




ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физическое и прикладное материаловедение»

## **Учебное пособие**

«Альбом макро- и микроструктур металличе-  
ских сплавов»  
по дисциплинам

**«Теория строения материа-  
лов», «Материаловеде-  
ние», «Технология кон-  
струкционных материалов»»**



Авторы  
Пустовойт В. Н.,  
Долгачев Ю. В.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Учебное пособие разработано для студентов направления 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов», а также для студентов и магистрантов других технических специальностей, изучающих курсы «Материаловедение», «Материаловедение и технология конструкционных материалов» и предназначено для практического освоения приемов изучения макро- и микроструктуры кристаллических материалов.

## Авторы

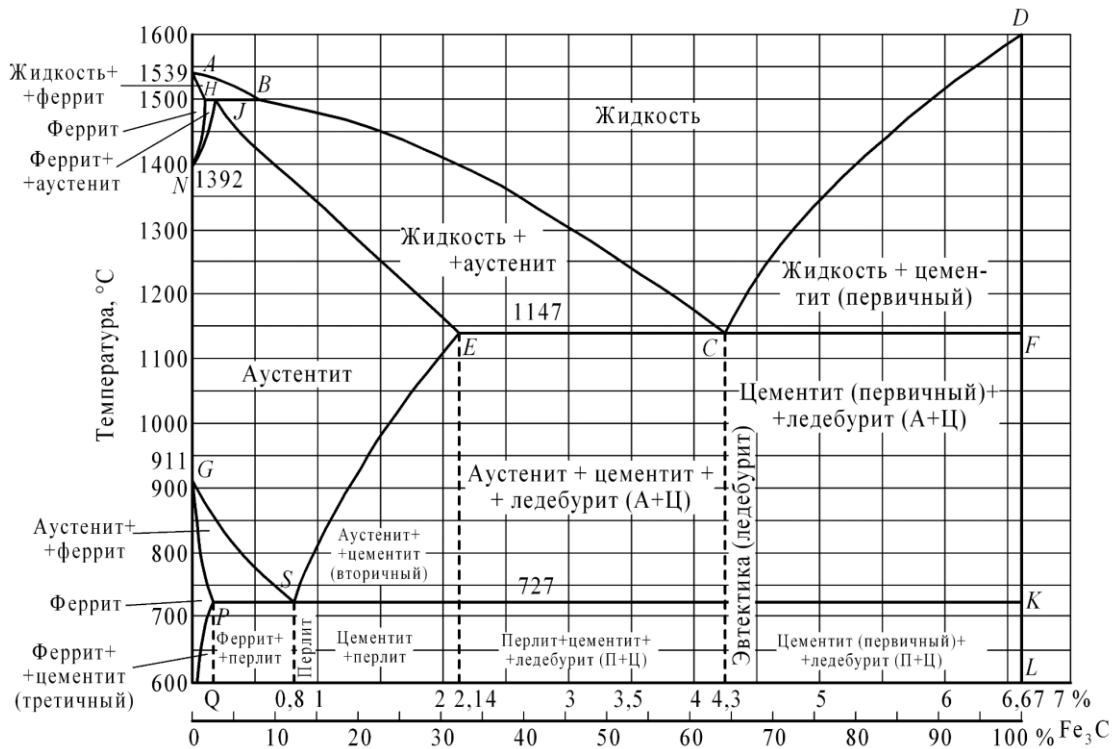
д.т.н., профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение»  
Пустовойт В.Н.,  
к.т.н., доцент кафедры «Физическое и прикладное материаловедение»  
Долгачев Ю.В.



## Оглавление

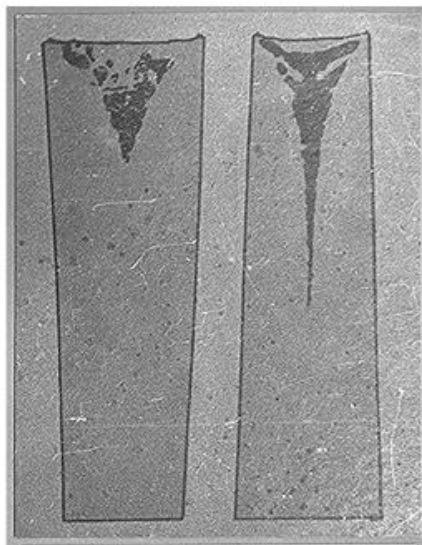
<b>СТРУКТУРНАЯ ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД</b> .....	<b>4</b>
<b>МАКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ</b> .....	<b>5</b>
<b>МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ</b> .....	<b>9</b>
<b>МИКРОСТРУКТУРА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В</b> <b>ОТОЖЖЕННОМ СОСТОЯНИИ</b> .....	<b>14</b>
<b>МИКРОСТРУКТУРА ЧУГУНА</b> .....	<b>19</b>
<b>МИКРОСТРУКТУРА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ТЕРМИЧЕСКИ</b> <b>ОБРАБОТАННОМ СОСТОЯНИИ</b> .....	<b>25</b>
<b>МИКРОСТРУКТУРА СТАЛИ В ТЕРМИЧЕСКИ ОТОЖЖЕННОМ</b> <b>СОСТОЯНИИ</b> .....	<b>29</b>
<b>МИКРОСТРУКТУРА ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ</b> .....	<b>31</b>
<b>ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СТАЛЬ</b> .....	<b>34</b>
<b>МИКРОСТРУКТУРА ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ</b> .....	<b>36</b>
<b>ЦВЕТНЫЕ СПЛАВЫ</b> .....	<b>41</b>
<b>МИКРОСТРУКТУРА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ</b> <b>НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ</b> .....	<b>43</b>

## СТРУКТУРНАЯ ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД





## **МАКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ**

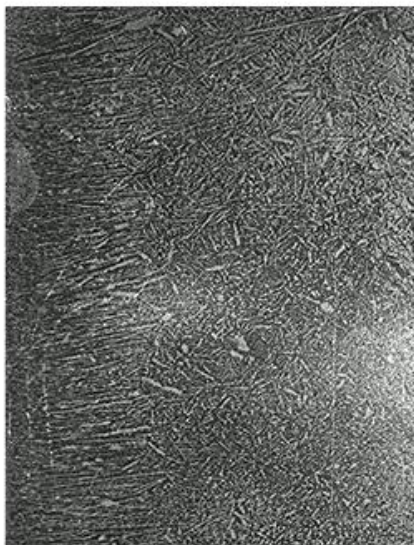


1

2

1 – продольный не протравленный шлиф стального слитка, залитого уширенной частью вверх без прибыльной надставки.

2 – залитого уширенной частью вниз. Усадочная раковина более вытянутая. Выход годного металла значительно меньше, чем в первом слитке.

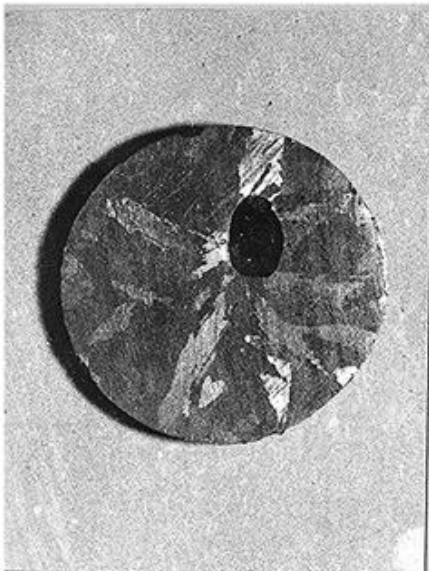


Макроструктура продольной части слитка углеродистой стали после глубокого травления. Слева просматривается первая зона кристаллизации из трудно-различимых мелких равновесных зерен, затем располагается вторая зона столбчатых крупных дендритов, за которой следует третья зона кристаллизации равновесных дендритов, более крупных в верхней (головной) части слитка и мелких в нижней (донной) части слитка.

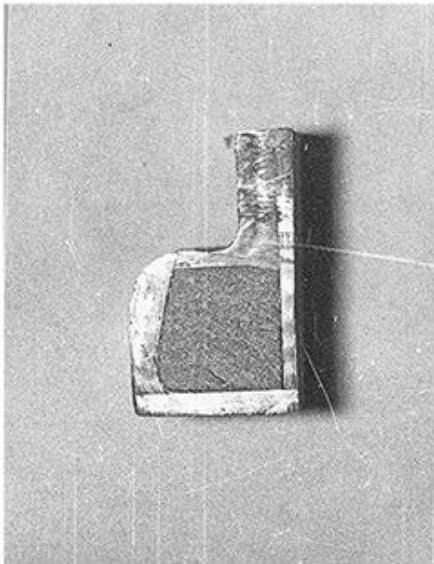


Дендритный (древовидный) монокристалл (кристаллы Чернова), найденный в усадочной раковине большого слитка стали. Образуются, когда к концу кристаллизации число дендритов малое и они не соприкасаются друг с другом, а расплав рано удаляется из усадочной раковины, поэтому они образуют хорошо развитые дендритные скелеты пирамидной формы.

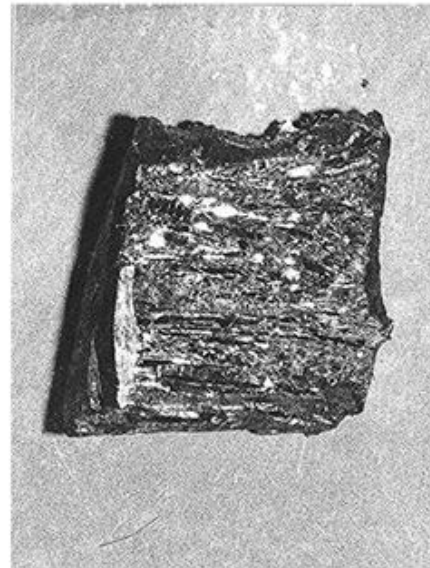




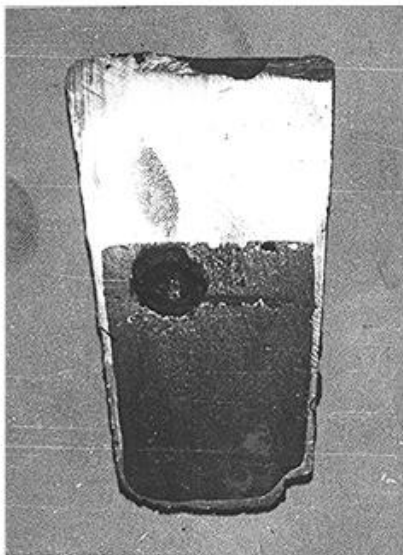
Макрошлиф поперечного сечения цилиндрического слитка цинка. Хорошо просматривается радиальное расположение столбчатых дендритов. Темное пятно – усадочная пора, часто встречающаяся в литом материале.



Мелкозернистый излом в литой детали из модифицированного силумина. Светлое обрамление – надпиловка детали для получения плоского излома.



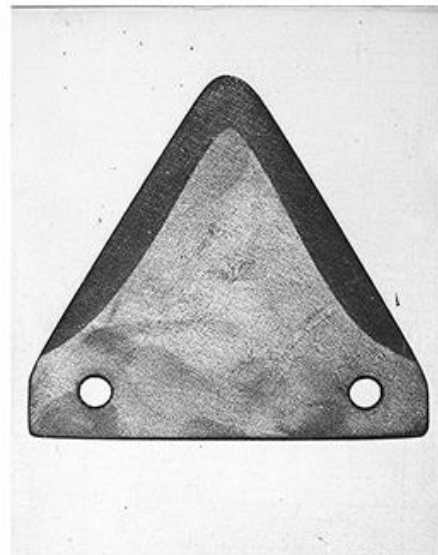
Излом слитка сурьмы. Крупные столбчатые дендриты, пронизывающие всю толщину слитка (транс-кристаллизация). Натуральная величина.



Макростроение слитка, залитого расплавом цинка и свинца. Ликвация по удельному весу (слоистая). Верхний светлый слой – цинк. Нижний темный – свинец. Более темные участки – усадочные раковины в цинке и свинце. Причина образования слоистой ликвации: отсутствие растворимости компонентов друг в друге в твердом состоянии и значительная разница по удельному весу.



Макрошлиф стальной заготовки, полученный горячей штамповкой. Просматривается волокнистое строение заготовки. Волокна повторяют конфигурацию изделия (правильное расположение волокон). Если волокна расположены параллельно усилиям, возникающим при эксплуатации детали, вдоль волокон возможно скалывание в детали.



Макрошлиф режущего сегмента косилка из стали 45 после высокочастотной закалки. Травление шлифа производилось 10% водным раствором азотной кислоты. Темная полоса – зона закалки. Светлая часть детали – исходная сталь до закалки. Если зона закалки проходит по крепежным отверстиям, то деталь бракуется.

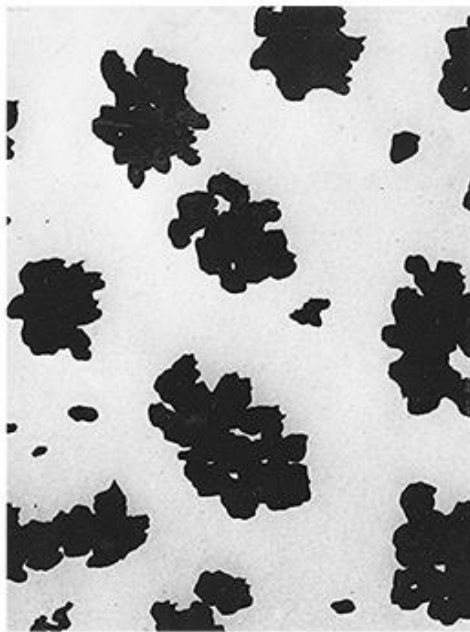




## **МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ**

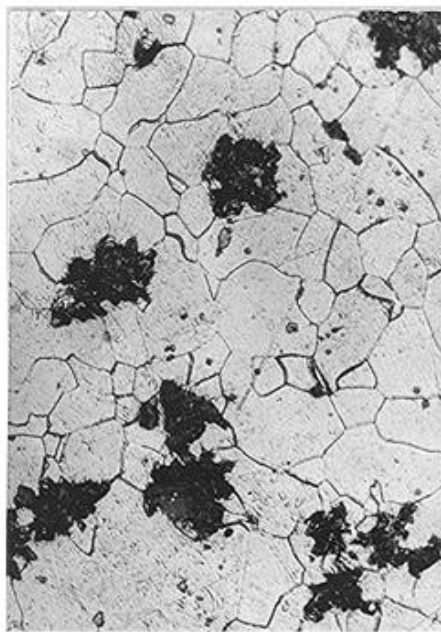


Металлографический исследовательский микроскоп МИМ-7 вертикального типа.



X 450

Хлопьевидная форма графита в ковком чугуне. Светлый фон – металлическая основа чугуна. Микрошлиф до травления



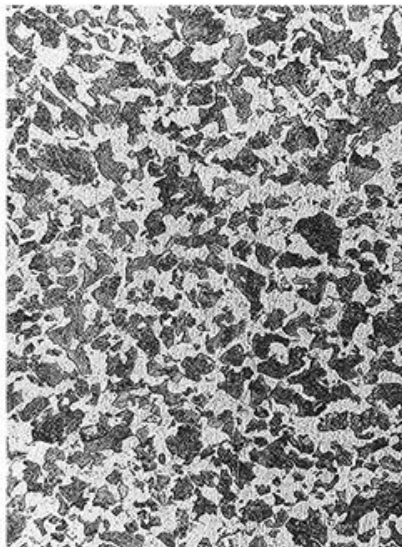
X 340

Микроструктура ковкого чугуна после травления 4% раствором азотной кислоты в спирте. Просматривается металлическая основа в виде светлых зерен феррита



X440

Микроструктура отожженной низкоуглеродистой стали (0,08%С). Структура состоит из зерен феррита различной окраски и очень малого количества перлита (более темные участки). Неодинаковость окраски ферритных зерен объясняется их анизотропией свойств (в данном случае неодинаковой протравимостью по различным кристаллографическим плоскостям).



X270

Микроструктура отожженной углеродистой стали доэвтектоидного состава (0,4%С). Светлые зерна – феррит, темные – перлит.



X600

Микроструктура углеродистой стали эвтектоидного состава (0,88%С). Темные и светлые зерна – перлит пластинчатый. При данном увеличении пластинчатое строение перлита просматривается не во всех зернах за счет различной их ориентации.





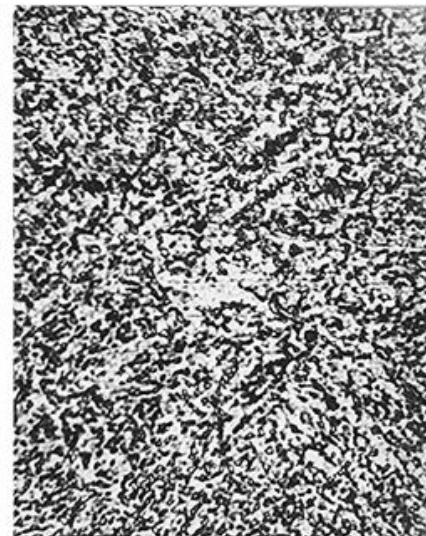
Увеличение – 1200 X 2

Электронная микрофотография структуры перлита пластинчатого, полученная путем исследования кварцевой пленки в электронном микроскопе. Светлые пластинки – цементит. Темные – феррит.



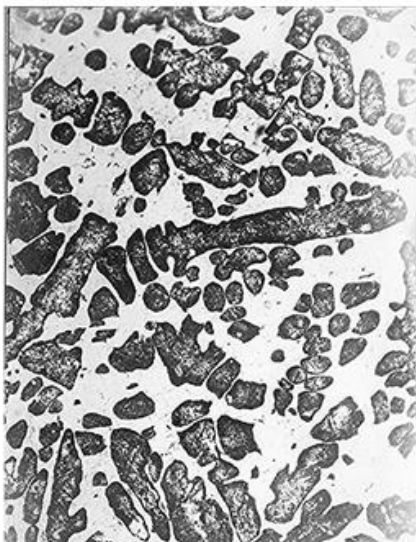
X600

Микроструктура углеродистой стали (0,8% C) после закалки в воде. Просматриваются иглы мартенсита закалки и некоторое количество остаточного аустенита (светлые изолированные участки).



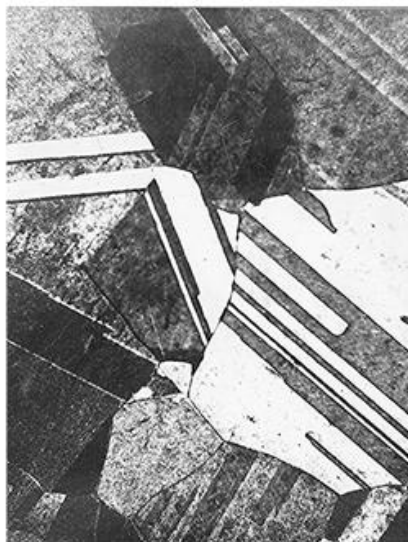
X1350

Микроструктура углеродистой стали (0,8%С) после закалки и отпуска (600°С). В структуре сорбита отпуска сохранилась ориентация игл (пластин) исходного мартенсита. В некоторых участках сорбита отпуска просматривается его строение – мелкие округлые частички цементита, расположенные на ферритной светлой основе. Четкую картину строения сорбита получают в электронном микроскопе, обеспечивающем увеличение в десятки тысяч раз.



X440

Микроструктура литой однофазной латуни. Ярко выражено дендритное строение  $\alpha$  – твердого раствора за счет внутрикристаллической ликвации (неоднородности химсостава в пределах каждого дендрита зерна), обуславливающей различную окраску внутренних и наружных участков дендрита после травления микрошлифа.



X440

Микроструктура однофазной латуни после холодной обработки давлением и рекристаллизационного отжига. Различной окраски зерна  $\alpha$  – твердого раствора (цинка меди). Ограниченные участки в зернах двумя параллельными линиями называются двойниками. Возникают в результате сдвига в зернах по определенным кристаллографическим плоскостям. Наличие их в структуре характеризует высокую пластичность сплава.



X 340

Микроструктура белого чугуна доэвтектоидного состава (2,6% углерода). Участки точечного строения ледебурит. Темные участки – перлит. Светлый фон – цементит ледебурита (эвтектический) и цементит вторичный.



## **МИКРОСТРУКТУРА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ОТОЖЖЕННОМ СОСТОЯНИИ**





X600

Микроструктура технического железа (0,015%С). Зона феррита (Ф). По границам зерен феррита более светлые включения третичного цементита (Ц<sub>ш</sub>). При содержании углерода менее 0,006% Ц<sub>ш</sub> отсутствует.



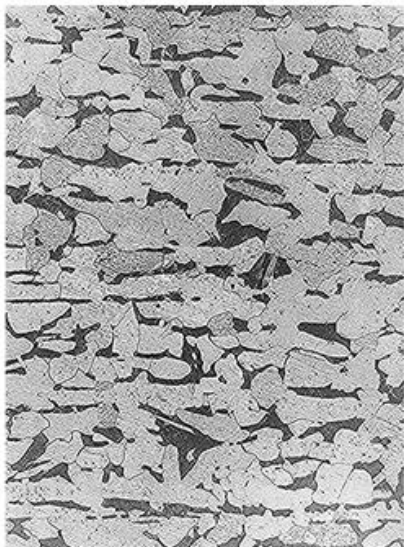
X440

Микроструктура углеродистой стали 08кп (0,08%С). Различной окраски зерна феррита, по границам которых просматривается наибольшее количество более темных участков перлита (П).



X250

Микроструктура углеродистой стали 25 (0,25%С). Светлые и слабо затемненные участки – зерна феррита (Ф). Более темные – зерна перлита. Количество перлита значительно больше, чем в стали 08кп.



X250

Микроструктура углеродистой стали 25 (0,25%С) после прокатки. Вытянутые вдоль направления прокатки зерна феррита (светлые) и перлита (темные). Такая структура называется строчечной. Обуславливает неодинаковость свойств стали вдоль и поперек прокатки.



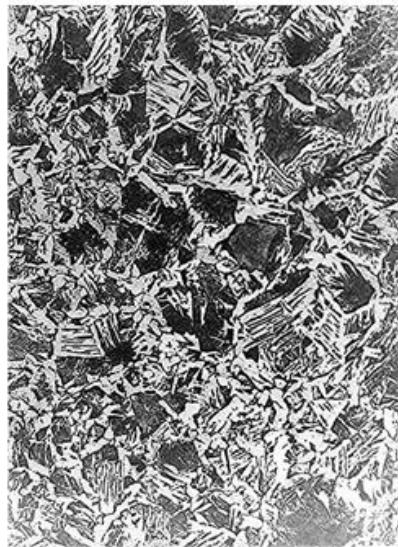
X250

Микроструктура углеродистой стали 45 (0,45%С).

Светлые зерна – феррит (Ф).

Темные – перлит (П).

Количество перлита больше, чем в стали 25. Температура отжига 850°С.



X200

Микроструктура стали 45 (0,45%С) после отжига от 1000°С. Перегрев. Видманштетова структура. Отличается крупнозернистостью перлита и феррита, а также характерной формой феррита в дозавтектоидной, а цементита в заэвтектоидной стали в виде ил и пластин, расположенных по кристаллографическим плоскостям. Может также наблюдаться в литой и горячекованной стали. Обладает очень низкими механическими свойствами.





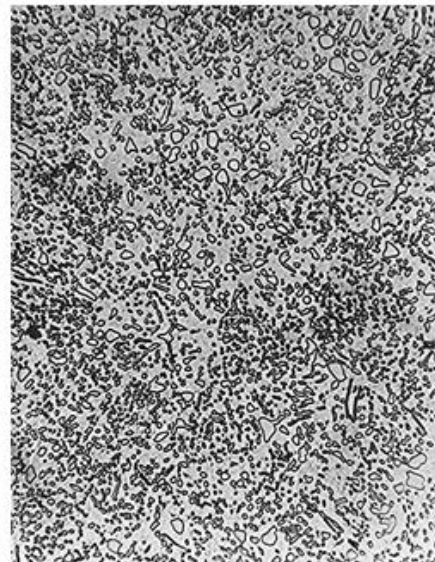
X1350

Микроструктура углеродистой стали У8 эвтектоидного состава (0,8%С). 100% пластинчатый перлит. Структура его зерен состоит из тонких пластин цементита, расположенных в вязкой ферритной основе. При травлении 4% раствором азотной кислоты в спирте феррит и цементит просматриваются в микроскопе светлыми. Поэтому на микрофотографии имеют одинаковую окраску.



Увеличение 7000X2

Электронная микрофотография строения пластинчатого перлита, получается путем исследования углеродной реплики в электронном микроскопе. Светлые пластинки цементита в вязкой ферритной основе.



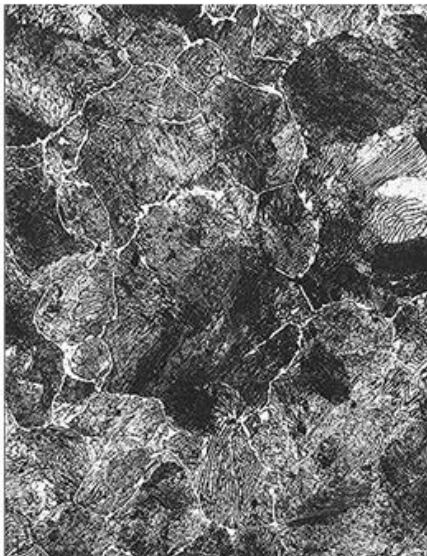
X600

Микроструктура углеродистой стали У8 эвтектоидного состава (0,8%) после специального отжига на зернистый перлит. 100% зернистый перлит. Отличается от пластинчатого зернистой формой цементита. Обладает большей вязкостью и лучшей обрабатываемостью режущим инструментом.



Увеличение 7000 X 2

Электронная микрофотография строения зернистого перлита. Светлые округлой формы частички цементита в ферритной основе.



X600

Микроструктура заэвтектоидной углеродистой стали У12 (1.2% С). Темные и светлые зерна пластинчатого перлита. По границам зерен перлита тонкая светлая сетка вторичного цементита ( $C_n$ ).



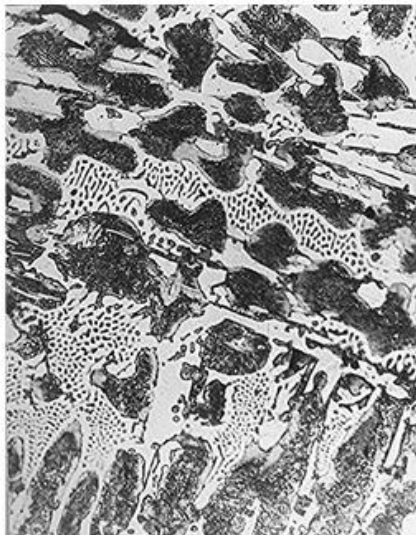
X700

Структура пластинчатого перлита, полученная путем исследования на просвечивание в электронном микроскопе фольги из стали У8 толщиной 500 А. Темные пластинки – цементит. Светлые – феррит. Фольга изготовлена методом шлифования и последующего электролитического полирования.



## **МИКРОСТРУКТУРА ЧУГУНА**





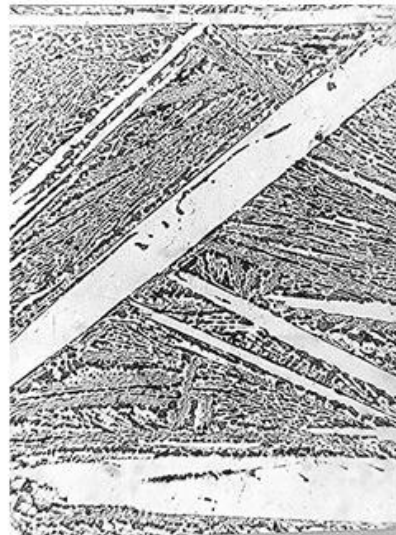
X340

Структура белого чугуна дравтектического состава (2,5%С). Темные участки – перлит. Участки с точечным строением – ледебурит. Светлый фон – цементит ледебурита (эвтектический) и цементит вторичный. Белый чугун обладает высокой твердостью, износостойкостью и хрупкостью, практически не обрабатывается резанием.



X500

Структура эвтектического белого чугуна (4,3%С). 100% ледебурит (Л). Точечные и более крупные темные участки – перлит. Светлый фон – эвтектический (ледебуритный) и вторичный цементит. В результате слияния (коалиценции) точечного перлита образуются более крупные участки, вокруг которых увеличивается светлое поле цементита



X500

Структура белого чугуна заэвтектического состава (5%С). Крупные светлые иглы и пластины первичного цементита ( $C_1$ ), расположенные в ледебуритной основе. За счет коалиценции перлита в ледебурите наблюдается характерное его точечное строение.





X340

Пластинчатая (лепестковая) форма графита в сером чугуна. Светлый фон – металлическая основа чугуна, строение ее не просматривается. Микроскоп до травления.



X340

Структура ферритного серого чугуна после травления микроскопа 4% раствором азотной кислоты в спирте. Металлическая основа – светлые зерна феррита, в которой располагаются графитные включения пластинчатой формы.



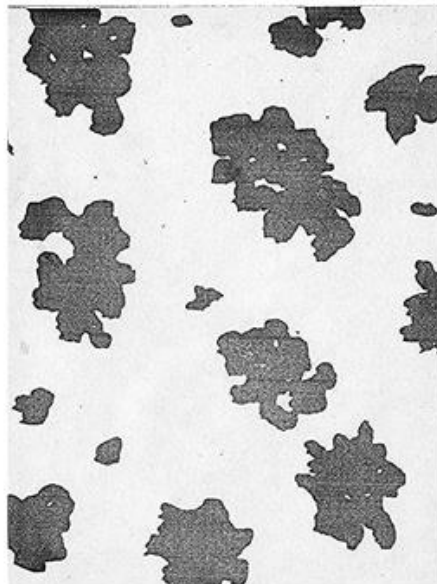
X250

Микроструктура перлитоферритного серого чугуна. Светлый фон – феррит. Темные участки – перлит. Графитные включения пластинчатой формы.



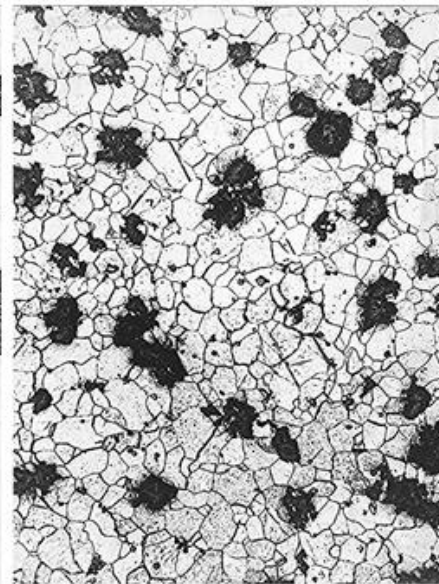
X250

Структура перлитного серого чугуна. Темный фон – перлит. Более темные включения пластинчатой формы (прямолинейный графит) в перлитной основе. Мелкие светлые участки цементита, значительное количество которого не должно присутствовать в структуре.



X340

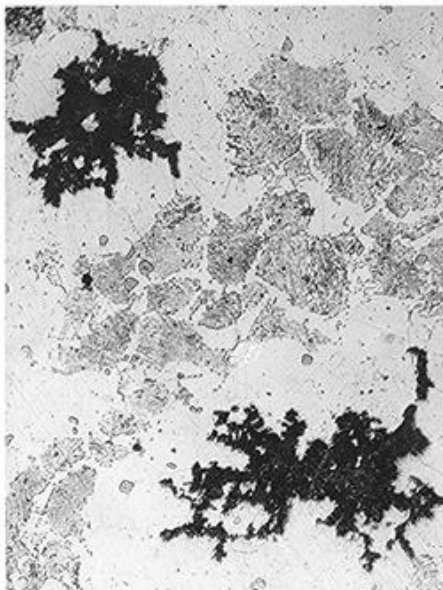
Хлопьевидный графит в ковком чугуне. Светлый фон – металлическая основа чугуна, кристаллическое строение ее не просматривается. Микрошлиф до травления.



X100

Микроструктура ферритного ковкого чугуна. Светлые зерна – феррит. Темные – хлопьевидный графит в ферритной основе. Микрошлиф после травления.





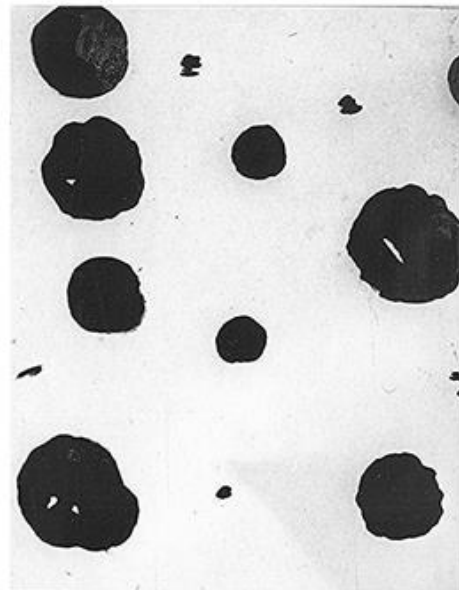
X440

Структура феррито-перлитного ковкого чугуна. Светлый фон - феррит, границы зерен не протравлены. Более темные участки металлической основы - перлит. Включения черной окраски в феррите - хлопьевидный графит.



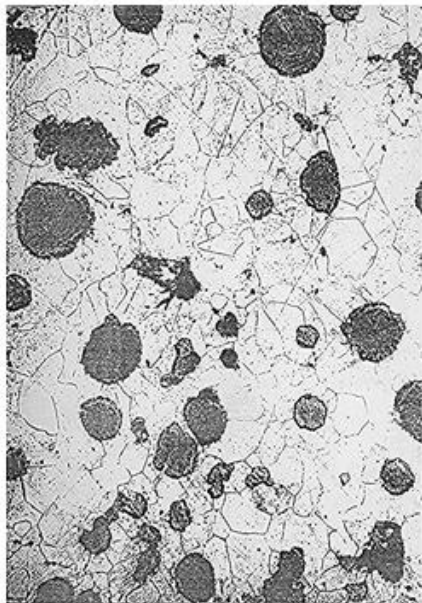
X340

Микроструктура перлитного ковкого чугуна. Темный фон - перлит. Незначительные светлые участки около хлопьевидного графита - феррита, который может полностью отсутствовать.



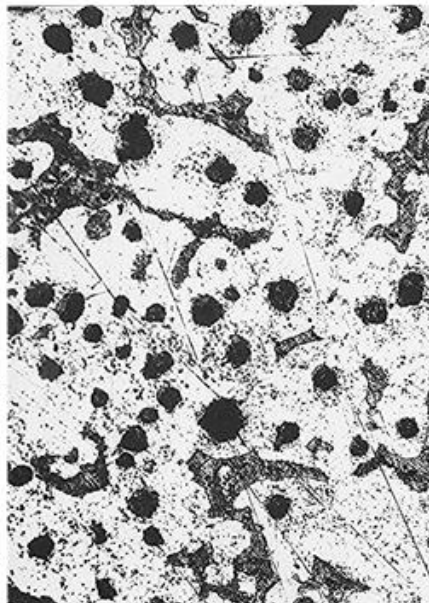
X340

Шаровидный графит в высокопрочном чугуна. Светлый фон - металлическая (сталистая) основа чугуна, кристаллическое строение ее не просматривается. Микршлиф до травления.



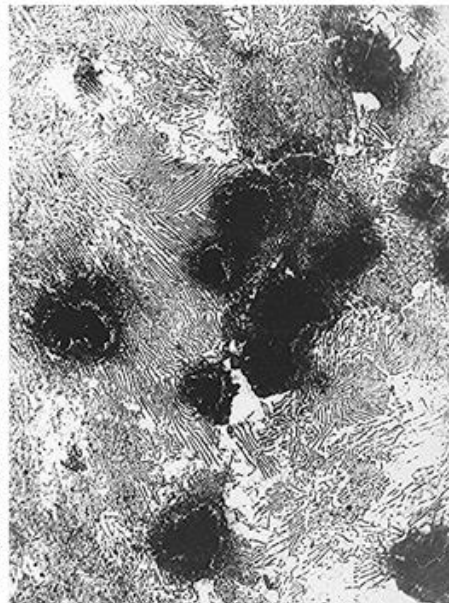
X200

Структура ферритного высокопрочного чугуна после травления микрошлифа. Металлическая основа – светлые зерна феррита. В ферритной основе располагаются включения шаровидного графита.



X100

Структура ферритперлитного высокопрочного чугуна. Темные участки – перлит. Светлые – феррит. Более темные участки – включения шаровидного графита.



X340

Микроструктура перлитного высокопрочного чугуна. Металлическая основа – перлит пластинчатый с очень малым количеством феррита (светлые участки). Графитные включения шаровидной формы.



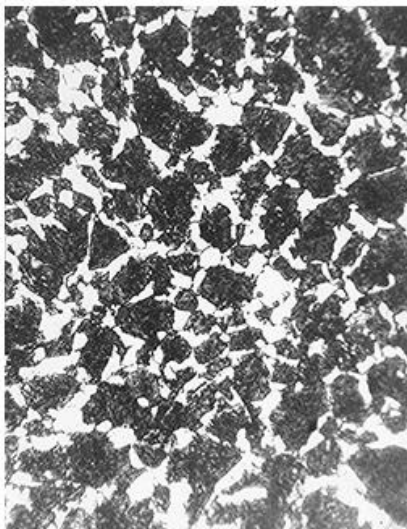
## **МИКРОСТРУКТУРА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОМ СОСТОЯНИИ**





X340

Микроструктура доэвтектоидной углеродистой стали 45 (0,45%С) после полного отжига (нагрев выше  $A_{c3}$  с последующим охлаждением вместе с печью). Темные участки – перлит. Светлые – феррит.



X340

Микроструктура углеродистой стали 45 после нормализации нагрев выше  $A_{c3}$  с последующим охлаждением на воздухе. Отличается от стали 45 после полного отжига большей мелкозернистостью перлита и феррита. Это обуславливает некоторое повышение прочности, твердости и снижение пластичности. Темные участки – перлит. Светлые – феррит.



X500

Структура стали 45 после полной закалки в воде (нагрев выше  $A_{c3}$  на 30-50°C) от 850°C. Мартенсит закалки (пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе). Кристаллы мартенсита представляют собой пластины (в плоскости шлифа имеют вид игл), расположенных параллельно или под углом 60-120°. Поэтому применим термин «игльчатость». В данном случае среднеигльчатый мартенсит закалки.





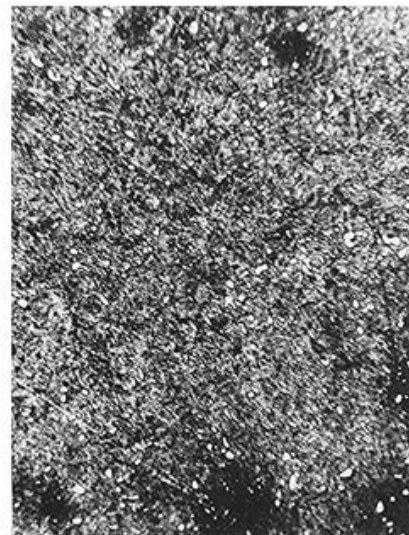
X600

Структура стали 45 после полной закалки от  $1000^{\circ}\text{C}$  в воде. Крупноигольчатый мартенсит. Иглы расположены параллельно. Такой мартенсит называют «речным» или «пакетным». Обладает повышенной хрупкостью и высокими внутренними напряжениями. Брак «перегрев», исправимый повторной закалкой от нормальной температуры закалки  $850^{\circ}\text{C}$ .



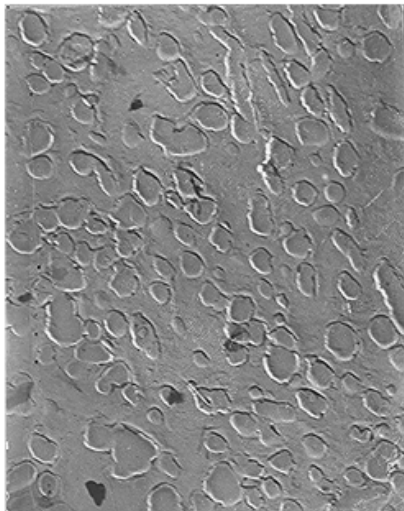
X600

Структура закаленной эвтектидной стали У8 (0,8% С) в воде от  $780^{\circ}\text{C}$ . Среднеигольчатый мартенсит закалки. Просматривается некоторое количество светлых изолированных участков – остаточный аустенит.



X500

Структура стали У11 (1,1%С) после неполной закалки в воде от  $750^{\circ}\text{C}$  (нагрев выше  $A_{c1}$ , но ниже  $A_{cm}$ ). Мелкоигольчатый мартенсит. Возможно образование мартенсита в котором не просматривается иглочатость строения, так ой мартенсит называют бесструктурным или скрытокристаллическим. В мартенистой основе располагаются светлой окраски частички вторичного цементита ( $C_{II}$ ).



Увеличение 12000X2

Структура тростита отпуска, полученная исследованием углеродистой реплики в электронном микроскопе. Отличается от строения тростита закалки зернистой (округлой) формой цементита. Светлые, высокодисперсные частицы цементита, внедренные в вязкой ферритной основе (феррит + цементит зернистый). Обладает лучшим комплексом механических свойств по сравнению с троститом закалки.



X1350

Структура тростита отпуска, полученная после отпуска при 400°C закаленной стали 45 на мартенсит. Повышенная протравимость структуры за счет высокой дисперсности частиц цементита в ферритной основе обуславливает затемненную картину строения. Ясную картину строения получают в электронном микроскопе. Особенностью структуры является сохранение ориентации распавшихся игл исходного мартенсита в феррито-цементитную смесь.



X1350

Структура сорбита отпуска, полученная путем отпуска при 600°C закаленной стали 45 на мартенсит. Отличается от тростита отпуска меньшей дисперсностью феррито-цементитной смеси за счет укрепления частиц цементита. В структуре также наблюдается сохранение ориентации распавшихся игл исходного мартенсита. Четкая картина строения наблюдается в электронном микроскопе.



## **МИКРОСТРУКТУРА СТАЛИ В ТЕРМИЧЕСКИ ОТОЖЖЕННОМ СОСТОЯНИИ**





X600

Структура заэвтектоидной высокоуглеродистой стали У12 (1,2%С) после закалки в воде от 850°С (перегрев). Крупнооигольчатый мартенсит закалки. Светлые поля между иглами мартенсита – остаточный аустенит, который может присутствовать в высокоуглеродистых сталях в количестве 20 - 30%. В сталях с содержанием углерода более 0,6% он почти отсутствует (2-3%). В структуре так же присутствует в виде мелких частичек  $\text{Cn}$ .



X340

Структура стали 45 (0,45%С) после закалки в масле от 850°С (скорость охлаждения меньше  $V_{кр}$ ). В отличие от полной закалки в воде, структура состоит из темных зерен тростита закалки и светлых – мартенсита закалки. Строение тростита при данном увеличении не просматривается.

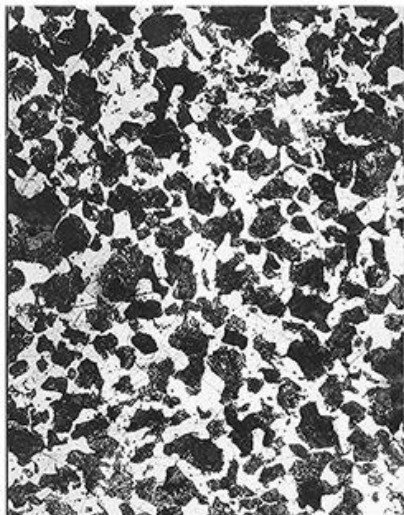


Увеличение 7000X2

Строение тростита закалки, полученное исследованием углеродной реплики в электронном микроскопе. Светлые пластинки цементита, внедренные в ферритной основе (высокодисперсная смесь Феррита и цементита пластинчатого).



## **МИКРОСТРУКТУРА ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**



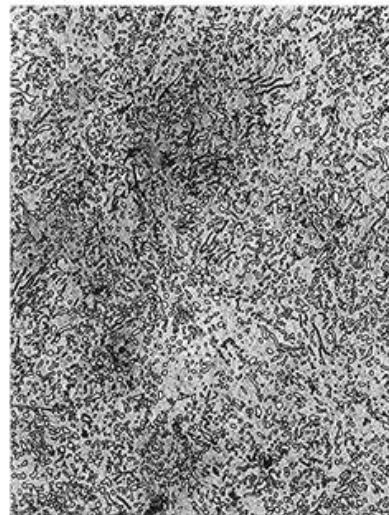
X250

Микроструктура легированной конструкционной стали доэвтектоидного класса 40ХГ (0,4%С, 1,0%Cr, 1,0% Mn) после отжига. Темные участки – зерна перлита. Светлые – зерна феррита. По общему виду структура не отличается от углеродистой стали 40. При низком содержании легирующие элементы Cr и Mn не образуют специальных фаз в стали, а растворяясь в феррите и цементите, упрочняют ее.



X1000

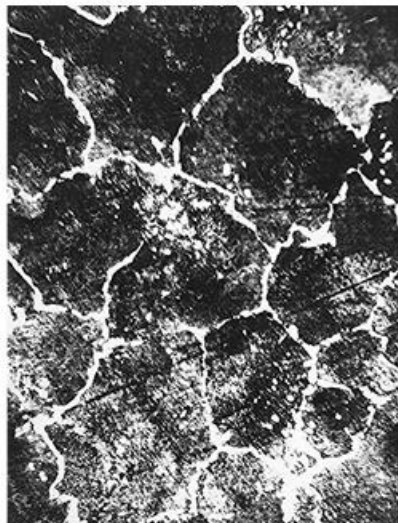
Структура отожженной конструкционной легированной стали эвтектоидного класса 70С3А (0,7%С, 3,0%Si). 100% перлит пластинчатый. В отличие от углеродистой стали 70 в структуре отсутствует сетка феррита по границам зерен перлита, т.к. в легированной стали перлит может образоваться при содержании углерода менее 0,8%. Данная сталь высококачественная (содержание вредных примесей S менее 0,02%, P менее 0,035%).



X600

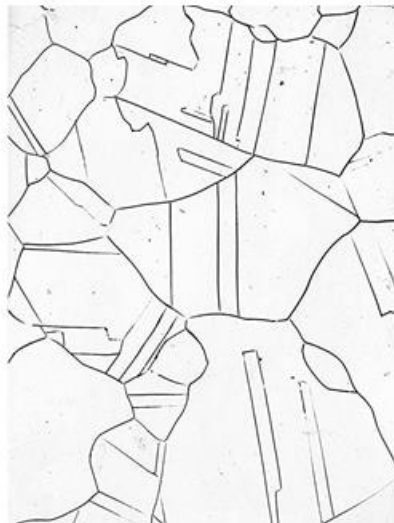
Структура стали 70С3А после отжига на зернистый перлит. 100% перлит зернистый. Светлые частички цементита, внедренные в светлой ферритной основе. Буква А в конце марки указывает, что сталь высококачественная.



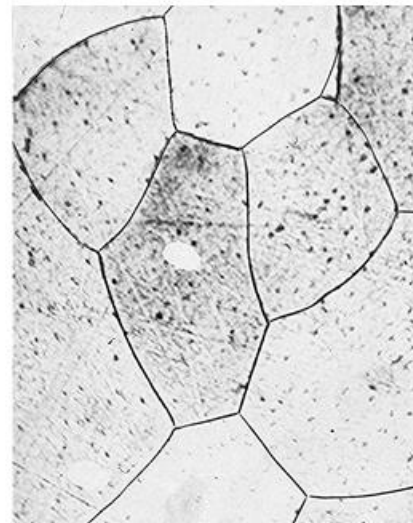


X340

Структура отожженной инструментальной стали заэвтектоидного класса ХГ (1,3%С, 1,4%Сr, 0,7%Мn). Темные участки – перлит. Светлая сетка – вторичные карбиды. Внешне структура не отличается от заэвтектоидной углеродистой стали У13. Карбидная сетка снижает механические свойства стали. Для устранения карбидной сетки сталь подвергают отжигу на зернистый перлит + вторичные карбиды.



Микроструктура легированной стали аустенитного класса Х18Н9Т (1,0%С, 18%Сr, 9%Ni, 0,6%Ti) после закалки в воде от 1050°С. 100% аустенит. Характерной особенностью структуры является наличие в зернах аустенита двойников (участков, ограниченных параллельными линиями). Наличие их в структуре – признак высокой пластичности сплава. Аустенит немагнитен. В отожженном состоянии по границам зерен аустенита присутствуют включения карбидов типа TiC.



X600

Структура отожженной легированной стали Э42 (0,06%С, 4,5%Si) ферритного класса. 100% феррит, легированный кремнием. Цифра 4 в марке стали указывает на примерное содержание кремния, цифра 2 – на уровень электротехнических и магнитных свойств. Стали ферритного класса с высоким содержанием Cr, Al, Si являются жаростойкими.

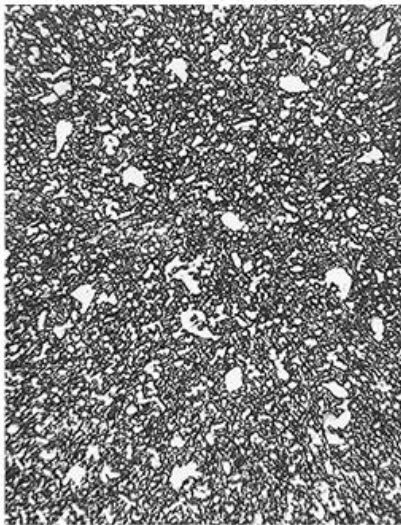


## **ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СТАЛЬ**



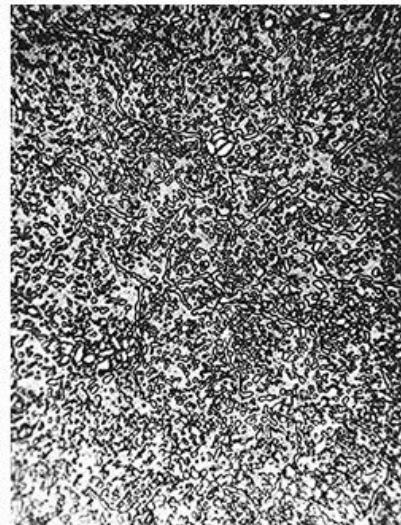
X600

Структура литой быстрорежущей стали P18 (0,75%С, 18%W, 1,2%V, 4,0%Cr). Ледебуритный класс. Участки елочного строения – ледебурит. Светлые участки – аустенит. Темные δ - эвтектоид. За счет большого количества ледебурита сталь практически не поддается обработке резанием. Поэтому литую сталь подвергают ковке для раздробления ледебурита в отдельные карбиды и последующему изотермическому отжигу.



X600

Структура быстрорежущей стали P18 после горячейковки и последующего изотермического отжига. Крупные, округлой формы первичные карбиды, входившие в состав ледебурита. Менее крупные – вторичные карбиды, выделившиеся из аустенита. Основной фон – мелкозернистый перлит (сорбит). В таком структурном состоянии сталь достаточно хорошо обрабатывается режущим инструментом.

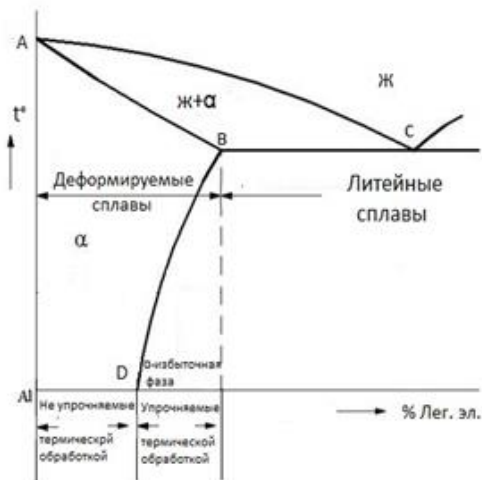


X600

Структура инструментальной легированной стали эвтектоидного класса ХГ (1,3%С, 1,4%Cr, 0,7% Мг) после отжига на зернистый перлит + вторичные карбиды. Основной фон – зернистый перлит. Более крупные светлые включения – вторичные карбиды. В отличие от стали P18 вторичных карбидов значительно меньше первичные карбиды вообще отсутствуют.



## МИКРОСТРУКТУРА ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ



Классификация алюминиевых сплавов по диаграмме состояния алюминий-легирующий элемент.

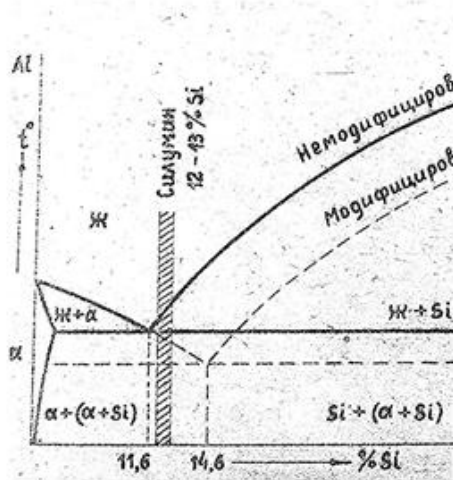


Схема влияния модифицирования на кристаллизацию в системе алюминий - кремний.



X340

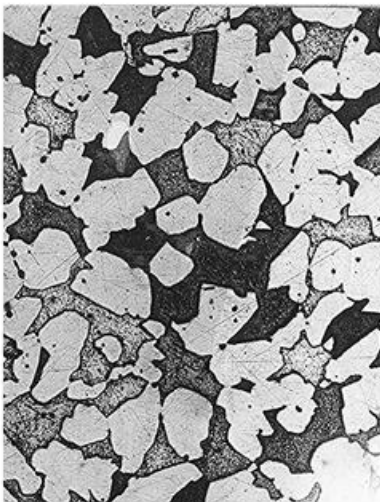
Микроструктура литого дуралюмина Д1. Светлые зерна – α-твердый раствор, в основном меди в алюминии. Темные выделения – фаза  $\text{CuAl}_2$ . Д1 относится к сплавам упрочняемым термической обработкой.





X440

Микроструктура однофазной латуни Л68 (32%Zn) после холодной пластической деформации и рекристаллизационного отжига при 500°C. Различной окраски зерна  $\alpha$ -твердого раствора цинка в меди. Наличие двойников в зернах – признак высокой пластичности сплавов.



X440

Микроструктура двухфазной латуни Л59 (41%Zn). Светлые зерна –  $\alpha$  – твердый раствор цинка в меди. Темные –  $\beta$  – твердый раствор на базе электронного соединения CuZn. Наличие хрупкой  $\beta$  – фазы резко снижает пластичность латуни. Практически используются однофазные  $\alpha$ -латуни до 39% цинка и двухфазные  $\alpha+\beta$  - латуни более 39% до 45% цинка.

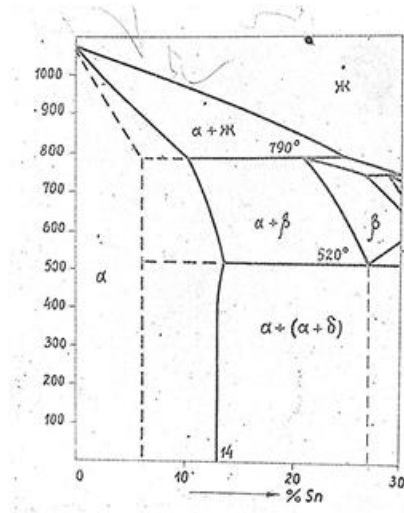
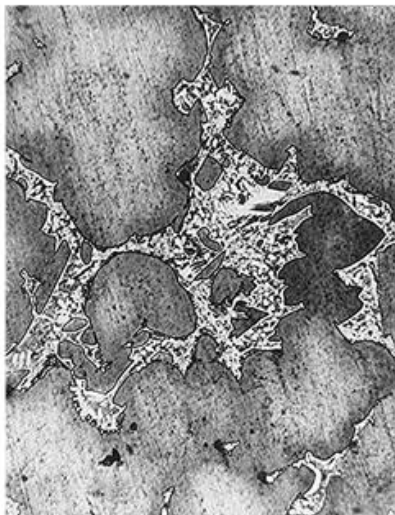


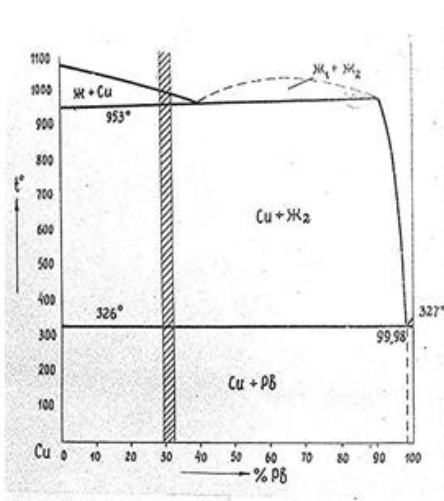
Диаграмма состояния сплавов системы медь-олово.  
 $\alpha$  – твердый раствор олова и меди.  
 $\beta$  – твердый раствор на базе электронного соединения Cu<sub>31</sub>Sn<sub>8</sub>.  
 $\delta$  – электронное соединение Cu<sub>31</sub>Sn<sub>8</sub>.  
 Пунктирные линии показаны для неравновесной кристаллизации.





X600

Микроструктура литой оловянной бронзы Бр010 (10%Sn). Темное поле –  $\alpha$  – твердый раствор олова в меди + эвтектоид ( $\alpha + \delta$ ). Основной эвтектоид является  $\delta$  – фаза ( $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ ) – светлое поле, в которой внедрены мелкие темные выделения  $\alpha$  – твердого раствора. После отжига сплав имеет структуру, подобную однофазной латуни (см.стр. 27).



Диаграммы состояния сплавов системы медь – свинец.



X340

Структура свинцовой бронзы БрС30 (30%Pb). Светлые участки – зерна меди. Темные – зерна свинца. По диаграмме состояния структура должна состоять из зерен меди и эвтектики ( $\text{Cu} + \text{Pb}$ ). Однако эвтектика содержит 99,98% Pb и практически представляет собой зерна свинца. Сплав обладает высокими антифрикционными свойствами.

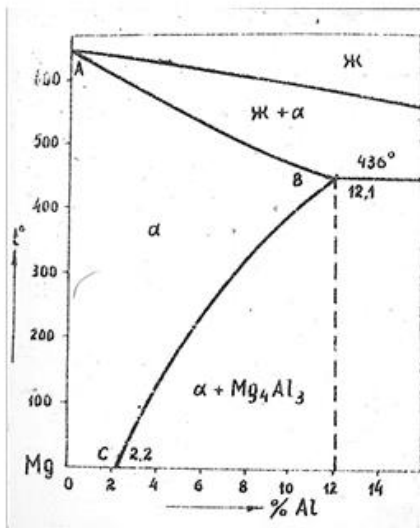
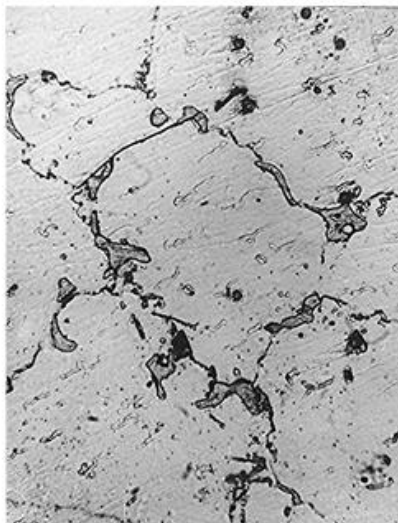
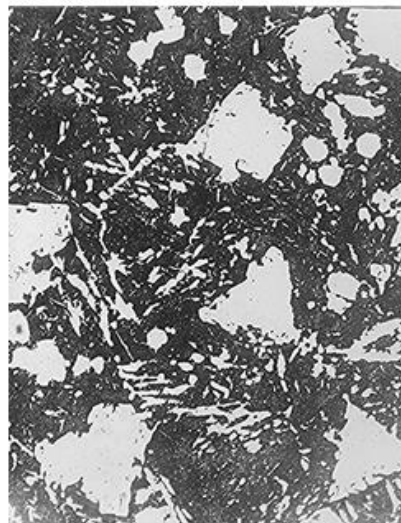


Диаграмма состояния системы  
 магний – алюминий.  
 $\alpha$  – твердый раствор алюминия  
 в магнии



X600

Микроструктура литейного магниевого сплава М15 (8%Al, 0,8%Zn, 0,3%Mn). Светлые зерна –  $\alpha$  – твердый раствор Al и Zn в магнии. Более темные зерна – фаза  $Mg_4Al_3$ , которая располагается по границам  $\alpha$  – твердого раствора. В марке цифра 5 указывает № сплава по ГОСТу. Магниевого сплавы могут быть деформируемыми, которые маркируются буквами МА.



Микроструктура баббита Б83 (83%Sn, 2%Sb, 6%Cu). Темный фон –  $\alpha$  – твердый раствор сурьмы в олове и мелкие светлые частички  $Cu_4Sn$  и SnSb, внедрение в него, представляют тройную эвтектику ( $\alpha + Cu_4Sn + SnSb$ ). Светлые выделения в виде игол и звездочек – соединение  $Cu_6Sn_5$ . Светлые кубические кристаллы – соединение SnSb. Эвтектика – мягкая структурная составляющая. Соединение – твердая структурная составляющая.



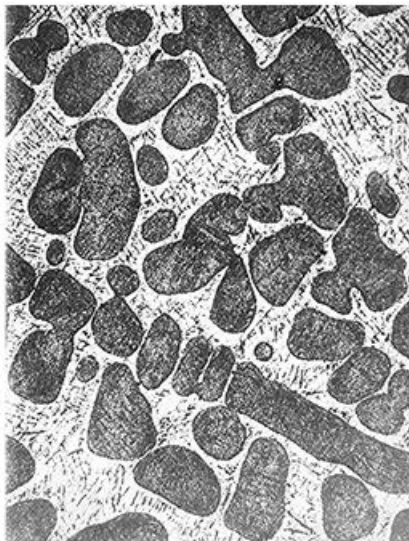
## **ЦВЕТНЫЕ СПЛАВЫ**





X340

Микроструктура серебряного припоя марки ПСр50 (50%Ag, 50%Cu). Первичные зерна  $\beta$ -фазы (темные) и эвтектика ( $\alpha+\beta$ ) – микросмесь зерен двух твердых растворов.  $\beta$  – фаза, ограниченный твердый раствор серебра в меди.  $\alpha$  – фаза, ограниченный твердый раствор меди в серебре (светлые зерна). Обладает достаточной прочностью, пластичностью, хорошей жидкотекучестью, высокой электропроводностью.



X340

Микроструктура оловянноцинкового припоя марки ПОЦ40 (40%Sn). Первичные зерна цинка (темные) и эвтектика (Sn + Zn) – микросмесь зерен олова (светлые) и цинка (темные).

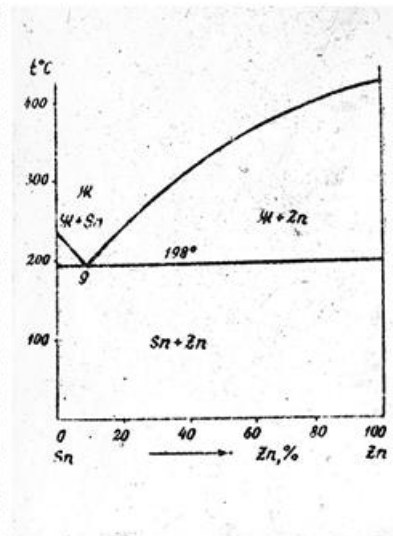
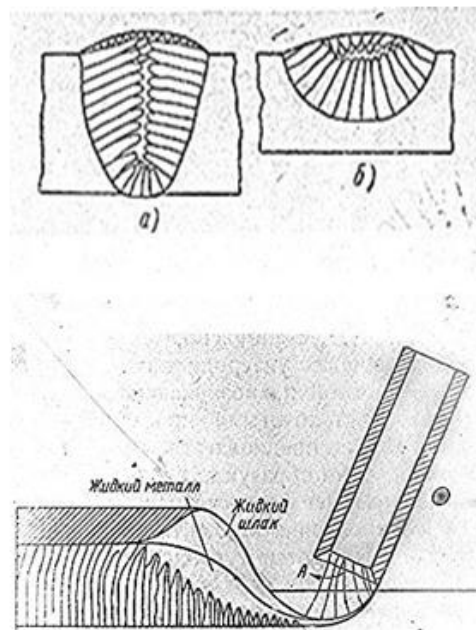
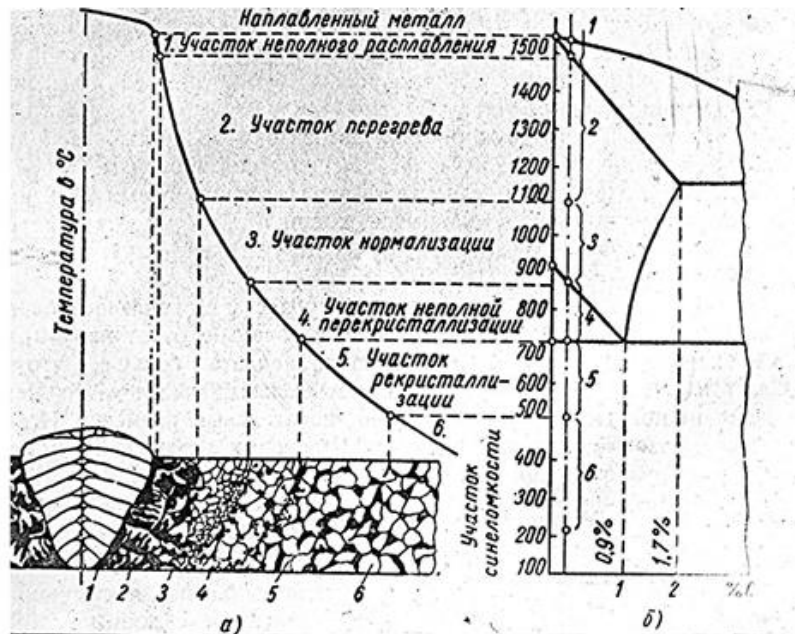


Диаграмма состояния олово - цинк. В литературе обычно печатается такой упрощенный вид диаграммы с учетом полной взаимной не растворимости компонентов в твердом состоянии. Однако данные компоненты обладают практически незначительной растворимостью друг в друге, которую не учитывают. Поэтому считают, что при кристаллизации данных сплавов, из жидкой фазы выделяются не ограниченные твердые растворы  $\alpha$  и  $\beta$ , а кристаллы чистых компонентов Sn и Zn.



## **МИКРОСТРУКТУРА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**



Температурные границы участков зоны термического влияния.

а) – схема микроструктур околошовной зоны.

б) – схема диаграммы состояния железо цементит с указанными на ней участками термического влияния для низкоуглеродистой стали.

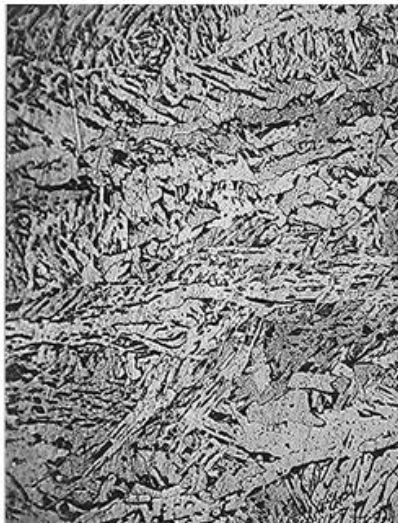
Верхний снимок – схема кристаллизации металла сварного шва.

а – шов с глубоким проваром.

б – шов с малым проваром.

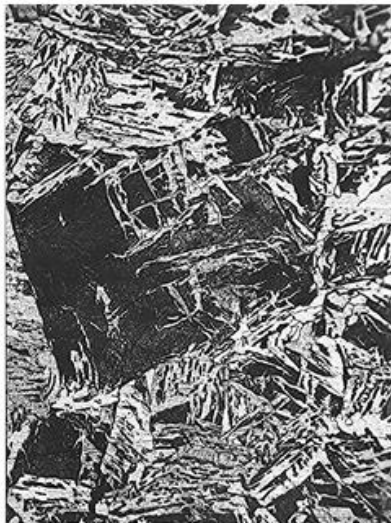
Нижний снимок – схема процесса образования валика наплавленного металла.





X250

Микроструктура наплавленного металла голым стальным электродом (08). Основной металл сталь Ст.3 (0.17%С) Просматриваются крупные столбчатые кристаллы.



Микроструктура участка неполного расплавления (слева) – очень крупные темные кристаллы квазиэктоида (см.схему участок 1). Справа располагается участок перегрева Основного металла – так же крупные кристаллы квазиэктоида (участок 2 на схеме). Оба участка имеют видманштелову структуру и обладают низкими механическими свойствами. Участок неполного расплавления очень мал, но оказывает весьма значительное влияние на качество сварного соединения.

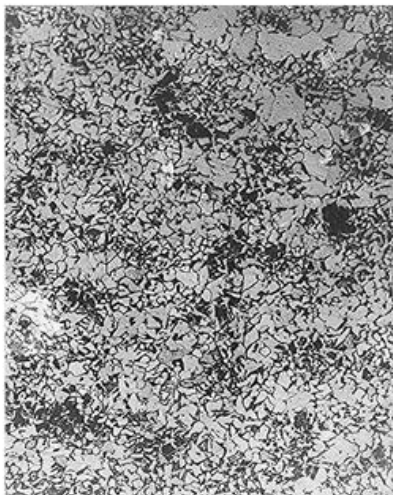


X 250

Микроструктура участка нормализации (участок 3 на схеме). Мелкозернистая структура, обладает более высокими механическими свойствами, чем основной металл вне зоны термического влияния.

Темные зерна – перлит.

Светлые зерна – феррит.



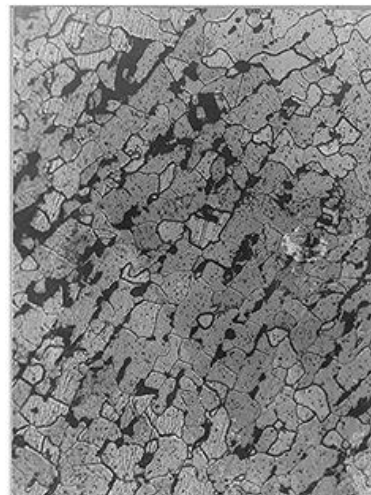
X250

Микроструктура участка неполной кристаллизации (участок 4 на схеме). В структуре сохраняются более крупные зерна феррита, не прошедшего перекристаллизацию и более мелкие зерна феррита и перлита, прошедшие перекристаллизацию. Значительное различие в размерах зерен снижает механические свойства стали. Темные зерна – перлит. Светлые – феррит.



X250

Структура участка рекристаллизации (участок 5 на схеме). Темные зерна – перлит. Светлые зерна – феррит. Отличается от строчечной структуры исходного деформированного металла более произвольно расположенными зернами феррита и перлита. Обладает большой пластичностью и несколько меньшей твердостью и прочностью, чем деформированный металл. Размер зерна зависит от времени и температуры рекристаллизации.



X250

Микроструктура исходной деформированной стали в участках синеломности (участок 6 на схеме) и вне зоны температурного влияния. Строчечная структура. По структуре эти участки не отличаются. Однако участок синеломности при нагреве до 200-500°C обладает пониженной пластичностью, что может послужить образованию трещин при сварке.



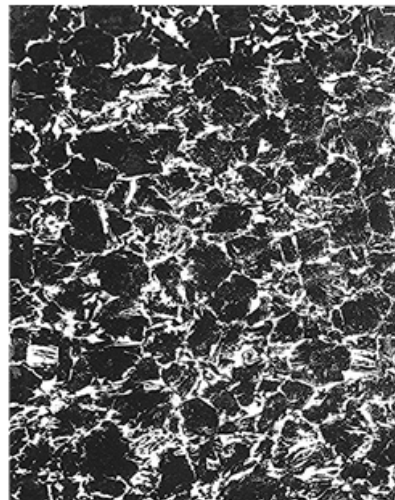


Микроструктура наплавленного металла на границе с участком неполного расплавления. Основной металл – Ст.5 (0.35%С). Крупные столбчатые кристаллы наплавленного металла (слева) и очень крупные темные зерна квазиэвтектоида участка неполного расплавления (см. участок 1 на схеме). Светлые участки и сетка – феррит. Большое количество квазиэвтектоида объясняется неравновесной кристаллизацией, при которой эвтектоид (перлит) образуется при содержании С менее 0,8%.



X250

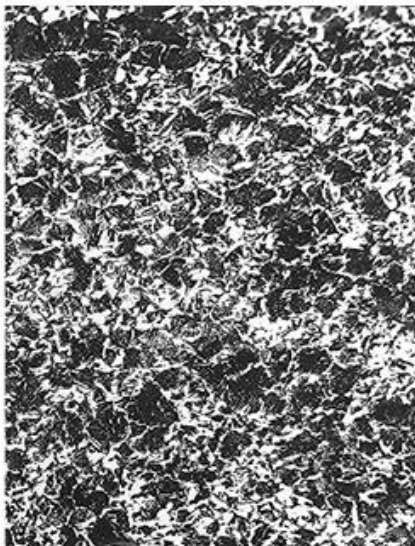
Микроструктура стали в участке перегрева (см. участок 2 на схеме). Крупные темные зерна квазиэвтектоид. Светлая сетка, а так же участки в виде светлых игл и пластин – феррит. В целом видманштеттовая структура. Обладает низкими механическими свойствами, особенно низкой ударной вязкостью.



X250

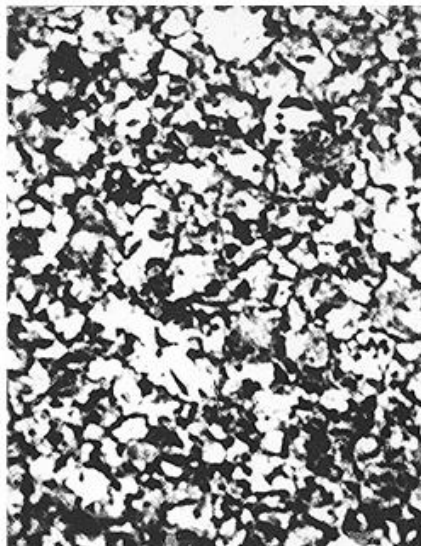
Микроструктура стали в участке нормализации (см. участок 3 на схеме). Отличается от участка перегрева мелкозернистостью структуры и повышенными механическими свойствами. Темные зерна – квазиэвтектоид. Светлые участки и сетка – феррит.





X250

Структура стали в участке неполной перекристаллизации (участок 4 на схеме). В отличие от участка нормализации в структуре сохраняются более крупные зерна феррита не прошедшие и более мелкие зерна феррита и эвтектоида, прошедшие перекристаллизацию.



X250

Микроструктура стали в участке рекристаллизации (участок 5 на схеме). Темные зерна – перлит. Светлые зерна – феррит. Отличаются от исходной сточечной структуры деформированной стали более произвольным расположением зерен феррита и перлита.



X250

Микроструктура исходной деформированной стали в участках синеломкости (участок б) и вне зоны термического влияния. Строчечная структура. По структуре эти участки не отличаются друг от друга. Однако участок синеломкости обладает пониженной пластичностью и может быть причиной образования трещин при сварке. Темные зерна – перлит. Светлые – феррит.