

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Институт машиностроения
Кафедра «Нанотехнологии, материаловедение и механика»

М.А. Выбойщик, А.В. Иоффе

АТЛАС МИКРОСТРУКТУР ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Электронное учебное наглядное пособие

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2016

ISBN 978-5-8259-0936-3

УДК [669.11:539.2](084.4)

ББК 34.202я61

Рецензенты:

канд. пед. наук, доцент, проректор по научной и учебной работе Института менеджмента, маркетинга и права *П.Э. Шендерей*;

канд. физ.-мат. наук, доцент Тольяттинского государственного университета *С.Г. Прасолов*.

Настоящий атлас продолжает серию атласов, относящихся к металлическим материалам: Криштал М.А. и др. «Атлас микроструктур углеродистых сталей и сплавов». Тольятти, АО «АВТОВАЗ», 1988. 80 с.; Тихонов А.К. и др. «Атлас микроструктур сталей, применяемых в автомобилестроении». Тольятти, АО «АВТОВАЗ», 1999. 80 с.; Большаков В.И., Сухомлин Г.Д., Погребная Н.Э. «Атлас структур металлов и сплавов». Днепропетровск, GAUDEAMUS, 2001. 114 с.

При создании атласа использовались фотографии оригинальных микроструктур из диссертационных работ, выполненных на кафедре.

Выбойщик, М.А. Атлас микроструктур железоуглеродистых сплавов : электронное учебное наглядное пособие / М.А. Выбойщик, А.В. Иоффе. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 1 оптический диск.

Атлас содержит фотографии микроструктур сталей, наиболее широко распространенных в машиностроении. Изображения приведены при различных увеличениях (световая и электронная микроскопия), что позволяет получить более полное представление об обычной и тонкой структурах изучаемых объектов. Подробно представлены структурные изменения, происходящие в сталях при горячей и холодной деформациях, а также при термической и термомеханической обработках.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Материаловедение и технологии материалов». Может быть полезен инженерам металлургических и машиностроительных предприятий, работающим в области производства, обработки и исследования сталей.

Электронное издание

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПШ 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; Adobe Acrobat Reader.

Редактор *Т.Д. Савенкова*
Корректор *Е.В. Пилясова*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *Г.В. Карасева*

Дата подписания к использованию 21.01.2016.
Объем издания 4: Мб.
Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.
Заказ № 1-07-15.

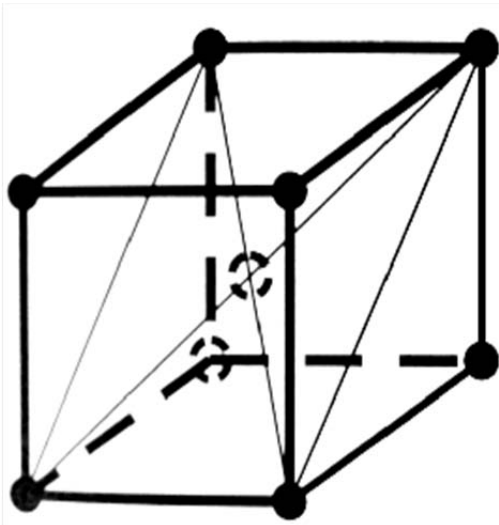
Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14
тел. 8(8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

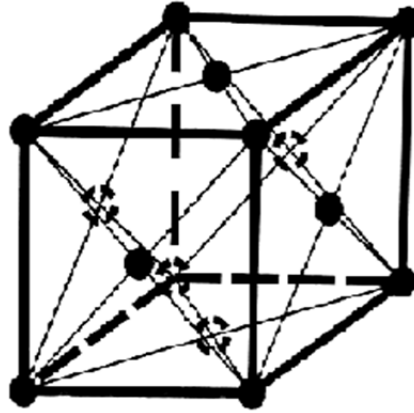
| | |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Атомное строение металлов и сплавов | 5 |
| Линейные дефекты | 6 |
| Плоские дефекты | 8 |
| Границы зерен | 9 |
| Диаграмма состояния Fe-C сплавов | 12 |
| Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов | 13 |
| Структура сталей | 15 |
| Видманштеттовы структуры в сталях | 22 |
| Структура деформированных сталей | 23 |
| Структура горячекатаных углеродистых сталей | 28 |
| Неметаллические включения в горячекатаной стали | 30 |
| Термомеханическая обработка стали | 31 |
| Морфология графитных включений в чугунах | 37 |
| Типы металлических основ в серых чугунах | 38 |
| Структура ковкого чугуна | 39 |
| Структура чугуна с шаровидным графитом | 40 |
| Структура белых чугунов | 41 |
| Закалка стали | 42 |
| Промежуточное (бейнитное) превращение | 44 |
| Превращение бейнита при отпуске. Сталь 08ХМФЧА | 48 |
| Тонкая структура отпущенного бейнита. Сталь 08ХМФЧА | 49 |
| Закалка из межкритического интервала температур | 50 |
| Дефекты структуры термически обработанной стали | 52 |

Атомное строение металлов и сплавов

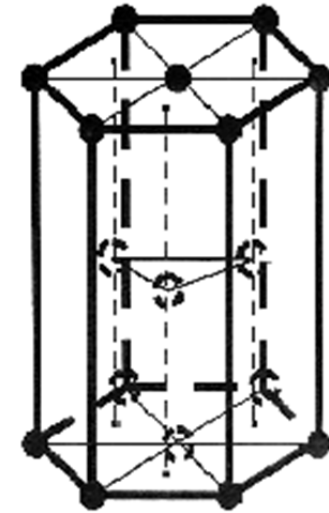
Основные типы кристаллических атомных решеток в металлических кристаллах



Объемноцентрированная кубическая решетка (ОЦК)

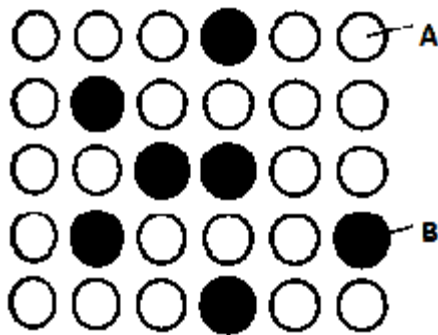


Гранецентрированная кубическая решетка (ГЦК)

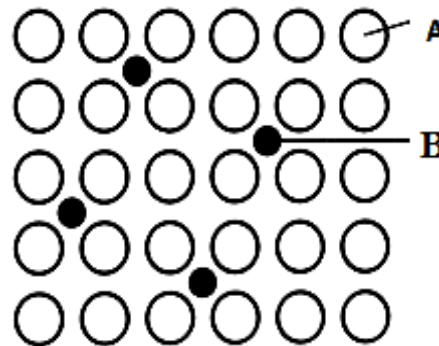


Гексагональная плотноупакованная решетка (ГПУ)

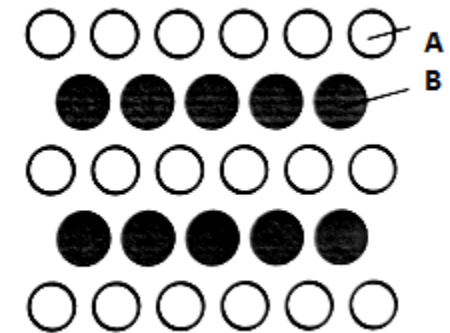
Расположение атомов в твердых растворах



Замещения



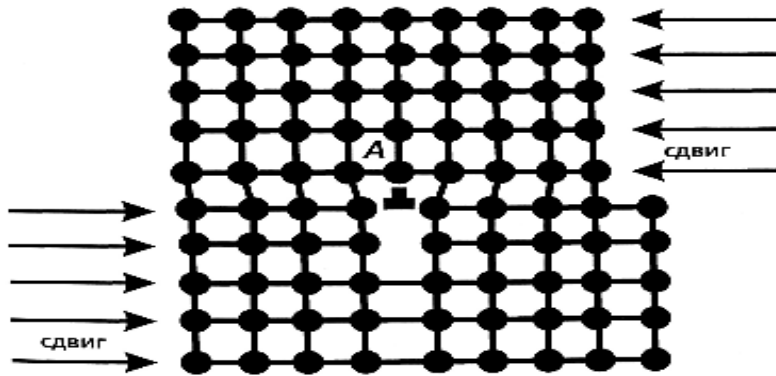
Внедрения



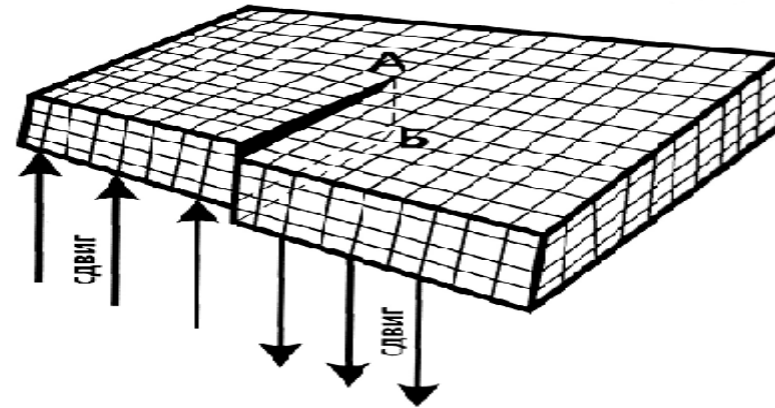
В упорядоченной структуре

Линейные дефекты

Краевая и винтовая дислокации в кристалле



Краевая дислокация (А)

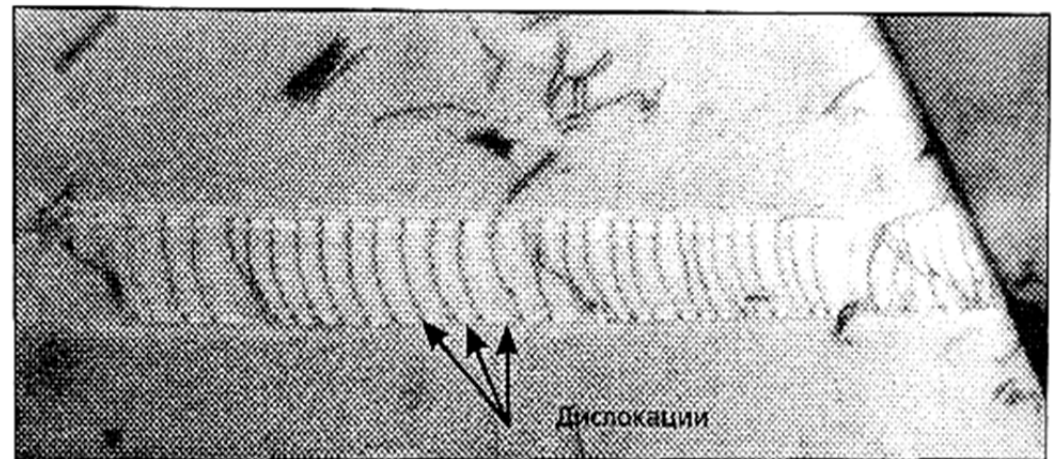


А-Б – линия винтовой дислокации



× 100

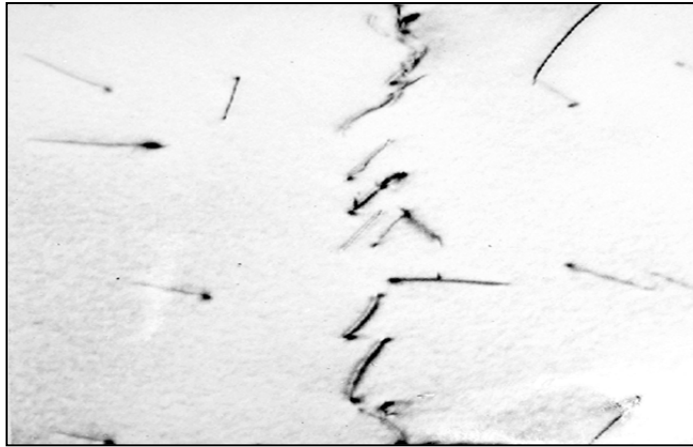
Точечные ямки вокруг выходов дислокаций, выявленные путем избирательного травления



× 30 000

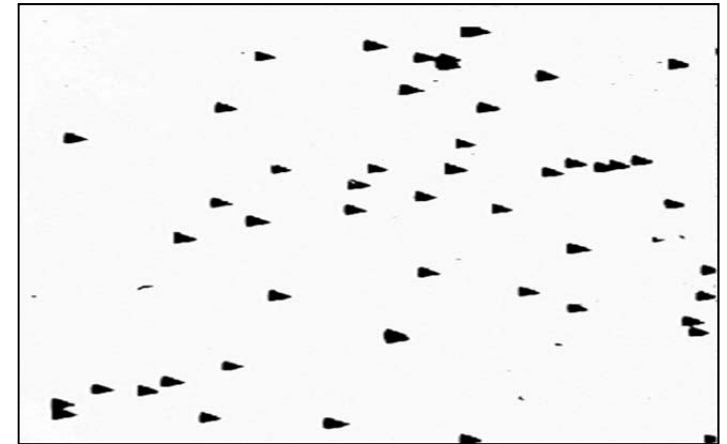
Серия дислокаций в одной плоскости скольжения в тонкой фольге на просвет

Линейные дефекты



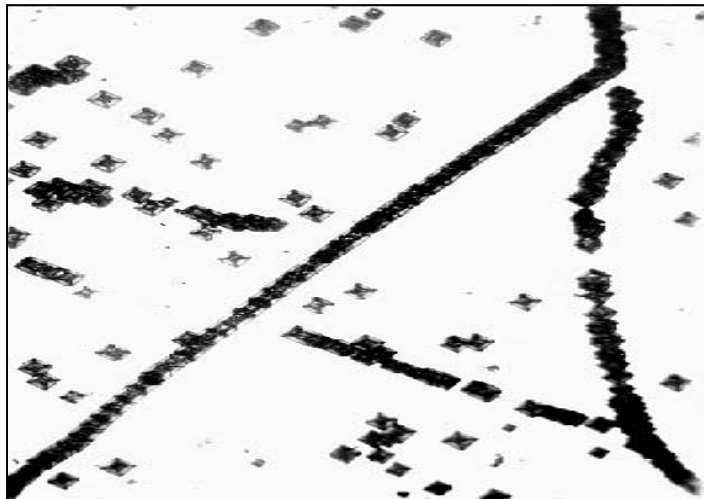
× 100 000

Единичные дислокации в железе после отжига



× 250

Ямки травления на кристаллографической плоскости



× 125

Ямки травления на кристаллографической плоскости

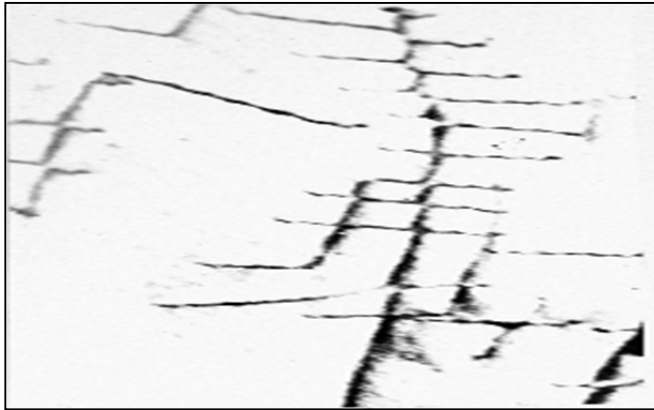


× 1 000

Цепочки ямок травления на малоугловых границах

Плоские дефекты

Скопление дислокаций и границы зерен



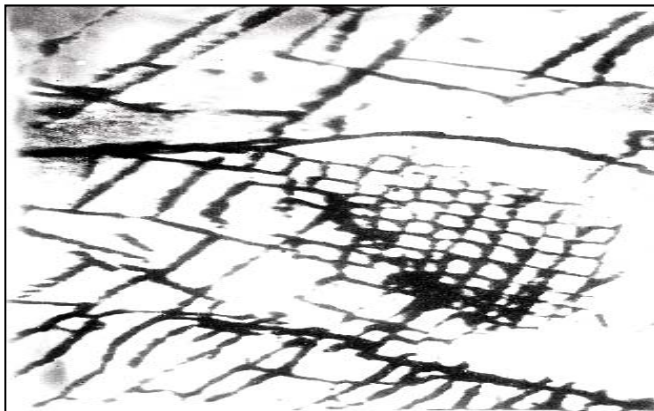
× 60 000

Дислокационная сетка в металле



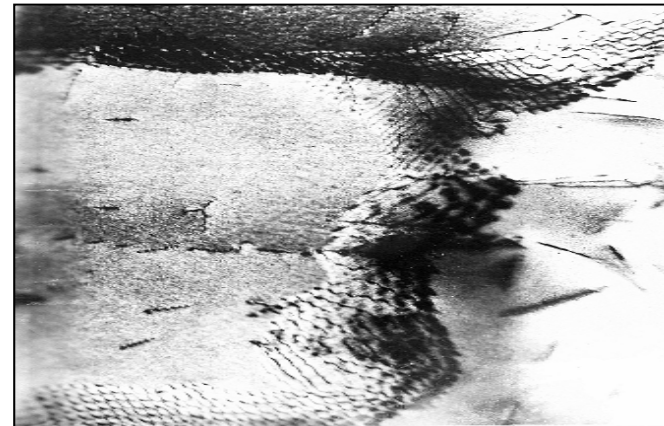
× 60 000

Дислокационная сетка в металле



× 89 000

Дислокационная сетка внутри зерен

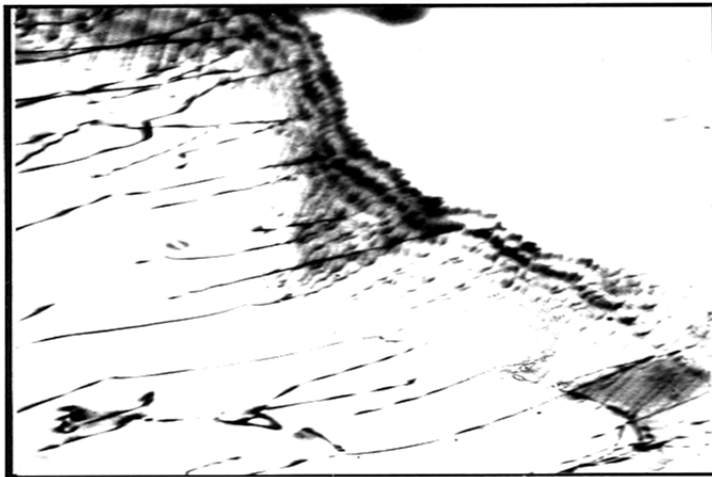


× 84 000

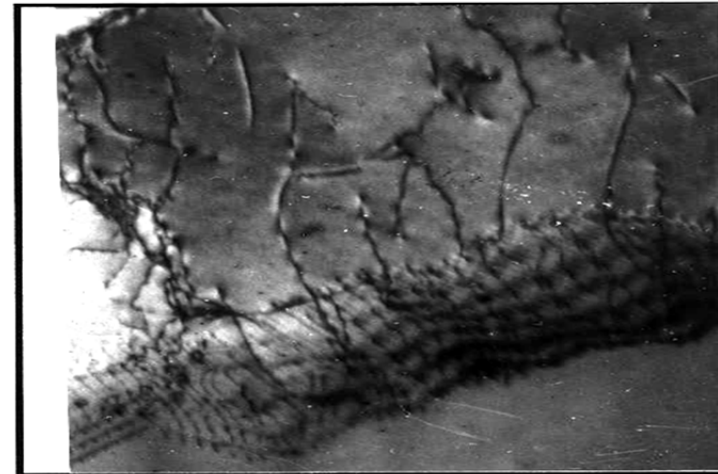
Дислокационная сетка по границам зерен

Границы зерен

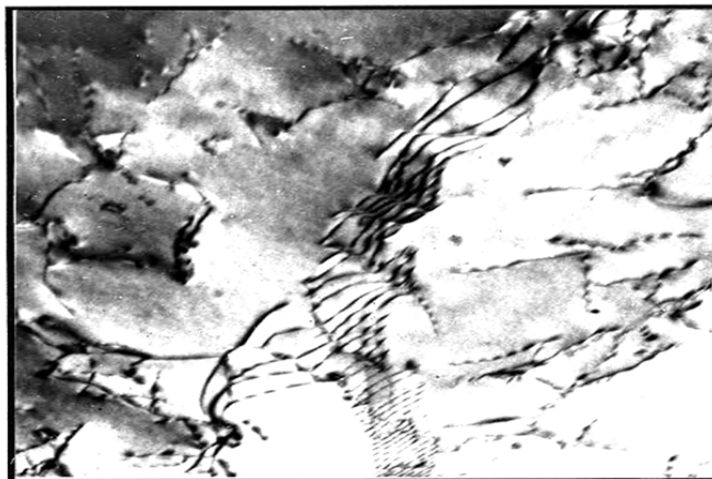
Малоугловые границы



a



б



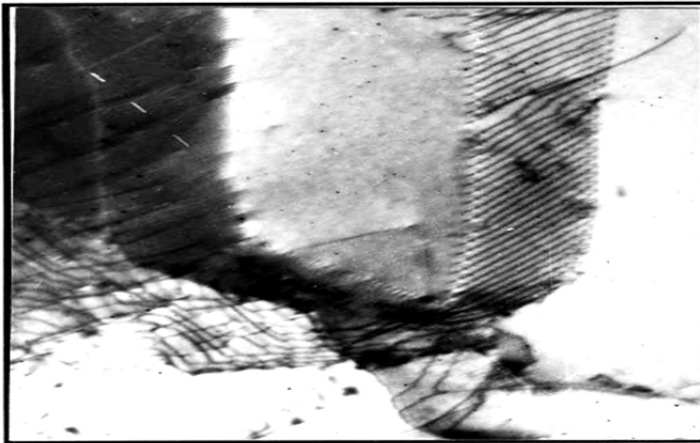
в



г

Субграницы I типа (разориентировка до 3 минут). Сталь 10:
а-в – тонкая фольга, $\times 50\,000$;
г – реплика, оттененная платиной, $\times 17\,000$.

Малоугловые границы



а



б



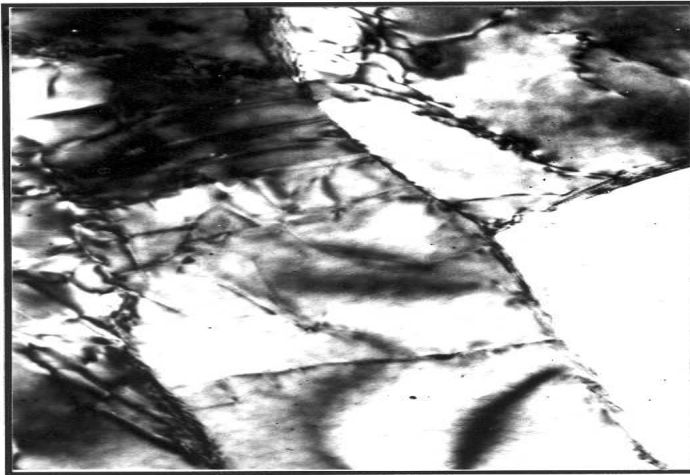
в



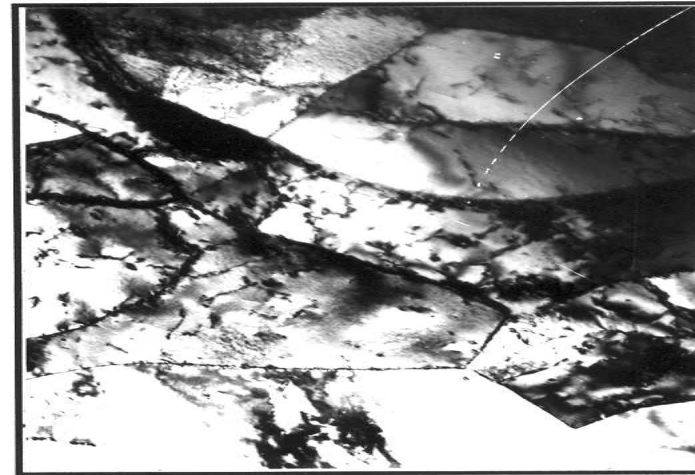
г

Субграницы II типа (а, б) (разориентировка от 3 минут до половины градуса) и III типа (в, г) (разориентировка от 0,5 до 5 градусов). Сталь 10: а, в – тонкая фольга, $\times 50\ 000$; б, г – реплики, оттененные платиной, $\times 17\ 000$.

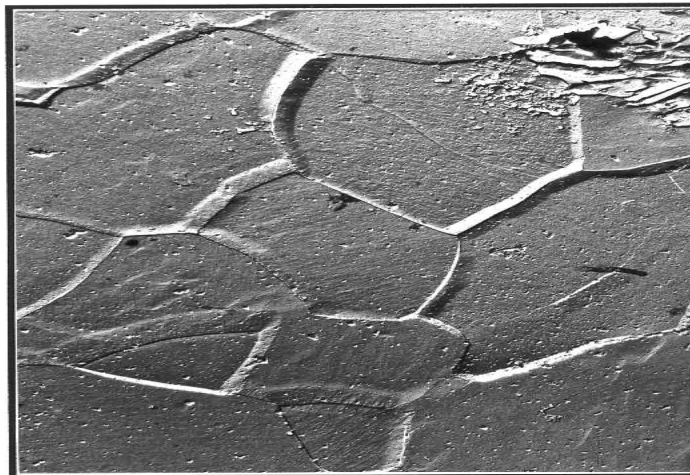
Малоугловые границы



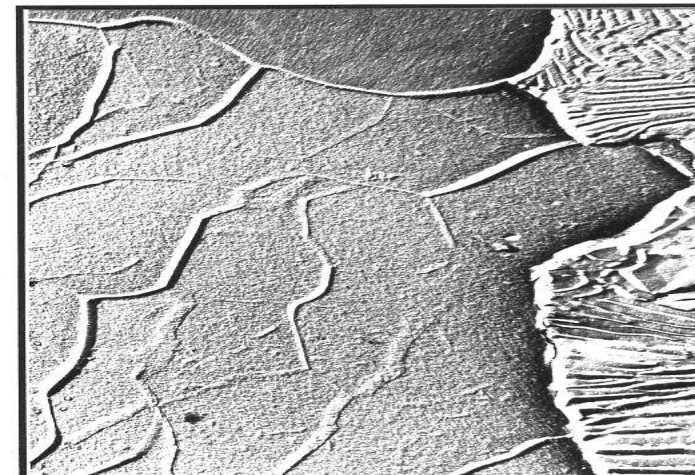
a



б



в



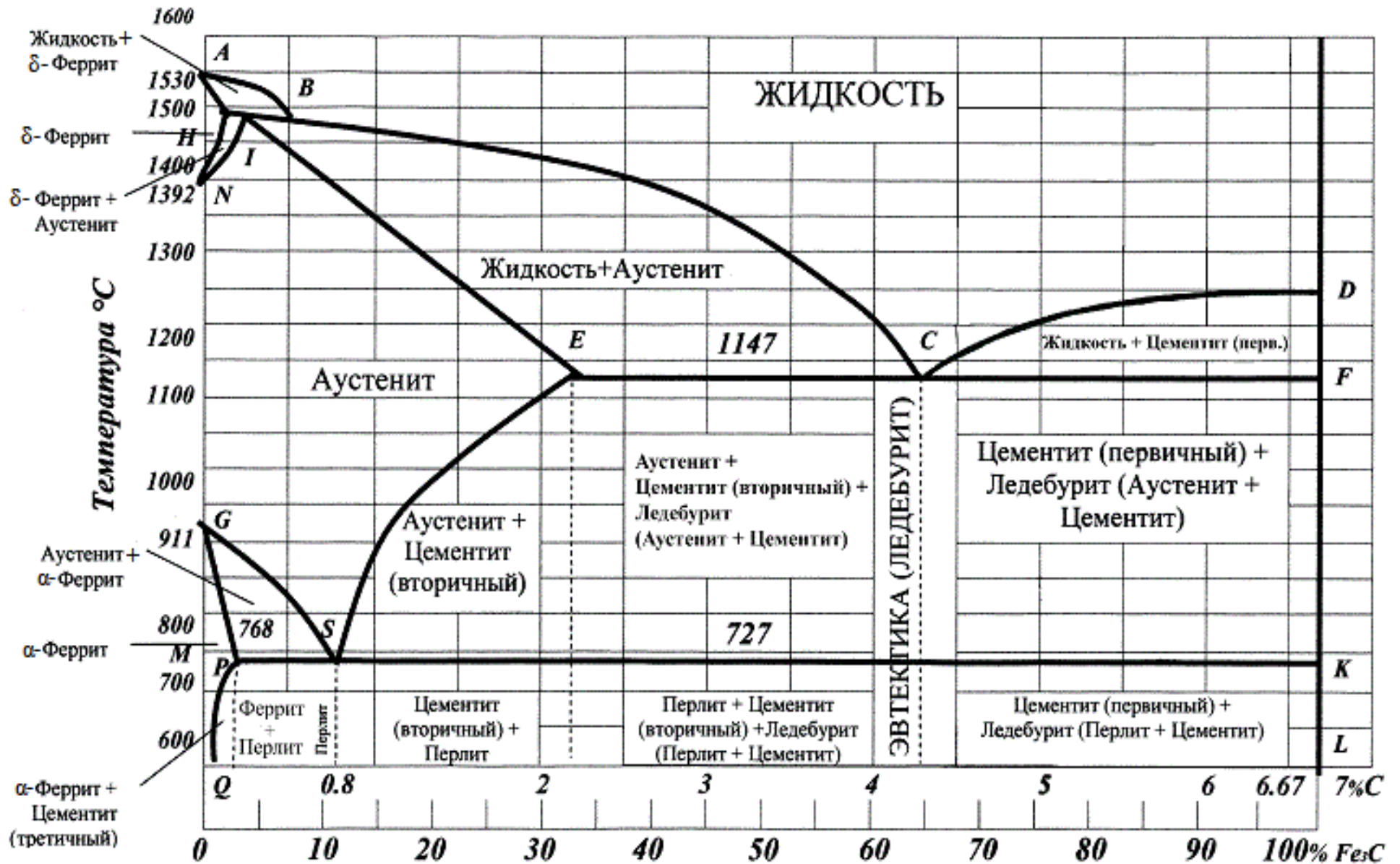
г

Субграницы IV типа (разориентировка от 5 до 10 °). Сталь 10:

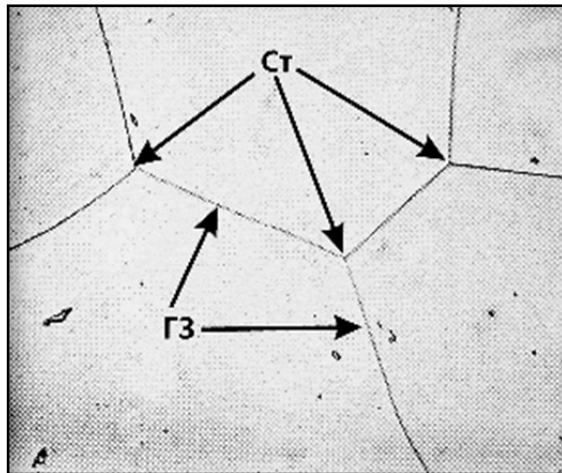
а, б – тонкая фольга, × 25 000;

в, г – реплики, оттененные платиной, × 17 000.

Диаграмма состояния Fe-C сплавов

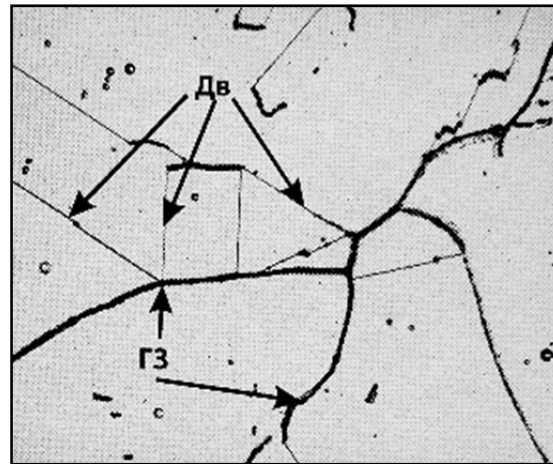


Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов



× 100

Крупнозернистый феррит
ГЗ – границы зерен
Ст – стыки зерен



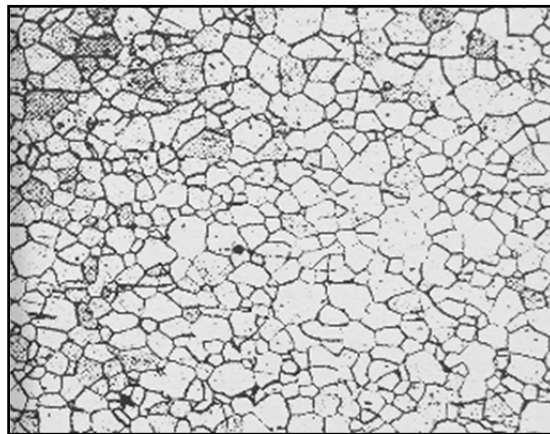
× 100

Крупнозернистый аустенит
ГЗ – большеугловые границы зерен
Дв – границы двойников отжига



× 100

Пластинчатый цементит



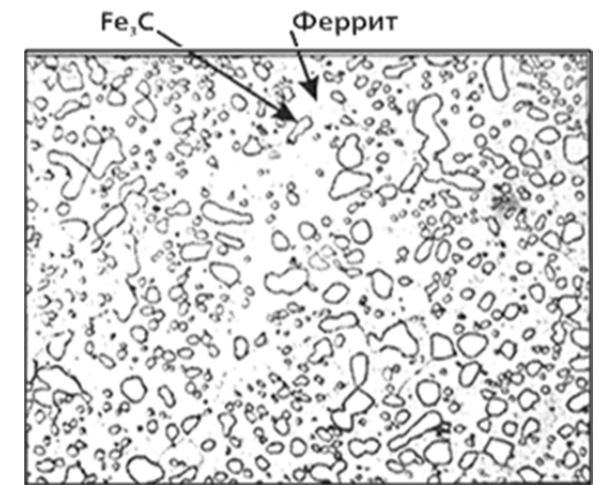
× 100

Мелкозернистый феррит



× 100

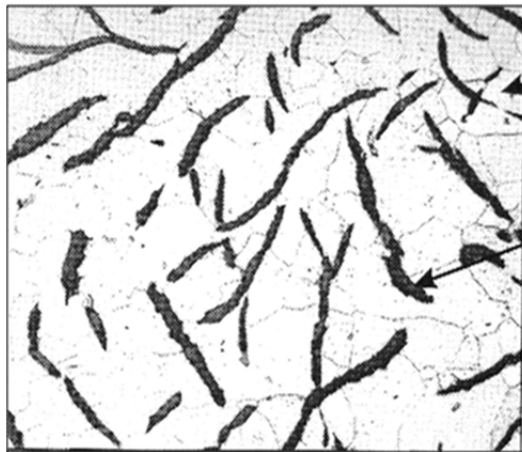
Мелкозернистый аустенит



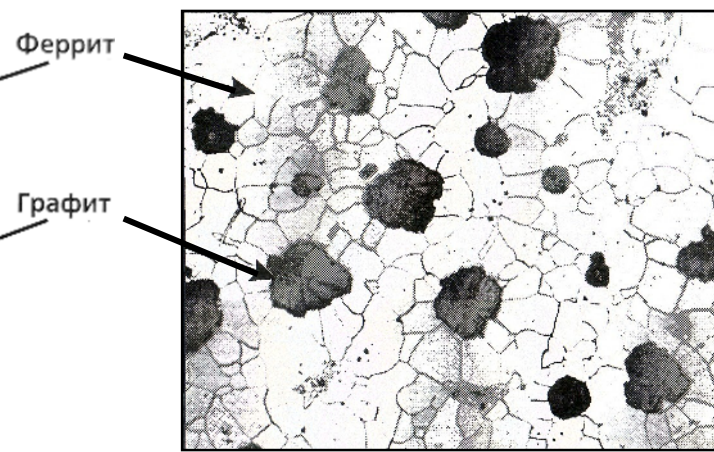
× 100

Глобулярный цементит

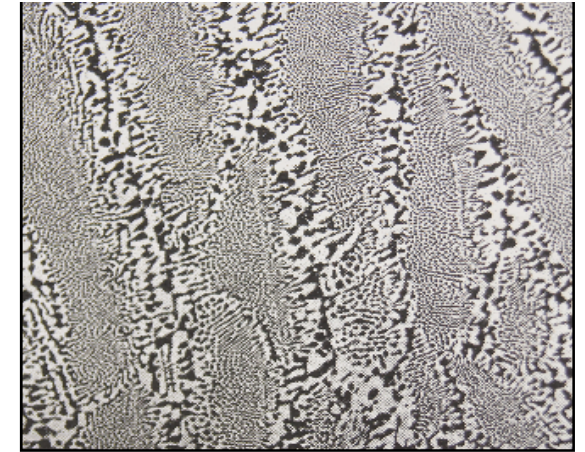
Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов



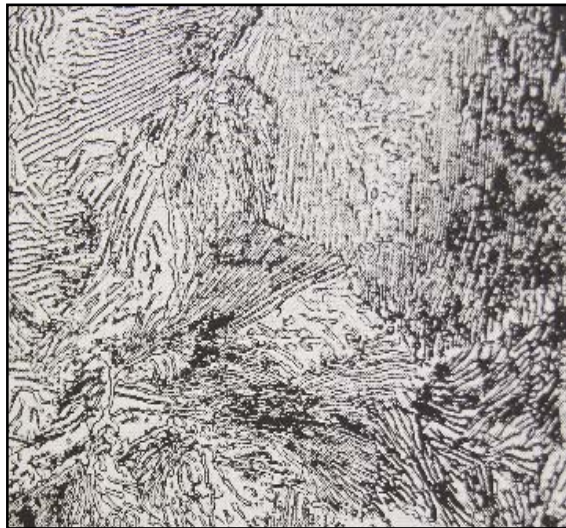
Пластинчатый графит × 100



Шаровидный графит × 100



Ледобурит × 100



Перлит × 100



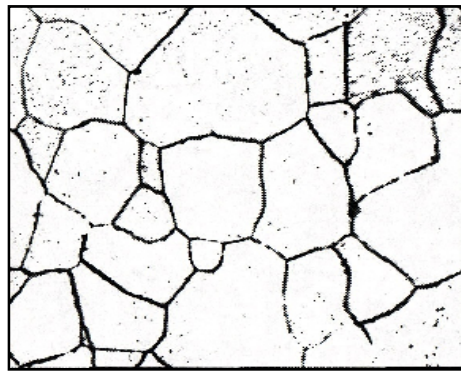
Мартенсит × 100



Бейнит (игольчатый перлит) × 100

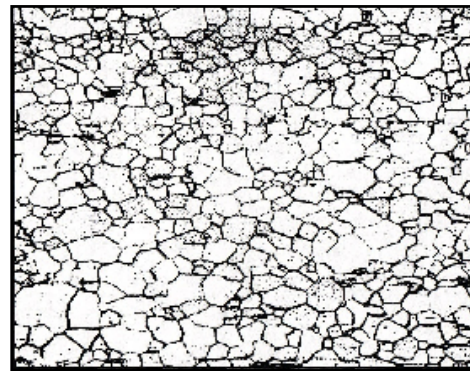
Структура сталей

Структура доэвтектоидных сталей с различным содержанием углерода



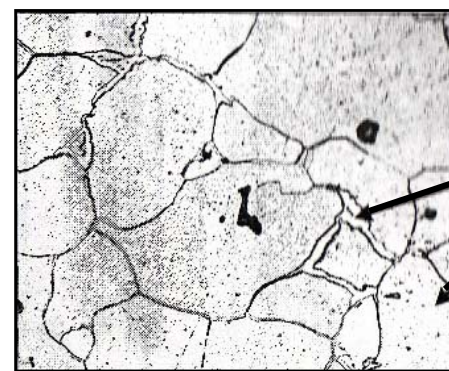
× 100

Техническое железо
0,01 % С



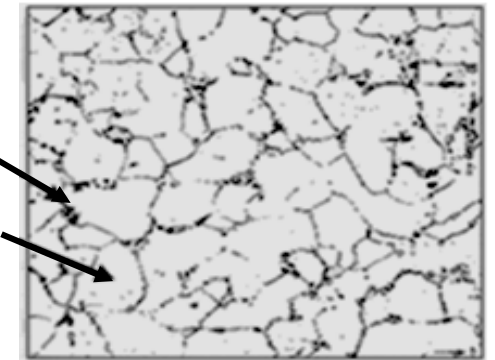
× 100

Феррит
0,03 % С



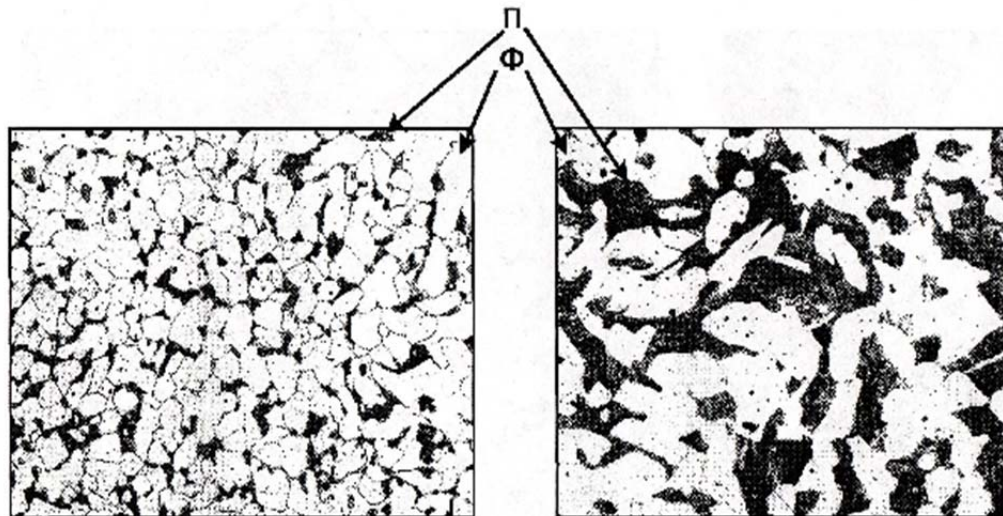
× 100

Феррит и цементит свободный
0,05 % С



× 100

Феррит и цементит третичный
0,07 % С



× 100

0,12 % С
16 % перлита



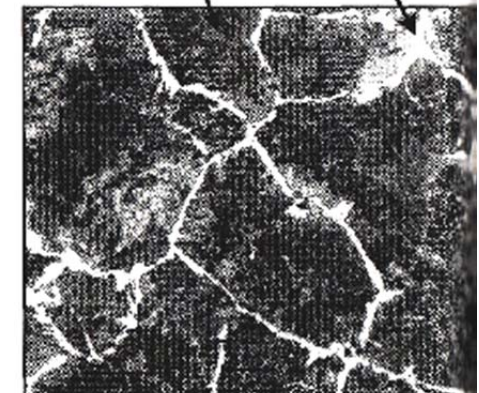
× 100

0,35 % С
45 % перлита



× 100

0,5 % С
65 % перлита

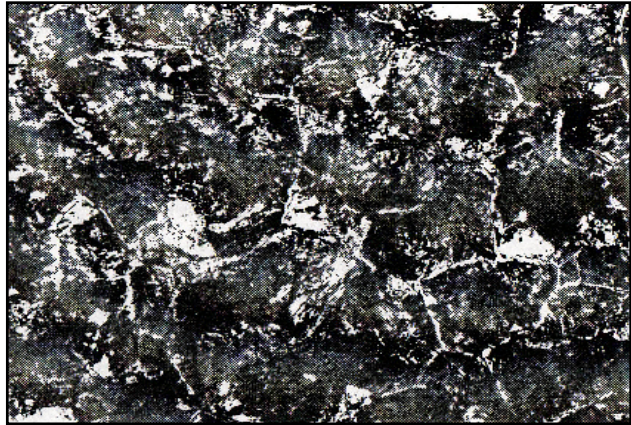


× 100

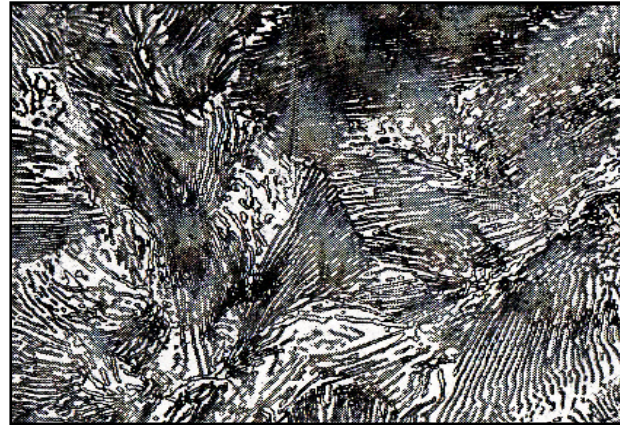
0,7 % С
95 % перлита

Структура сталей

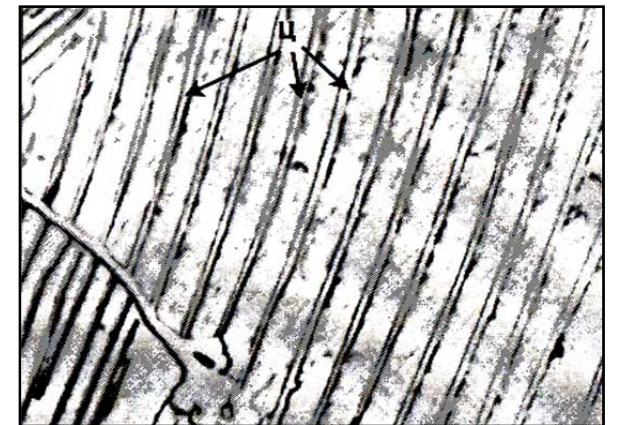
Эвтектоидная сталь



0,75 % C
× 100



0,81 % C
× 500



0,86 % C
× 2 000

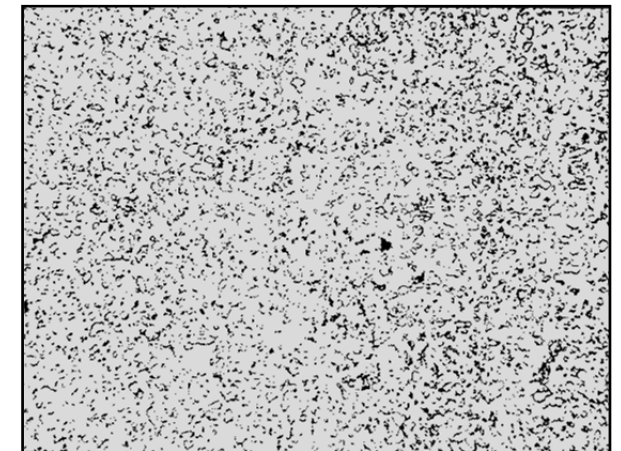
Заэвтектоидные стали



× 1 000
Перлит и прерывистая сетка цементита
1,2 % C



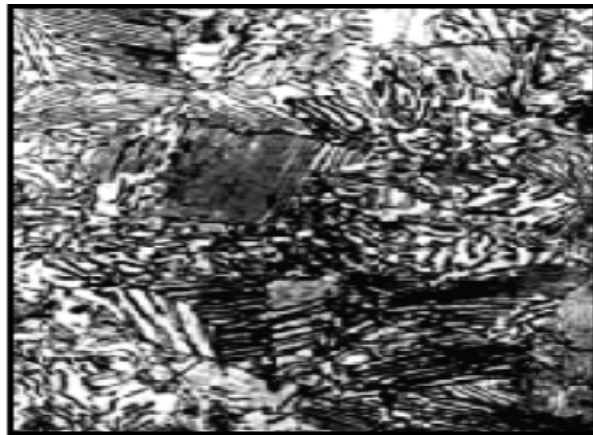
× 1 000
Перлит и сплошная сетка цементита
1,8 % C



× 100
Зернистый перлит (феррит и глобулярный цементит) 1,5 % C

Структура сталей

Тонкая структура феррита и цементита



$\times 500$

Грубопластинчатый перлит
Заэвтектоидная сталь с 0,90 % С



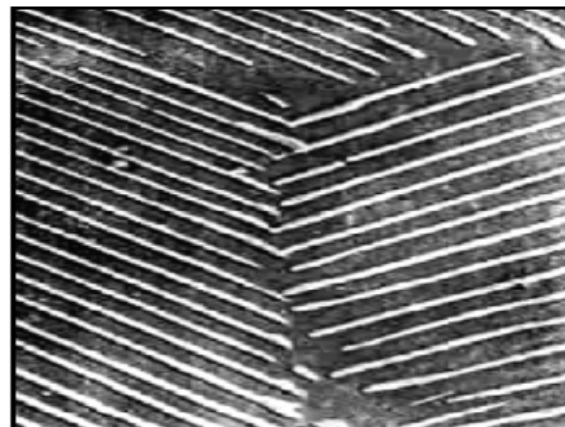
$\times 1\ 000$

Грубопластинчатый перлит
Заэвтектоидная сталь



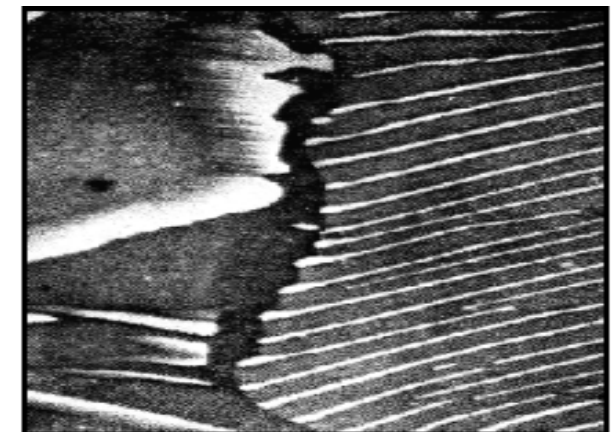
$\times 1\ 000$

Грубопластинчатый перлит
Заэвтектоидная сталь



$\times 5\ 000$

Большее увеличение

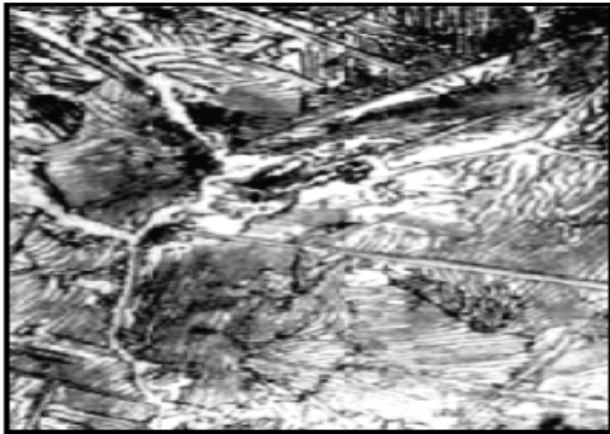


$\times 5\ 000$

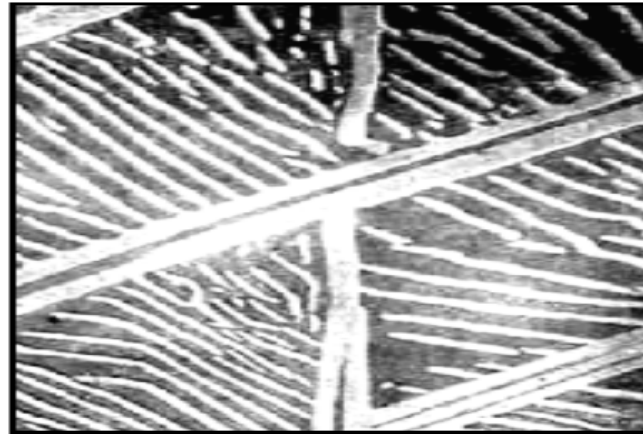
Большее увеличение

Структура сталей

Тонкая структура феррита и цементита



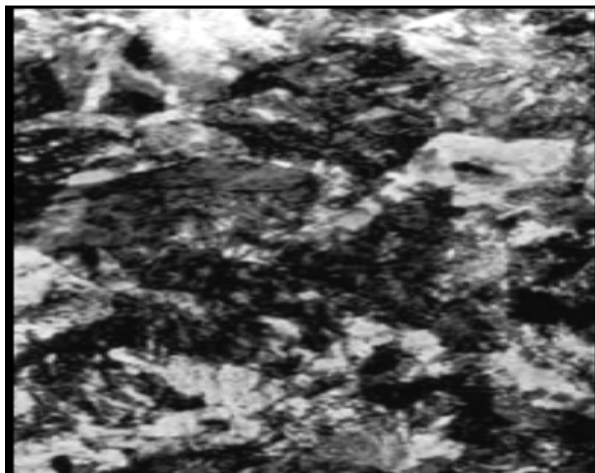
$\times 1\,500$
Грубопластинчатый перлит
Заэвтектоидная сталь с 1,6 % С



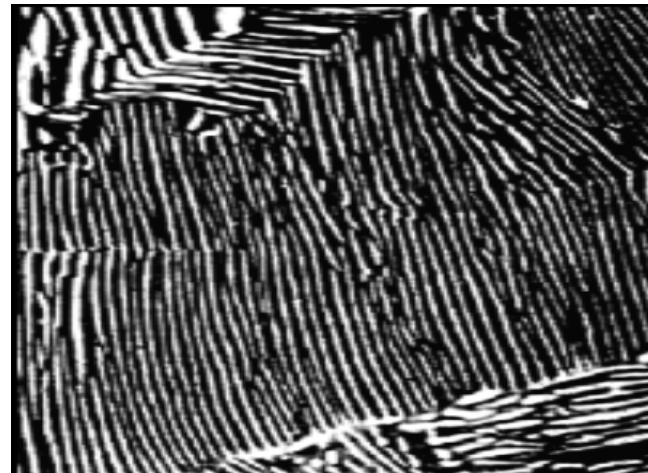
$\times 5\,000$
Большее увеличение



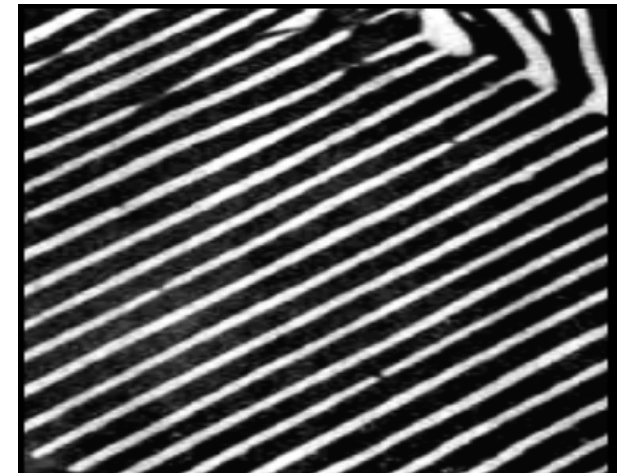
$\times 5\,000$
Большее увеличение



$\times 1\,000$
Тонкопластинчатый перлит
Эвтектоидная сталь



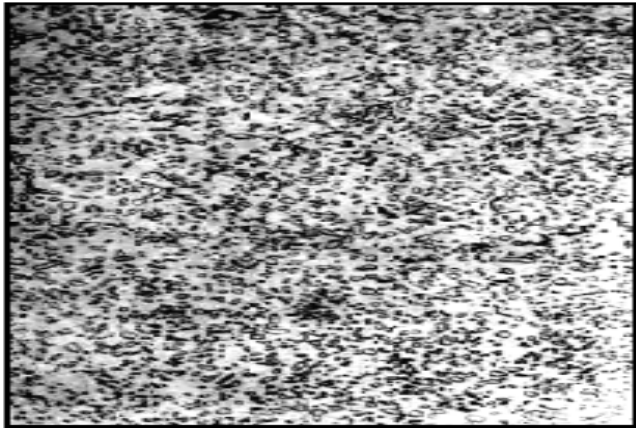
$\times 5\,000$
Большее увеличение



$\times 20\,000$
Большее увеличение

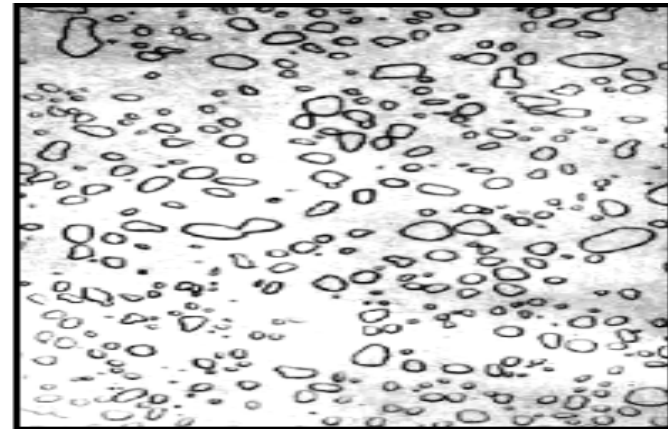
Структура сталей

Тонкая структура перлита



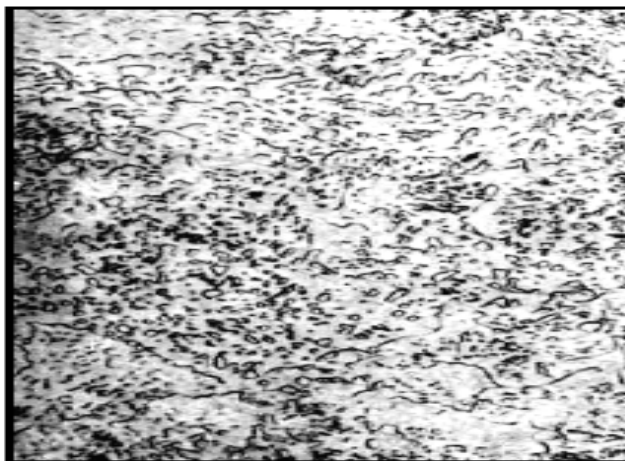
× 500

Зернистый перлит
Заэвтектоидная сталь с 1 % С



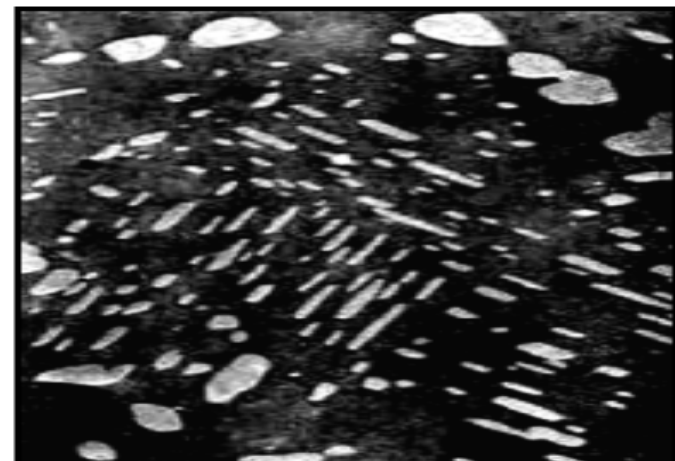
× 1 800

Большее увеличение



× 1 500

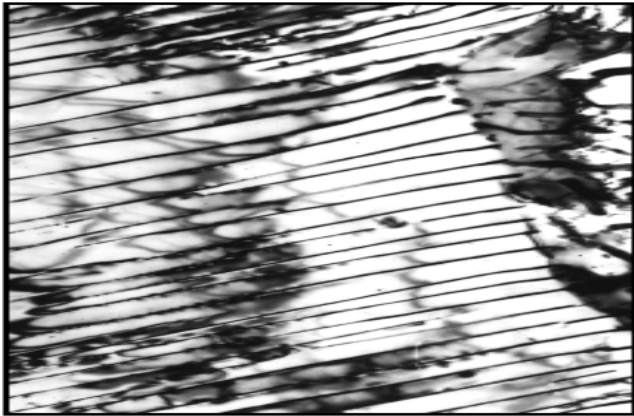
Зернистый перлит
Эвтектоидная сталь



× 5 000

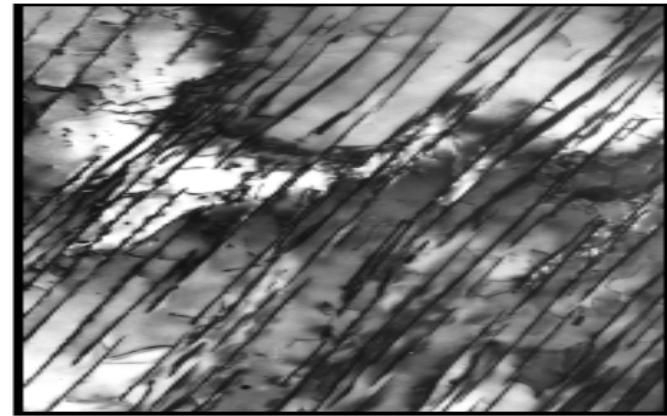
Большее увеличение

Тонкая структура перлита



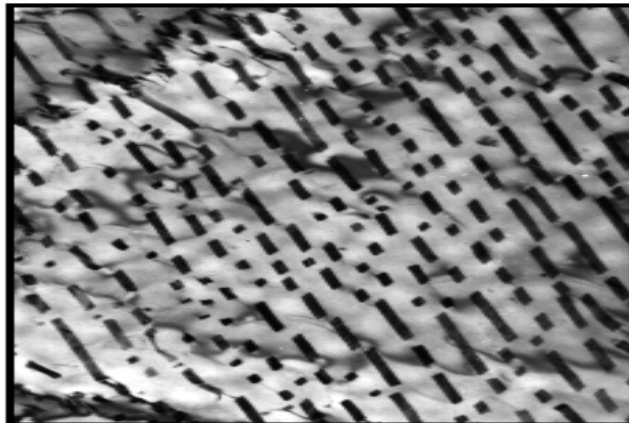
× 48 000

Колония перлита с регулярным межпластинчатым расстоянием. Сталь 37Г2С после ТМО



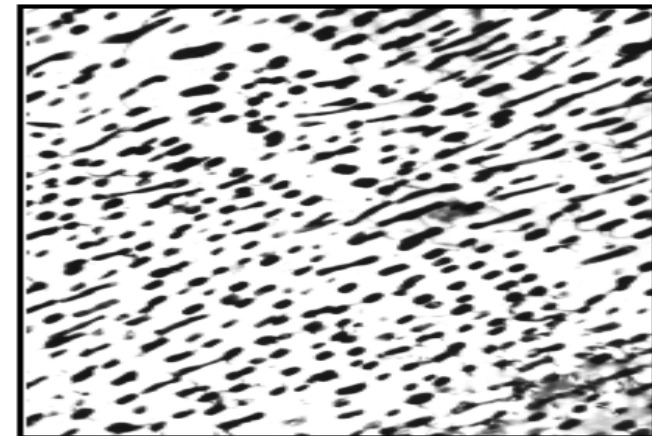
× 48 000

Колония перлита с нерегулярным межпластинчатым расстоянием. Сталь 37Г2С после ТМО



× 48 000

Колония перлита с лентовидным цементитом. Сталь 37Г2С после ТМО



× 48 000

Колония перлита со стержневидным цементитом. Сталь 37Г2С после ТМО

Структура сталей

Тонкая структура после деформации в субкритическом интервале температур



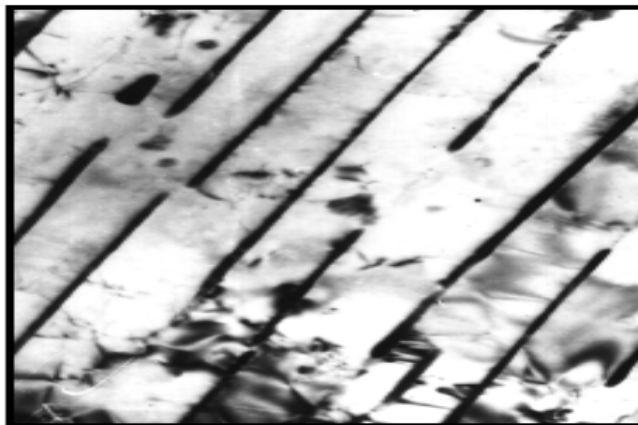
× 45 000

Субзерна, охватывающие несколько ферритных пластин в перлите. Сталь 37Г2С



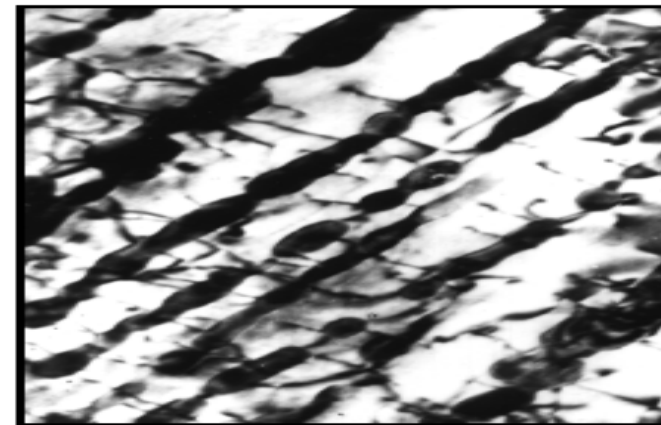
× 90 000

Дислокационные субграницы внутри единичных пластин феррита. Сталь 37Г2С



× 45 000

Дробление цементитных пластин. Сталь 37Г2С

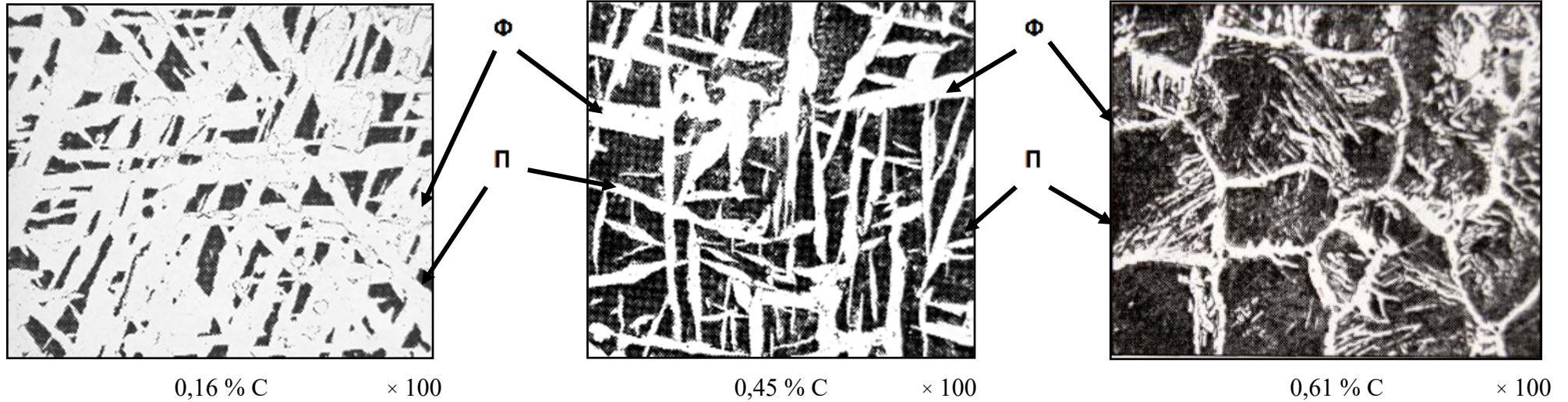


× 45 000

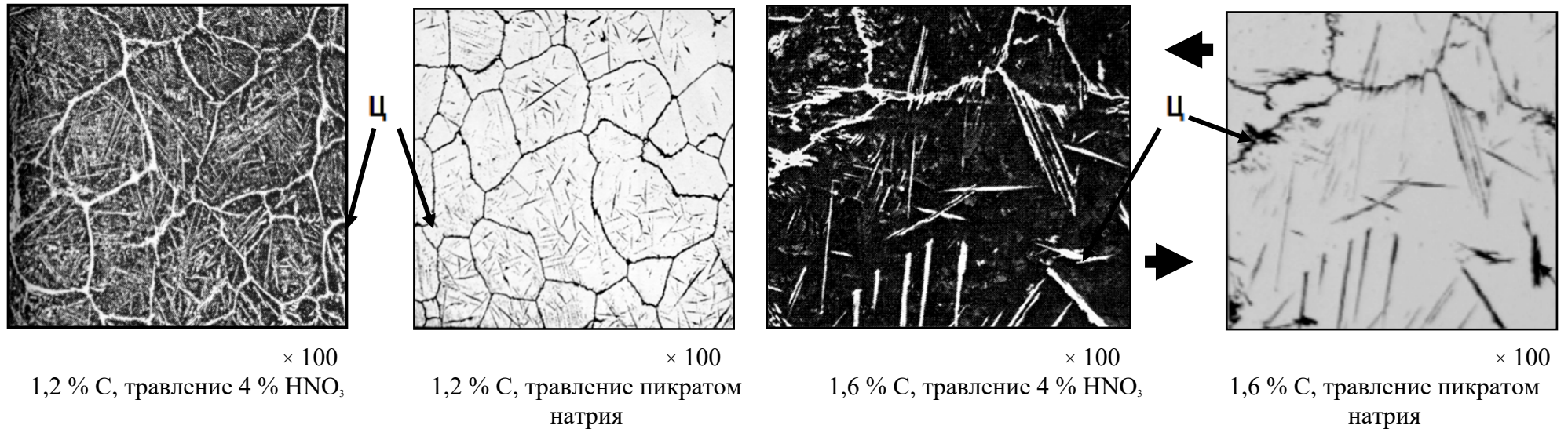
Начальные стадии сфероидизации цементита.
Сталь 37Г2С

Видманшеттговые структуры в сталях

Доэвтектоидные стали с различным содержанием углерода

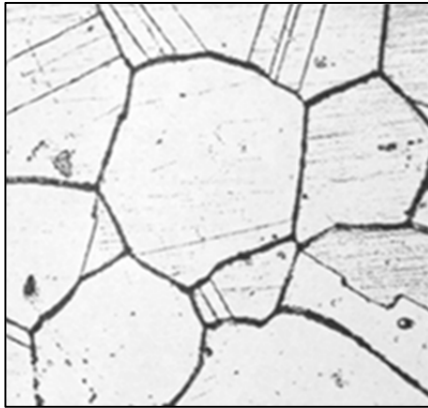


Заэвтектоидные стали с различным содержанием углерода



Структура деформированных сталей

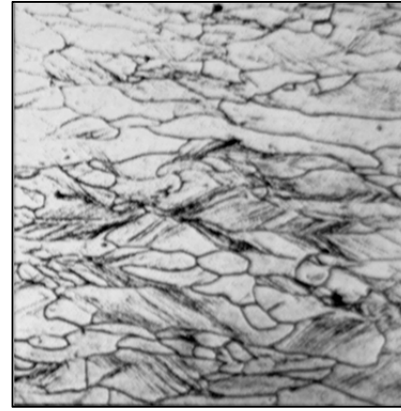
Сталь X18H10T



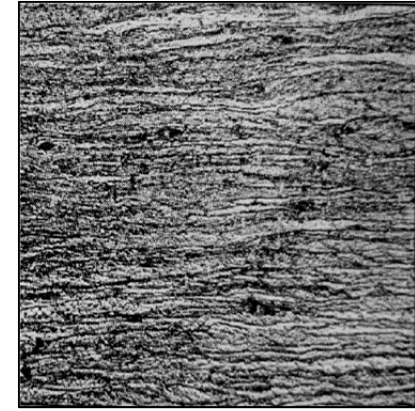
$\varepsilon = 1 \%$ × 100



$\varepsilon = 30 \%$ × 100

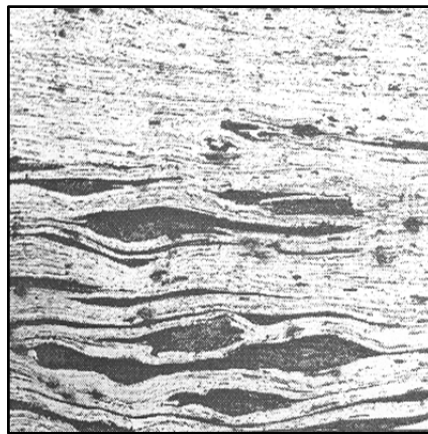


$\varepsilon = 50 \%$ × 100

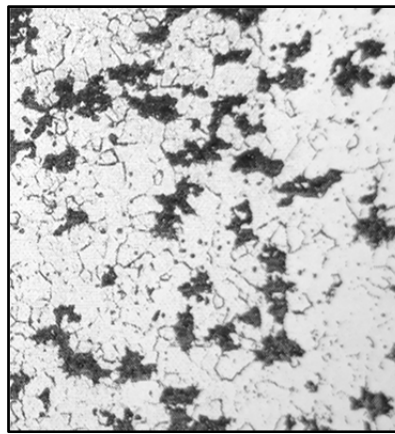


$\varepsilon = 80 \%$ × 100

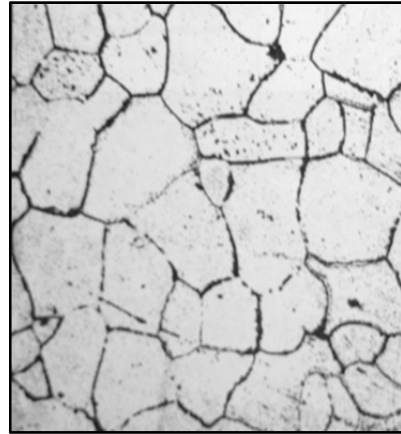
Деформированная сталь



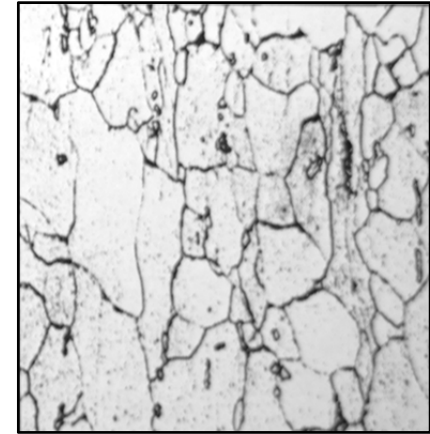
× 100
С перлитом



× 100
С графитом



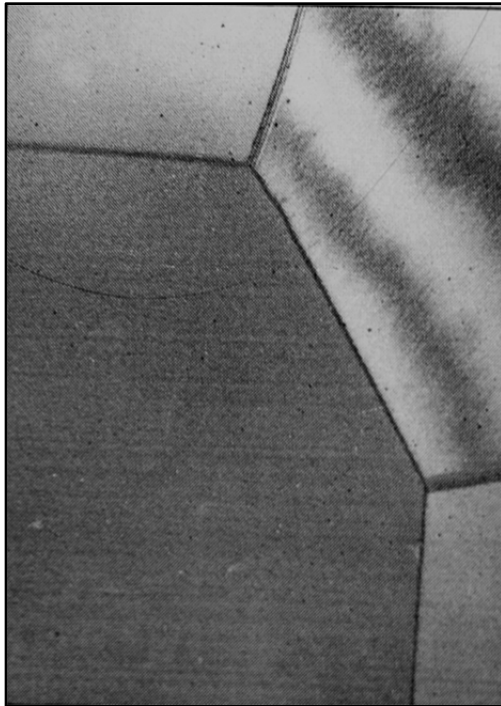
× 100
Техническое железо



× 100
Автолистовая сталь

Структура деформированных сталей

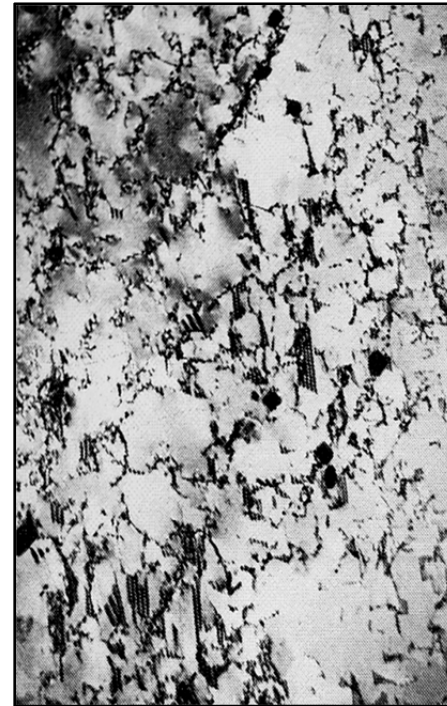
Холодная деформация. Сталь X18H10T



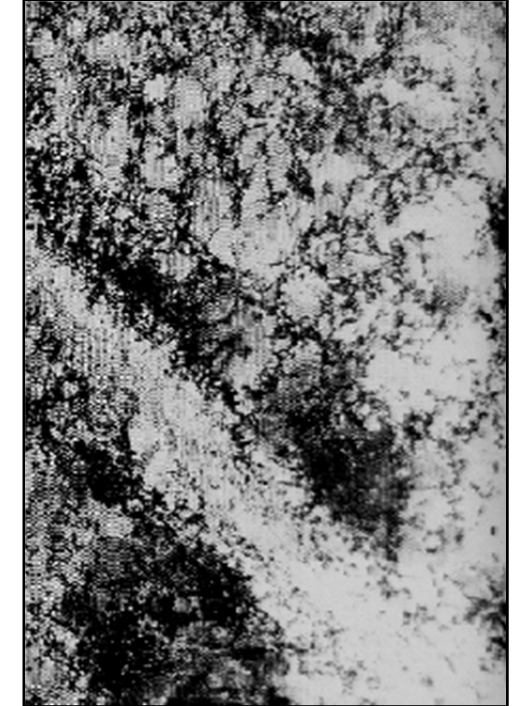
$\varepsilon = 0\%$ $\times 18\,000$



$\varepsilon = 3\%$ $\times 18\,000$



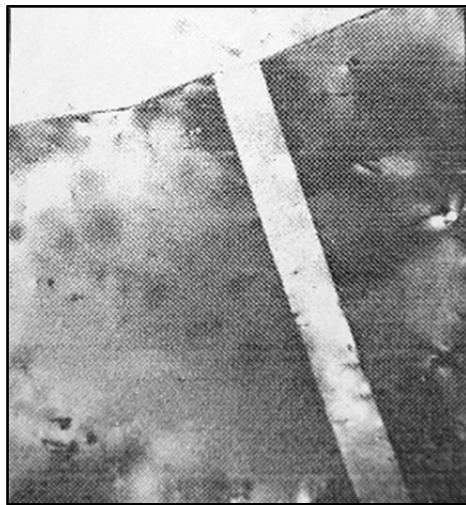
$\varepsilon = 10\%$ $\times 18\,000$



$\varepsilon = 15\%$ $\times 18\,000$

Структура деформированных сталей

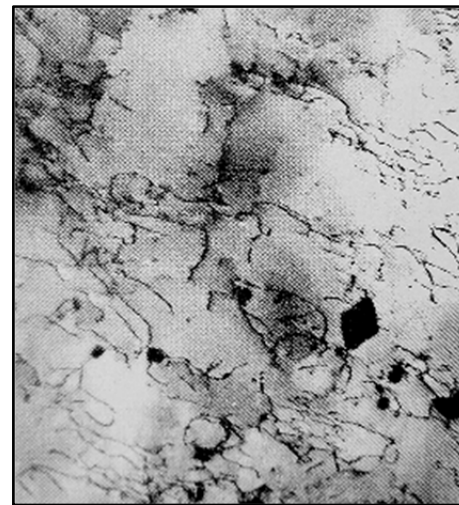
Горячая деформация. Сталь X18H10T



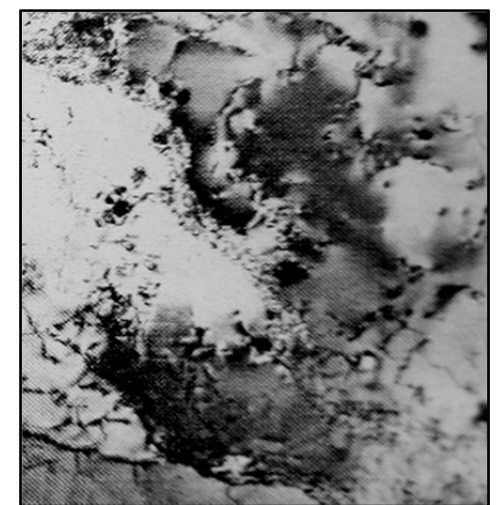
$\epsilon = 0 \%$
 $\times 18\ 000$



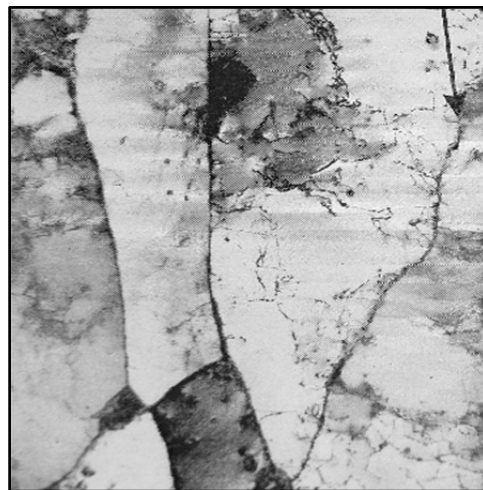
$\epsilon = 5 \%$
 $\times 18\ 000$



$\epsilon = 10 \%$
 $\times 18\ 000$



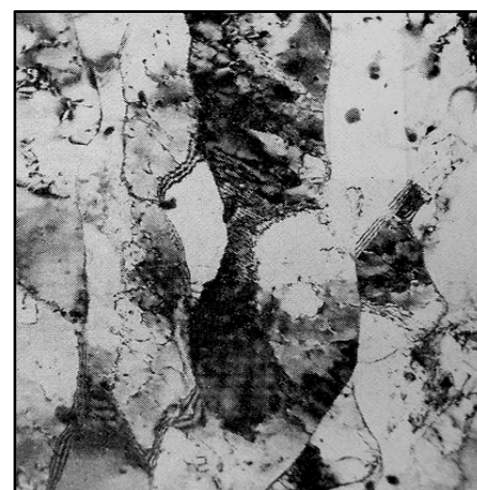
$\epsilon = 15 \%$
 $\times 18\ 000$



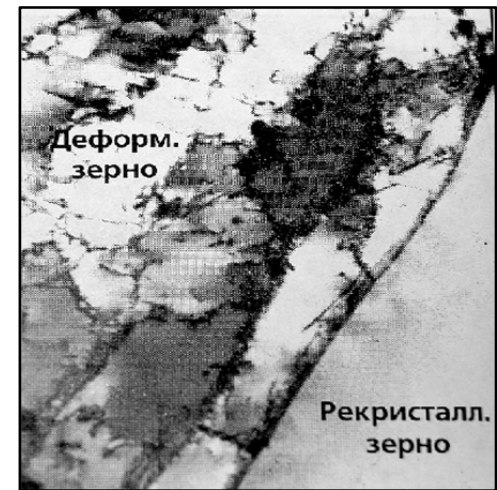
$\epsilon = 20 \%$
 $\times 18\ 000$
Стрелкой указаны субграницы



$\epsilon = 30 \%$
 $\times 18\ 000$
Стрелкой указаны субграницы



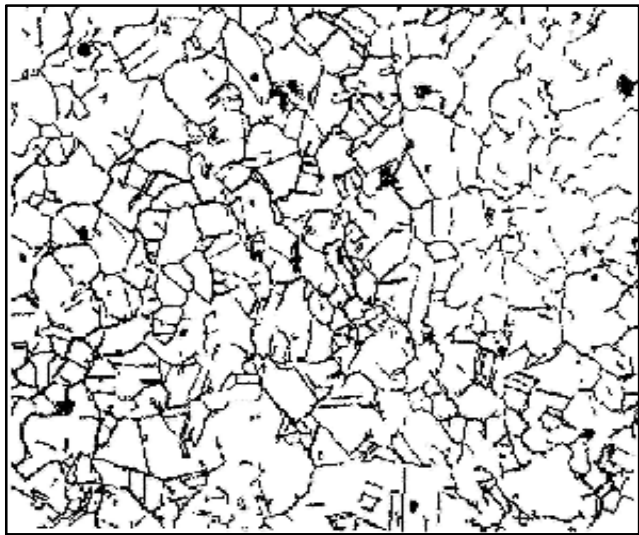
$\epsilon = 40 \%$
 $\times 18\ 000$



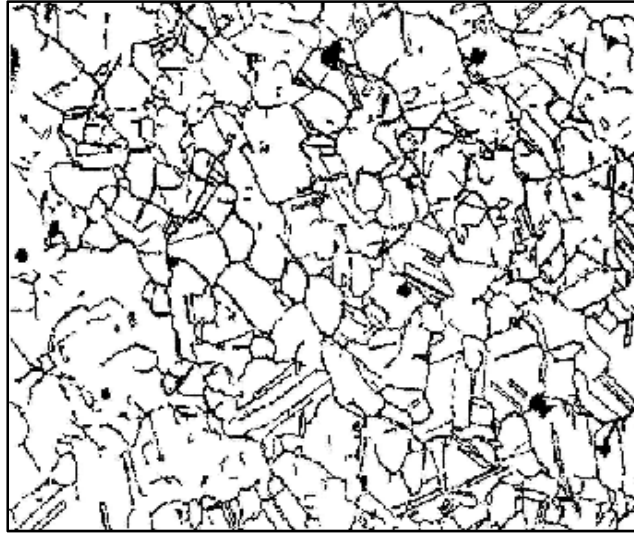
$\epsilon = 40 \%$
 $\times 22\ 000$
Деформ. зерно
Рекристалл. зерно

Структура деформированных сталей

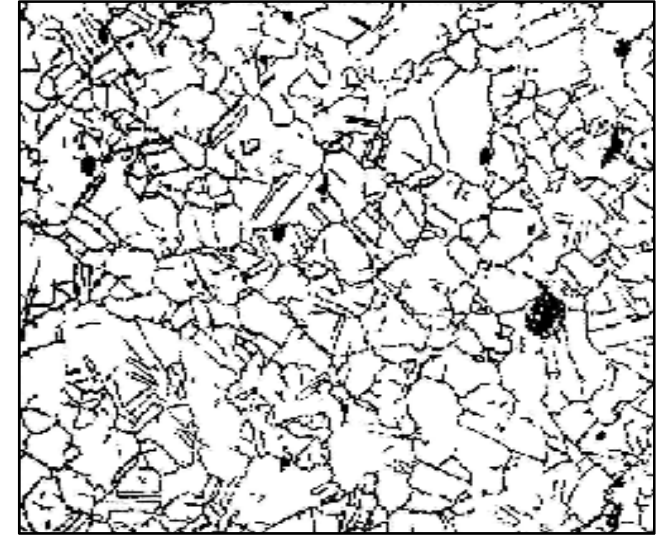
Сталь X18H10T. Горячая деформация – 1050 °С, редуционный стан



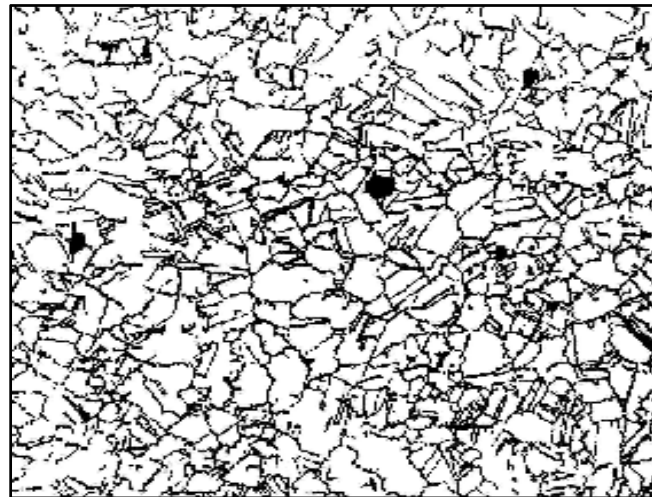
$\varepsilon = 0 \%$ $\times 200$



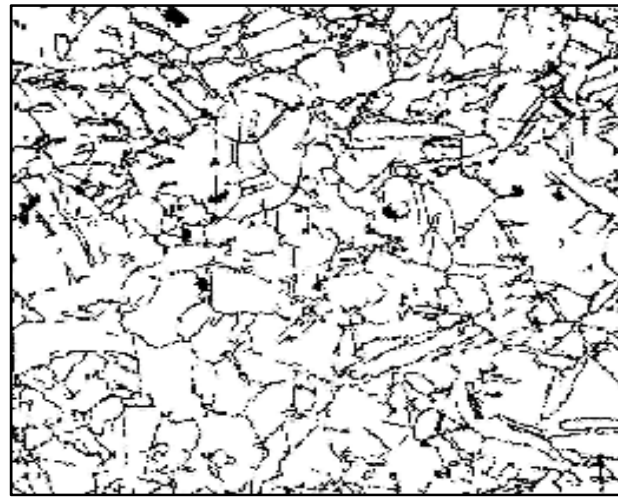
$\varepsilon = 10 \%$ $\times 200$



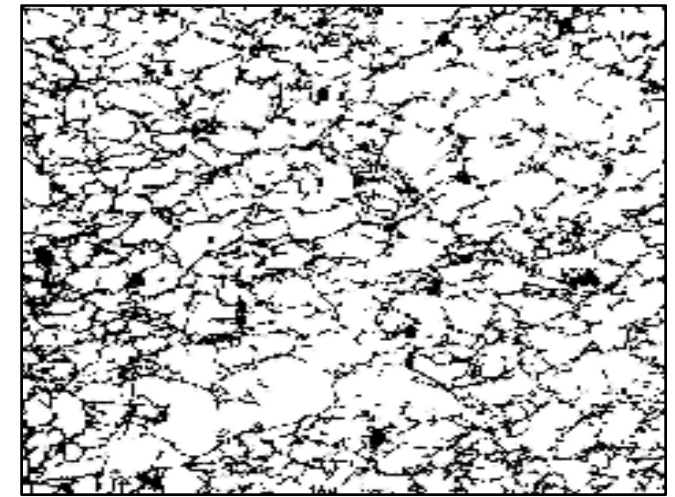
$\varepsilon = 15 \%$ $\times 200$



$\varepsilon = 20 \%$ $\times 200$



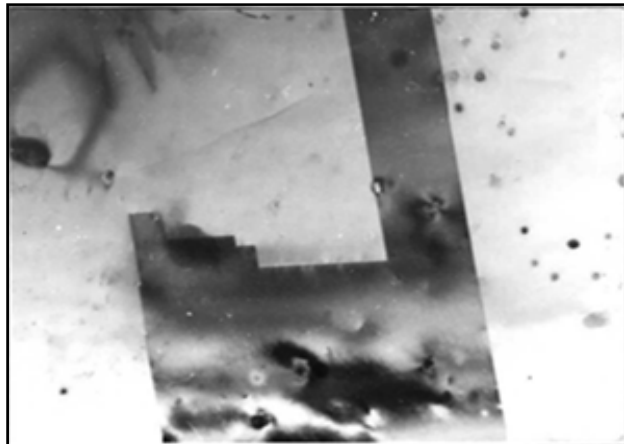
$\varepsilon = 30 \%$ $\times 200$



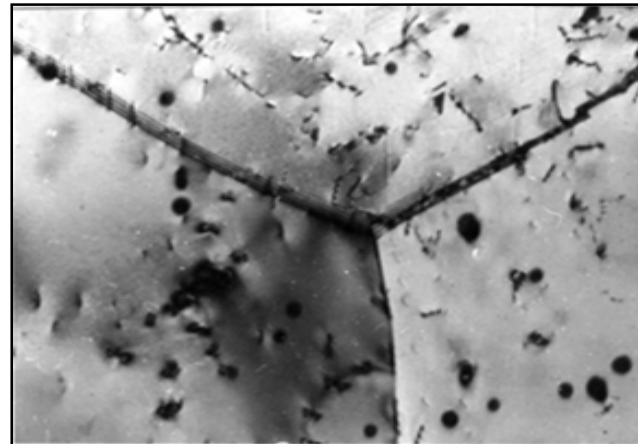
$\varepsilon = 40 \%$ $\times 200$

Структура деформированной стали

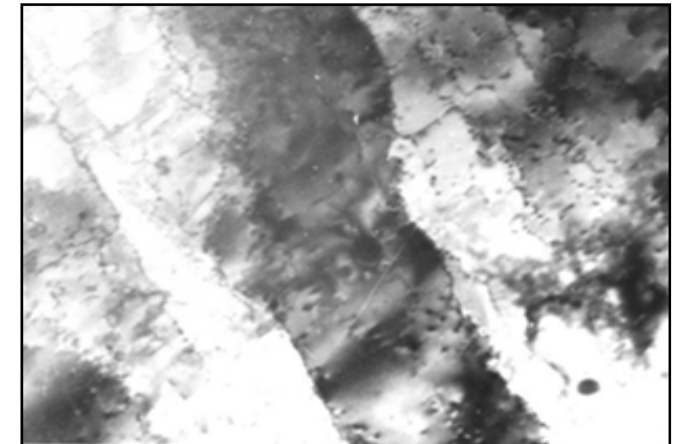
Сталь X18H10T. Горячая деформация – 1050 °С, редуционный стан



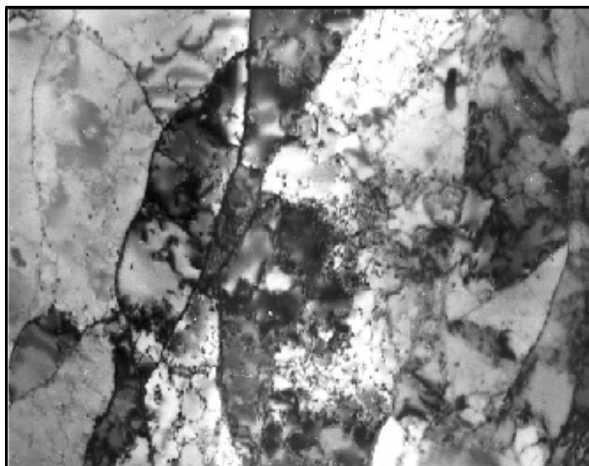
$\epsilon = 0\%$ $\times 22\ 000$



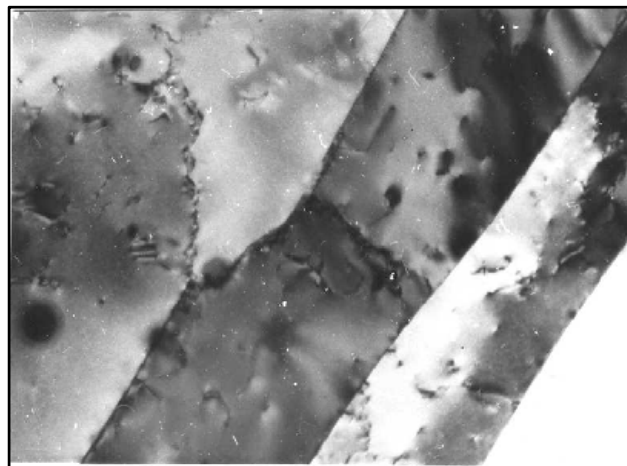
$\epsilon = 5\%$ $\times 22\ 000$
Дислокации в теле зерен и на границах



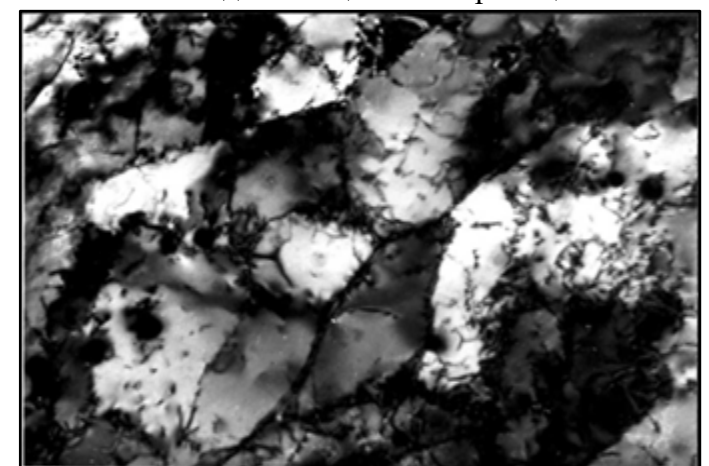
$\epsilon = 20\%$ $\times 22\ 000$
Начальная стадия образования малоугловых дислокационных границ



$\epsilon = 30\%$ $\times 22\ 000$
Субзерна вытянуты вдоль направления прокатки



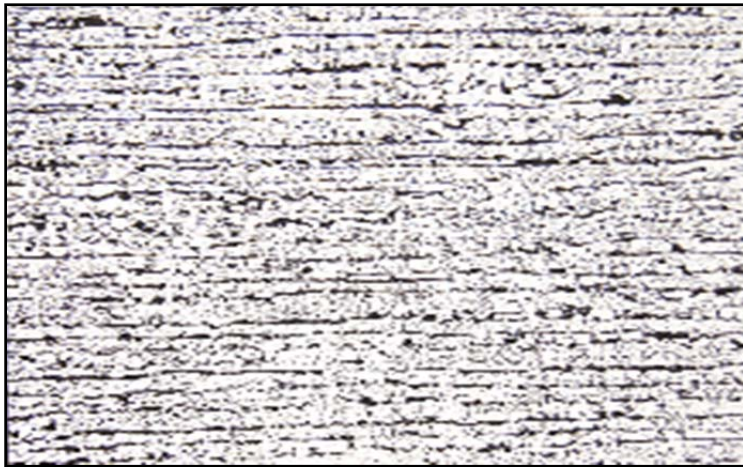
$\epsilon = 30\%$ $\times 22\ 000$
Перегибы и ступеньки на границах двойников



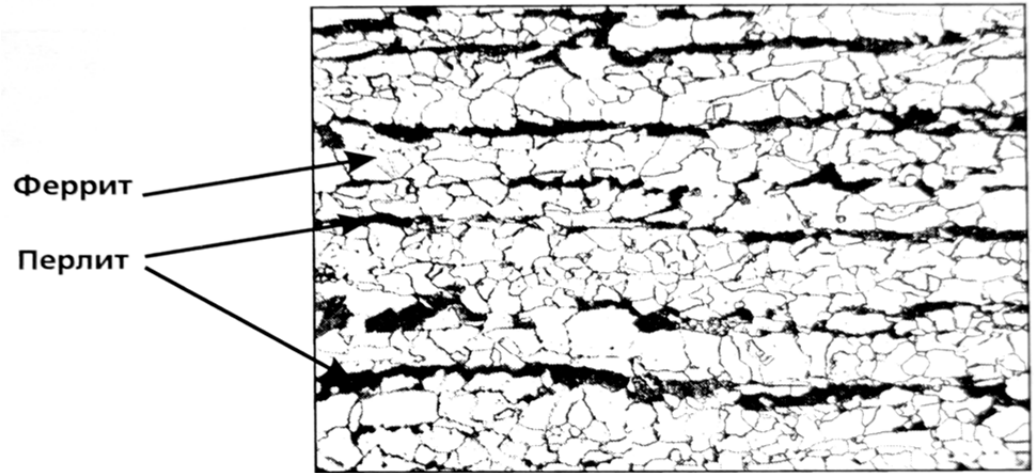
$\epsilon = 40\%$ $\times 22\ 000$
Субзеренная структура

Структура горячекатаных углеродистых сталей

Сталь 09Г2ФБ



× 100

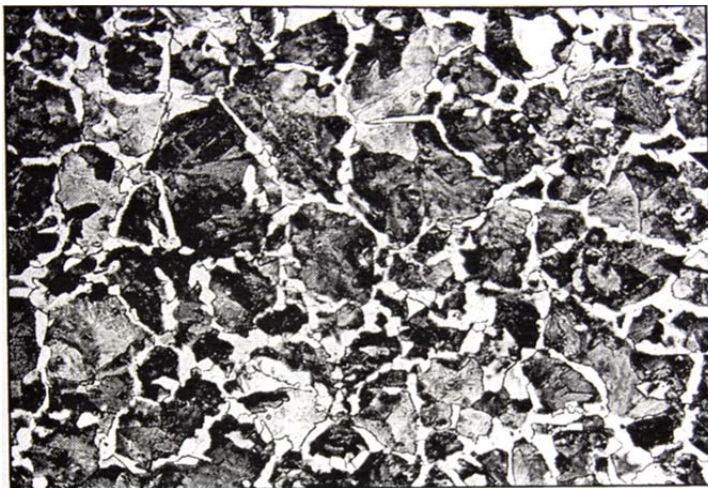


Феррит

Перлит

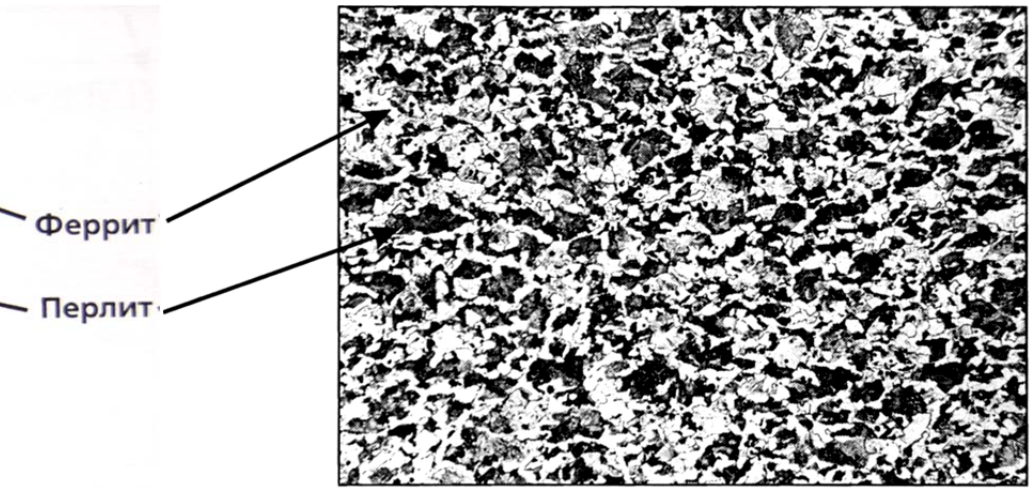
× 500

Сталь 45



× 100

Крупное аустенитное зерно



Феррит

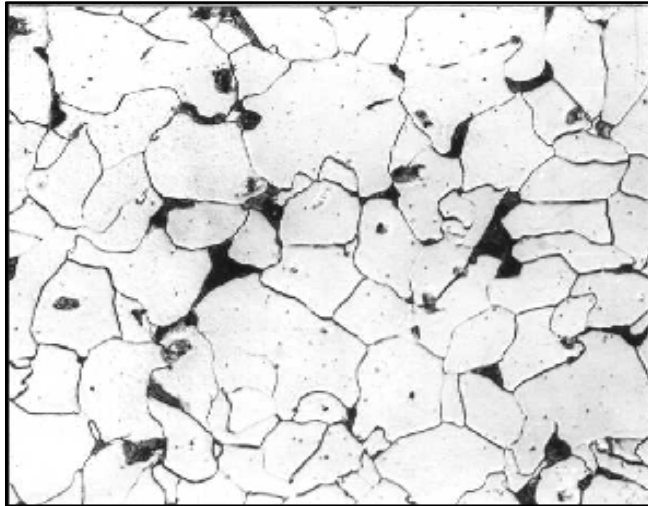
Перлит

× 100

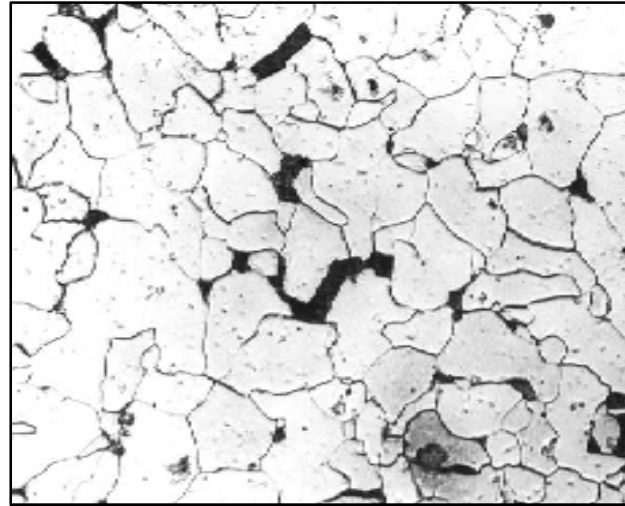
Мелкое аустенитное зерно

Структура горячекатаных углеродистых сталей

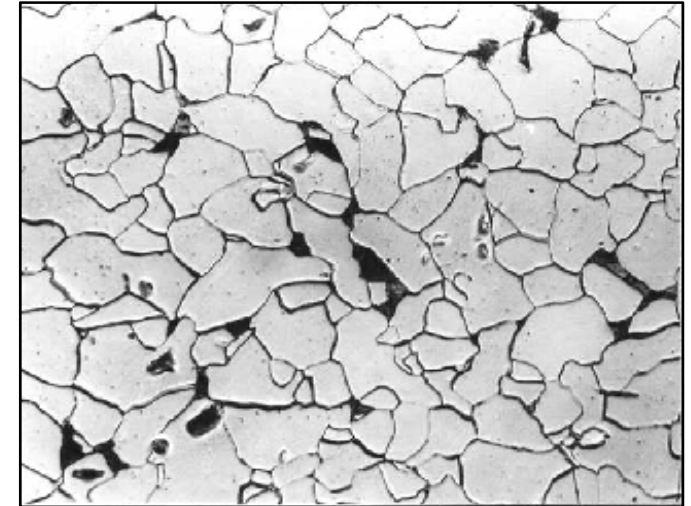
Сталь 10. Температура деформации 1050 °С



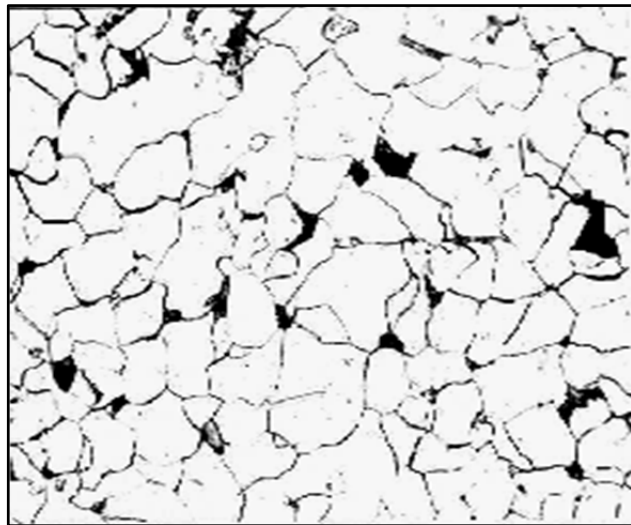
$\varepsilon = 2\%$ $\times 400$



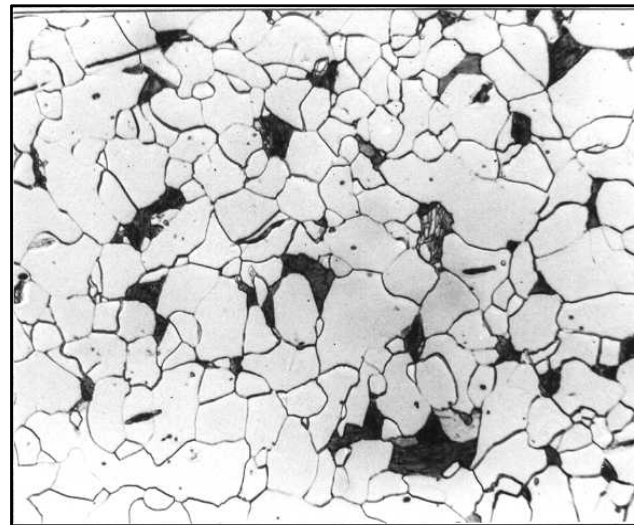
$\varepsilon = 22\%$ $\times 400$



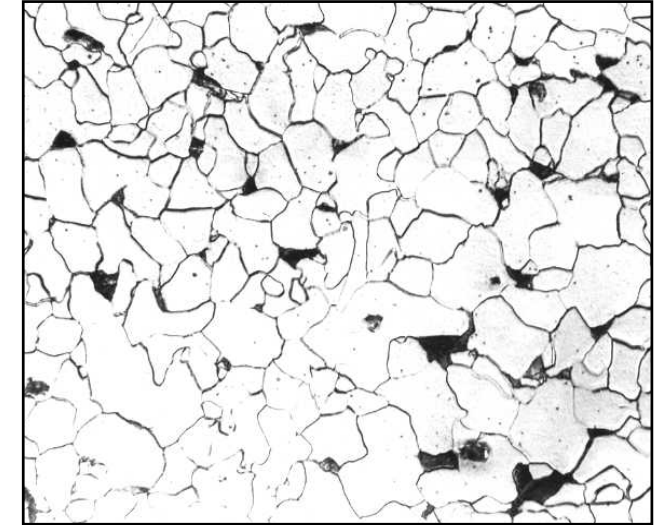
$\varepsilon = 28\%$ $\times 400$



$\varepsilon = 34\%$ $\times 400$

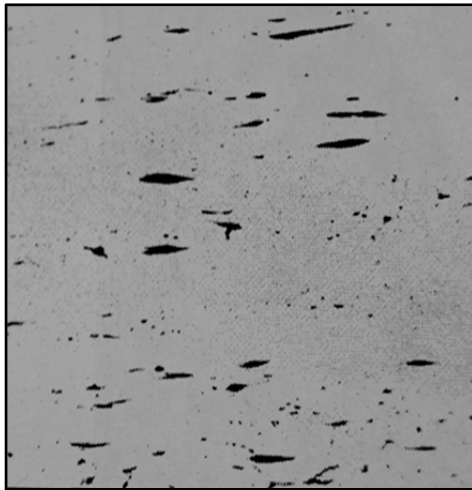


$\varepsilon = 42\%$ $\times 400$



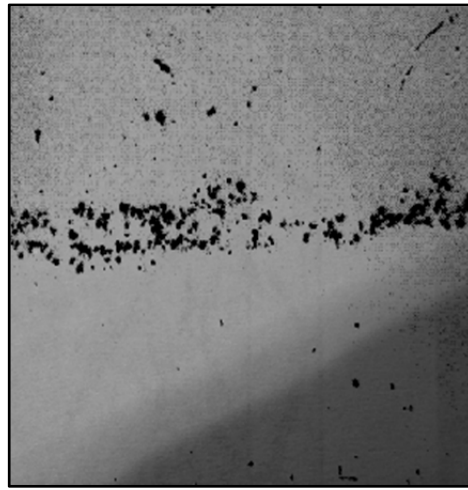
$\varepsilon = 58\%$ $\times 400$

Неметаллические включения в горячекатаной стали



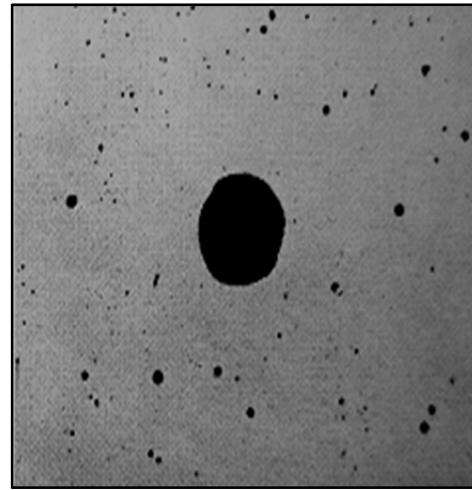
× 100

Сульфиды (светлые) +
силикаты пластичные (темные)



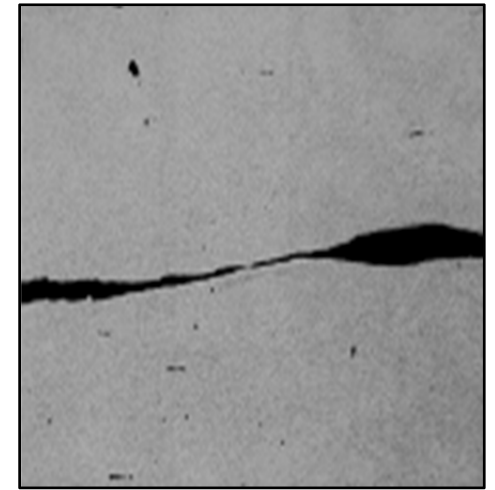
× 100

Силикаты пластичные



× 100

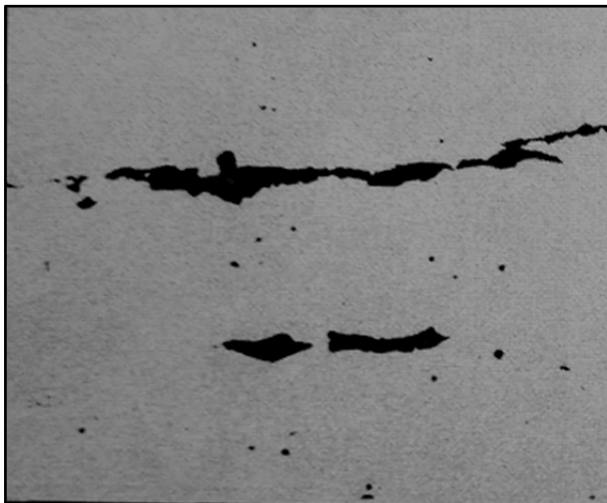
Оксиды хрупкие



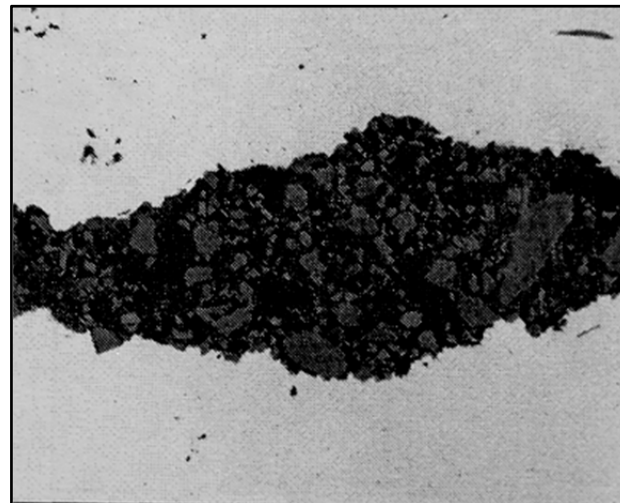
× 100

Труднодеформируемые
включения

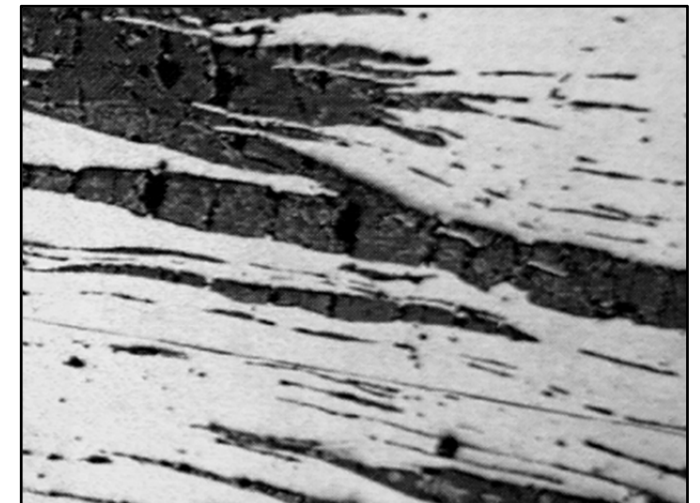
Шлаковые включения



× 100



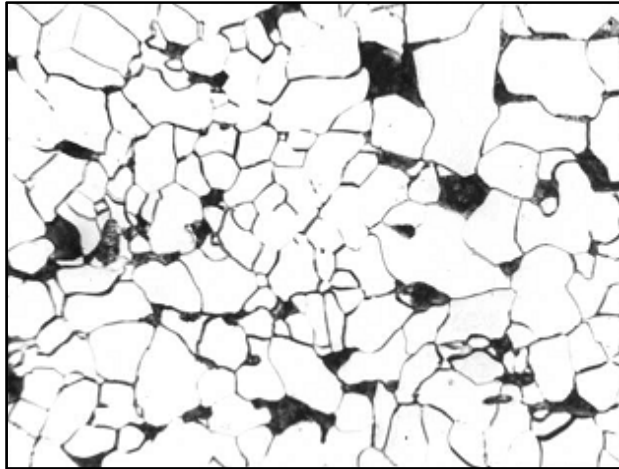
× 100



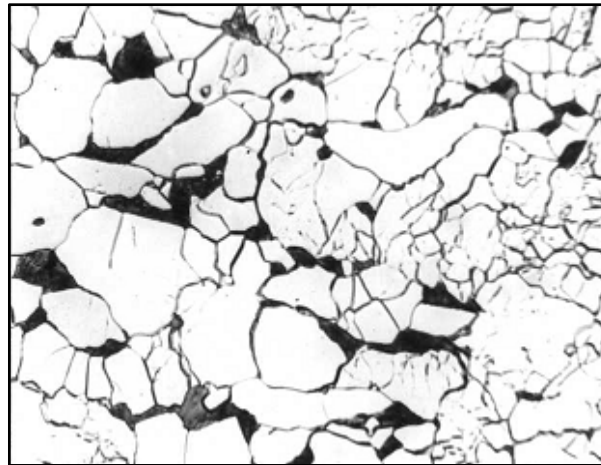
× 100

Термомеханическая обработка стали

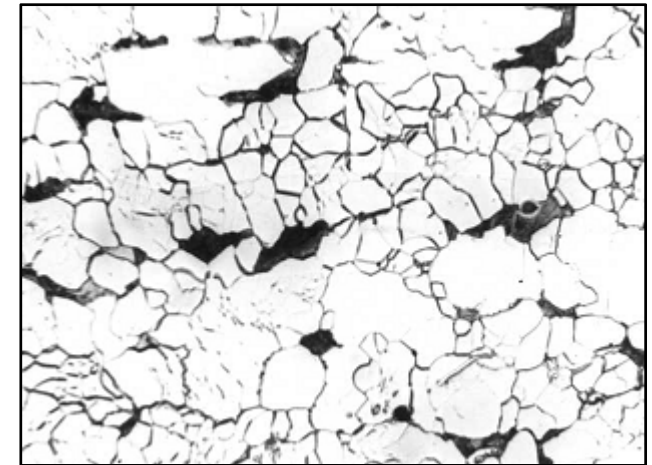
Влияние степени и температуры деформации на структуру. Сталь 10



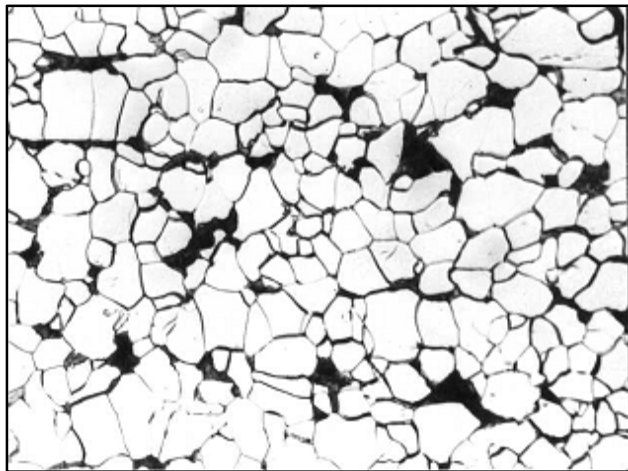
× 400
 $\epsilon = 24 \%$, температура деформации $A_{c3} + 50^\circ C$



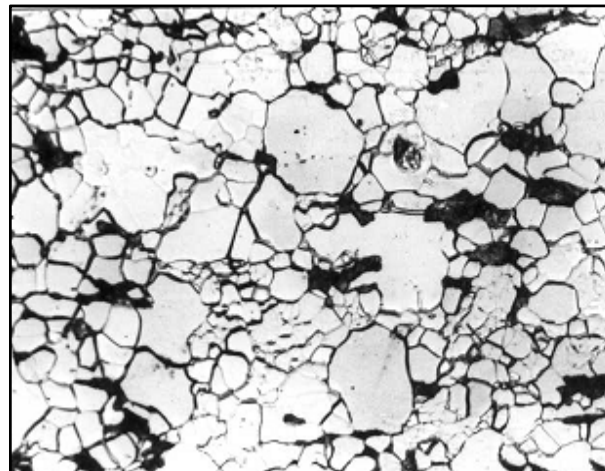
× 400
 $\epsilon = 24 \%$, температура деформации $A_{c3} - 50^\circ C$



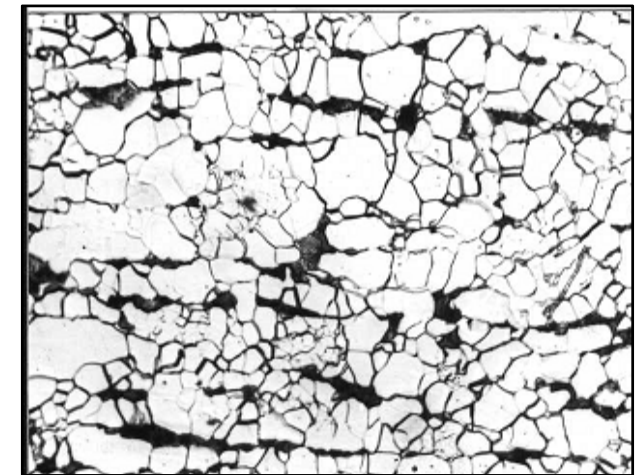
× 400
 $\epsilon = 24 \%$, середина температурного интервала
 $A_{c3} - A_{c1}$



× 400
 $\epsilon = 47 \%$, температура деформации $A_{c3} + 50^\circ C$



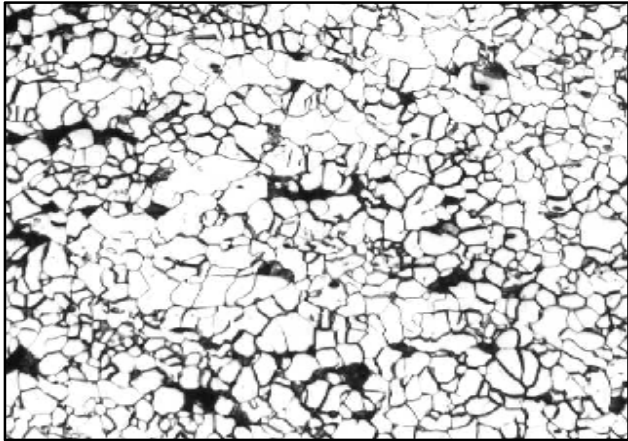
× 400
 $\epsilon = 47 \%$, температура деформации $A_{c3} - 50^\circ C$



× 400
 $\epsilon = 47 \%$, середина температурного интервала
 $A_{c3} - A_{c1}$

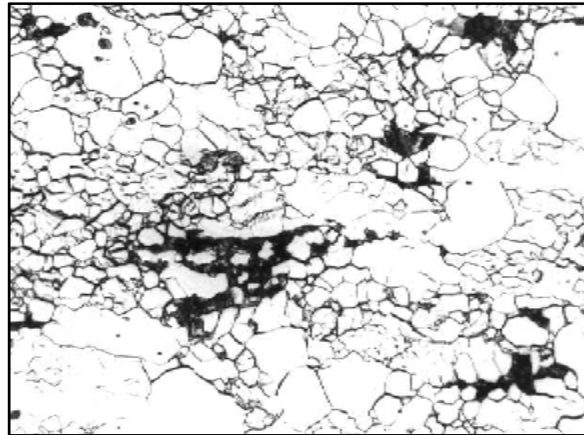
Термомеханическая обработка стали

Влияние температуры деформации на структуру. Сталь 10



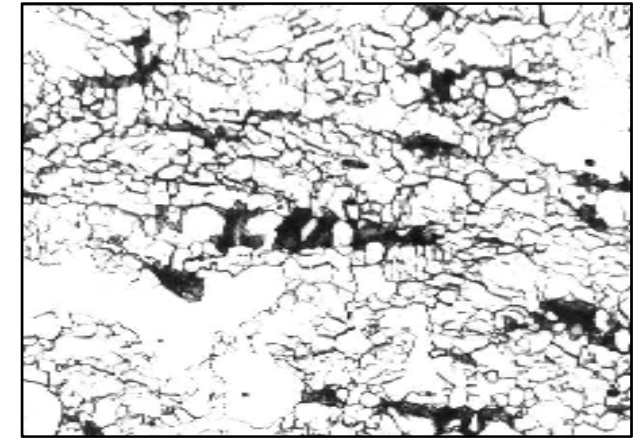
× 400

$\epsilon = 63 \%$, температура деформации $A_{c3} + 50 \text{ }^\circ\text{C}$



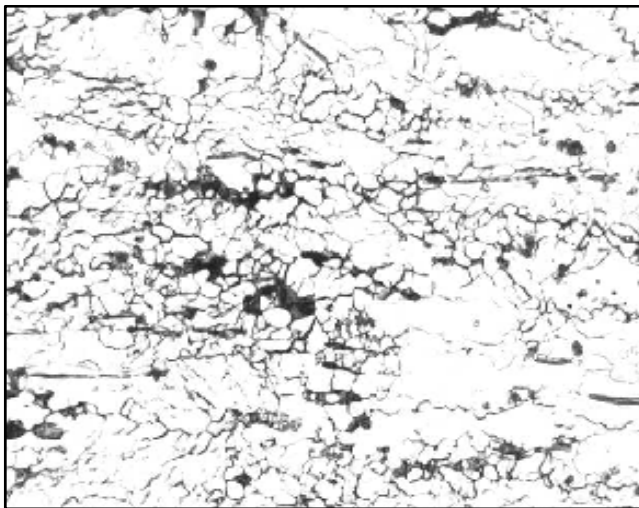
× 400

$\epsilon = 63 \%$, температура деформации $A_{c3} - 50 \text{ }^\circ\text{C}$



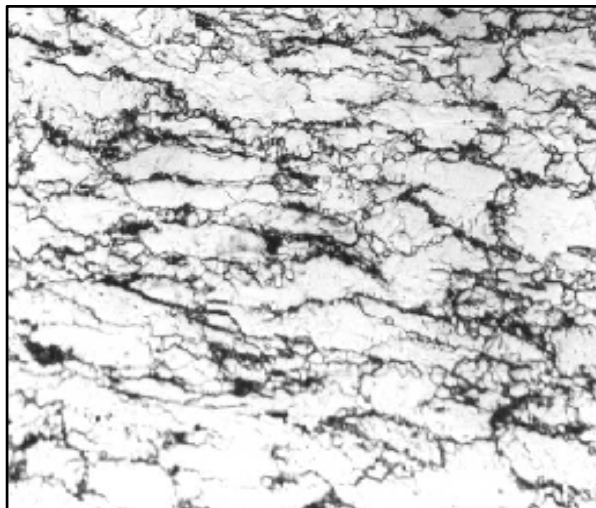
× 400

$\epsilon = 63 \%$, середина температурного интервала $A_{c3} - A_{c1}$



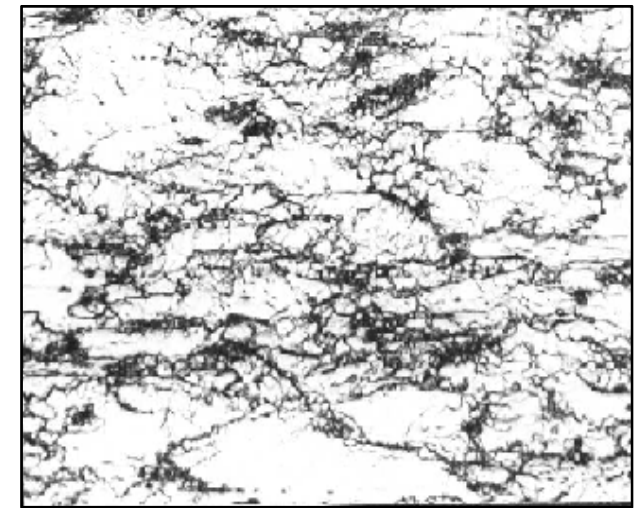
× 400

$\epsilon = 63 \%$, температура деформации $A_{c1} + 50 \text{ }^\circ\text{C}$



× 400

$\epsilon = 63 \%$, температура деформации $A_{c1} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$

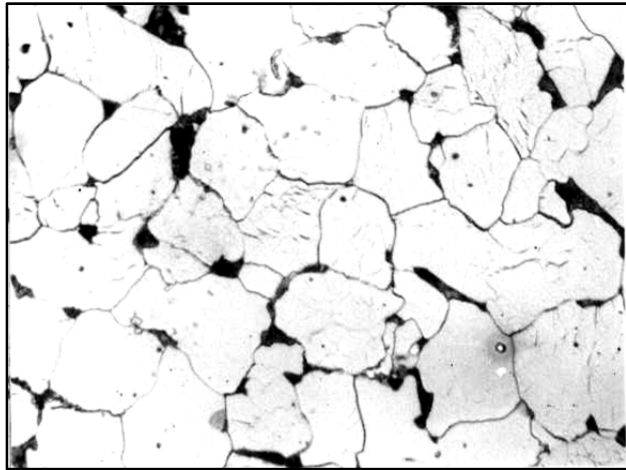


× 400

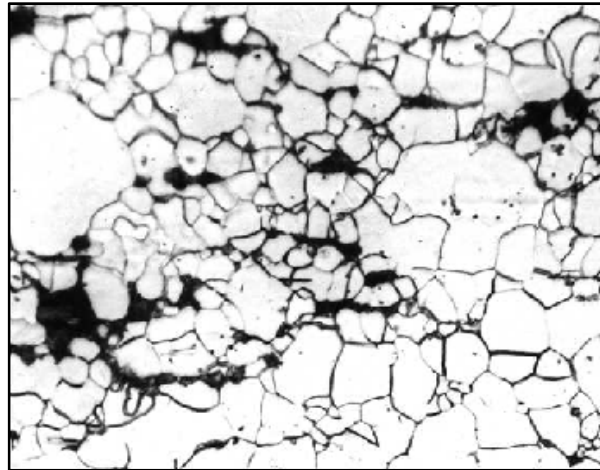
$\epsilon = 63 \%$, температура деформации $A_{c1} - 50 \text{ }^\circ\text{C}$

Термомеханическая обработка стали

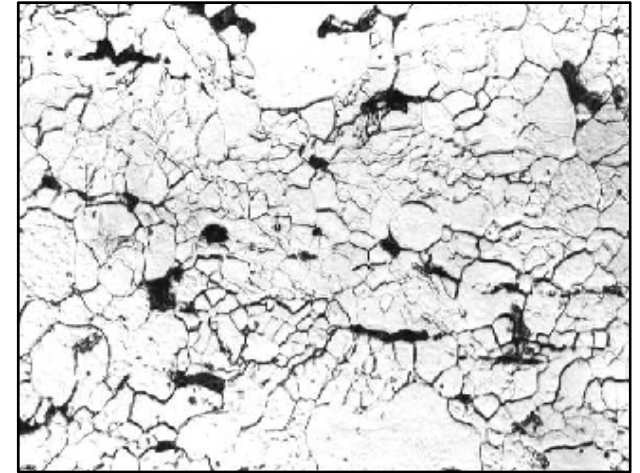
Влияние степени деформации на структуру при прокатке со снижением температуры по клетям от 1 100 °С до 670 °С. Сталь 10



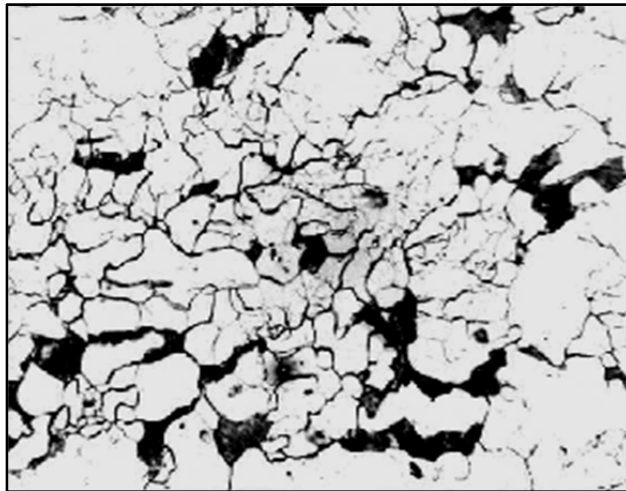
$\epsilon = 11\%$ $\times 400$



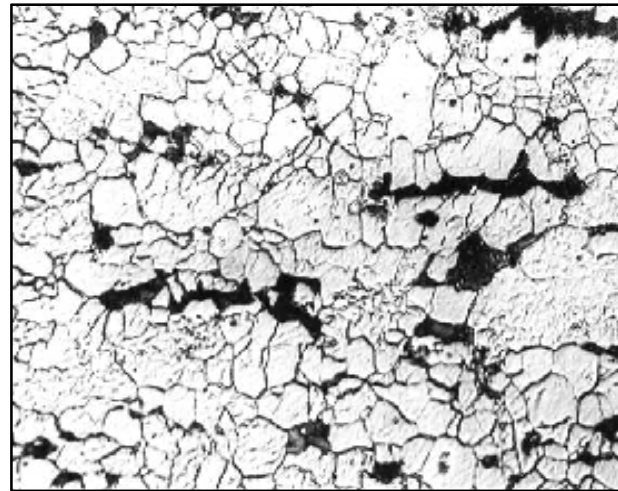
$\epsilon = 22\%$ $\times 400$



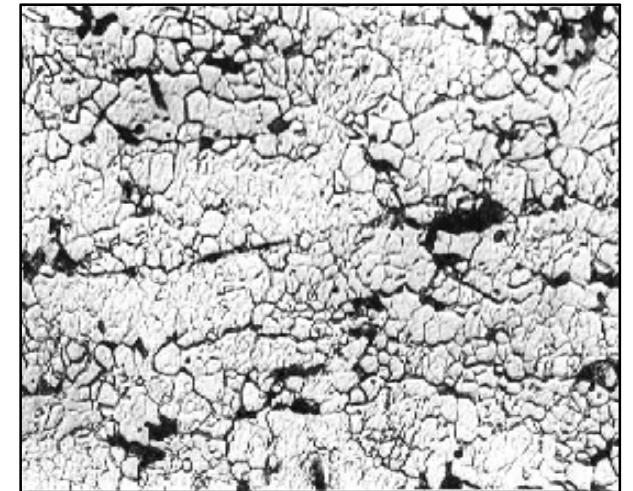
$\epsilon = 28\%$ $\times 400$



$\epsilon = 34\%$ $\times 400$



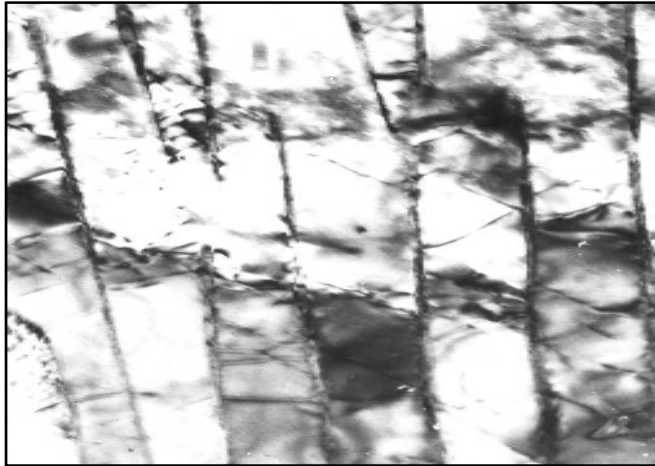
$\epsilon = 53\%$ $\times 400$



$\epsilon = 58\%$ $\times 400$

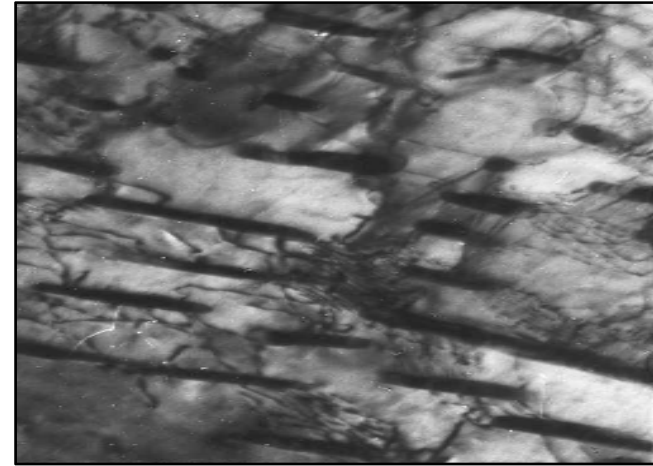
Термомеханическая обработка стали

Тонкая структура деформированного перлита. Сталь 10, температура деформации 680 °С



× 58 000

Субграницы в феррите



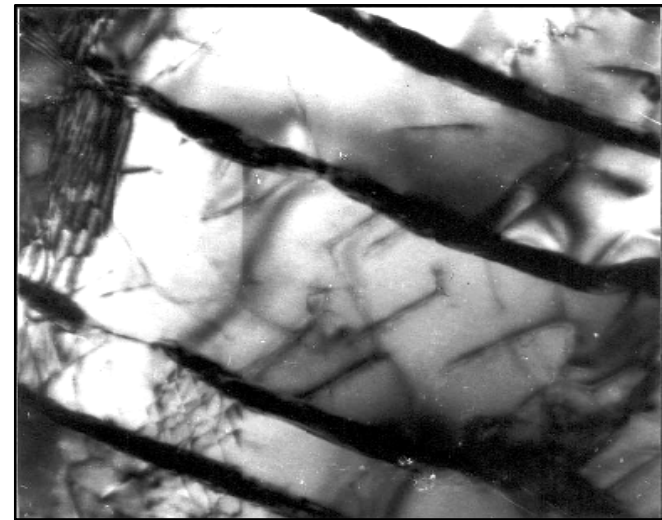
× 58 000

Дробление цементитных пластин



× 100 000

$\epsilon = 47 \%$, субграницы ферритной составляющей перлита



× 130 000

$\epsilon = 47 \%$, разрыв и сфероидизация цементитных пластин

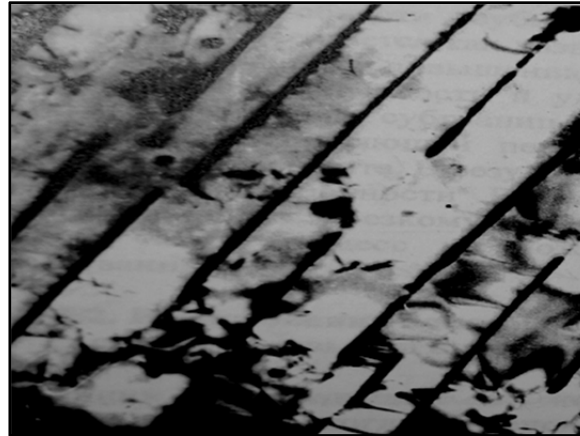
Термомеханическая обработка стали

Тонкая структура деформированного феррита и перлита. Сталь 37Г2С,
температура деформации 700 °С



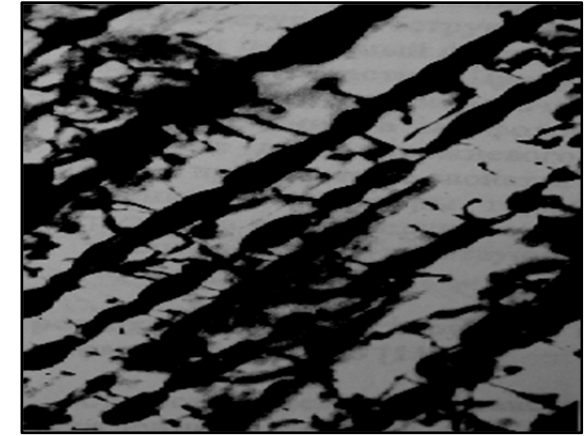
× 45 000

Субзерна, охватывающие несколько ферритных пластин в перлите



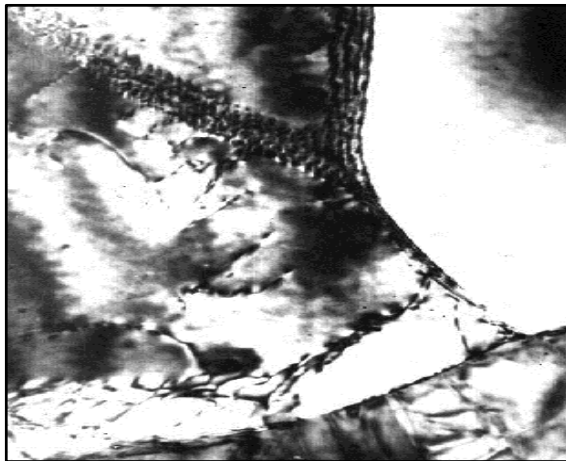
× 45 000

Дробление цементитных пластин и начальная стадия сфероидизации цементита



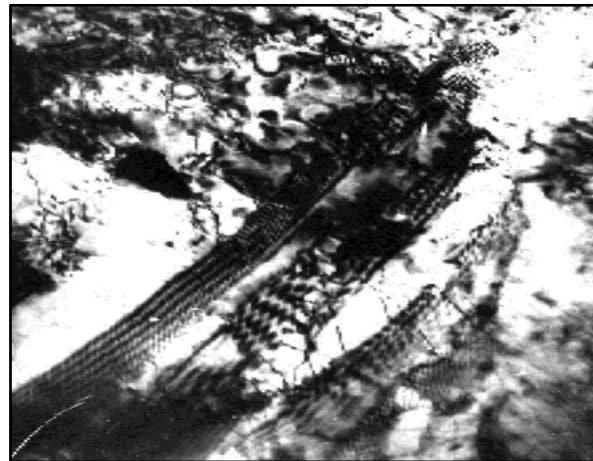
× 45 000

Дробление цементитных пластин и начальная стадия сфероидизации цементита



× 75 000

Доэвтектоидный феррит



× 45 000

Перлит

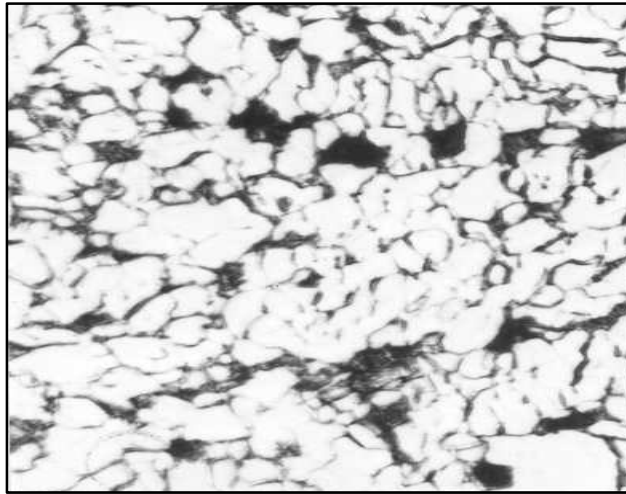


× 90 000

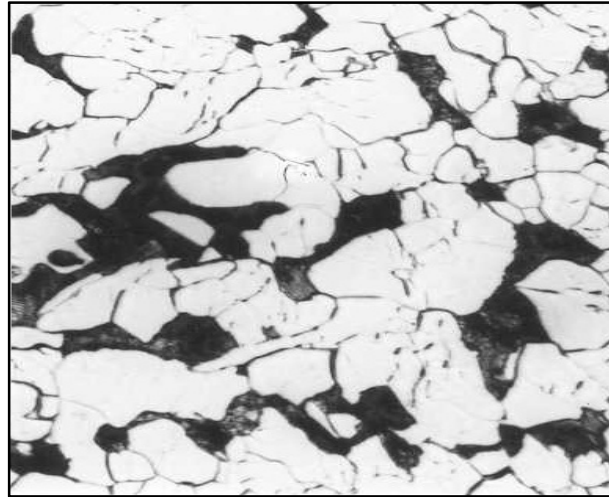
Дислокационные субграницы внутри пластин феррита

Термомеханическая обработка стали

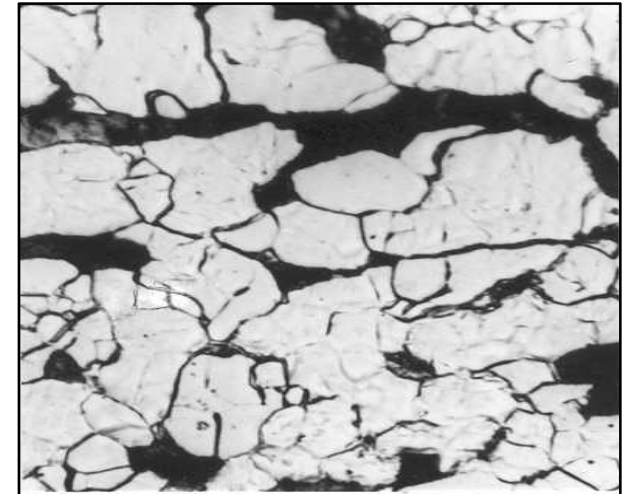
Влияние температуры деформации (калибровочный стан $\epsilon = 10,5\%$) на структуру. Сталь 20



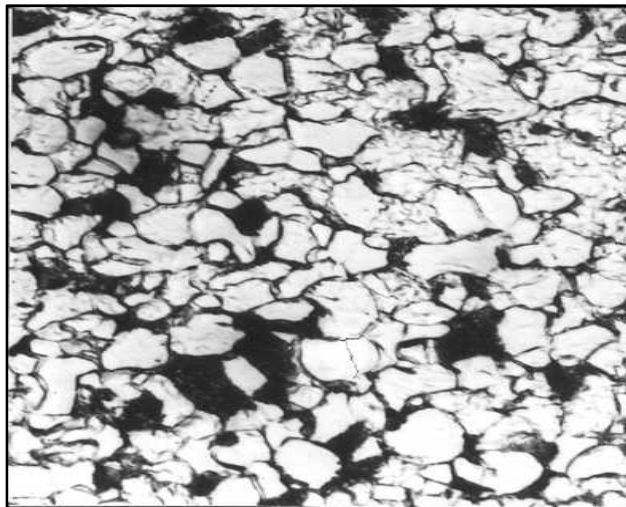
780 °C × 400



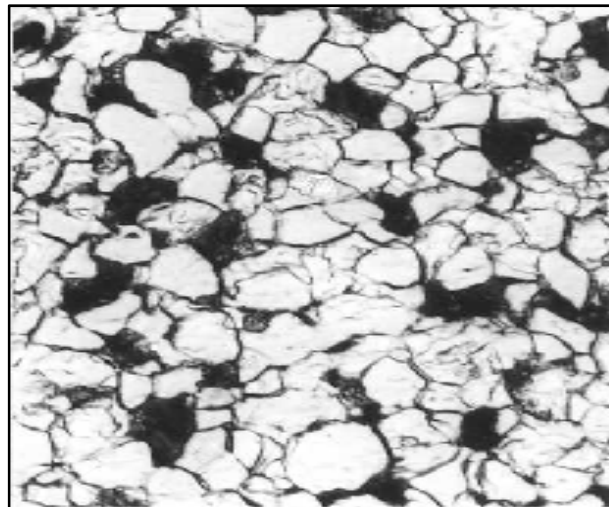
800 °C × 400



820 °C × 400



840 °C × 400



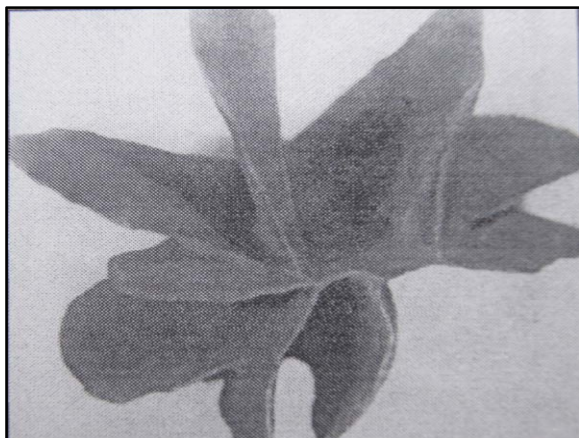
860 °C × 400



880 °C × 400

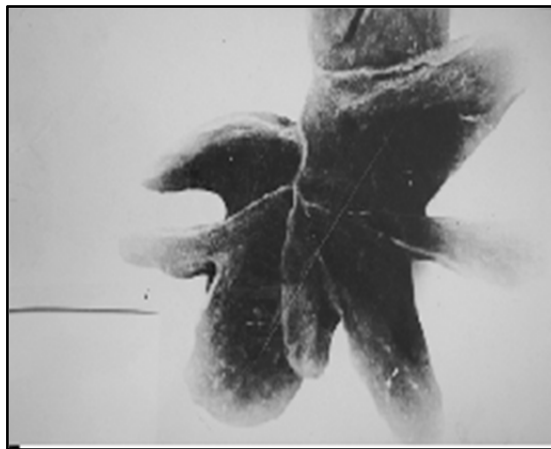
Морфология графитных включений в чугунах

Пространственная форма включений графита в сером чугуне



× 2 000

Пластинчатый графит
слаборазветвленный



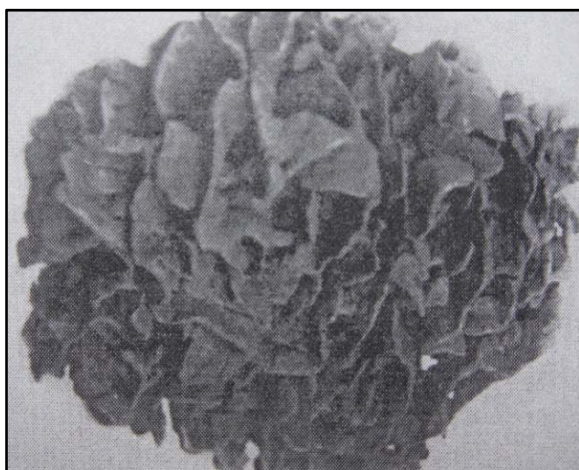
× 1 000

Пластинчатый графит



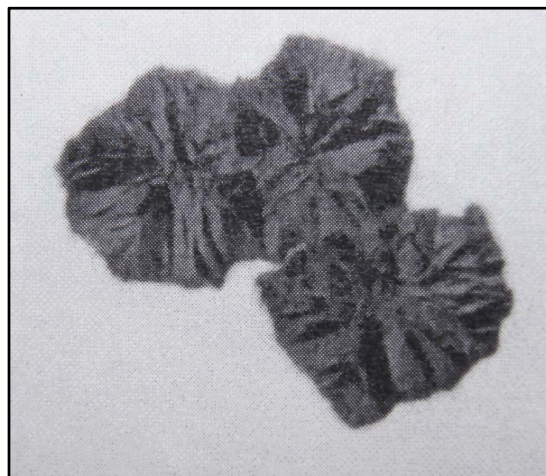
× 100

Пластинчатый графит



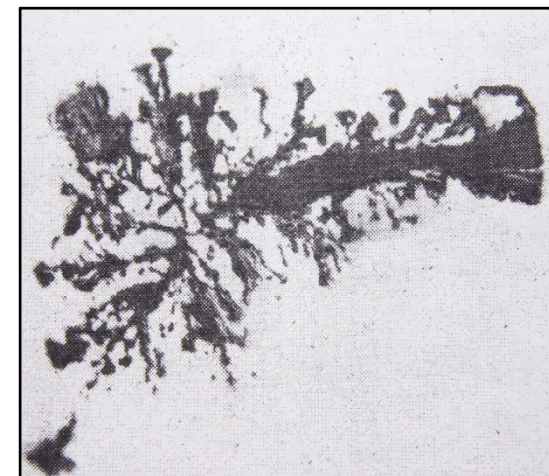
× 2 000

Шаровидный графит
сильноразветвленный



× 500

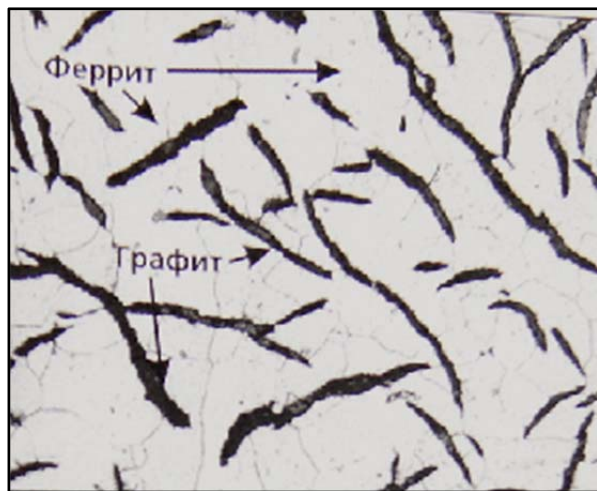
Сростки шаровидного графита



× 100

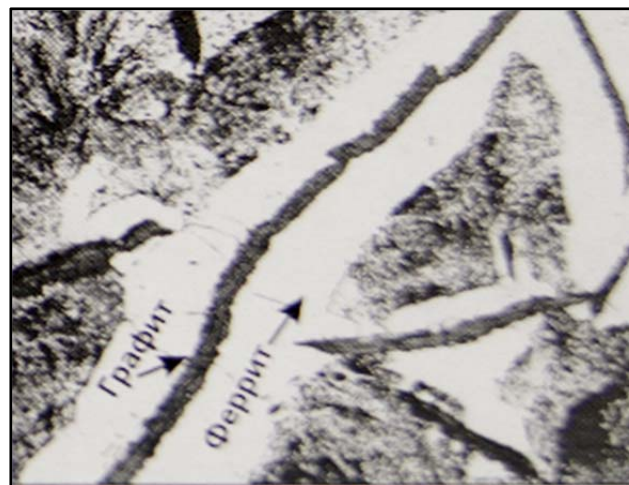
Хлопьевидный графит

Типы металлических основ в серых чугунах



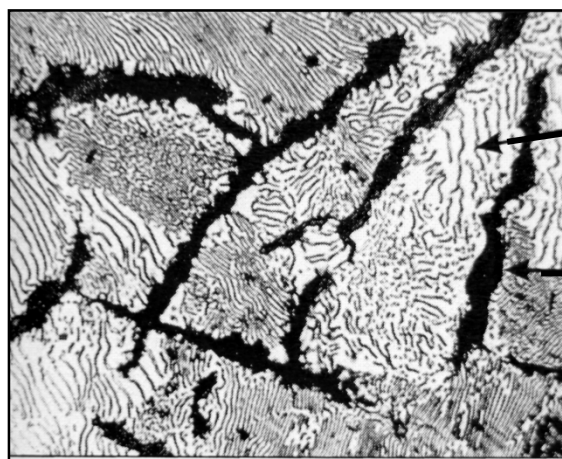
× 100

Ферритная



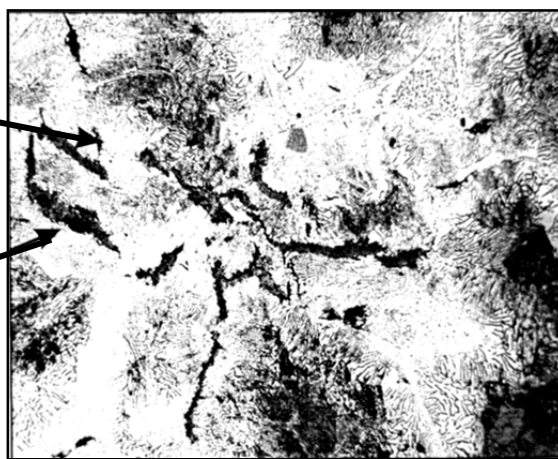
× 100

Феррито-перлитная



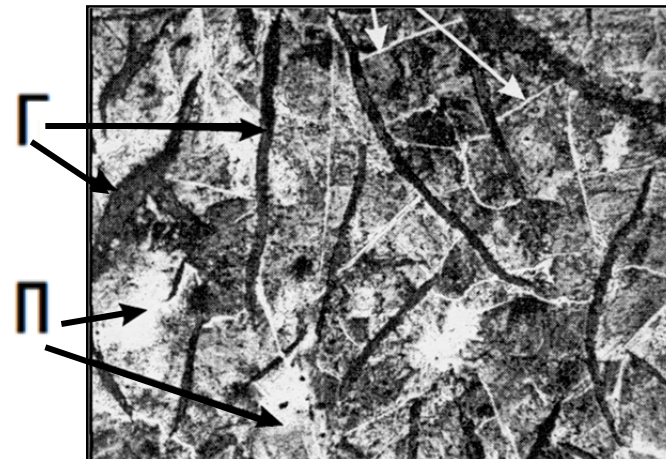
× 100

Грубоперлитная



× 100

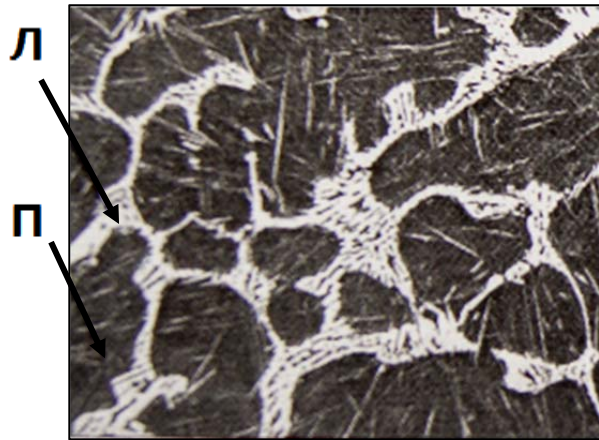
Тонкоперлитная



× 100

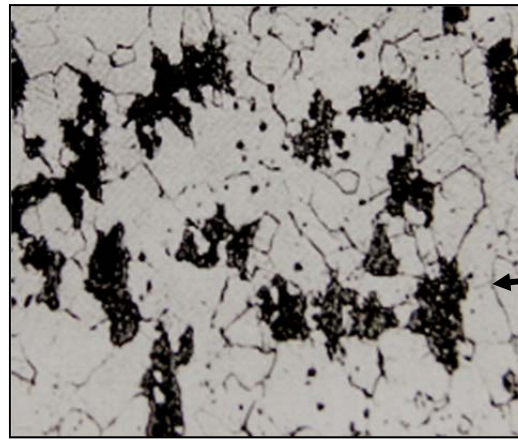
Перлитно-цементитная

Структура ковкого чугуна



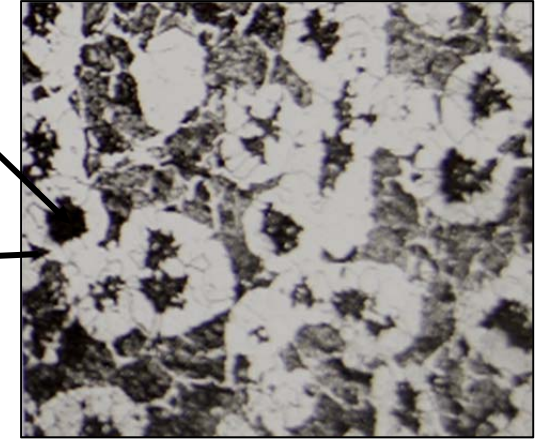
× 100

Исходная структура белого чугуна до графитизирующего отжига



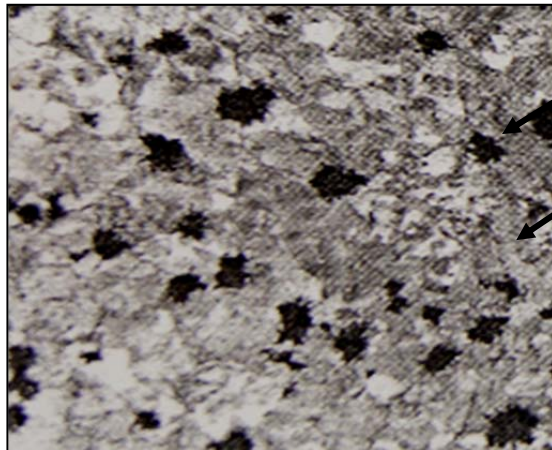
× 200

Ферритная основа



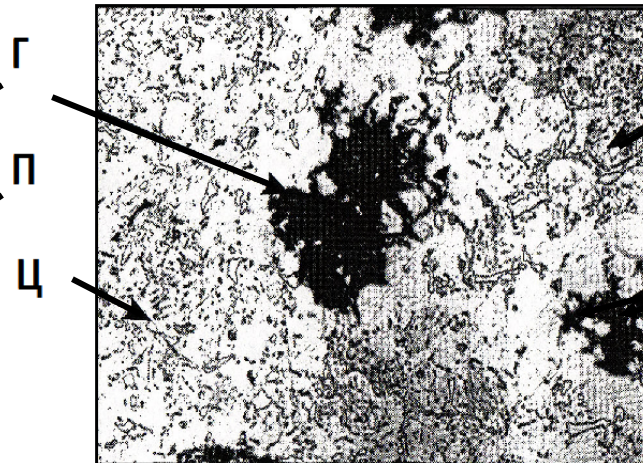
× 100

Феррито-перлитная основа



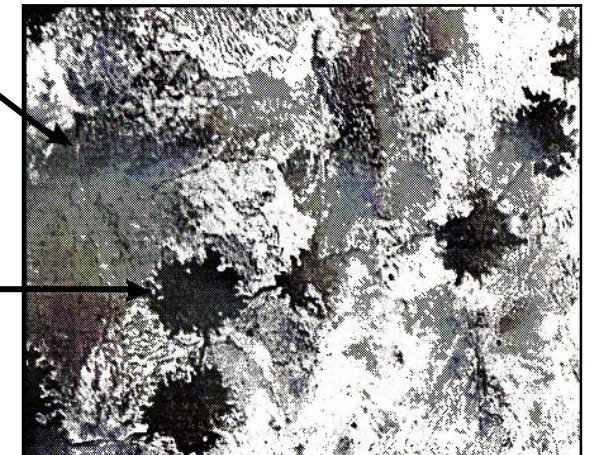
× 100

Перлитная основа



× 200

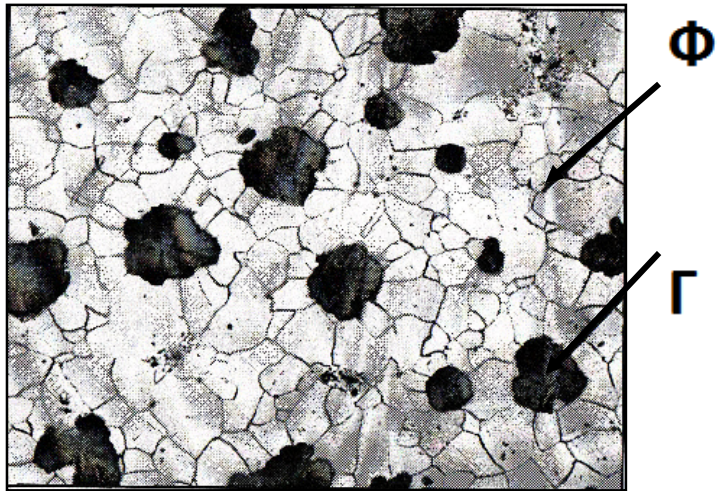
С зернистым цементитом в основе



× 200

С пластинчатым цементитом в основе

Структура чугуна с шаровидным графитом



× 100

Ферритная основа



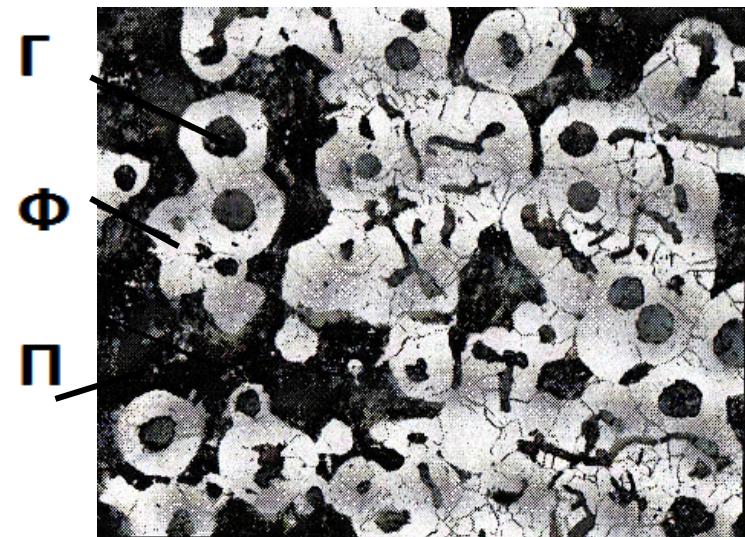
× 100

Феррито-перлитная основа



× 100

Перлитная основа

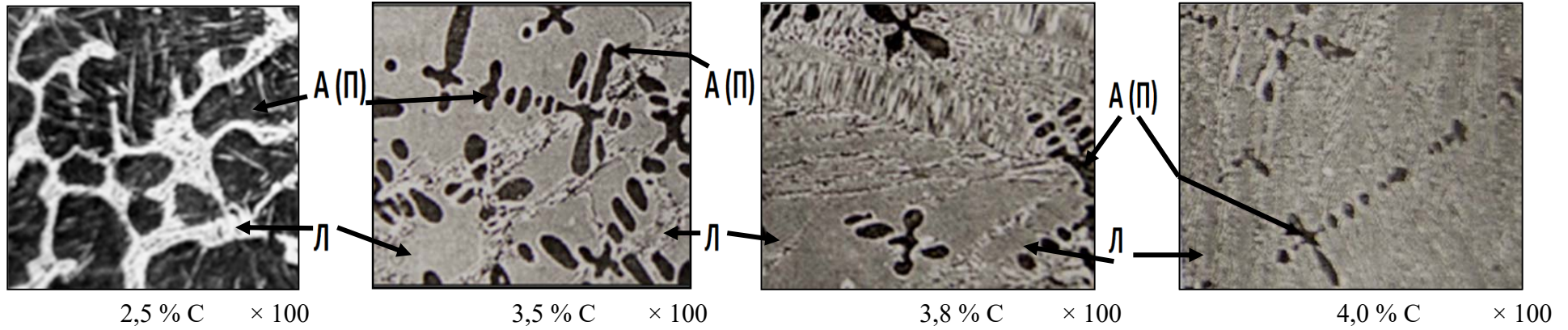


× 100

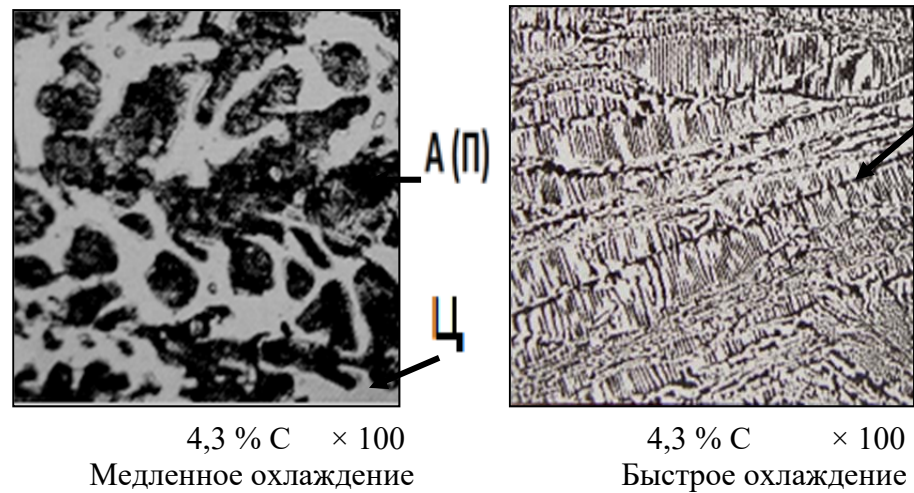
Феррито-перлитная основа

Структура белых чугунов

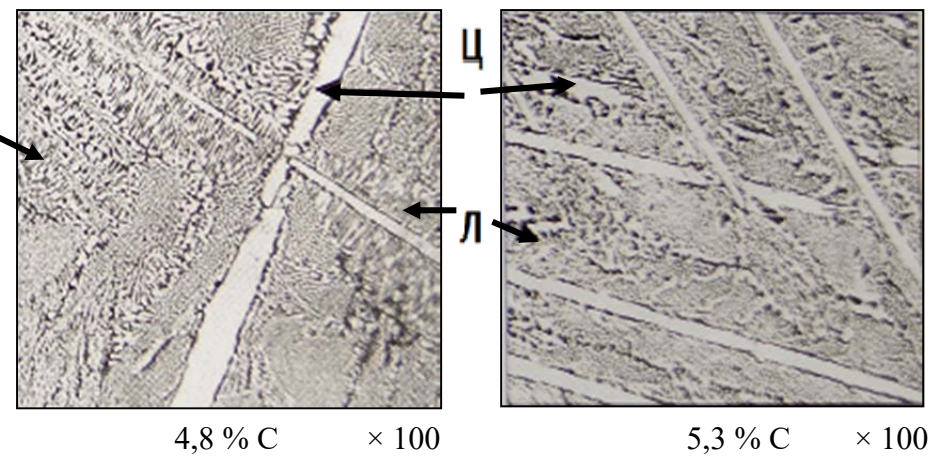
Доэвтектические белые чугуны с различным содержанием углерода



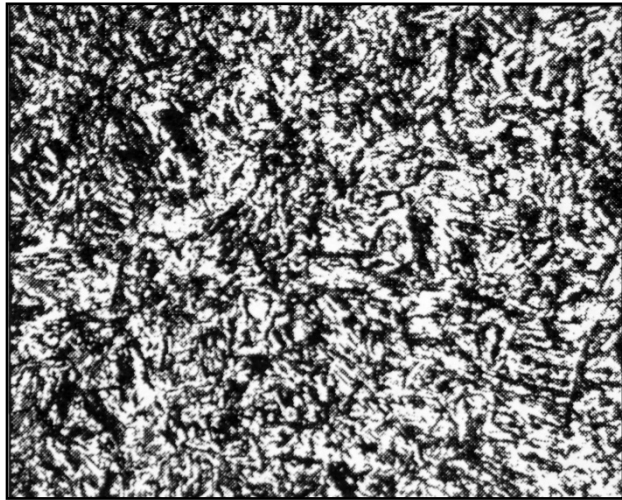
Эвтектические белые чугуны



Заэвтектические белые чугуны

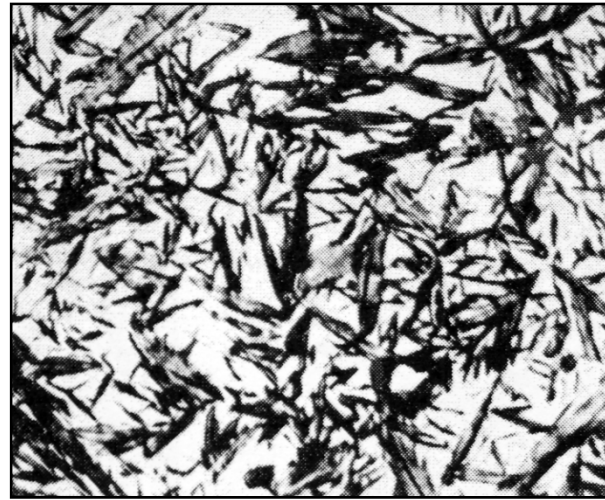


Мартенситные структуры



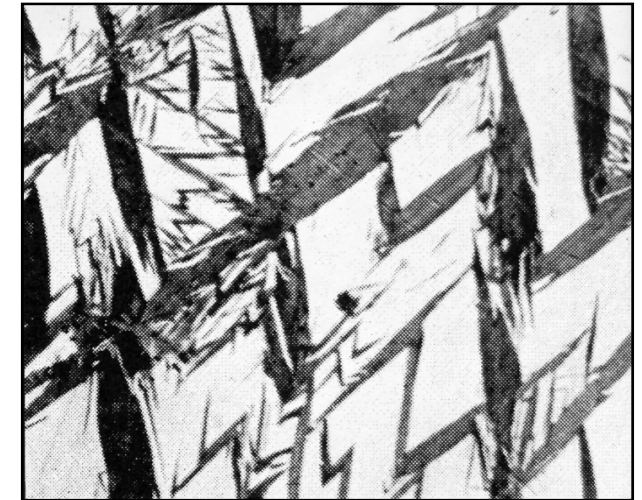
× 100

Мелкоигольчатый мартенсит



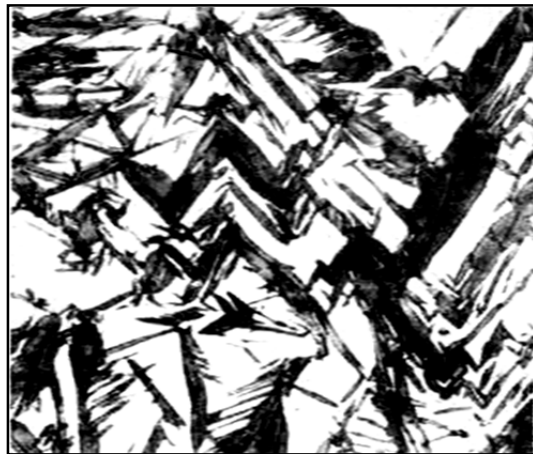
× 100

Среднеигольчатый мартенсит



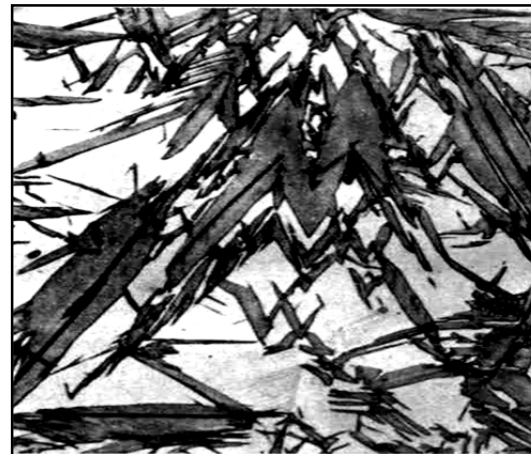
× 100

Крупноигольчатый мартенсит



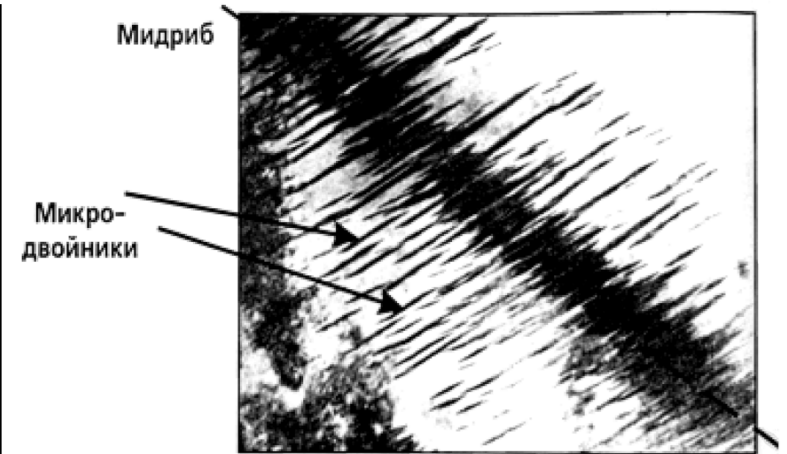
× 500

Заэвтектоидная сталь.
Среднеигольчатый мартенсит



× 1 500

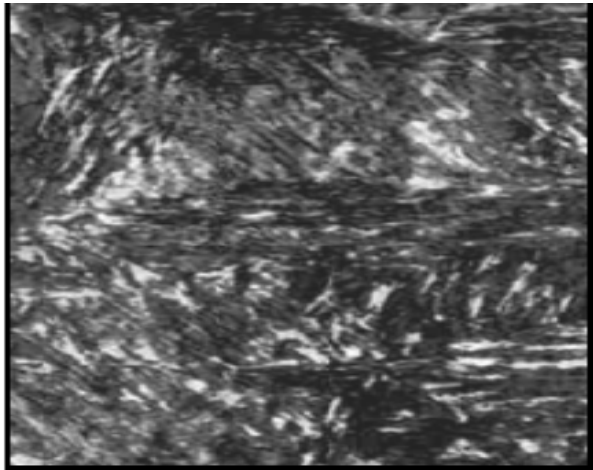
Большее увеличение



× 16 000

Осевая линия (мидриб) и двойники
превращения

Мартенситные структуры



× 1 000

Сталь 55. Реечный мартенсит



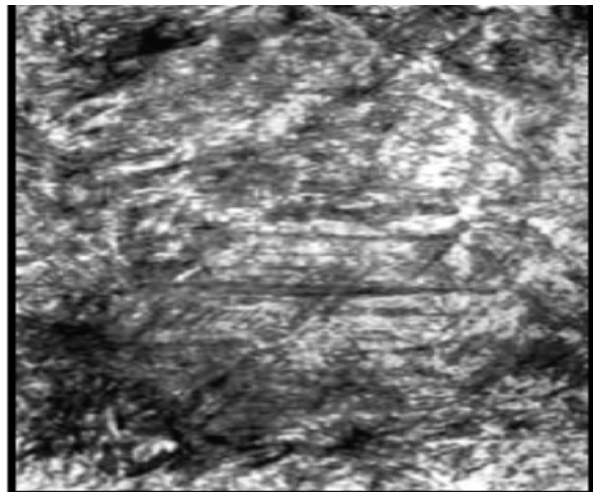
× 5 000

Большее увеличение



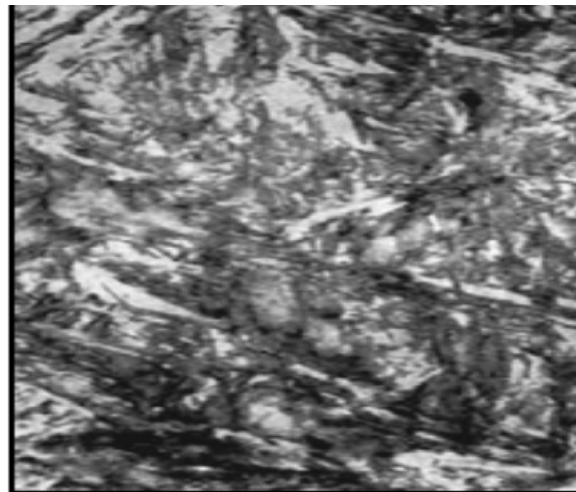
× 40 000

Большее увеличение



× 500

Эвтектоидная сталь. Пластинчатый мартенсит



× 1 500

Большее увеличение

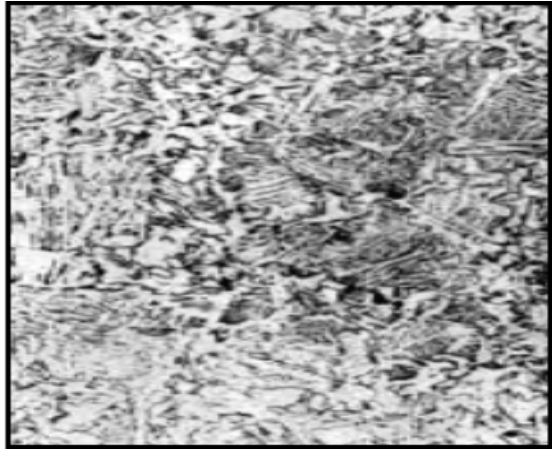


× 7 500

Большее увеличение

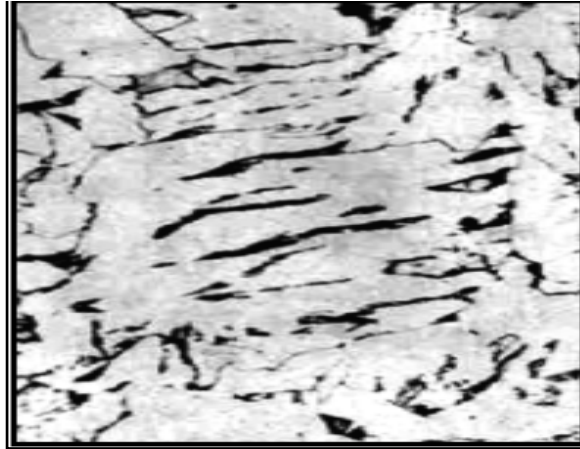
Промежуточное (бейнитное) превращение

Бейнитные структуры



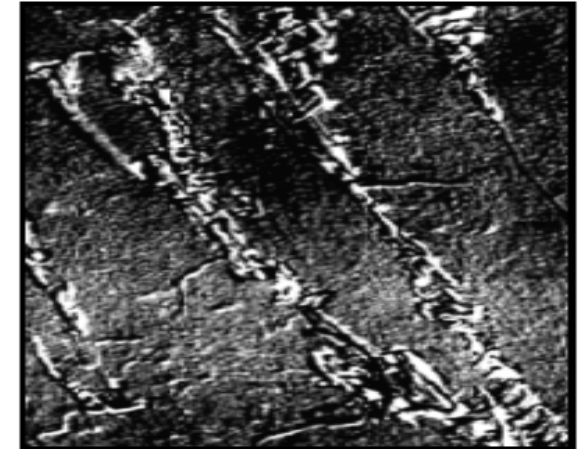
× 200

Сталь 20. Зернистый бейнит



× 1 000

Большее увеличение



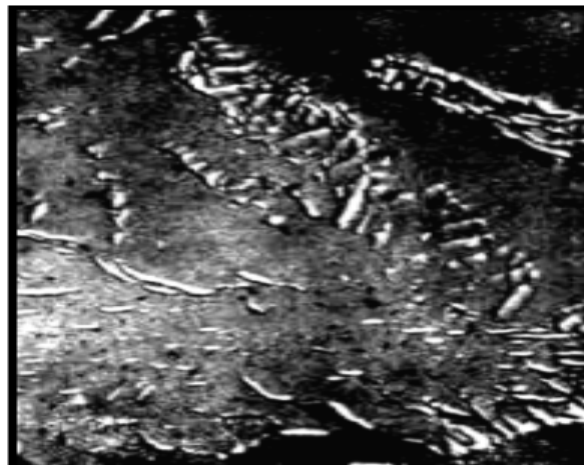
× 5 000

Большее увеличение



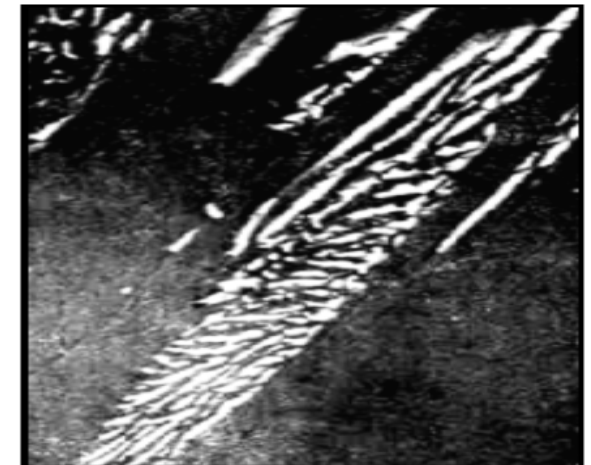
× 500

Сталь 20Г. Зернистый бейнит



× 5 000

Большее увеличение



× 5 000

Большее увеличение

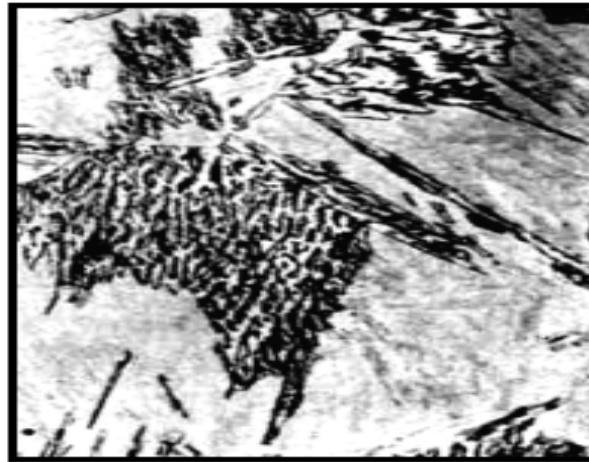
Промежуточное (бейнитное) превращение

Бейнитные структуры



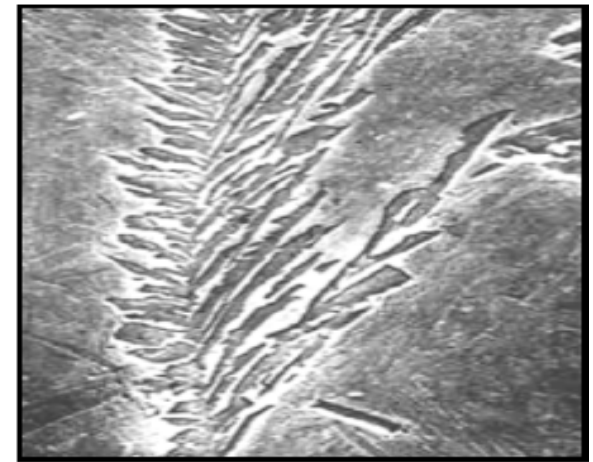
× 500

Сталь 40ХГМ. Верхний бейнит



× 1 000

Большее увеличение



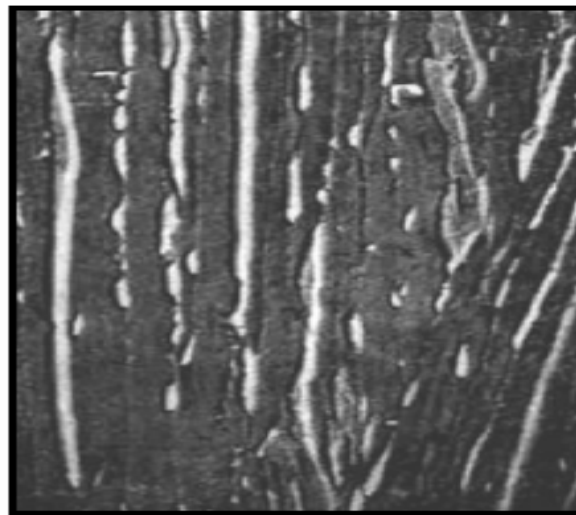
× 5 000

Большее увеличение



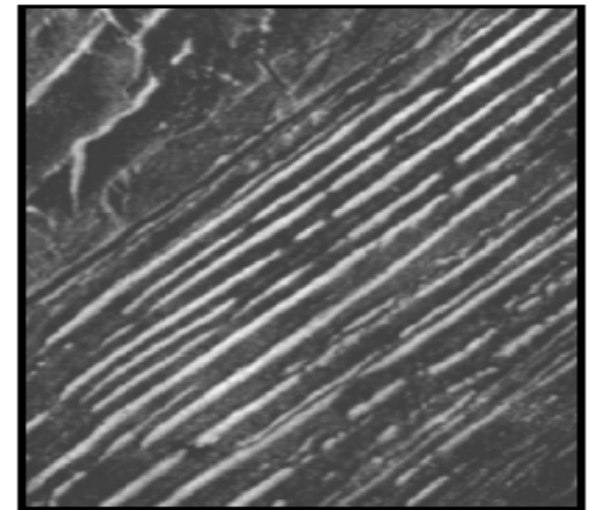
× 500

Сталь 20Г. Верхний бейнит



× 5000

Большее увеличение

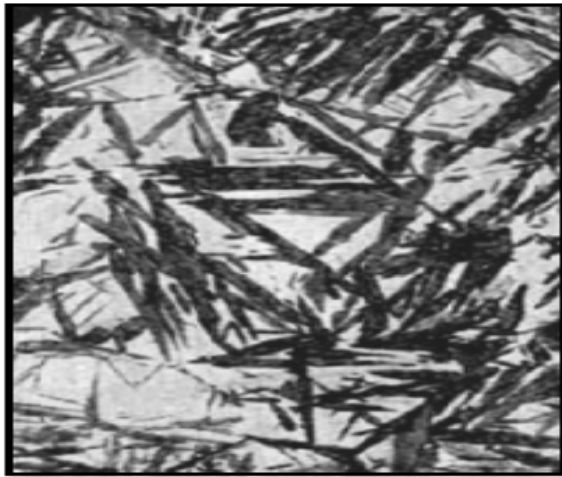


× 5 000

Большее увеличение

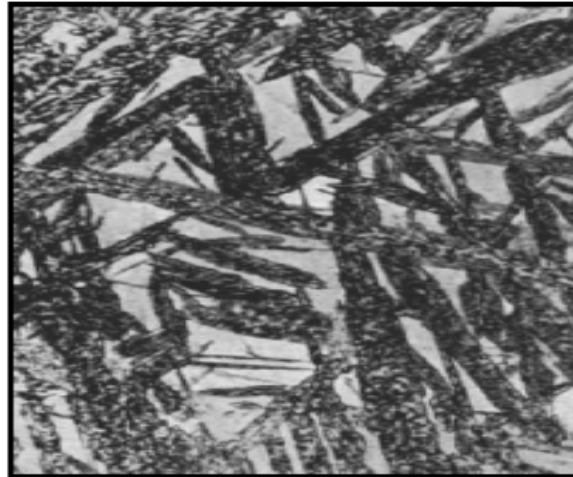
Промежуточное (бейнитное) превращение

Бейнитные структуры



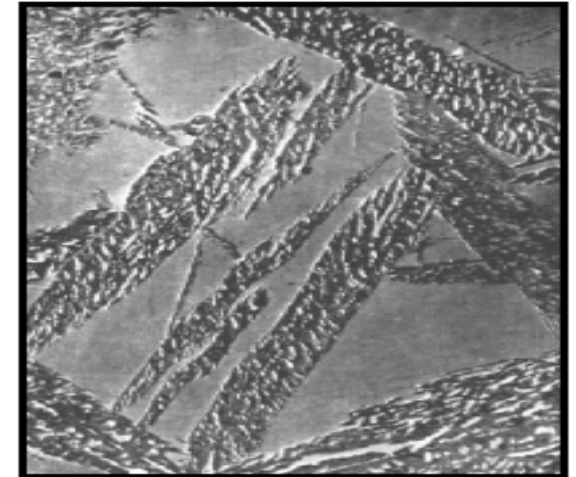
× 500

Сталь 55НЧГМВ. Нижний бейнит



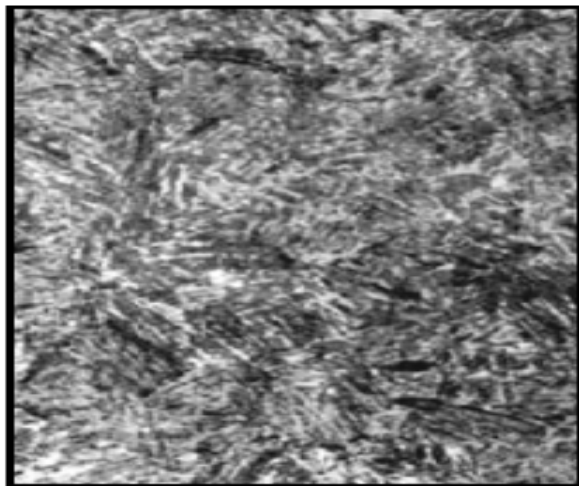
× 1 500

Большее увеличение



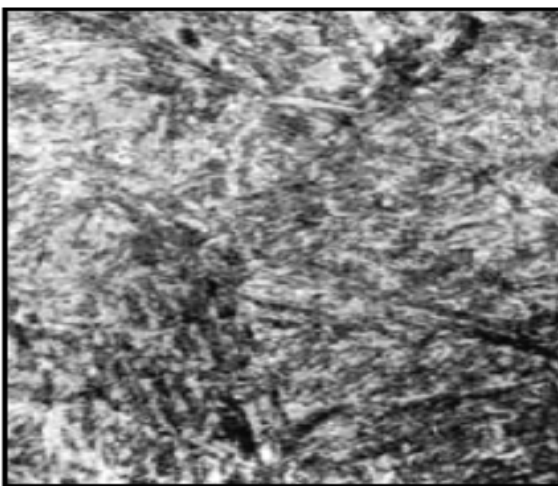
× 10 000

Большее увеличение



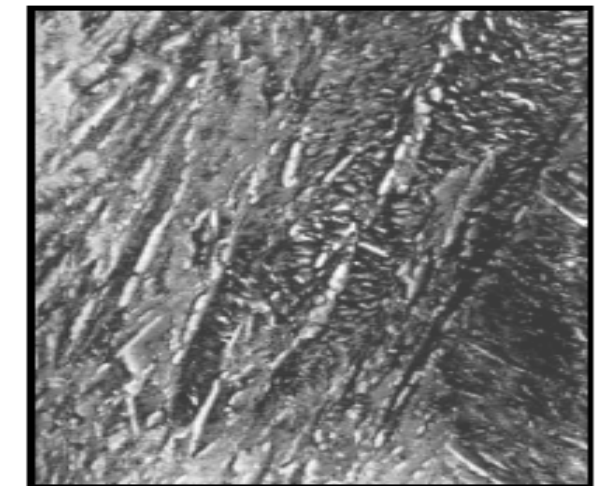
× 500

Эвтектоидная сталь. Нижний бейнит



× 1 000

Большее увеличение

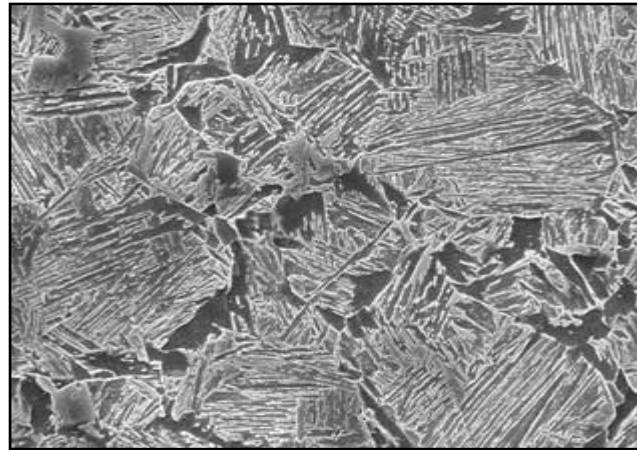


× 7 500

Большее увеличение

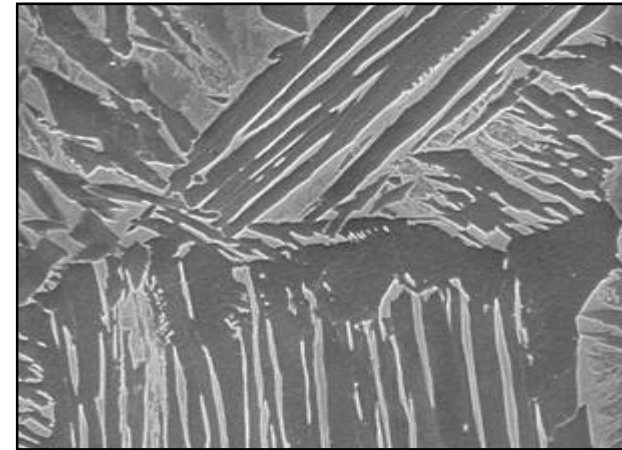
Промежуточное (бейнитное) превращение

Бейнитные структуры. Сталь 08ХМФЧА



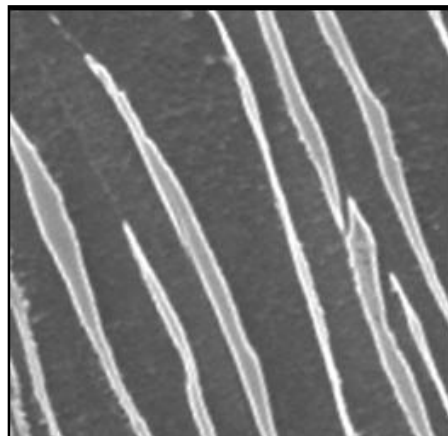
× 1 750

Верхний и бескарбидный бейнит
(травление реактивом picral)



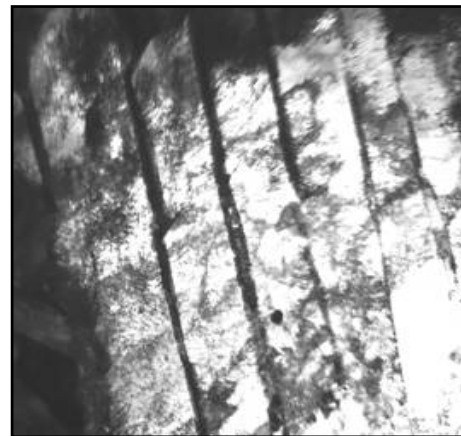
× 3 500

Верхний и бескарбидный бейнит
(травление реактивом picral)



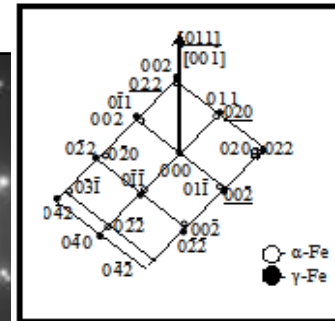
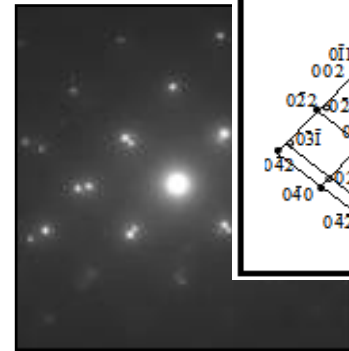
× 7 000

Бескарбидный бейнит,
растровая электронная
микроскопия

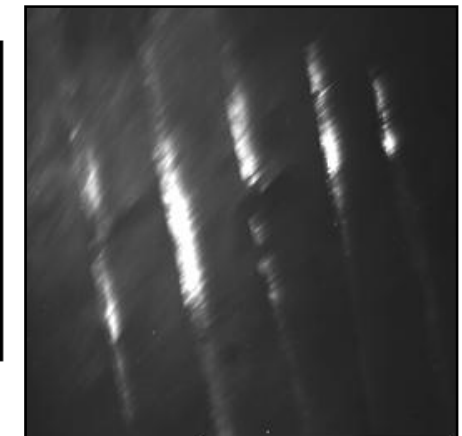


× 7 000

Бескарбидный бейнит,
просвечивающая электронная
микроскопия



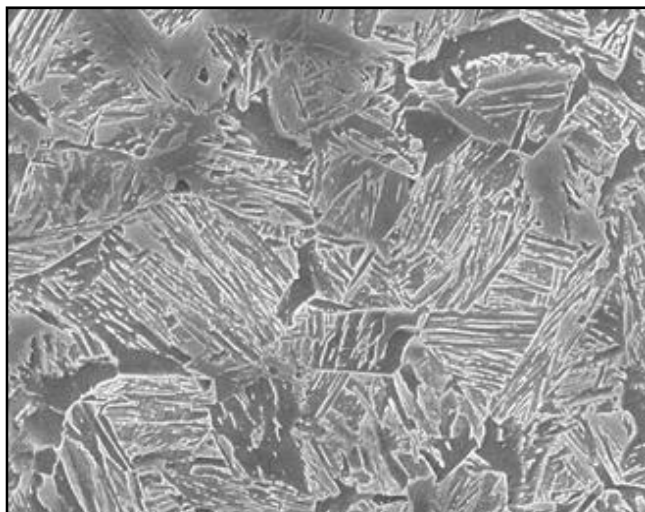
Микродифракция, бескарбидный
бейнит



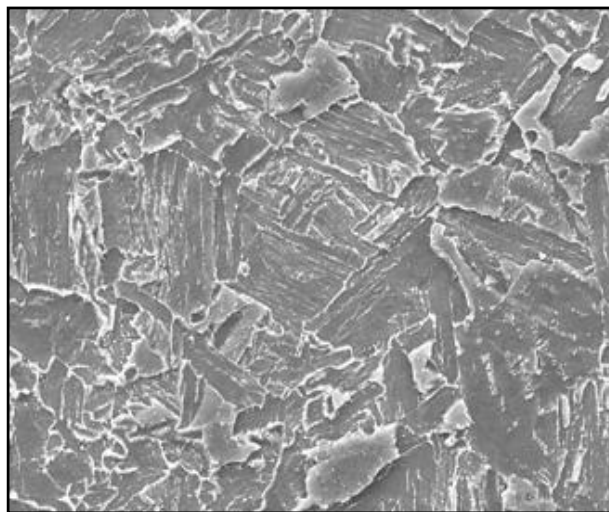
× 7 000

Темнопольное изображение
в рефлексе [022] γ -Fe,
бескарбидный бейнит

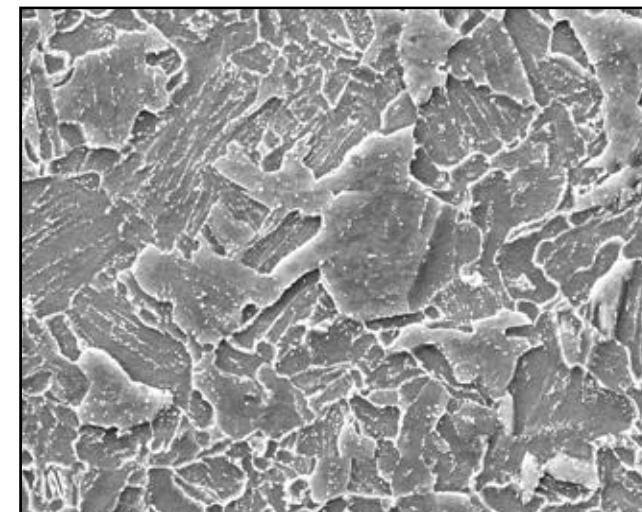
Превращение бейнита при отпуске. Сталь 08ХМФЧА



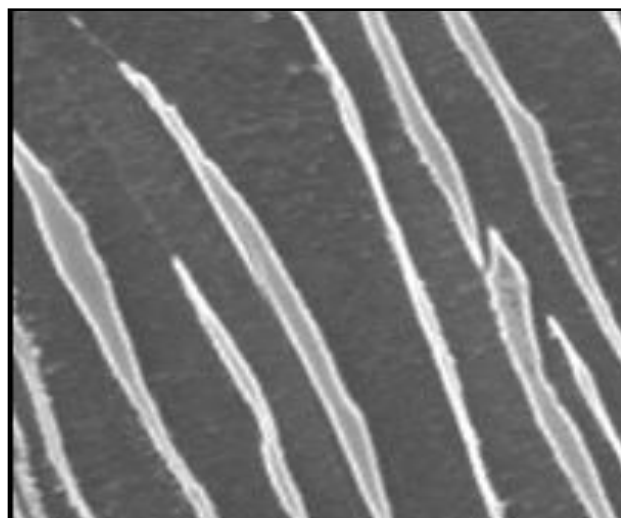
Закалка
× 1 250



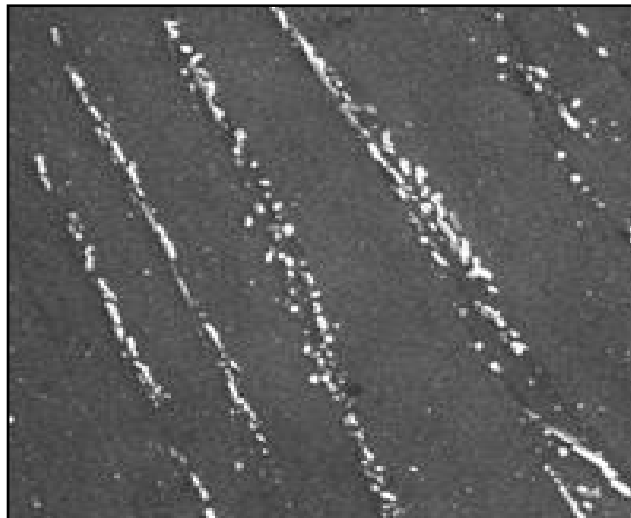
Закалка + отпуск 650 °С
× 1 250



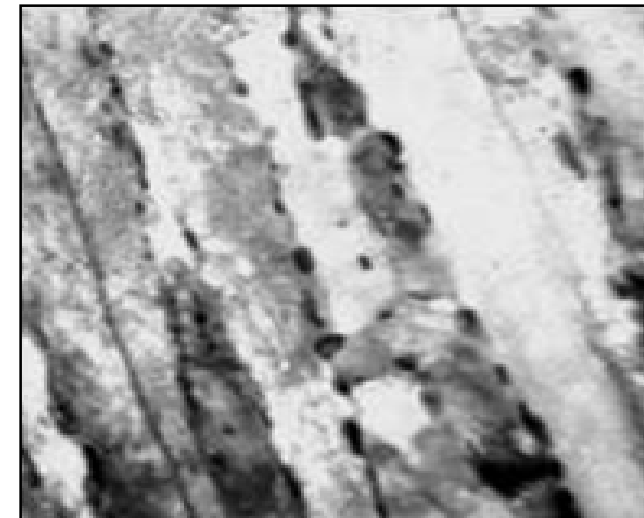
Закалка + отпуск 650 °С
× 1 250



Закалка, бескарбидный бейнит
× 6 000

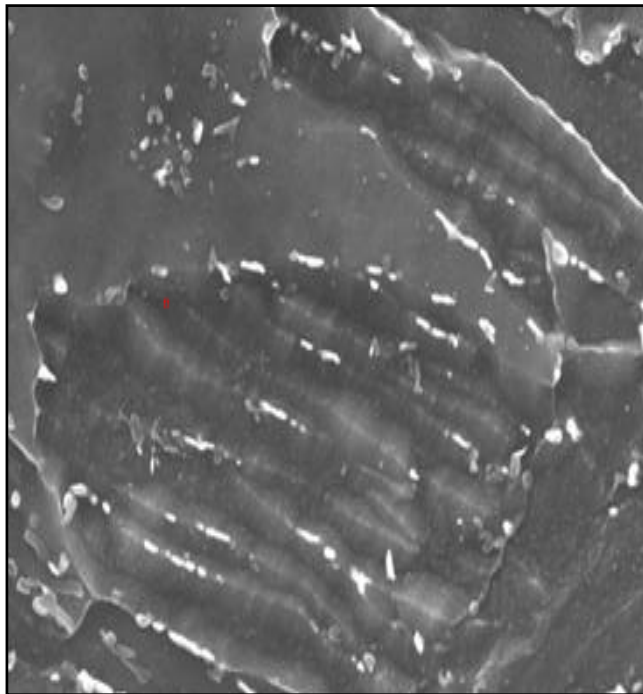


Закалка + отпуск 650 °С
× 6 000

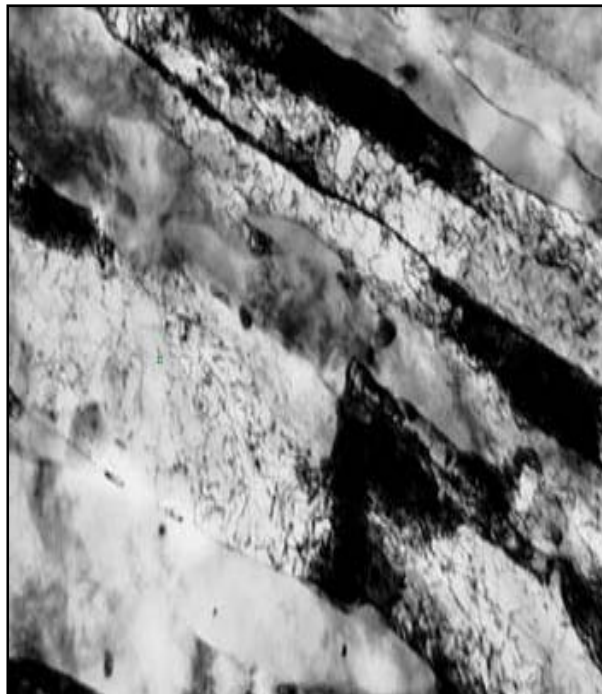


Закалка + отпуск 700 °С
× 6 000

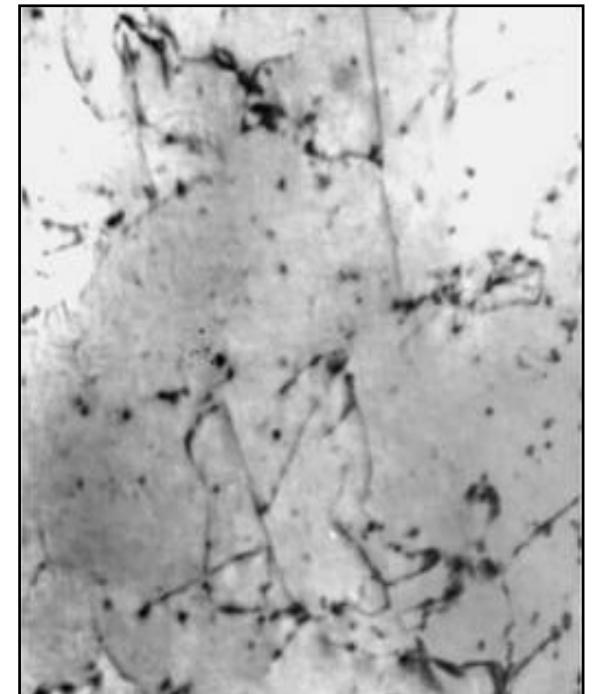
Тонкая структура отпущенного бейнита. Сталь 08ХМФЧА (закалка + отпуск 700 °С)



Растровая микроскопия
× 3 300



Просвечивающая микроскопия
× 6 600



Просвечивающая микроскопия
× 32 000

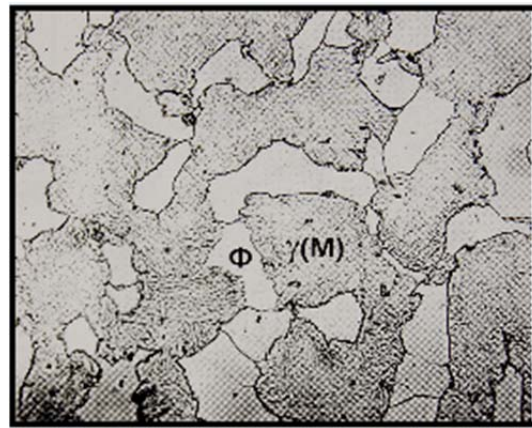
Закалка из межкритического интервала температур



× 8 000

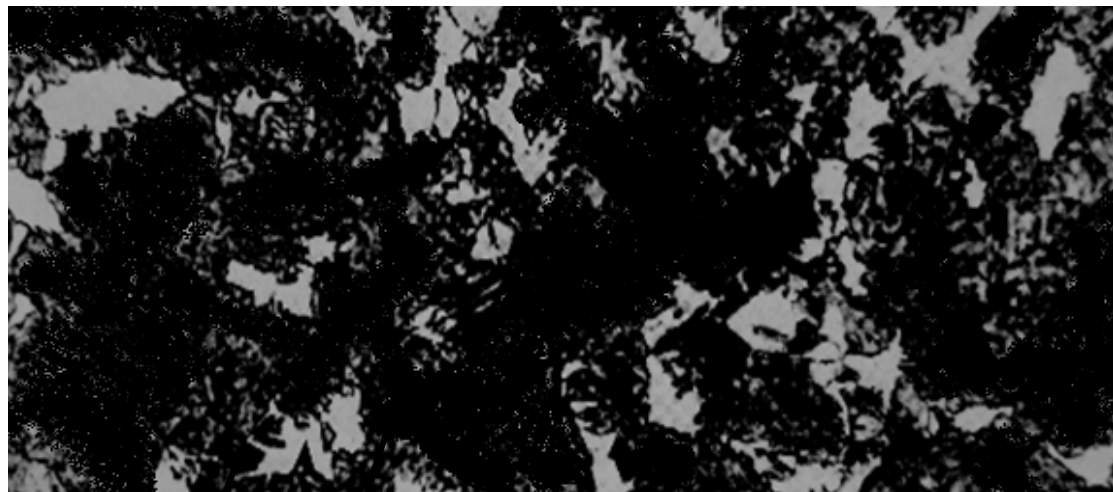
$\gamma(M)$

П



× 8 000

Ф $\gamma(M)$



× 22 000

Ф

$\gamma(M)$



Феррит

Мартенсит

× 50 000

Закалка из межкритического интервала температур

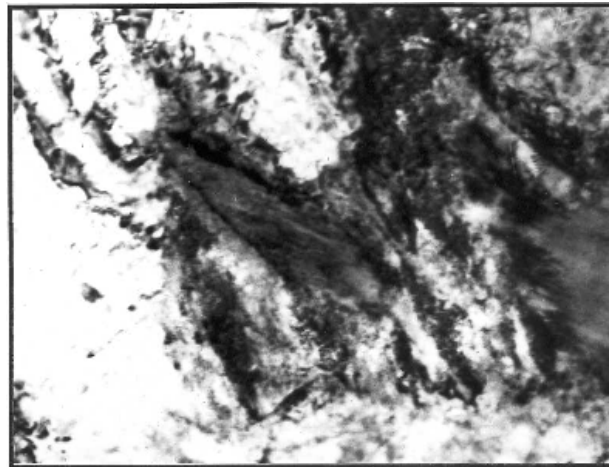
Сталь 20. Зависимость структуры от температуры закалки



740 °C × 18 000
Двойниковый мартенсит и феррит



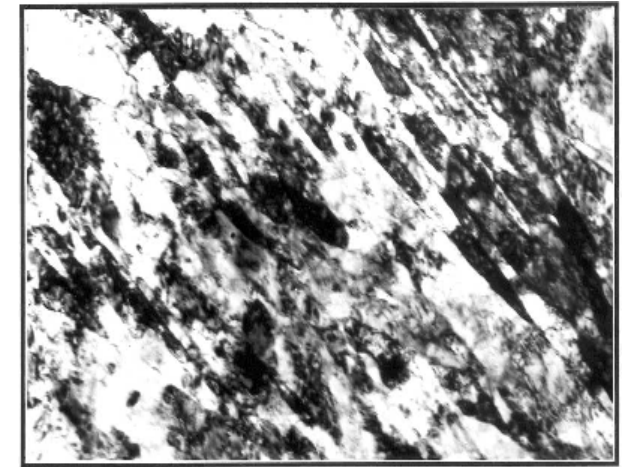
740 °C × 18 000
Пластинчатый мартенсит



780 °C × 22 000
Доэвтектоидный феррит и
тонкопластинчатый перлит



780 °C × 18 000
Бейнит и мартенсит



815 °C × 18 000
Малоуглеродистый реечный мартенсит



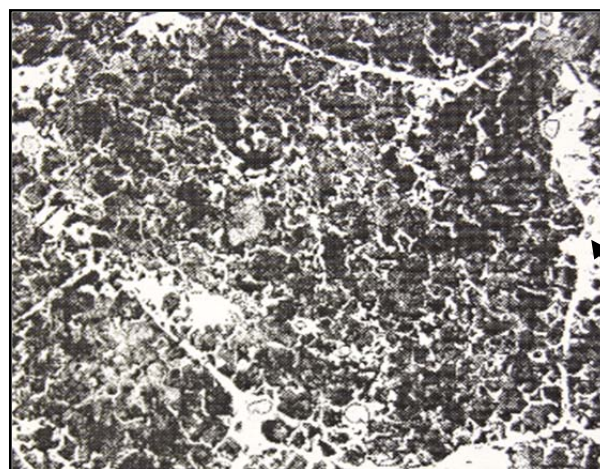
815 °C × 18 000
Игольчатый феррит и бейнит

Дефекты структуры термически обработанной стали



× 100

Неполная закалка инструментальной стали



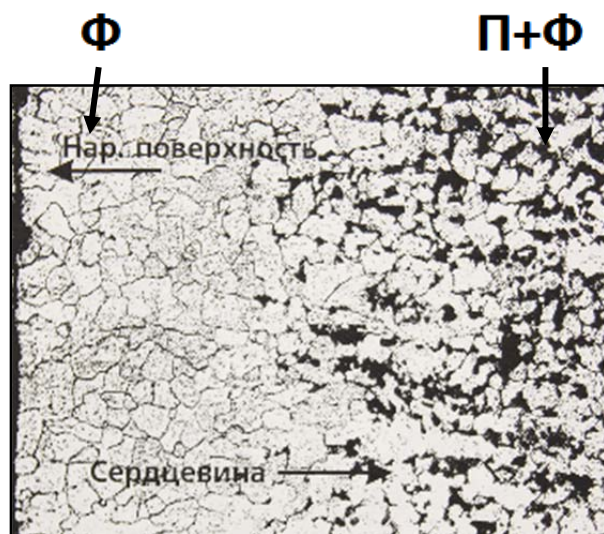
× 100

Неполная аустенизация



× 100

Неполная закалка конструкционной стали



× 100

Обезуглерожженный слой



× 100

Крупноигльчатый мартенсит



× 100

Трещины в мартенсите