеров на предмет коробления)

Изготовление модельной оснастки



**Входной контроль материалов и и текущий
операционный контроль осуществляется на
современном оборудовании на всех стадиях
изготовления отливки**



Изготовление форм



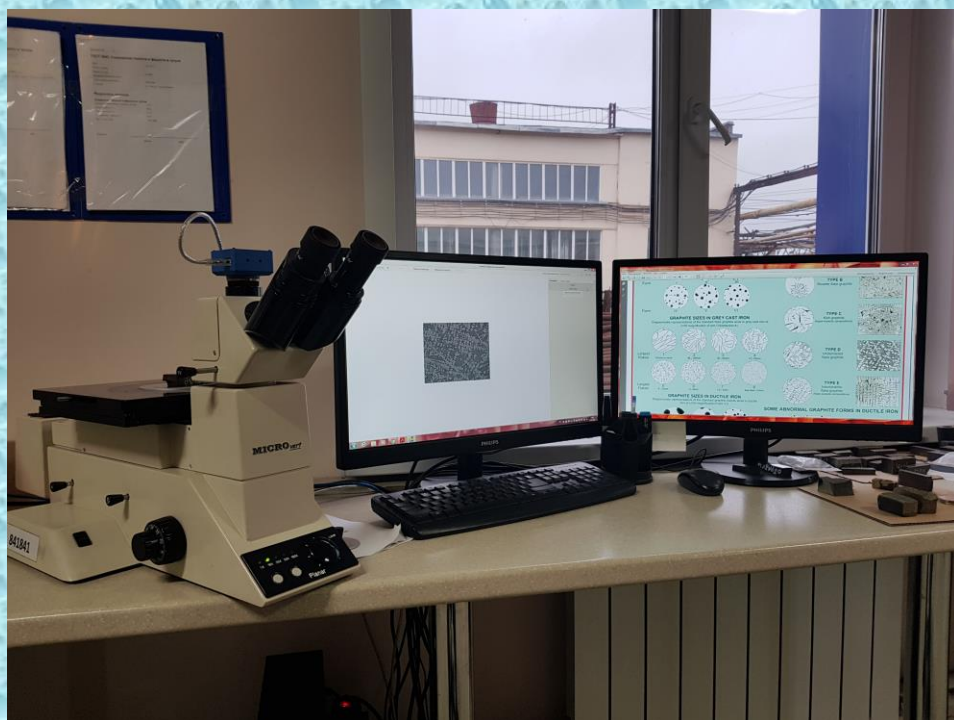
Заливка форм



Отжиг отливок производится в печах с контролируемым шагом нагрева и охлаждения



Контроль микроструктуры металла



Grafite Lamellare
Lamellar Graphite
Graphite Lamellaire

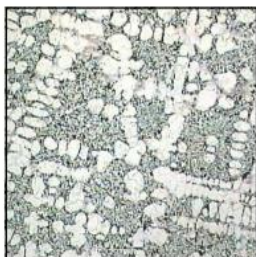
K 250 MMV



Struttura x100
Structure - Structure



Contatto Vetro - Glass Contact - Contact du verre



Grafite Graphite - Graphite	Matrice Matrix - Matrice
Forma - Shape - Forme I	Perlite - Pearlite - Perlite < 15%
Distribuzione - Distribution Distribution A e/o B	Ferrite - Ferrite - Ferrite > 85%
Taglia - Size - Dimension 6/8	

Analisi Analysis-Analyse		
%	Target	Range
C	3.57	±0.08
Mn	0.60	±0.10
Si	2.00	±0.10
P	<0.30	//
S	0.04	±0.02
Cr	<0.20	//
Ni	<0.70	//
Mo	0.75	±0.05
V	0.12	±0.03
Ti	0.15	±0.05
Ceq	4.23	±0.07

Durezza Hardness-Dureté HBW 10/3000		
Target	145	165
Range	± 10	± 15

Fonderie Valdelsane S.p.A.

Сертификат на литье

Дата: от «28» 08. 2018 г.

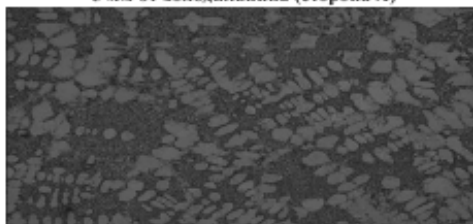
Наименование ФК: IS-5-BB КПМ3-500-Гавр чистой

Марка сплава: Ч-3

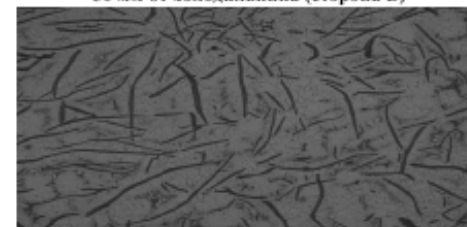
Химический анализ

Содержание элементов	C	Si	Mn	Mo	Ni	Ti	V	Cr	S	P
Заданное	3,49-3,65	1,9-2,1	0,5-0,7	0,7-0,8	0,1-0,7	0,1-0,2	0,09-0,15	0-0,2	0,02-0,06	0-0,3
Фактическое	3,54	1,98	0,59	0,7	0,33	0,11	0,09%	0,01	0,02	0,001

5 мм от холодильника (сторона А)



50 мм от холодильника (сторона В)



Сторона А

Феррит	84,9
Перлит	15,1
Цементит	0,0086

Сторона С

Феррит	95,4
Перлит	4,1
Цементит	0,0001

Твердость НВ

Сторона А

Заданное	170±10
Фактическое	170

Сторона С

Заданное	130±10
Фактическое	120

Геометрические параметры

КД	254,2±3,2	39±2	140,8±2,5	127,8±2,5	105±2,5	97*	4±1	φ178±2,8	φ139,9±2,5	φ162±2,8
Факт	253,9	40,3	140,7	127,7	105	97	4,3	178	140	162

Контролер литейного производства

Наустина Т.В.

Отливки из серого низколегированного чугуна



Отливки из бронзы

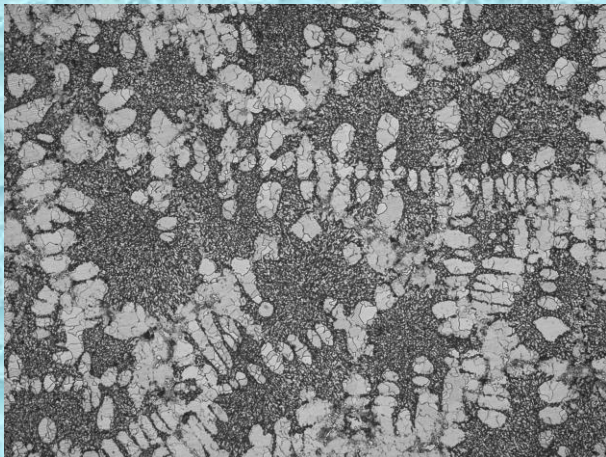


Контроль микроструктуры металла

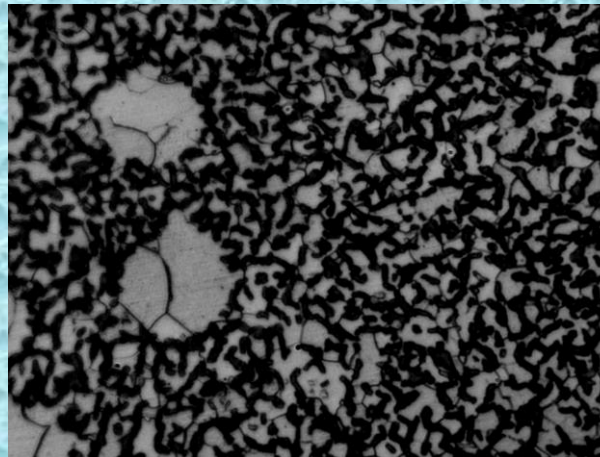


Контроль микроструктуры металла

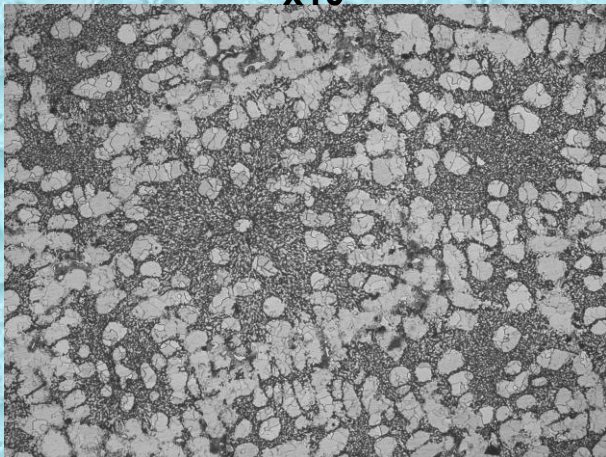
5 мм от холодильника, увеличение x10



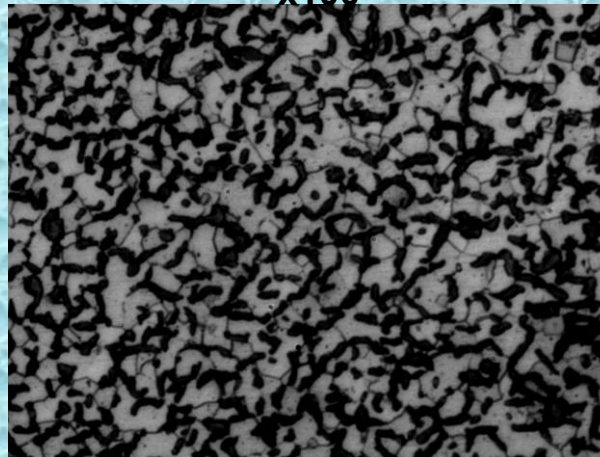
5 мм от холодильника, увеличение x100



10 мм от холодильника, увеличение x10

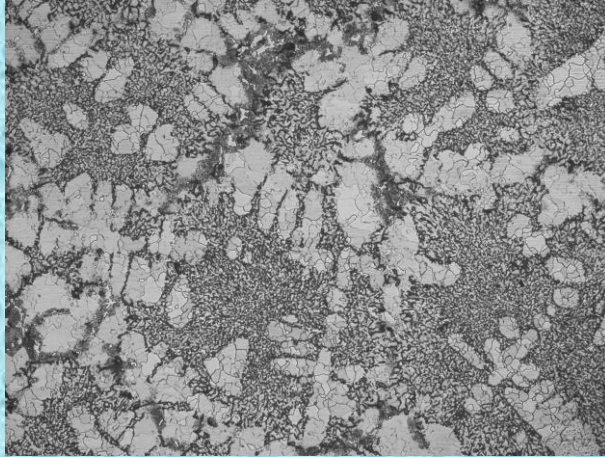


10 мм от холодильника, увеличение x100

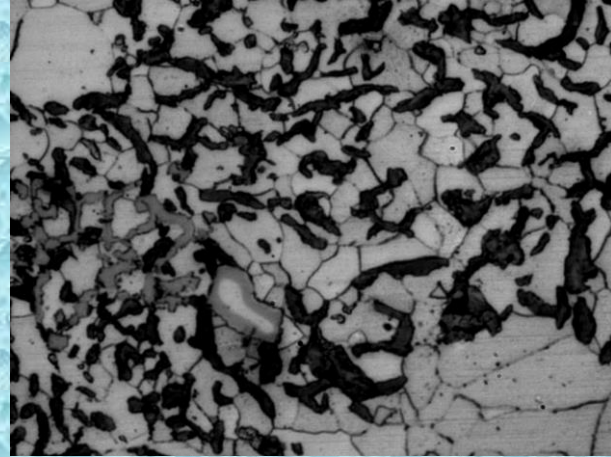


Контроль микроструктуры металла

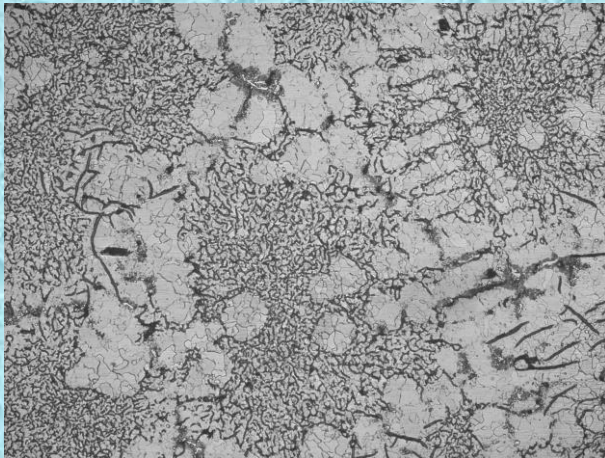
20 мм от холодильника, увеличение
10х



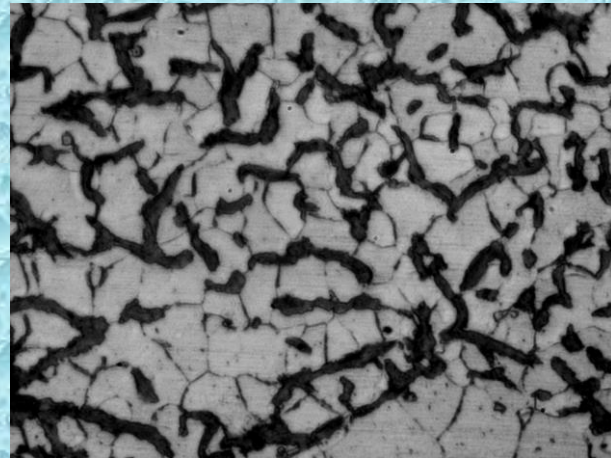
20 мм от холодильника, увеличение
100х



30 мм от холодильника, увеличение
х10



30 мм от холодильника, увеличение
х100

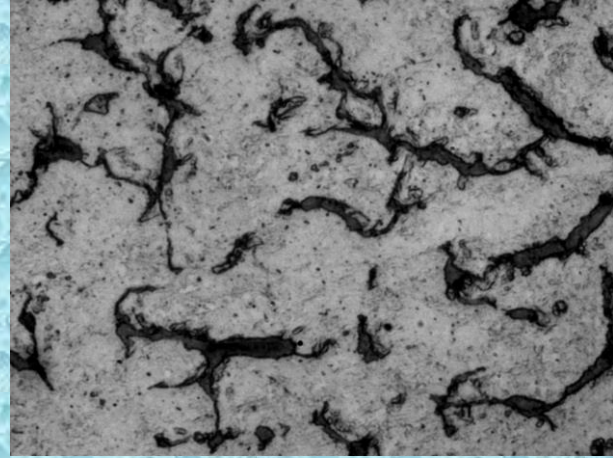


Контроль микроструктуры металла

40 мм от холодильника, увеличение
x10



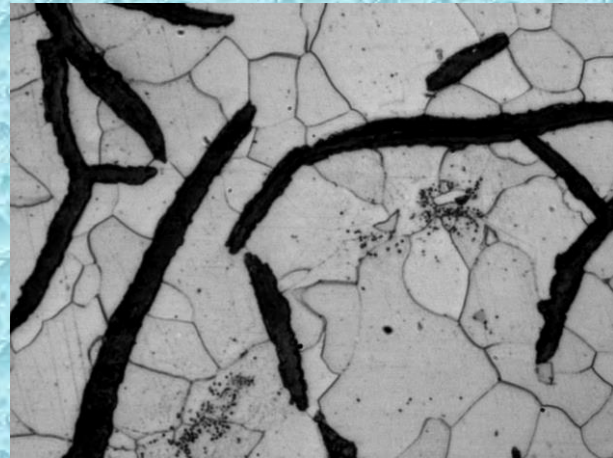
40 мм от холодильника, увеличение
x100



50 мм от холодильника, увеличение
x10

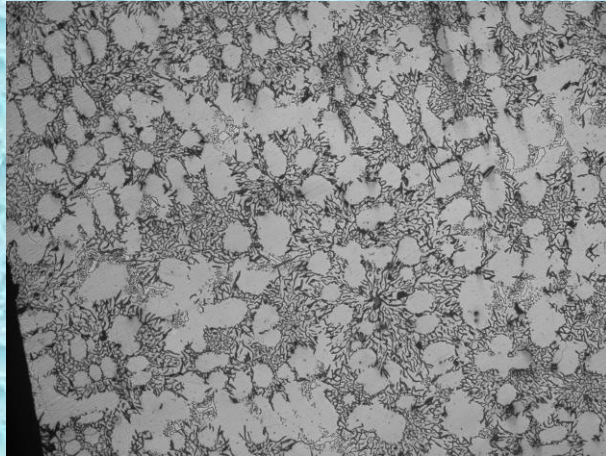


50 мм от холодильника, увеличение
x100

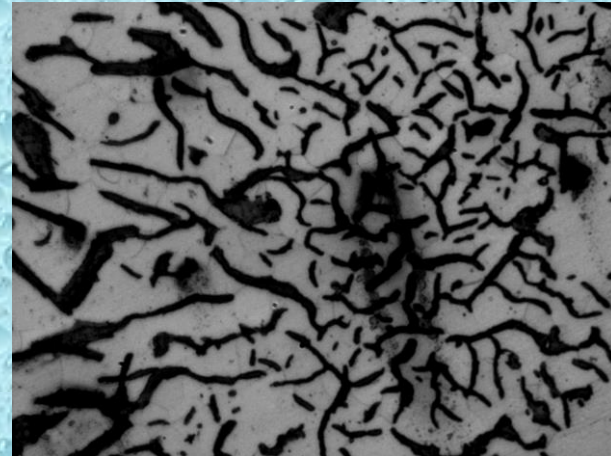


Несоответствия микроструктуры

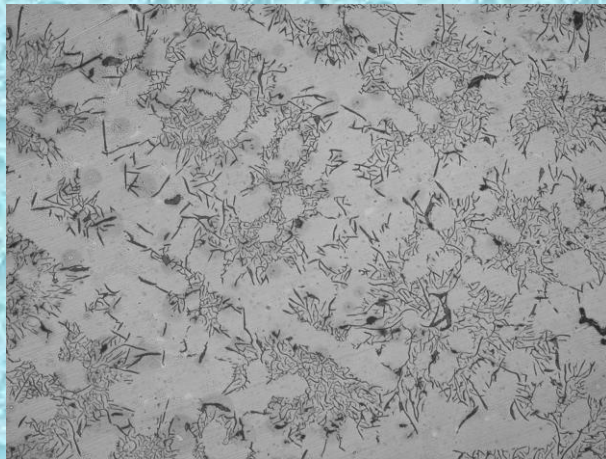
5 мм от холодильника, увеличение x10



5 мм от холодильника, увеличение x100



10 мм от холодильника, увеличение x10

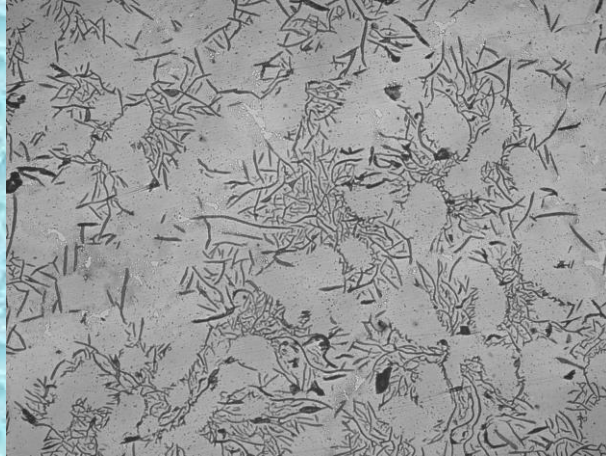


10 мм от холодильника, увеличение x100



Несоответствия микроструктуры

20 мм от холодильника, увеличение
10х



20 мм от холодильника, увеличение
100х



30 мм от холодильника, увеличение
х10

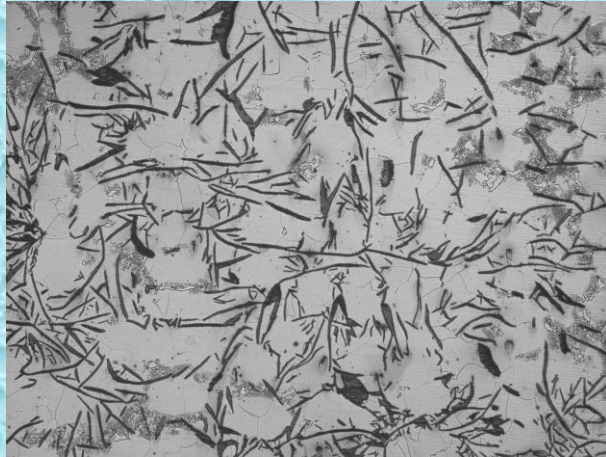


30 мм от холодильника, увеличение
х100



Несоответствия микроструктуры

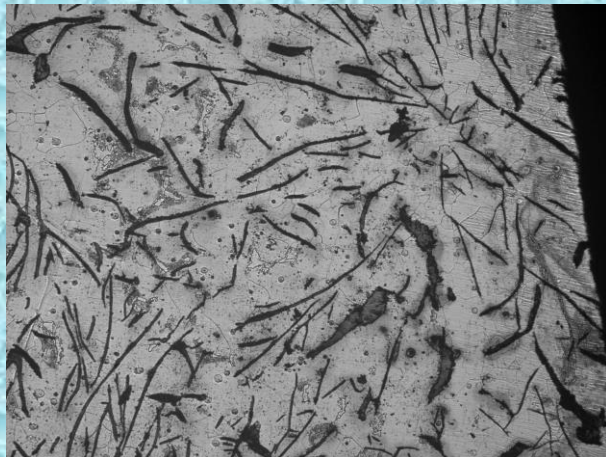
40 мм от холодильника, увеличение
x10



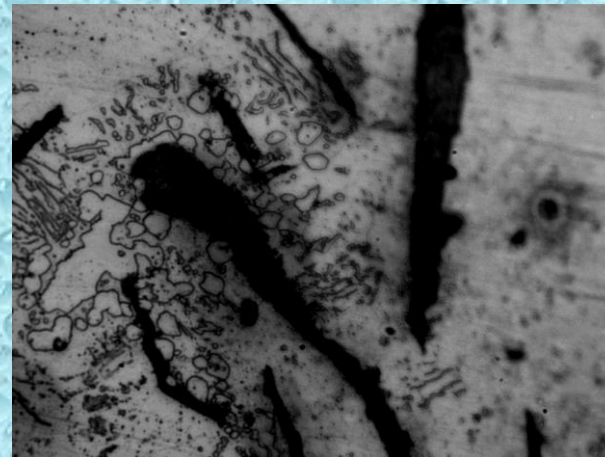
40 мм от холодильника, увеличение
x100



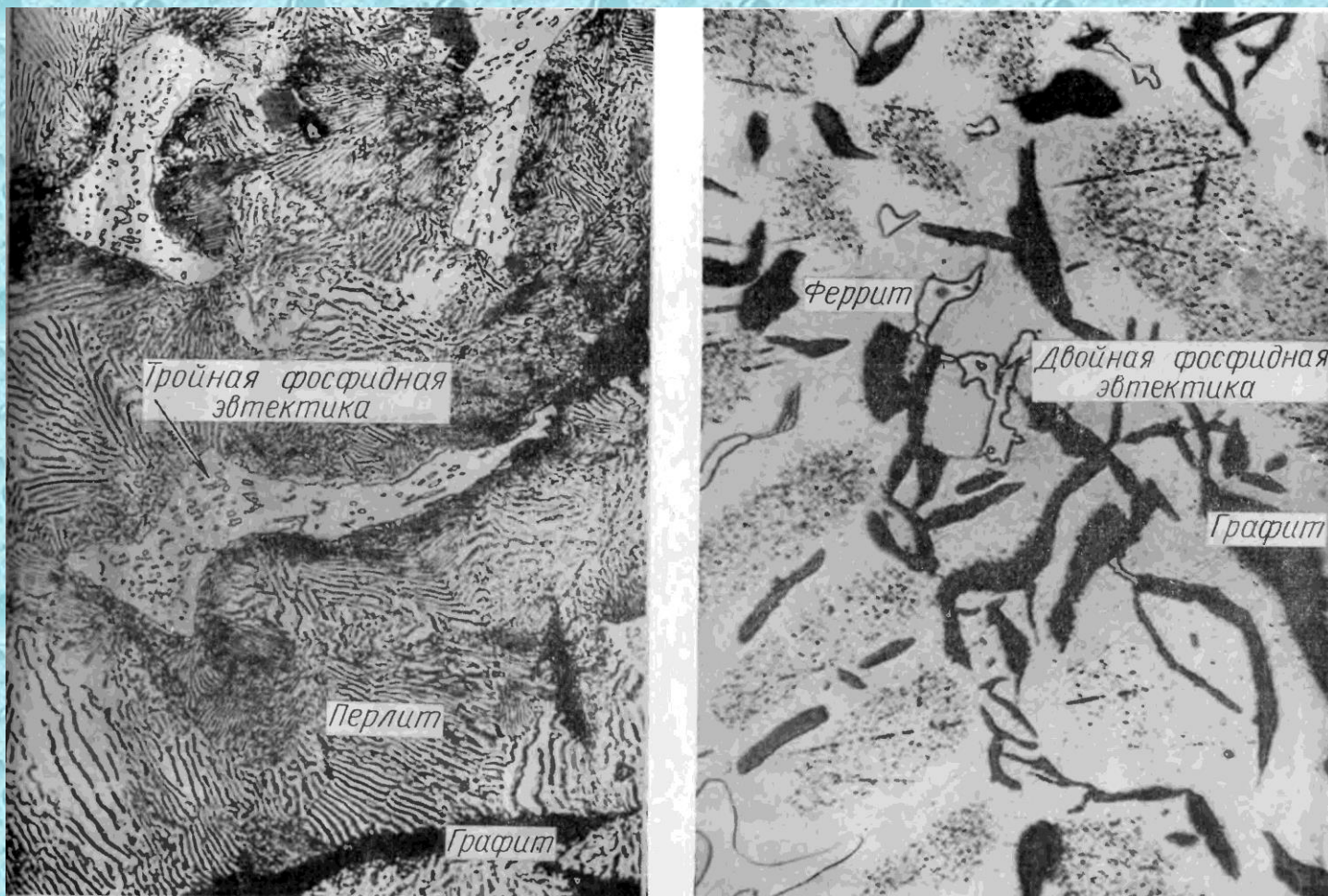
50 мм от холодильника, увеличение
x10



50 мм от холодильника, увеличение
x100

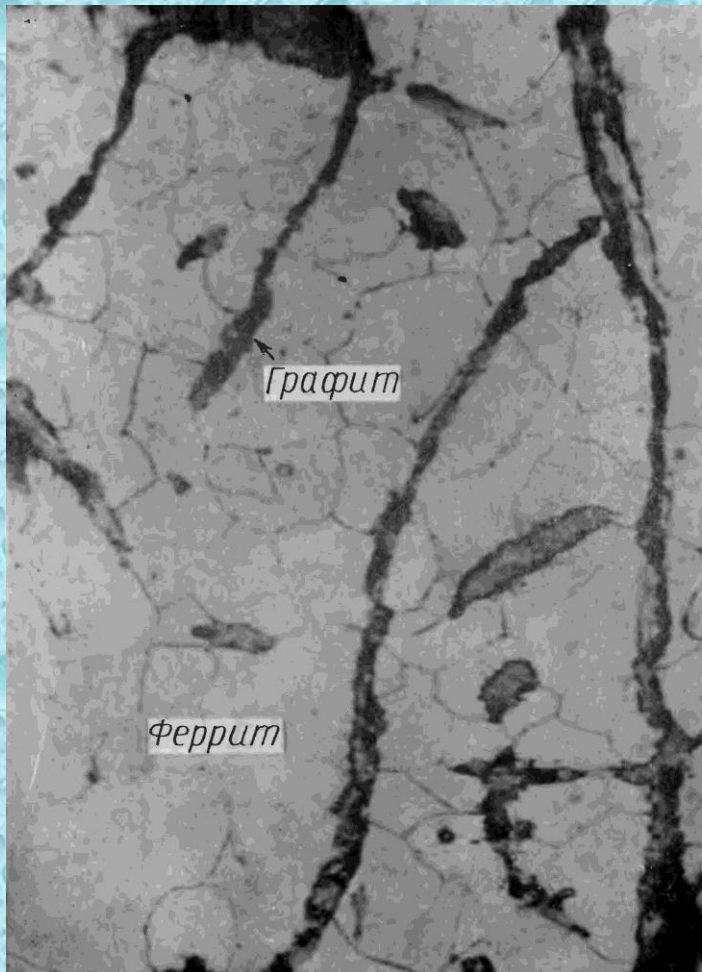


Несоответствия микроструктуры

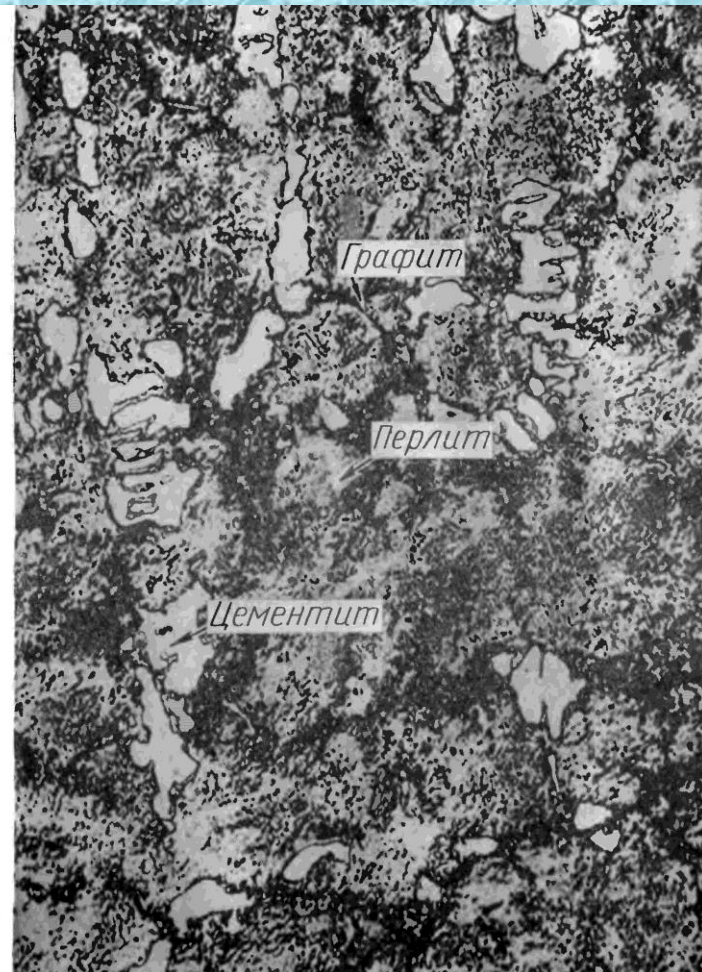


Фосфидная эвтектика в сером чугуна, отличающаяся износостойкостью, твердостью и хрупкостью

Несоответствия микроструктуры



ферритно-графитная
микроструктура,
отвечающая очень низкой
твердости
и износостойкости



цементитно-перлитно-графитная
микроструктура, отвечающая очень
плохой обрабатываемости
режущим инструментом

Структура чугуна в зависимости от химического состава отливки и толщины стенок (перлит, графит, феррит, кремний, углерод)

Наиболее часто в машиностроении применяют чугуны со структурой – перлит, графит и феррит и со структурой – перлит и графит. Такие чугуны представляют как бы сталь, пронизанную более или менее равномерно рассеянными включениями графита.

Современная техника изготовления высококачественных чугунов сводится к получению мелкого, разобщенного графита в, наименьшем количестве при наиболее прочной перлитной основе (так называемый перлитный чугун).

Крупные включения графита, конечно, сильно понижают общую прочность чугуна (предел прочности при растяжении и предел упругости) и увеличивают его хрупкость, т.е. уменьшают сопротивление удару. Чем больше в чугуне графита (в особенности крупного и неравномерно распределенного), тем он хуже. Чем больше в чугуне феррита, тем он мягче.

Наличие цементита в чугунах увеличивает твердость и затрудняет обработку. Мелкий перлит с умеренным числом мелких чешуек графита определяет наиболее благоприятную структуру с точки зрения механических качеств чугуна.

Во время остывания чугуна, залитого в форму, происходит выделение графита. В результате меньшей плотности графита в сравнении с железом удельный вес металла снижается, а объем застывающего чугуна повышается, и он хорошо заполняет все мельчайшие рельефы формы. Присутствие кремния способствует выделению углерода в виде графита, в результате улучшаются литейные свойства чугуна, уменьшается твердость чугуна и улучшается заполнение формы. Изменения свойств облегчает обработку чугуна режущим инструментом, но в то же время снижает предел прочности. С повышением содержания такого "графито-образующего" элемента, как кремний, в чугунах снижается количество связанного углерода, а металлическая основа чугуна приближается к ферритной. Наглядно это можно изобразить на диаграмме зависимости структуры чугуна от соотношения содержания в нем углерода и кремния.

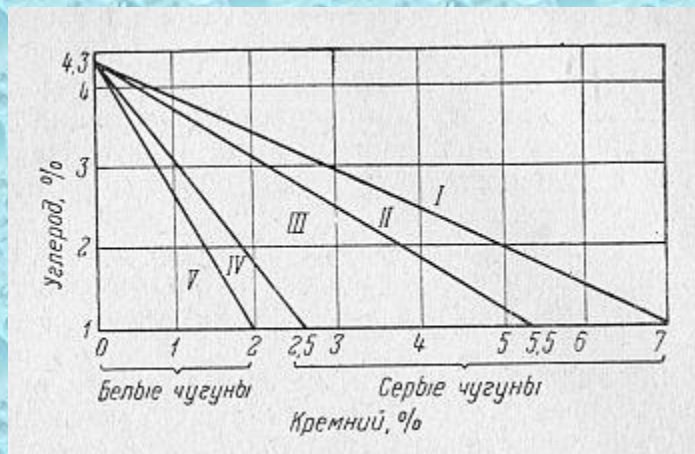


Диаграмма зависимости структуры чугуна от соотношения углерода и кремния

По вертикальной оси отложено процентное содержание углерода, по горизонтальной – кремния. Участки на диаграмме характеризуют структуру чугуна в зависимости от содержания в нем кремния и углерода. Зоне I соответствуют чугуны, состав которых имеет структуру – феррит и графит; зоне II – феррит, перлит и графит; зоне III – перлит и графит; зоне IV – перлит, цементит и графит; в зоне V располагаются белые чугуны.

Специалисты металлургии указали на необходимость уточнения этой диаграммы. Проф. Н. Г. Гиршович рекомендует пользоваться составами, расположенными на ней в центральных частях каждой соответствующей области, а не на границе, отделяющей одну область от другой.

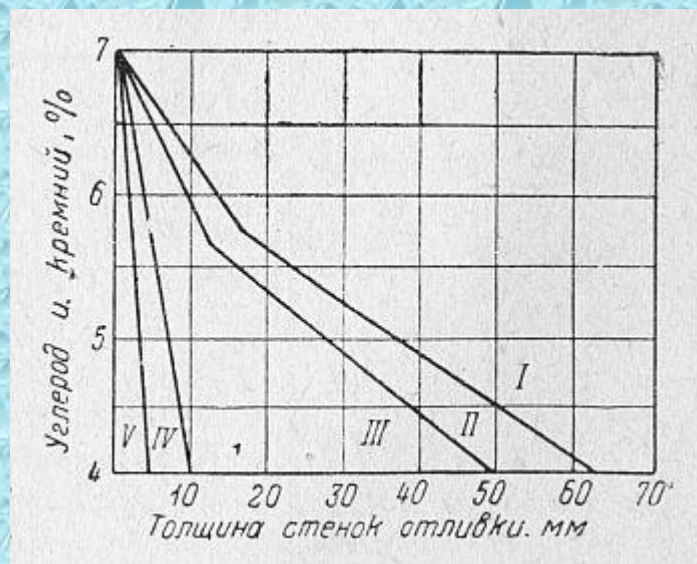


Диаграмма зависимости структуры чугуна от суммарного содержания углерода и кремния и толщины стенки детали

Показанные на диаграмме структуры получаются в отливках, изготовленных при одинаковых условиях в земляных формах при толщине стенок отливки 10–90 мм.

Влияние кремния на структуру чугуна подобно влиянию замедленного охлаждения. На рис. 16 изображена зависимость структуры от скорости охлаждения отливки (обратно пропорциональной толщине стенок отливки) и от суммарного содержания углерода и кремния (прибавка углерода способствует графитизации, как и прибавка кремния). На диаграмме указаны пять зон с такой же структурой, которая изображена на предыдущей диаграмме.

СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА СТАЛИ И ЧУГУНЫ

- Основными сплавами железа являются его сплавы с углеродом - *стали и чугуны*. В основе такого разделения лежит структурная диаграмма метастабильного равновесия системы $Fe-Fe_3C$.
- Сплавы с концентрацией C < 2,14 вес.% (соответствует точке E - максимальной растворимости углерода в железе) называются *сталями*, а сплавы с концентрацией C > 2,14 вес.% - *чугунами*. В результате различного содержания углерода в сплаве образуется разная структура, что определяет различие в механических и физико-химических свойствах сплавов, а следовательно, и в их назначении.

Диаграмма Fe-C

- Диаграмма Fe-C - одна из важнейших диаграмм состояния, так как по объему производства стали и чугуны составляют более 90% выплавляемого в стране металла.
- Целью данной работы является ознакомление с типичными структурами сталей и чугунов, формирующимися в процессе равновесной (медленной) кристаллизации, а также со структурами серого, ковкого и высокопрочного чугунов.

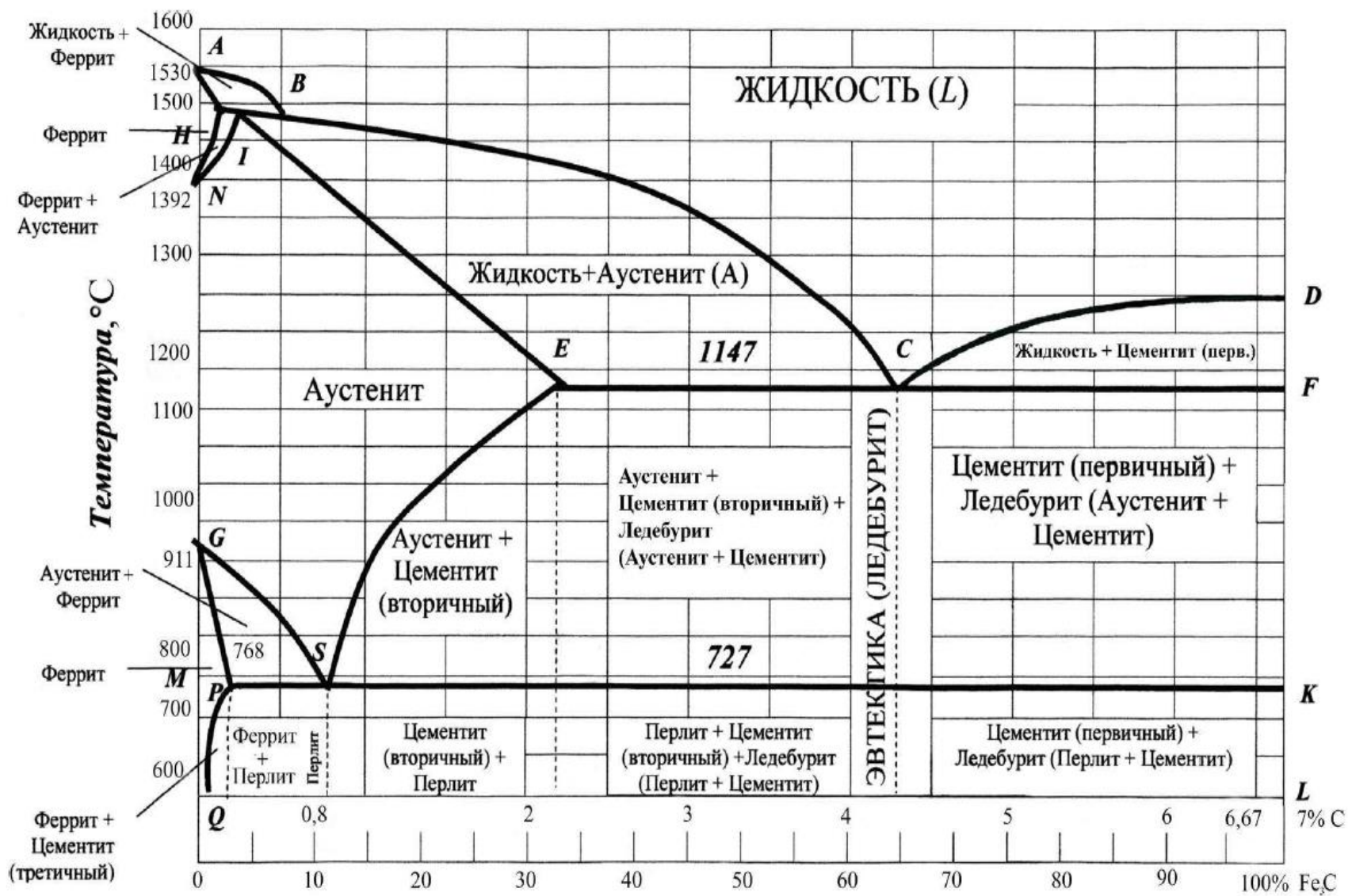


Рис. 2.1. Диаграмма состояния сплавов системы «железо-цементит»

Структурные составляющие.

В железоуглеродистых сплавах в твердом состоянии при нагревании и охлаждении образуются следующие структурные составляющие: твердые растворы, химические соединения и механические смеси. Основные структурные составляющие в углеродистых сталях: феррит, аустенит, цементит, перлит.

С помощью диаграммы состояния Fe–Fe₃C (рис. 2.1) объясняют превращения в углеродистых сталях и белых чугунах и осуществляют выбор оптимальных режимов термической обработки.

Твердые растворы

Феррит (Ф) – твердый раствор внедрения углерода в α-железе; имеет объемноцентрированную кубическую решетку. Максимальное содержание углерода в α-железе – 0,02% при температуре 727 °С. При комнатной температуре содержание углерода в феррите – 0,006%.

Микроструктура феррита состоит из светлых зерен различной величины (рис. 2.2). Феррит – мягкая, пластичная структура со следующими механическими свойствами: предел прочности $\sigma_b = 250$ МПа; твердость по Бринеллю $HB = 800–1000$ МПа; относительное удлинение $\delta = 40\%$; относительное сужение $\psi = 80\%$.

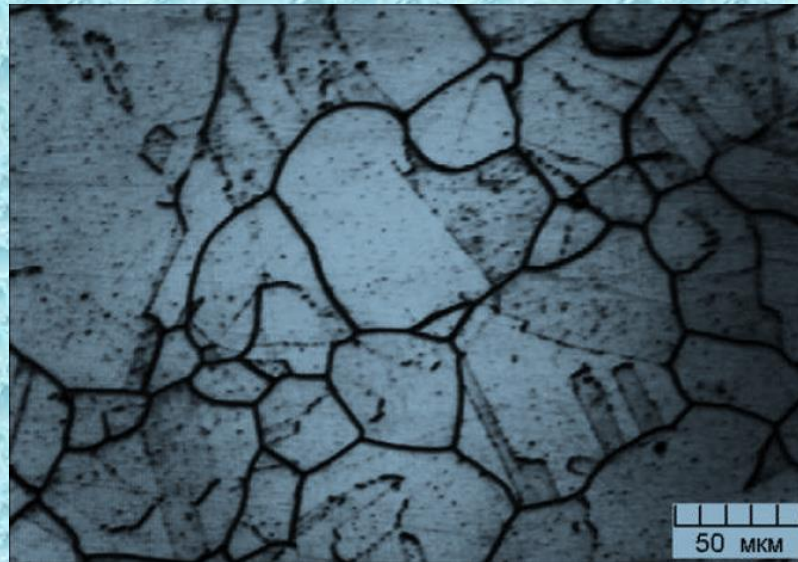


Рис. 2.2. Микроструктура феррита в технически чистом железе

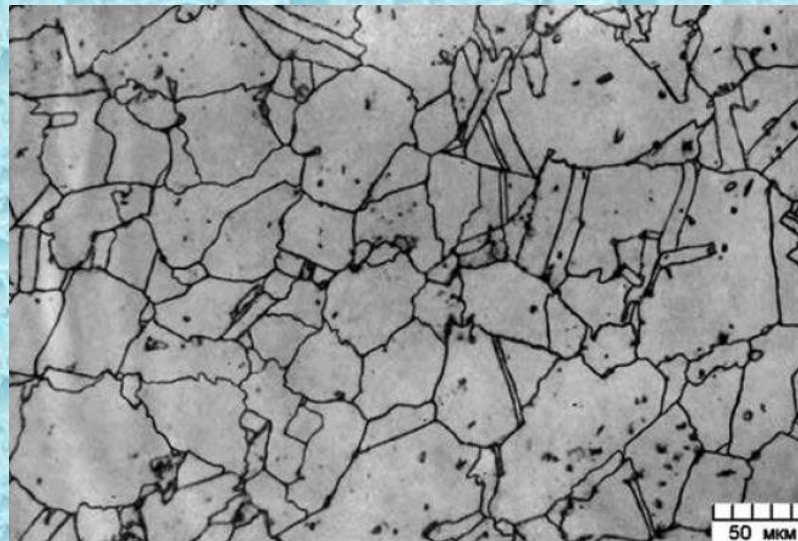


Рис. 2.3. Микроструктура аустенита в легированной стали

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе; имеет гранцентрированную кубическую решетку. Максимальное содержание углерода в γ -железе – 2,14% при температуре 1147 °С. Аустенит существует только выше температуры 727 °С; при этой температуре концентрация углерода в аустените составляет 0,8%. Ниже 727 °С аустенит распадается на механическую смесь феррита и цементита. Микроструктура аустенита состоит из светлых зерен многоугольной формы с характерными двойниками внутри (рис. 2.3). Аустенит тверже и прочнее феррита, $\sigma_{\text{в}} = 600$ МПа; $\text{НВ} = 1800\text{--}2000$ МПа. Аустенит весьма пластичен, $\delta = 40\text{--}50\%$.

Графит (Гр) – кристаллическая модификация углерода, имеющая гексагональную кристаллическую решетку. Графит обладает очень низкой твердостью ($HV = 30 \text{ МПа}$), прочностью, пластичностью. Плотность – $2,2 \text{ г/см}^3$, температура плавления – $3800 \text{ }^\circ\text{C}$. Он образуется в высокоуглеродистых сплавах при малых скоростях охлаждения.

Графит может иметь пластинчатую (лепестковую), вермикулярную, шаровидную или хлопьевидную форму. Самые низкие механические свойства у чугунов с пластинчатой формой графита. Серые чугуны по форме включений графита подразделяют на серый обычный с пластинчатым графитом (СЧ), высокопрочный с шаровидным графитом (ВЧ), ковкий с хлопьевидным графитом (КЧ) и чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ).

Химическое соединение

Цементит (Ц) – химическое соединение Fe_3C (карбид железа) со сложной ромбической кристаллической решеткой. Цементит содержит 6,67% углерода. Цементит имеет белый цвет и при травлении обычным реактивом слабо вытравливается ввиду большей химической стойкости, чем у феррита. Наблюдается в виде пластинок, располагающихся вокруг зерен феррита, в виде игл или в форме отдельных включений (например, в белых чугунах, см. рис. 3.2–3.4). Эта фаза очень твердая и хрупкая: $\text{HB} = 8000 \text{ МПа}$; $\delta = 0\%$. В зависимости от происхождения различают цементит первичный (ЦI), вторичный (ЦII) и третичный (ЦIII).

Первичный цементит образуется при кристаллизации из расплава.

Вторичный образуется при охлаждении аустенита (ниже линии SE на диаграмме состояния «железо–углерод», рис. 2.1).

Третичный – при охлаждении феррита (ниже линии QR на диаграмме состояния «железо–углерод», рис. 2.1). Наиболее крупными являются частицы ЦI, наиболее мелкими – частицы ЦIII.

Механическая смесь

Перлит (П) – механическая смесь феррита и цементита или феррита и графита, в зависимости от состояния углерода.

Первый тип перлита – механическая эвтектоидная смесь феррита и цементита (Ф+Ц), которая формируется в результате эвтектоидного распада аустенита при постоянной температуре 727°C , содержание углерода в перлите – 0,8%. Характерен для сталей и белых чугунов.

Второй тип перлита – механическая эвтектоидная смесь феррита и графита (Ф+Гр) – кристаллизуется из аустенита при постоянной температуре 738°C , содержание углерода в которой 0,7%.

Микроструктура представляет собой равномерно распределенные включения графита в ферритной основе серого цвета.

Ледебурит (Л) – механическая смесь аустенита и цементита или аустенита и графита, в зависимости от состояния углерода.

Первый тип ледебурита – механическая смесь аустенита и цементита (А+Ц), которая кристаллизуется из жидкого сплава с концентрацией 4,3% углерода при постоянной температуре 1147 °С. Она состоит из аустенита и цементита при температуре выше А1 и из перлита и цементита – ниже А1. Ледебурит имеет грубую структуру, в которой на светлом поле цементита расположены серые зерна перлита овальной формы. Ледебурит – эвтектическая смесь, твердая и хрупкая: НВ = 5000–6000 МПа; $\delta = 1-2\%$.

Второй тип ледебурита – графитная эвтектика, т. е. механическая смесь аустенита и графита (А+Гр), которая кристаллизуется из жидкого сплава с концентрацией 4,26% при постоянной температуре 1153 °С. Она состоит из аустенита и графита при температуре выше А1 и из перлита и графита – ниже А1, имеет более высокую прочность, чем перлит. На микроструктуре выявляется в форме зерен, у которых на светлом поле феррита расположены серые включения зерен перлита.

ПРЕВРАЩЕНИЯ В ЧИСТОМ ЖЕЛЕЗЕ

Ниже температуры $912\text{ }^{\circ}\text{C}$ железо называют ферритом или альфа-железом. Атомы в феррите организованы в объемноцентрированную (ОЦК) кристаллическую структуру. Выше $912\text{ }^{\circ}\text{C}$ железо называют аустенитом или гамма-железом.

Атомы в аустените организованы в гранецентрированную (ГЦК) кристаллическую структуру. Нагрев феррита до $912\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к образованию мельчайших зерен аустенита на границах ферритных зерен. Дальнейший нагрев приводит к росту этих новых аустенитных зерен с полной заменой старых ферритных зерен на новые аустенитные происходят превращения в железе.

При охлаждении ниже температуры $912\text{ }^{\circ}\text{C}$ в железе происходят превращения такого же типа, только в обратном направлении – зерна феррита заменяют аустенитные зерна.

ПРЕВРАЩЕНИЕ ФЕРРИТА В АУСТЕНИТ

Если чистое железо нагреть до температуры $912\text{ }^{\circ}\text{C}$, то в нем происходят некие «чудесные» **превращения**: кристаллическая структура железа спонтанно превращается из объемноцентрированной кубической (ОЦК) в гранцентрированную кубическую (ГЦК). Эти обе структуры железа показаны на рисунках 1 и 2. Как и говорят их названия, в (ОЦК)-структуре атомы находятся по углам куба и в его центре, а в (ГЦК)-структуре – по углам куба и в центре из каждой из шести граней куба. Как и низкотемпературная (ОЦК)-структура, (ОЦК)-структура имеет два названия: аустенит и гамма-железо (γ -железо). Буква γ – третья буква в греческом алфавите.

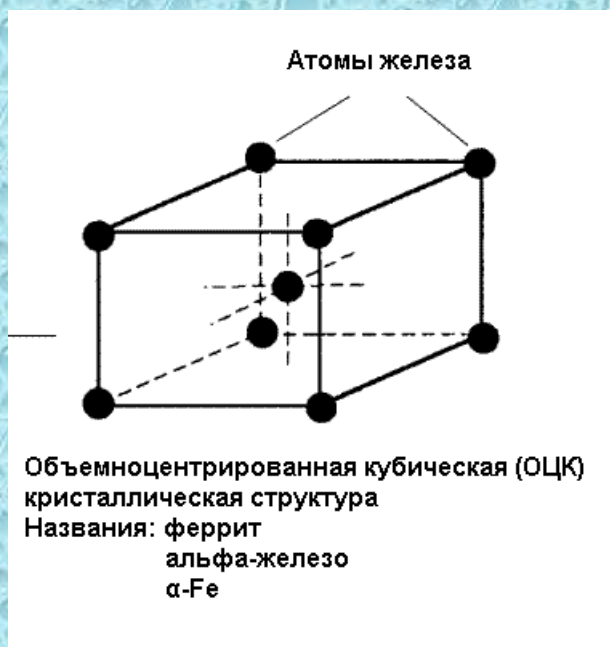


Рисунок 1 — Объемноцентрированная кубическая (ОЦК)
кристаллическая решетка феррита

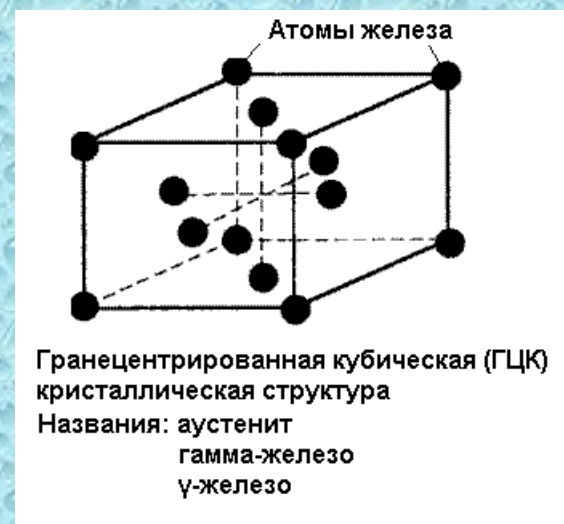


Рисунок 2 — Гранецентрированная кубическая (ГЦК)

Бета-железо

Есть в превращении железа и свои загадки. Где бета-железо (β -железо), по второй букве греческого алфавита? Ответ такой: раньше такое железо «было», а сейчас – его уже нет. Дело в том, что когда ученые открыли структуру железа в конце 19-го века, из-за магнитного перехода железа при $770\text{ }^{\circ}\text{C}$, они решили, что существует еще одно **превращение железа**: из альфа-железа в бета-железо. Потом оказалось, что это была ошибка (и так бывает у ученых!), и β -железо просто «отменили».

Превращение ферритных зерен в аустенитные

Когда ферритное железо нагревают до температуры $912\text{ }^{\circ}\text{C}$, старый состав ферритных зерен изменяется в новый состав зерен, уже аустенитных — в железе происходит превращение.

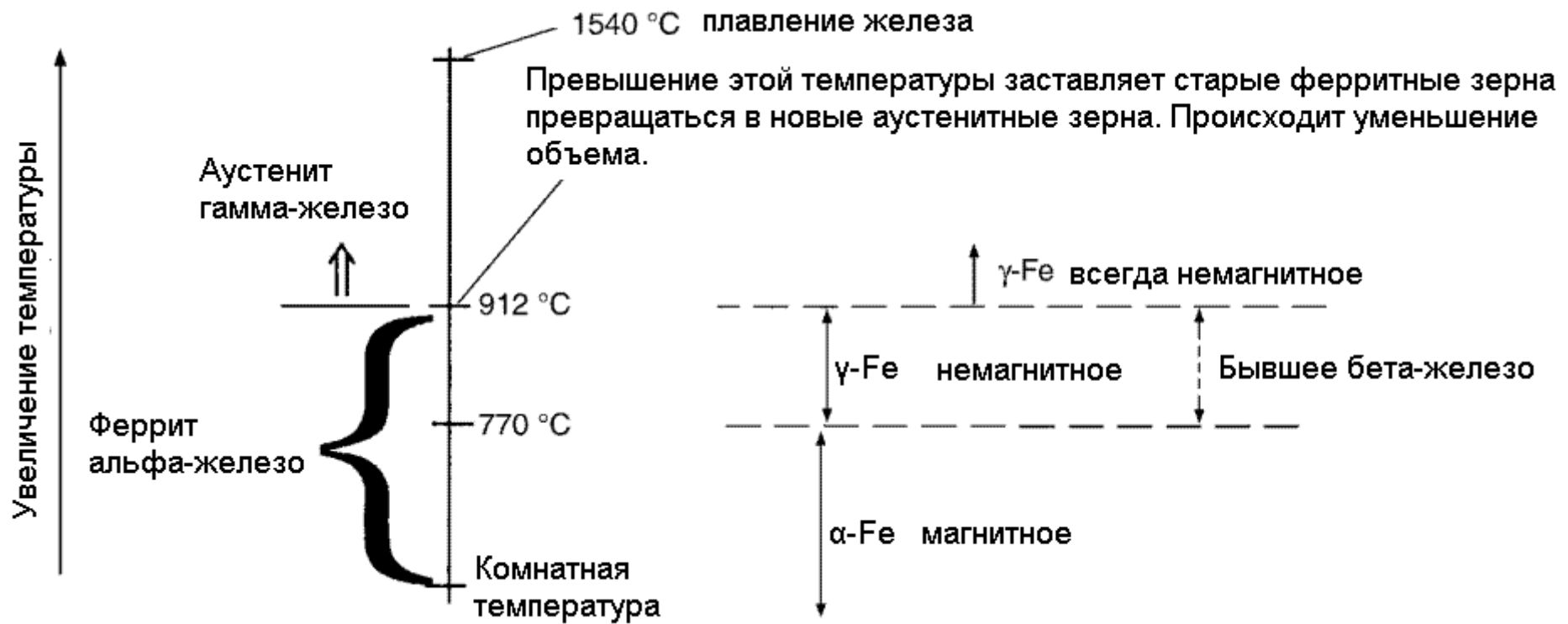
Представьте, что ферритная зеренная структура только что достигла температуры превращения. Сначала мы видим образование новых, очень мелких аустенитных зерен, которые накладываются на старые границы ферритных зерен. Потом эти зерна растут, пока все старые ферритные зерна не исчезнут.

При превращении феррита в аустенит происходит два важных явления:

1) Также как и при превращении льда в воду, превращение в железе из феррита в аустенит требует тепловой энергии. Поэтому при нагреве температура железа будет оставаться при температуре около $912\text{ }^{\circ}\text{C}$, пока все ферритные зерна не превратятся в аустенитные.

2) При превращении феррита в аустенит происходят объемные изменения. Плотность аустенита на 2 % выше, чем феррита, что означает, что атом аустенита занимает меньший объем, чем атом феррита.

Все превращения в железе, которые происходят при его нагреве, изображены схематически на рисунке.



ЧУГУНЫ

- В зависимости от состояния углерода в чугуне различают:
- **белый чугун**, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде карбида;
- **серый чугун**, в котором углерод частично или полностью находится в свободном состоянии в форме пластинчатого графита;
- **высокопрочный чугун**, в котором углерод частично или полностью находится в свободном состоянии в виде шаровидного графита;
- **ковкий чугун**, в котором углерод частично или полностью находится в свободном состоянии в форме хлопьевидного графита.
- Химический состав и, в частности, содержание углерода не характеризуют полностью структуру и свойства чугуна, которые зависят также от процесса выплавки, условий охлаждения отливки и режима термической обработки. Свойства чугуна определяются его структурой.

Серый , высокопрочный и ковкий чугуны

- В сером, высокопрочном и ковком чугунах углерод может содержаться как в свободном (графит) так и в связанном состоянии (в металлической основе).
- Свойства таких чугунов определяются как металлической основой, так и включениями графита, вкрапленными в эту основу. Для характеристики их структуры необходимо определять размеры и форму графитовых включений, характер их распределения в металлической основе, а также структуру металлической основы.
- Металлическая основа по структуре может принадлежать к одному из трех видов: ферритная, перлитная и феррито-перлитная.

Серый чугун

- Получил свое название по виду излома, который имеет серый цвет из-за включений графита. Характерная особенность структуры серых чугунов, определяющая многие его свойства, - пластинчатая форма графита. Наиболее широкое применение получили доэвтектические чугуны, содержащие 2,4-3,8 % С.
- Механические свойства чугуна обусловлены его структурой, в основном, графитовой составляющей. Чем меньше графитовых включений, тем они мельче и больше изолированы друг от друга, тем выше прочность чугуна. При одинаковом характере графитовых включений чугун с преобладающим количеством перлита обладает более высокими механическими свойствами, чем чугун с преобладающим количеством феррита.
- Используется для изготовления малонагруженных деталей машин, станков, тракторов, арматуры и пр.
- Серый чугун маркируется буквами СЧ и цифрами, первые указывают предел прочности при растяжении, вторые – предел прочности при изгибе.

Структура серого чугуна на перлитной основе



300

Твердость по Бринеллю 150 НВ

- Серые включения графита (Г) пластинчатой формы расположены в пластинчатом перлите (П). В этом чугуне 0,7-0,8 % углерода находится в виде цементита, входящего в состав перлита.
- Структурные составляющие:
- перлит и графит (П+Г).
- Фазы:
- феррит (α -фаза), цементит (карбид железа Fe_3C) и графит (свободный углерод).

Структура серого чугуна на феррито-перлитной основе



х 300

Твердость по Бринеллю 200 НВ

Пластинки графита окружены светлыми зернами феррита и темными перлита. В этом чугуне в зависимости от степени распада эвтектоидного цементита в связанном состоянии находится от 0,7 до 0,1% С.

Структурные составляющие:

- перлит, феррит и графит (П+Ф+Г).
- Фазы: феррит (α -фаза), цементит (карбид железа Fe_3C) и графит (свободный углерод).

Серый чугун на ферритной основе



х 300

Пластинки графита расположены в ферритной матрице. В этом случае весь углерод находится в виде графита.

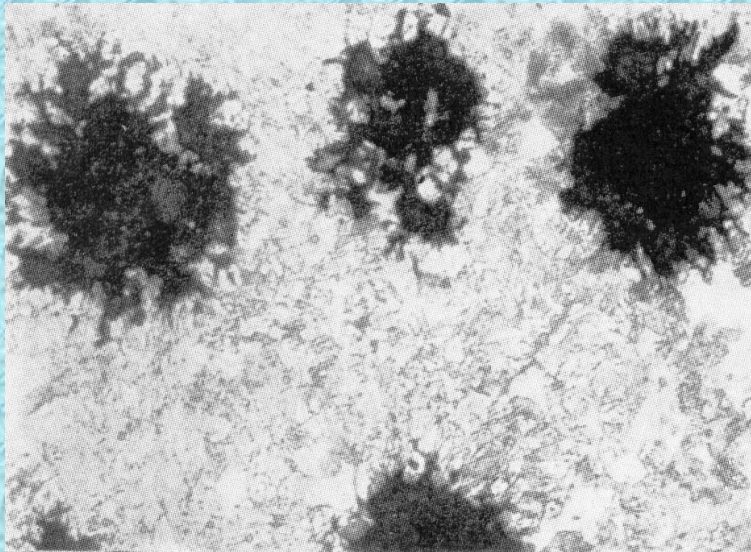
- Структурные составляющие: феррит и графит (Ф+Г).
- Фазы: феррит (α -фаза) и графит (свободный углерод).

Твердость по Бринеллю 150 НВ

Ковкий чугун

- Ковким называется чугун с хлопьевидным графитом. Его получают из белого чугуна в результате длительного *графитизирующего отжига*. Хлопьевидный графит по сравнению с пластинчатым меньше снижает прочность и пластичность металлической основы. Ковкий чугун применяют для деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках, используют его, главным образом, для тонокостенных деталей.
- Маркируют ковкий чугун КЧ и цифрами, первые две из которых указывают предел прочности при растяжении, а вторые – относительное удлинение.

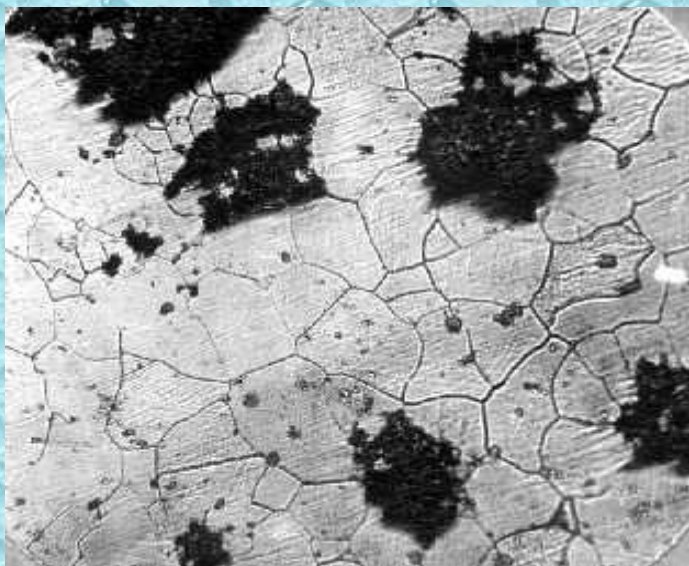
Структура ковкого чугуна на перлитной основе



- Ферритный ковкий чугун обладает наибольшей пластичностью. Хлопьевидный графит распределен в ферритной матрице.
- Структурные составляющие:
- перлит и графит (П+Г).
- Фазы: феррит (α -фаза), цементит (карбид железа Fe_3C) и графит (свободный углерод).

Твердость по Бринеллю 250 НВ

Структура ковкого чугуна на ферритной основе



Серые хлопьевидные включения графита на фоне ферритной матрицы.

• Структурные составляющие: феррит и графит (Ф+Г).

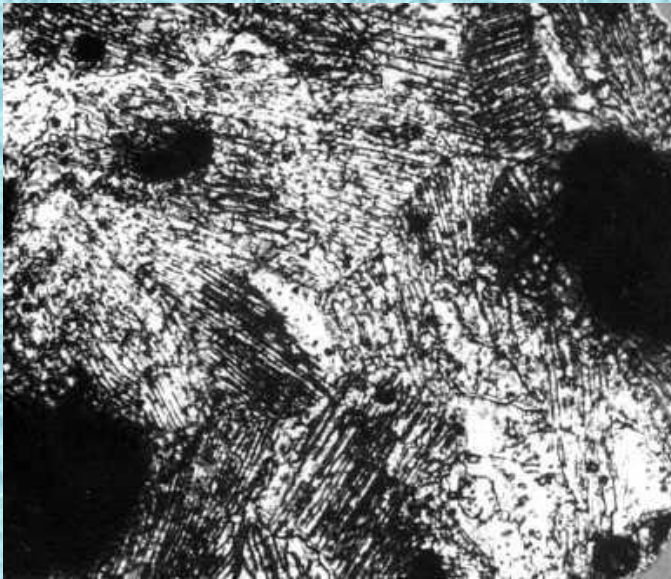
• Фазы: феррит (α -фаза) и графит (свободный углерод).

Твердость по Бринеллю 150 НВ

Высокопрочный чугун

- Высокопрочный чугун получают присадкой в жидкий чугун небольших добавок щелочных или щелочноземельных металлов, чаще всего, магния в количестве 0,03-0,07 %. В результате графит в процессе кристаллизации приобретает шаровидную форму, значительно меньше ослабляет металлическую основу, что способствует повышению механических свойств.
- Высокопрочные чугуны применяют для деталей станочного, кузнечно-прессового оборудования.
- Высокопрочный чугун маркируют буквами ВЧ и цифрами, указывающими предел прочности при растяжении и относительное удлинение.

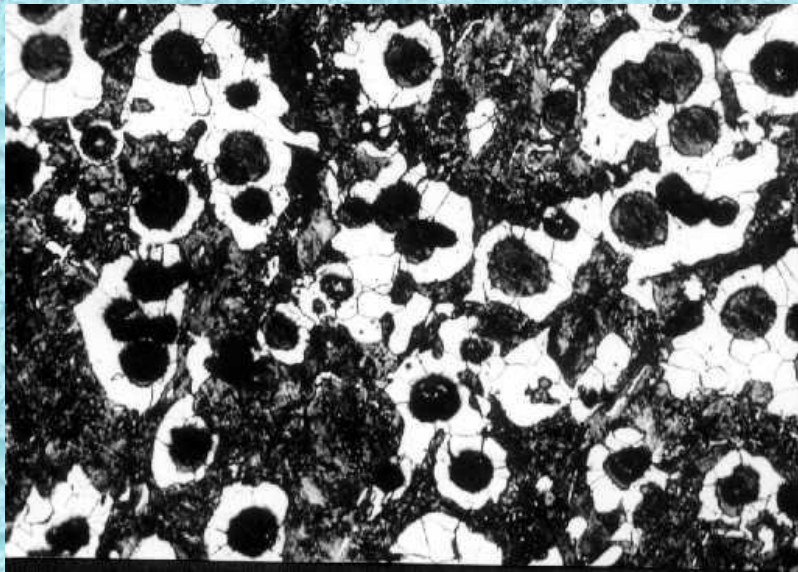
Структура высокопрочного чугуна на перлитной основе



- Структурные составляющие:
- перлит и графит (П+Г).
- Серые круглые включения графита (Г) расположены в пластинчатом перлите (П).
- Фазы: феррит (α -фаза), цементит (карбид железа Fe_3C) и графит (свободный углерод).

Твердость по Бринеллю 250 НВ

Структура высокопрочного, на феррито-перлитной основе (0,64% связанного углерода)

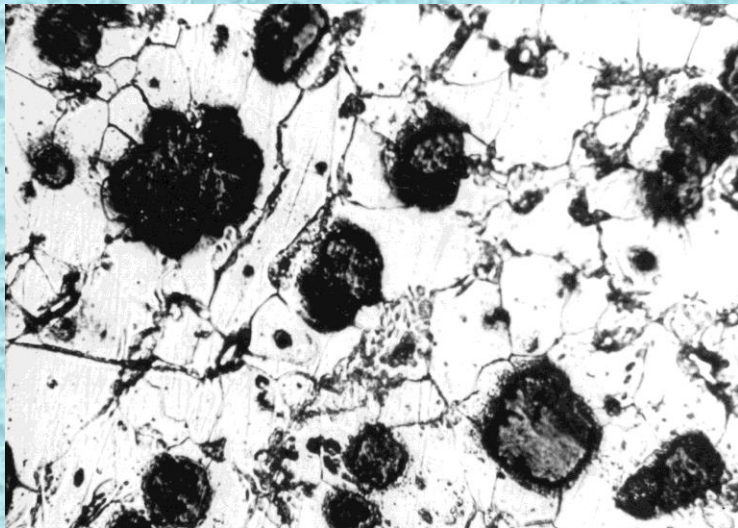


х 400

Твердость по Бринеллю ≈ 200 НВ

- Серые округлые включения графита (Г), расположенные в феррито-перлитной матрице. Графит окружен светлыми участками твердого раствора феррита (Ф) полиэдрической структуры. Темные участки — пластинчатый перлит.
- Структурные составляющие:
- феррит, перлит и графит (Ф+П+Г)
- Фазы: феррит (α -фаза), цементит (карбид железа Fe_3C) и графит (свободный углерод).

Структура высокопрочного чугуна на ферритной основе



Твердость по Бринеллю 150 НВ

Серые шаровидные включения графита на фоне ферритной матрицы.

- Структурные составляющие: феррит и графит (Ф+Г).
- Фазы: феррит (α -фаза) и графит (свободный углерод).