

РАССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРОВ

Раздел 2. Методика установления очага пожара.

Тема № 6. Лекция

**«Исследование после пожара изделий и
конструкций**

**из искусственных каменных строительных
материалов»**

**«Исследование после пожара конструкций из
металлов и сплавов»**

Учебные вопросы:

- **1. Характер изменений, происходящих с искусственными каменными материалами при термическом воздействии.**
- **2. Визуальные признаки термических поражений искусственных каменных строительных материалов.**
- **3. Характер изменений, происходящих с металлическими изделиями при термическом воздействии.**
- **4. Визуальные признаки термических поражений на конструкциях из металлов и сплавов.**

ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**прошедшие
высокотемпературную
обработку путем обжига или
плавления**

обжиговые

красный кирпич

черепица

кафельная плитка

тонкая керамика

огнеупоры

плавленные

стекла

**изготовленные без
высокотемпературной
обработки**

**на основе
неорганических
вяжущих**

гипсовые

известковые

цементные

силикатные

на основе извести

Материалы, прошедшие высокотемпературную обработку, при вторичном нагреве в ходе пожара практически не меняют своего состава, структуры, свойств и после пожара **экспертно-криминалистическому исследованию не подлежат**

Материалы, изготовленные с использованием невысоких температур (не выше температуры перегретого пара) **могут быть объектами пожарно-технической экспертизы.**

цементы - вещества, которые совместно с песком образуют раствор, затвердевающий при взаимодействии с водой
Затвердевание цемента при смешивании с водой происходит в результате реакции **гидратации**

гашеная известь - гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Образуется при взаимодействии негашеной извести (оксида кальция CaO) с водой.

силикатный (белый) кирпич получают, смешивая негашеную известь с песком (SiO_2) и прессуя в атмосфере насыщенного водяного пара.

при нагревании в ходе пожара кальциевый гидросиликат, основной компонент цементного и известкового камня, постепенно теряет воду. Процесс потери кристаллизационной воды в интервале температур от 120-150 до 600-700 °С называется **дегидратацией**



Гипс - сульфат кальция, встречается в природе:

в виде ангидрита



в виде собственно гипса



При нагревании до 100-125 °С гипс частично теряет кристаллизационную воду, образуя неустойчивый полугидрат сульфата кальция – **алебастр**



При нагревании выше 200 °С гипс полностью теряет кристаллизационную воду и до температуры 280 °С существует в виде растворимого ангидрита (γ-ангидрита), который как и алебастр взаимодействует с водой, образуя гипс.

При нагреве от 300-500 до 1000-1200 °С гипс существует в виде нерастворимого ангидрита (β-ангидрита).

При нагреве выше 1000-1200 °С образуется α-ангидрит и выделяется некоторое количество СаО.

Химические процессы потери кристаллизационной воды сопровождаются физико-механическими изменениями структуры и свойств материалов.

Изменение цвета бетона

- ◆ нагрев до 300 °С - розоватый оттенок;
- ◆ 400-600 °С - красноватый;
- ◆ 900-1000 °С - бледно-серый.

Изменение цвета цементно-песчаной штукатурки

- ◆ 400-600 °С - розовый оттенок;
- ◆ 800-900 °С - бледно-серый

Изменение тона звука и механической прочности при простукивании

Определяется простукиванием бетонных и железобетонных конструкций при помощи **молотка Кашкарова**

Неповрежденный бетон имеет тон звука высокий, звонкий. При нагревании бетон разрушается, в нем появляются микротрещины, и тон звука становится глуше.

При нагреве более $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ - часть сечения образца при ударе средней силы откалывается.

При нагреве более $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ - молоток при ударе сминает бетон на поверхности образца.

Отслоение штукатурки

В зоне достаточно длительного и интенсивного нагрева штукатурка отслаивается. Это не всегда служит показателем экстремально высоких термических поражений.

Гидравлический удар и резкое охлаждение приводят к тому, что штукатурка может отвалиться не там, где была выше температура ее нагрева, а там, куда в первую очередь попала вода из пожарного ствола.

Тем не менее, зоны, где штукатурка отслоилась, обязательно нужно фиксировать при осмотре места пожара и иметь их в виду при поисках очага. Особенно интересны зоны, где штукатурка отслоилась снизу у пола.



20 6 2005

Визуальная фиксация трещин на бетоне

300-400 °С



образование микротрещин

500 °С



**трещины фиксируются
невооруженным глазом
(ширина трещин не менее 0,1 мм.).**

600-800 °С



**ширина раскрытия трещин
0,5-1,0 мм**

700-800 °С



**визуально фиксируются разрушения
на бетоне (отслоение защитного слоя
на железобетонных изделиях)**

Визуальная фиксация трещин на гипсе

200-300 °С	образование частых волосяных трещин (остаточная прочность 30 % начальной)
600-700 °С	интенсивное раскрытие трещин (остаточная прочность < 20 % начальной)
800-900 °С	разрушение гипсового камня после охлаждения

ОТЛОЖЕНИЯ КОПОТИ

На вертикальных и горизонтальных поверхностях копоть сохраняется только до температуры **600-630 °С, после чего выгорает.**

Поэтому ближе к очагу копоти может быть меньше, чем на некотором расстоянии.

Над очагом пожара и вторичными очагами копоть часто выгорает локальными пятнами

Конструкции и изделия из сплавов на основе железа, алюминия, меди могут быть объектами пожарно-технической экспертизы

- **Стали обыкновенного качества и изделия из них по способу изготовления подразделяются на:**
- **Горячекатаные (прошедшие температурную обработку при температуре 800-900 °С) - уголки, тавры, двутавры, трубы, стальной лист, рельсы и т.д.**

При относительно низких температурах изменения в их структуре незначительны и трудно фиксируемы.

- **Холоднодеформированные стальные изделия (подвергшиеся в процессе изготовления холодной штамповке, вытяжке, высадке, волочению и т.д.) - болты, гайки, шпильки, винты, шурупы, гвозди, некоторые типы труб, штампованные корпуса и детали приборов, оборудования, автомобилей.**

Являются очень удобным и информативным объектом экспертного исследования после пожара.

Последствия теплового воздействия на пожаре на металлы (сплавы) и конструкции из них выражаются в:

- деформации;**
- образовании окислов на поверхности металла;**
- структурных изменениях, сопровождающихся изменением физико-химических и механических свойств;**
- расплавлении и проплавлении;**
- горении**

Деформации стальных конструкций наблюдаются почти на любом пожаре

- нагрев стали выше 300-350 °С приводит к заметному повышению ее пластичности и сопровождается снижением прочности, у стали могут появиться заметные деформации**
- при 500-600 °С прочность углеродистой стали снижается вдвое, 15-20 минутный нагрев может привести к обрушению стальных конструкций.**
- При 1000 °С прочность стали снижается в 10 раз**
- Температура 450-500 °С считается температурой потери несущей способности стальных изделий.**
- Температура потери несущей способности конструкций из алюминиевых сплавов составляет 250 °С.**

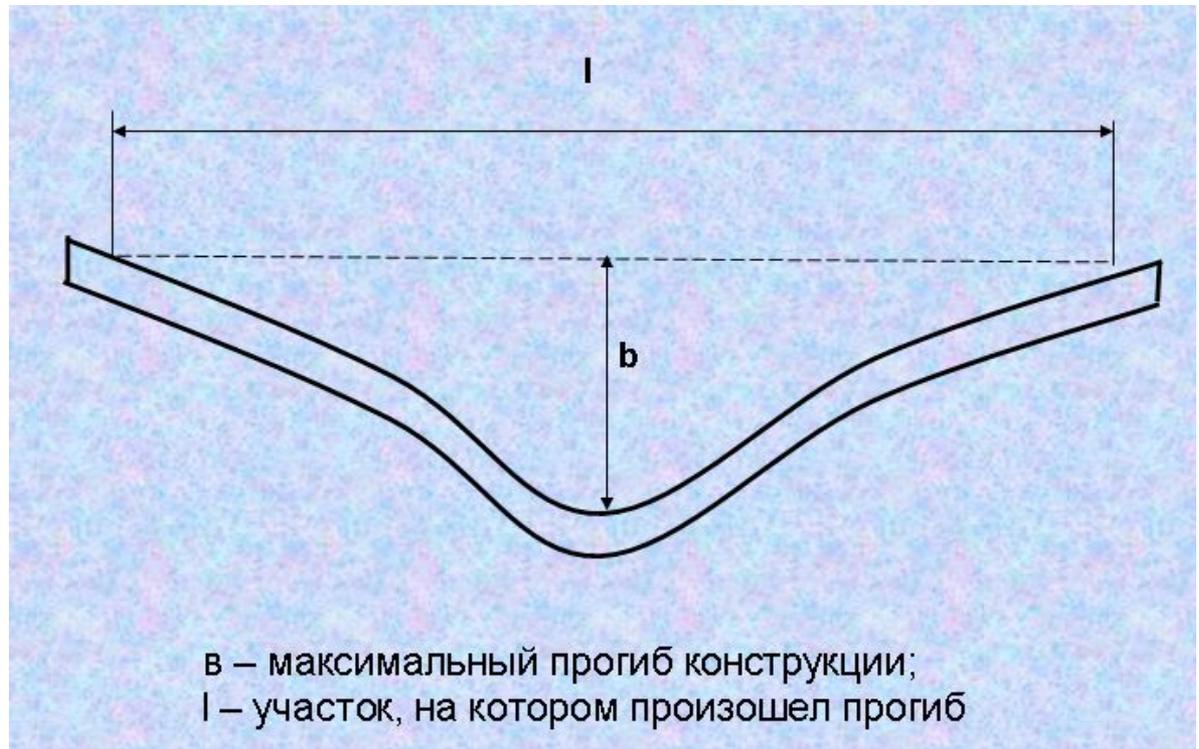
При осмотре места пожара следует фиксировать и оценивать:

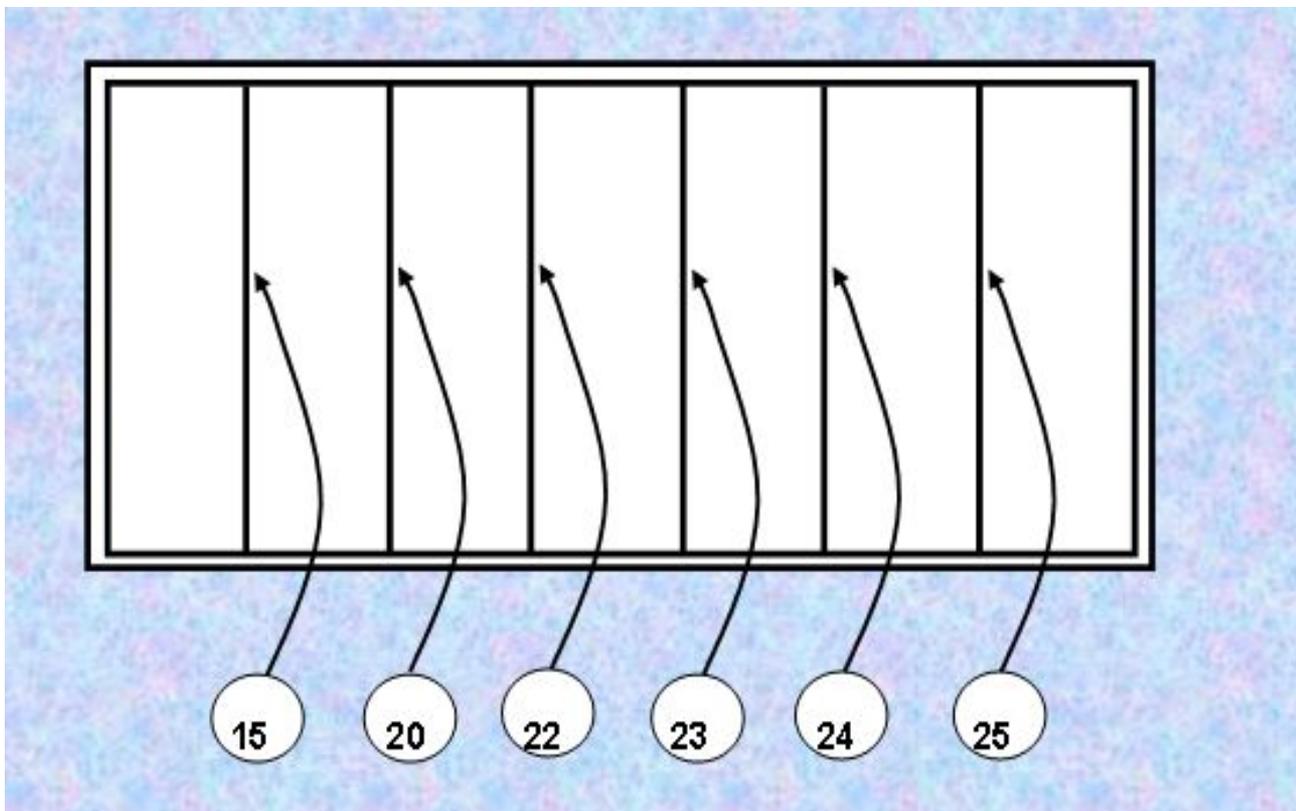
- **Направление деформации**

Металлоконструкции и их отдельные элементы деформируются, как правило, в сторону наибольшего нагрева.

- **Величину деформации**

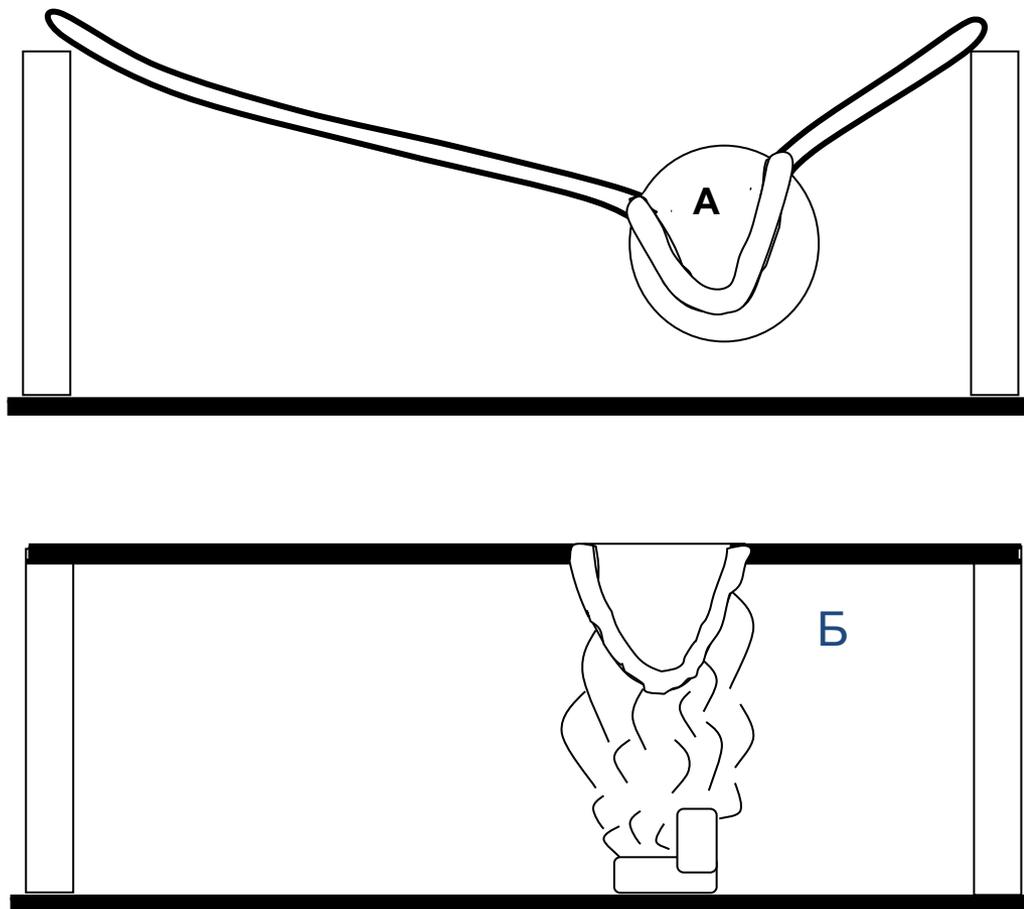
относительная деформация = b/l





величина относительной деформации одностипных равнонагруженных конструкций нарастает по направлению к очагу

Механизм возникновения локальной деформации стальной конструкции



а) вид конструкции после пожара;

б) локальный нагрев конструкции конвективным потоком от очага.

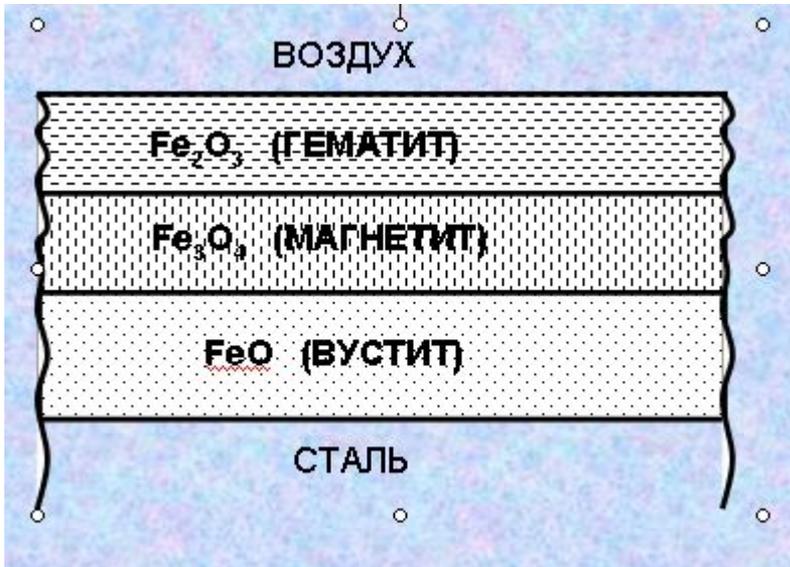
Низкотемпературный окисел на стали

Цветовая шкала цветов побежалости

Цвет побежалости	Толщина слоя окисла, Мкм	Температура нагрева °С
Светло-желтый	0,04	220-230
Соломенно-желтый	0,045	230-240
Оранжевый	0,05	240-260
Красно-фиолетовый	0,065	260-280
Синий	0,07	280-300

Высокотемпературный окисел на стали (стальная окалина)

- структура стальной окалины



гематит - оксид трехвалентного железа, Fe_2O_3 , рыжего цвета толщиной 1-2 мм.
Образуется при 700-750 °С

вустит - оксид двухвалентного железа, FeO , черного цвета толщиной 3-5 мм и более.
Образуется при 900-1000 °С и выше

**Чем выше температура прогрева, тем меньше в окалине гематита и больше вустита.
Окалина становится более черной и толстой.**

проплавления в металле могут возникнуть при температуре, ниже температуры плавления

- **1. Локальный нагрев тонкого стального изделия (листа, проволоки) может привести к образованию слоя окалины, соизмеримого по толщине с самим изделием. Затем окалина, может выкрошиться, и на изделии образуется отверстие.**
- **2. Растворение тугоплавкого металла в более легкоплавком (стали или меди в алюминии).**
- **3. Термитная реакция:**



Горение металлов









Инструментальные методы и средства, применяемые для исследования после пожара неорганических строительных материалов

Полевые, используемые непосредственно на месте пожара с применением вывозимых приборов

ультразвуковая дефектоскопия (УЗД)

Лабораторные, применяемые для исследования в лабораторных условиях отобранных на пожаре проб

весовой (тигельный) анализ

дифференциальный термический анализ (ДТА)

инфракрасная спектроскопия (ИКС)

рентгеноструктурный анализ (РСА)

Инструментальные методы исследования горячекатанных стальных изделий

- **I. Металлография.**
- **II. Анализ стальной окалины:**
 - **1. Полевой** вихретоковый метод (индукционная толщинометрия)
 - **Лабораторные методы:**
 - **2. Химический метод (по соотношению в пробе окалины двух- и трехвалентного железа)**
 - **3. Рентгеноструктурный анализ – РСА (по соотношению в пробе окалины вустита и гематита)**

Инструментальные методы исследования холоднодеформированных стальных изделий

- **1. Количественная металлография (по коэффициенту формы зерна)**
- **2. Определение микротвердости**
- **3. Магнитный метод (по величине коэрцитивной силы или пропорционального ей тока размагничивания)**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МЧС РОССИИ

Кафедра исследования и экспертизы пожаров

РАССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРОВ

**Раздел 2. Методика установления очага
пожара.**

**Тема № 6. Практическое занятие
«Исследование после пожара изделий и
конструкций
из искусственных каменных
строительных материалов»**

Учебные вопросы:

- **1. Инструментальные методы и средства, применяемые для исследования после пожара искусственных каменных строительных материалов.**
- **2. Фиксация остаточных температурных зон на теплоемких конструкциях в пожарно-технической экспертизе.**

Инструментальные методы и средства, применяемые для исследования после пожара неорганических строительных материалов

Полевые, используемые непосредственно на месте пожара с применением вывозимых приборов

ультразвуковая дефектоскопия (УЗД)

Лабораторные, применяемые для исследования в лабораторных условиях отобранных на пожаре проб

весовой (тигельный) анализ

дифференциальный термический анализ (ДТА)

инфракрасная спектроскопия (ИКС)

рентгеноструктурный анализ (РСА)

Скорость поверхностной ультразвуковой волны в не нагретом бетоне составляет около 2000-2500 м/сек.

- Скорость ультразвука в n точке (C_n) является функцией, как температуры, так и длительности нагрева конструкции:

$$C_n = f(\tau, t)$$

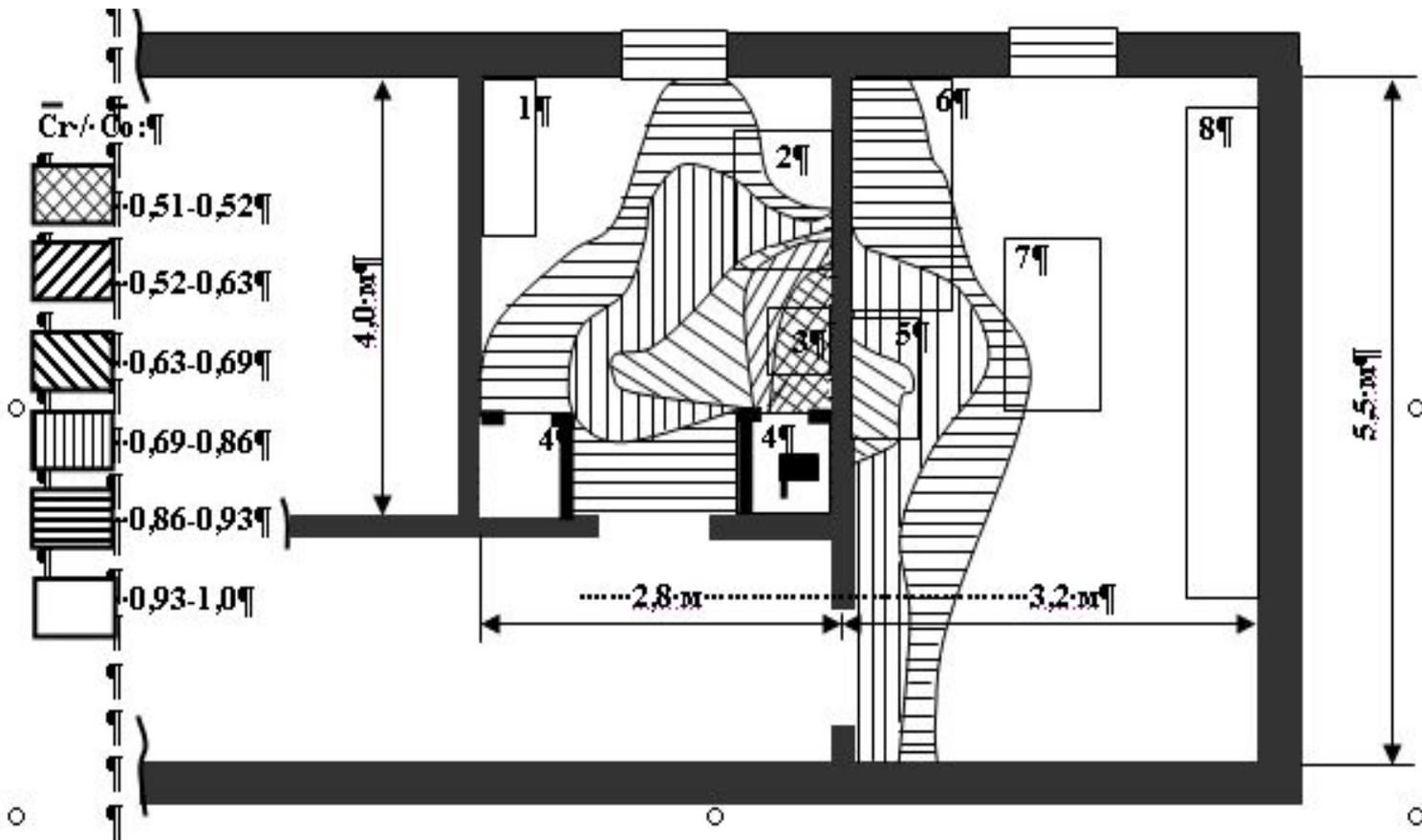
При увеличении τ , и t , C_n последовательно снижается. Это обстоятельство дает возможность, сравнивая скорость ультразвука на соседних участках стены, плиты, выявлять зоны термических поражений

- **Недостатки метода УЗД:**

- Метод УЗД относится к сравнительным методам исследования и не определяет конкретных значений температуры и длительности теплового воздействия на бетонную конструкцию, а лишь выявляет зоны относительно больших и меньших термических поражений.
- Информативность метода УЗД ограничена температурным интервалом воздействия на бетонную конструкцию от ≈ 300 °С, когда в бетоне начинают образовываться микротрещины до $\approx 700 \div 800$ °С, когда в бетоне фиксируются видимые крупные разрушения.
- Метод ограничивается в применении лишь к относительно равномерным по исходным акустическим характеристикам конструкциям, какими являются, качественные бетонные изделия заводского производства.

C_0 – скорость в точке, не подвергшейся нагреву.
 C_r/C_0 - отношение скорости в точке измерения к скорости в зоне, не подвергшейся нагреву.
На плане выделяют зоны с C_r/C_0 в пределах

1,0-0,9; 0,9-0,8; 0,9-0,7; 0,7-0,6 и т.д.



Отбор проб для лабораторных исследований

- **Отбор проб необходимо осуществлять на одном уровне параллельно полу, чтобы места отбора проб находились на одной высоте, поскольку разновысотные пробы могут различаться по степени прогрева из-за влияния конвективного прогрева.**
- **Пробы отбираются путем скалывания молотком из поверхностного слоя (менее 3-5 мм.), очищенного от остатков краски, мусора, копоти.**
- **Масса отбираемой пробы должна составлять 5-10 грамм**
- **Следует также отбирать пробы в наиболее разрушенных зонах, в том числе по периферии зон отслоения защитного слоя бетона, где ультразвуковые исследования невозможно произвести.**

Весовой (тигельный анализ)

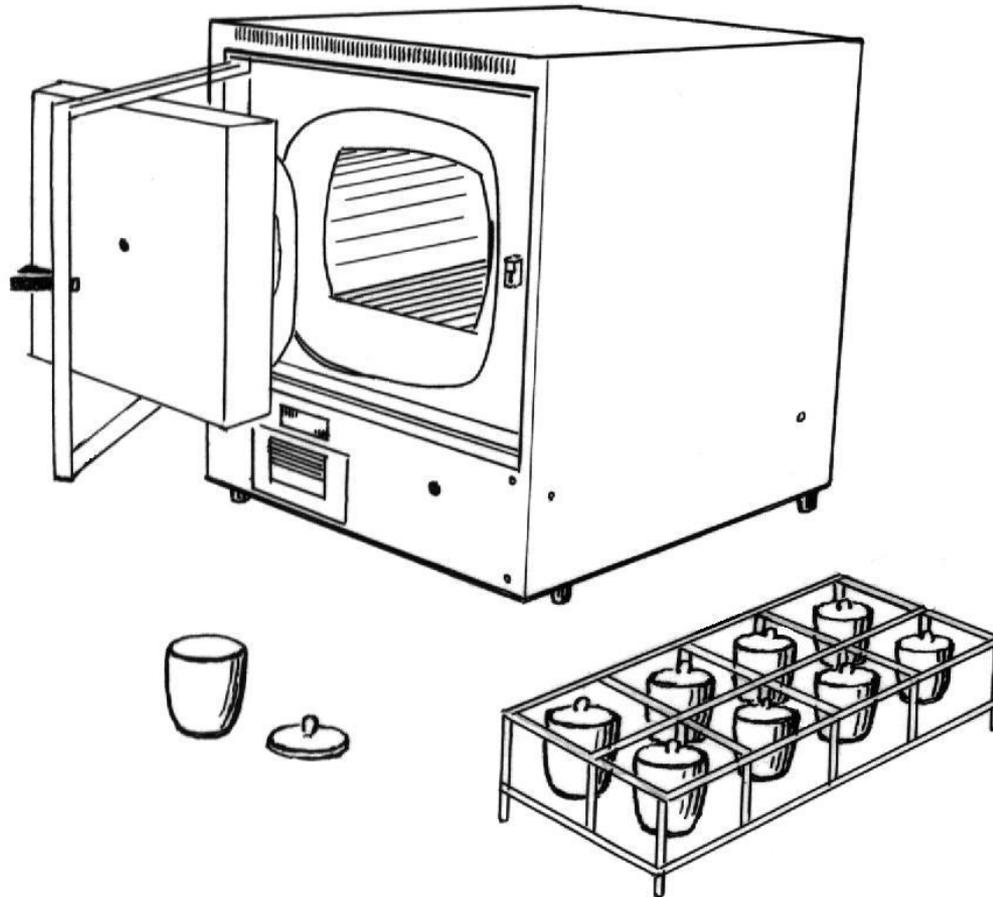
M_1 – вес тигля, г

M_2 – навеска образца до нагрева в муфельной печи, г

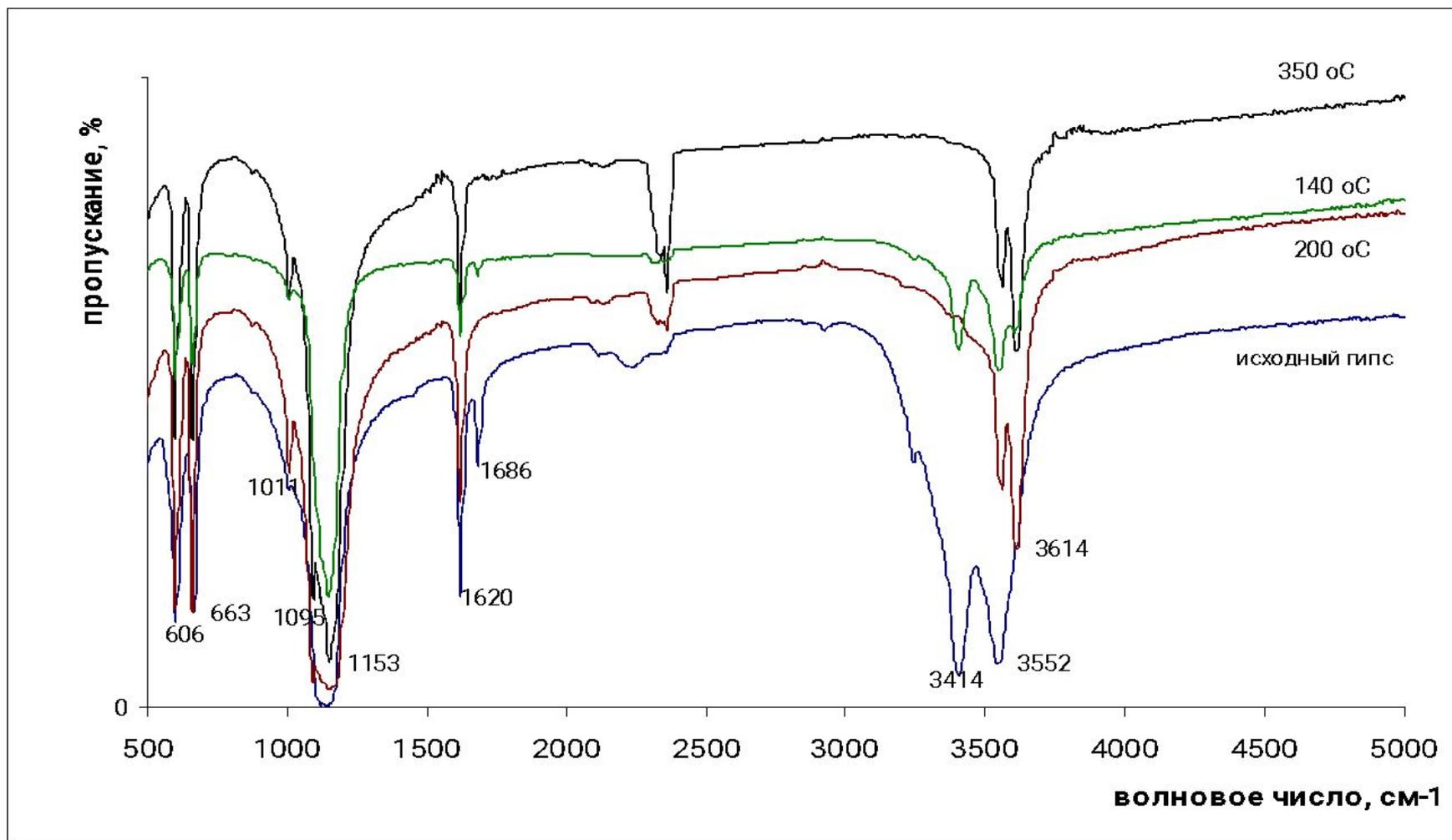
M_3 – вес тигля с навеской после нагрева в муфельной печи, г

потеря 1

% масс.



На ИК-спектрах различия между отдельными гидратными формами гипса строго выражены



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МЧС РОССИИ

Кафедра исследования и экспертизы пожаров

РАССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРОВ

**Раздел 2. Методика установления очага
пожара.**

**Тема № 7. Практическое занятие
«Исследование после пожара изделий и
конструкций
из металлов и сплавов»**

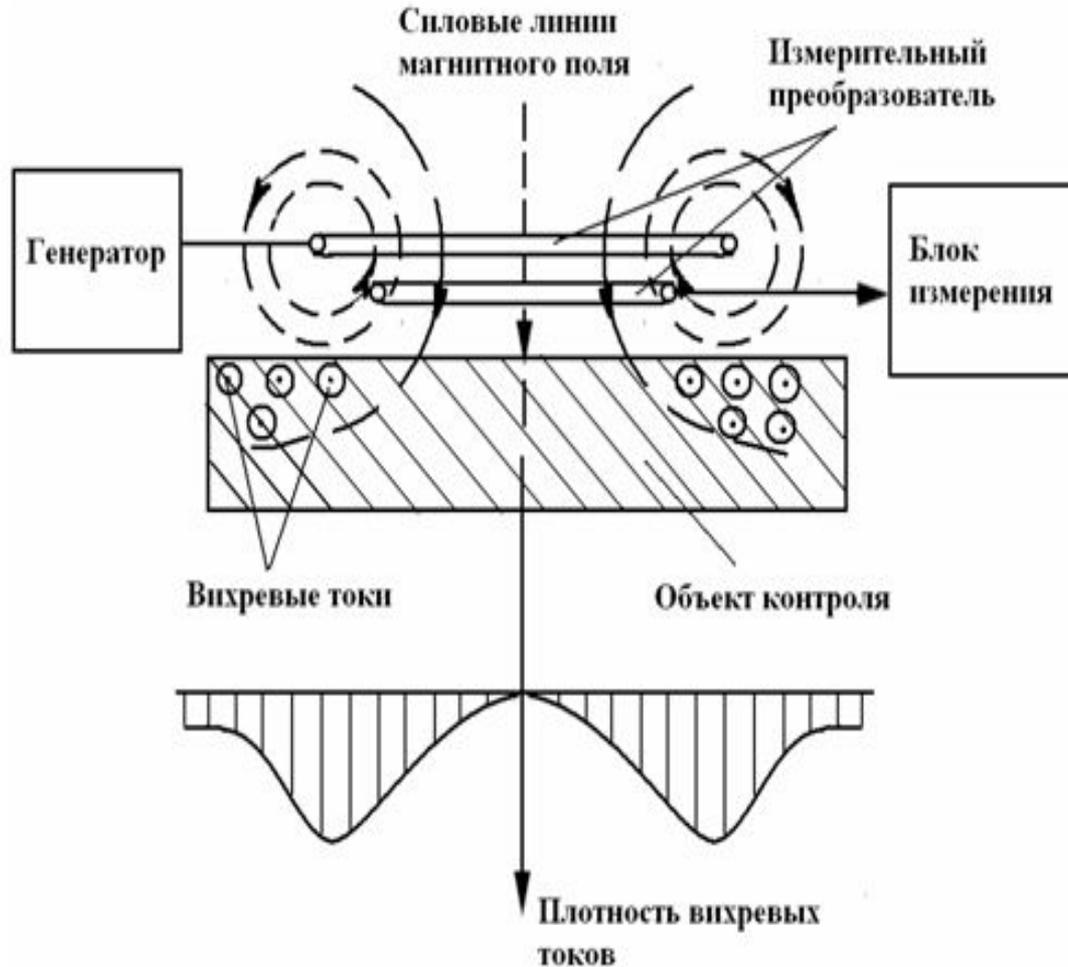
Учебные вопросы:

- **1. Инструментальные методы и средства, применяемые для исследования после пожара изделий и конструкций из горячекатанных сталей.**
- **2. Инструментальные методы и средства, применяемые для исследования после пожара холоднодеформированных стальных изделий**

Инструментальные методы исследования горячекатанных стальных изделий

- **I. Металлография.**
- **II. Анализ стальной окалины:**
 - **1. Полевой** вихретоковый метод (индукционная толщинометрия)
 - **Лабораторные методы:**
 - **2. Химический метод (по соотношению в пробе окалины двух- и трехвалентного железа)**
 - **3. Рентгеноструктурный анализ – РСА (по соотношению в пробе окалины вустита и гематита)**

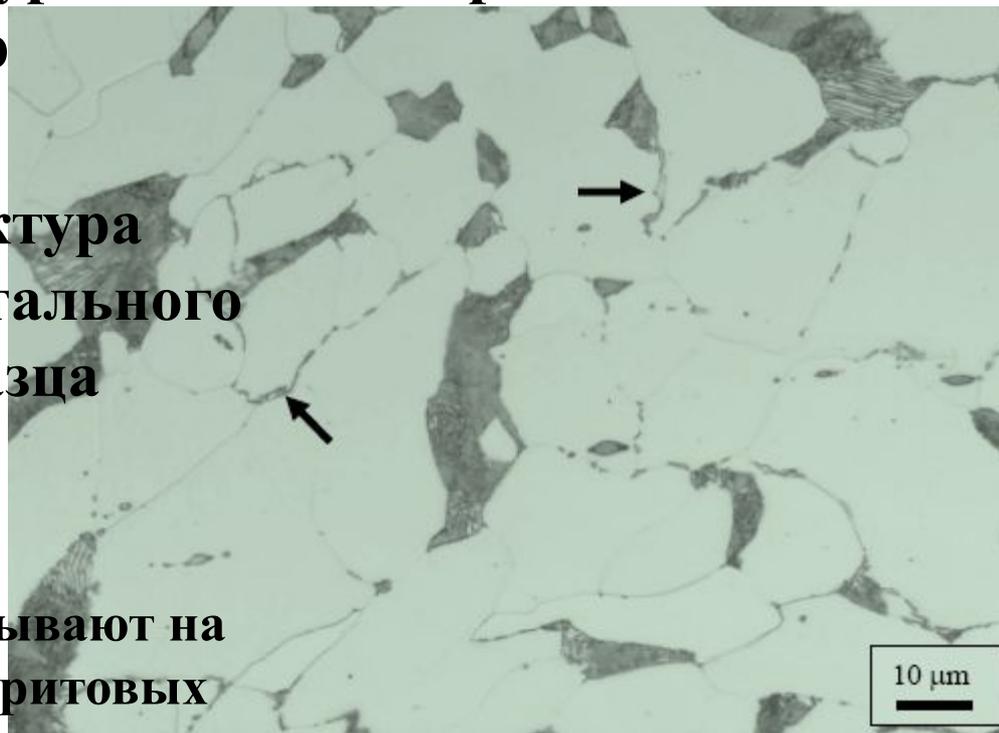
Применение индукционной толщинометрии (метода вихревых токов) для определения степени термического воздействия на стальные изделия



На пожаре при нагреве свыше 600-650 °С в горячекатаных сталях происходит рост зерен металла, который можно зафиксировать **методом металлографии**.

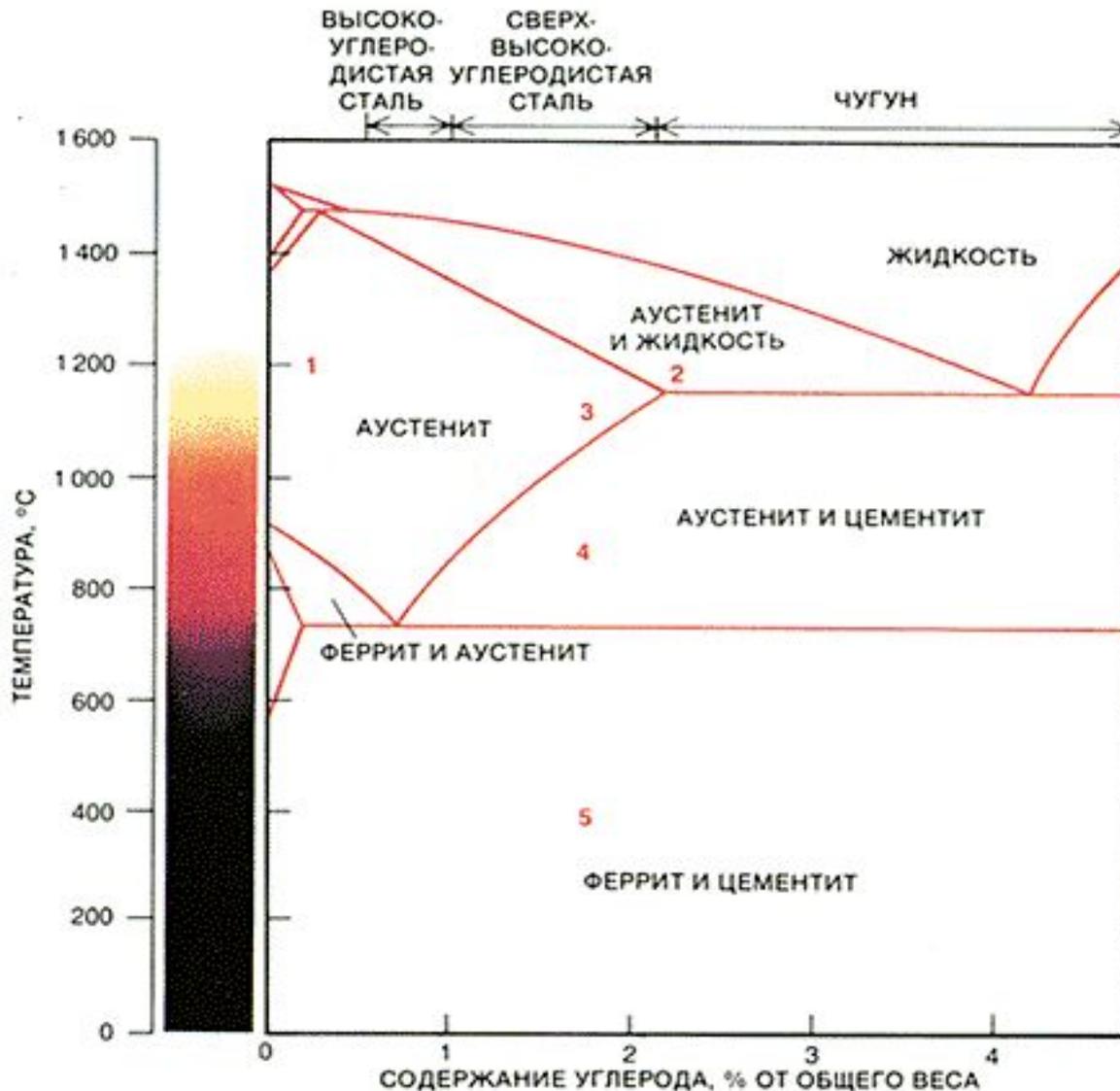
Метод металлографии заключается в исследовании структуры металла с применением специальных металлографических препаратов и увеличением 200х.

Структура
шлифа стального
образца



Стрелки указывают на
границы ферритовых
зерен

Фазовая диаграмма железо-углерод



(1) железо переходит в
гранцентрированный аустенит

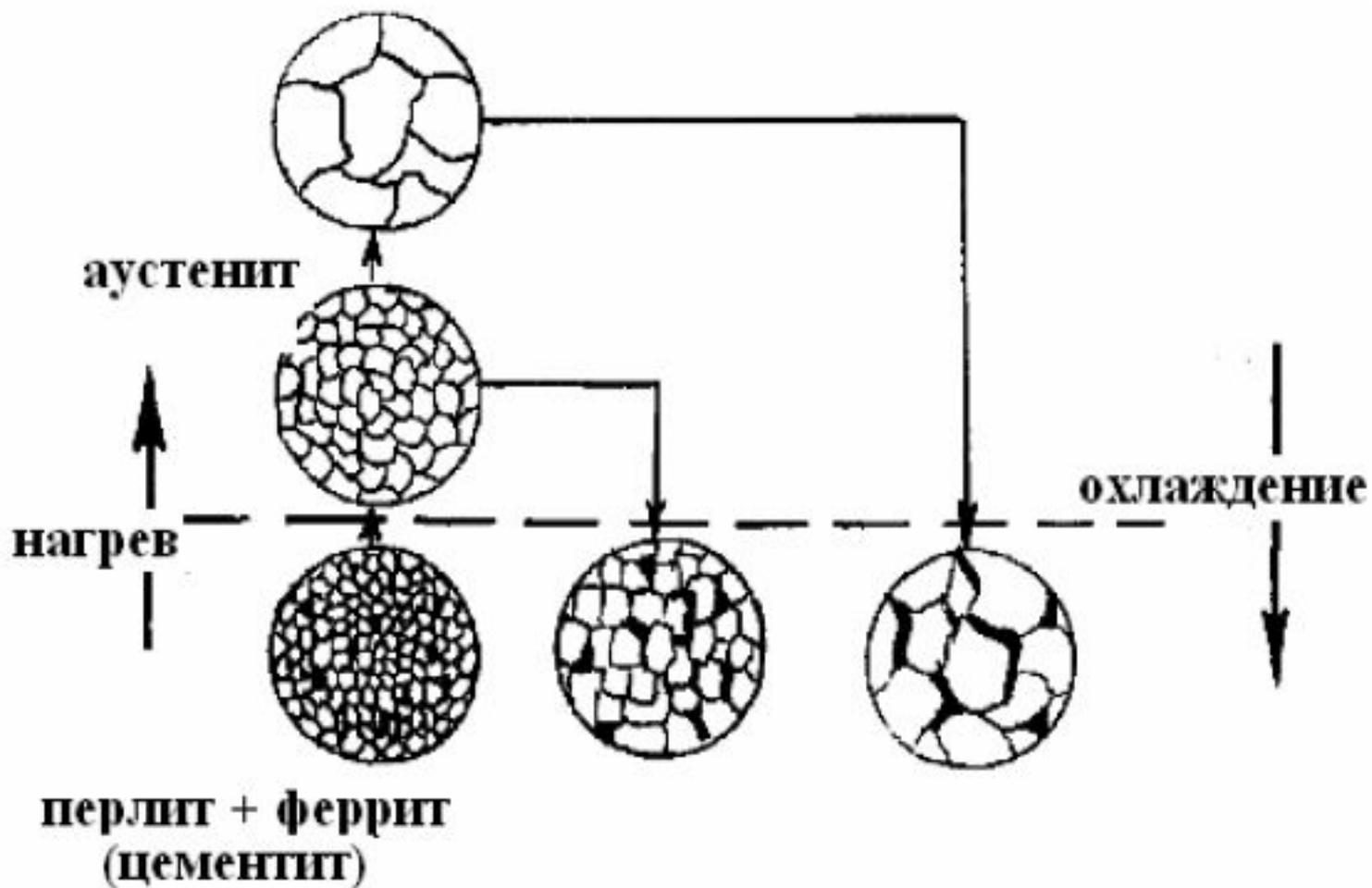
(2) при превышении содержания
углерода в поверхностном слое
2%, на поверхности железных
частиц появляется слой
расплавленного чугуна

(3) при медленном охлаждении
углерод может диффундировать
через металл, образуя сталь со
средним содержанием углерода
1,5-2%

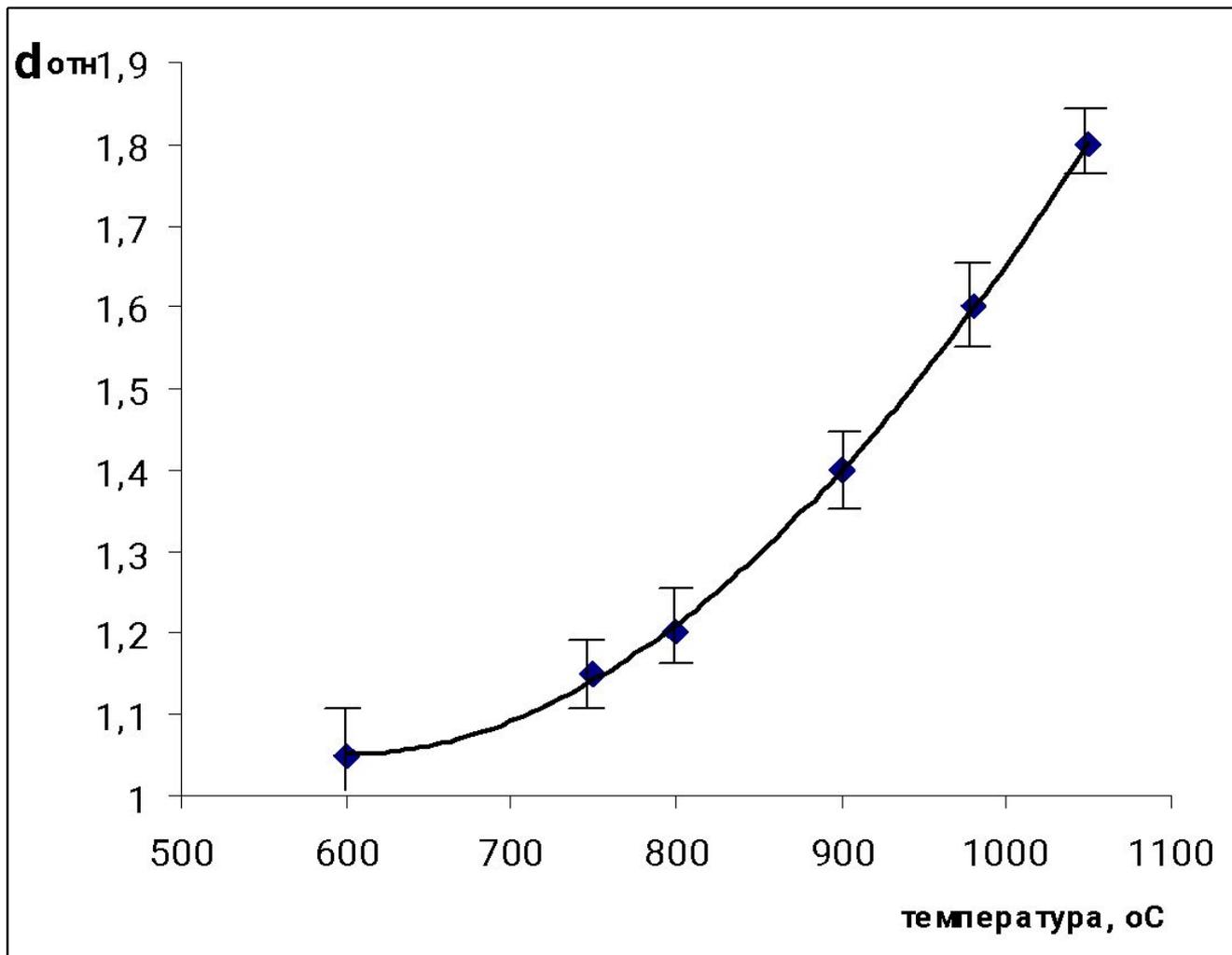
(4) При падении температуры
ниже примерно 1000°C углерод
выделяется из раствора по
границам зерен в виде сетки
цементита

(5) при температуре ниже 727°C
происходит превращение
гранцентрированного аустенита с
образованием чередующихся слоев
цементита и низкоуглеродистого
объемно-центрированного феррита

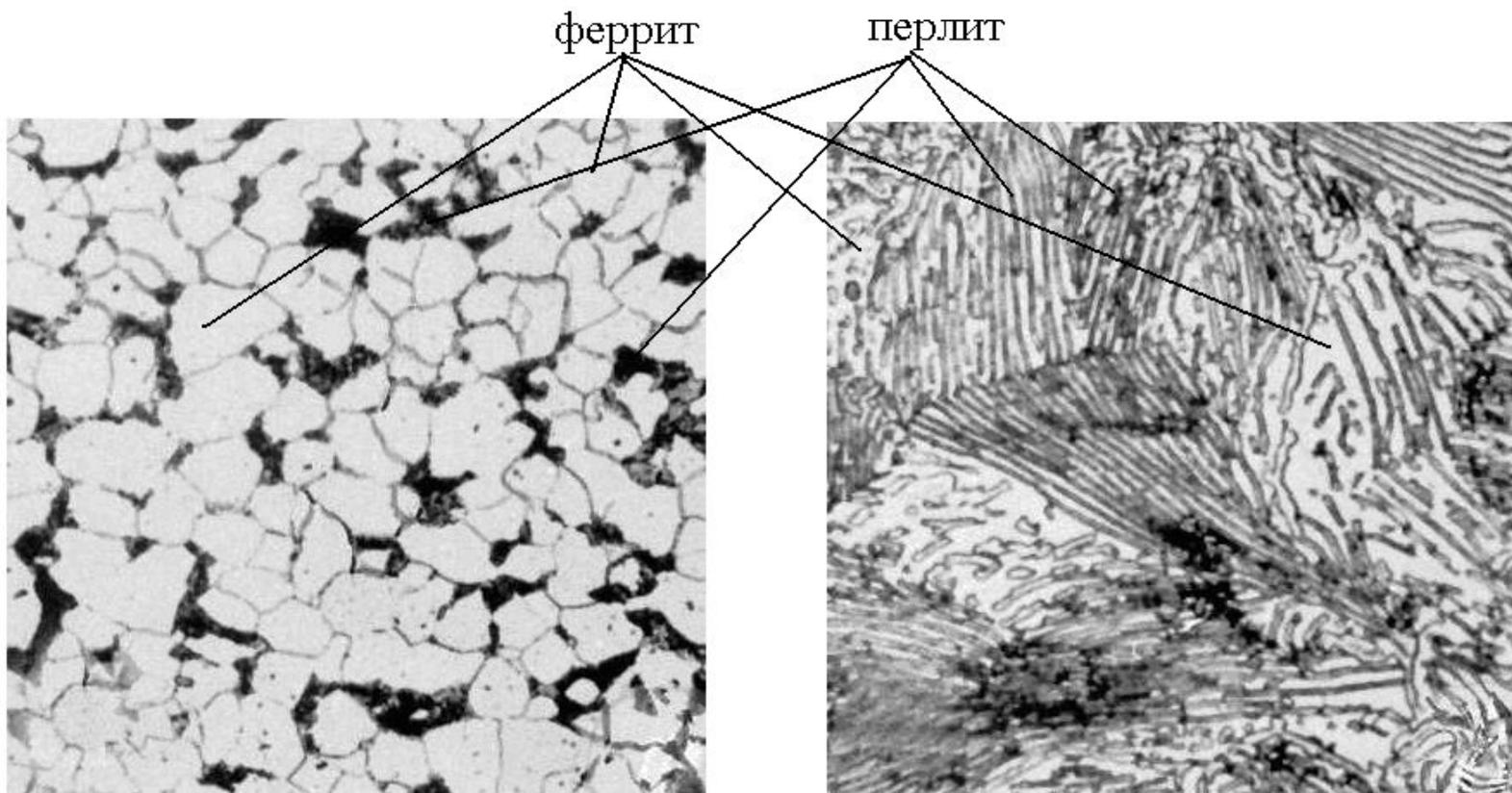
Схема изменения размера зерна в зависимости от температуры нагрева аустенитного зерна



Зависимость относительной величины зерна от температуры для низкоуглеродистых сталей



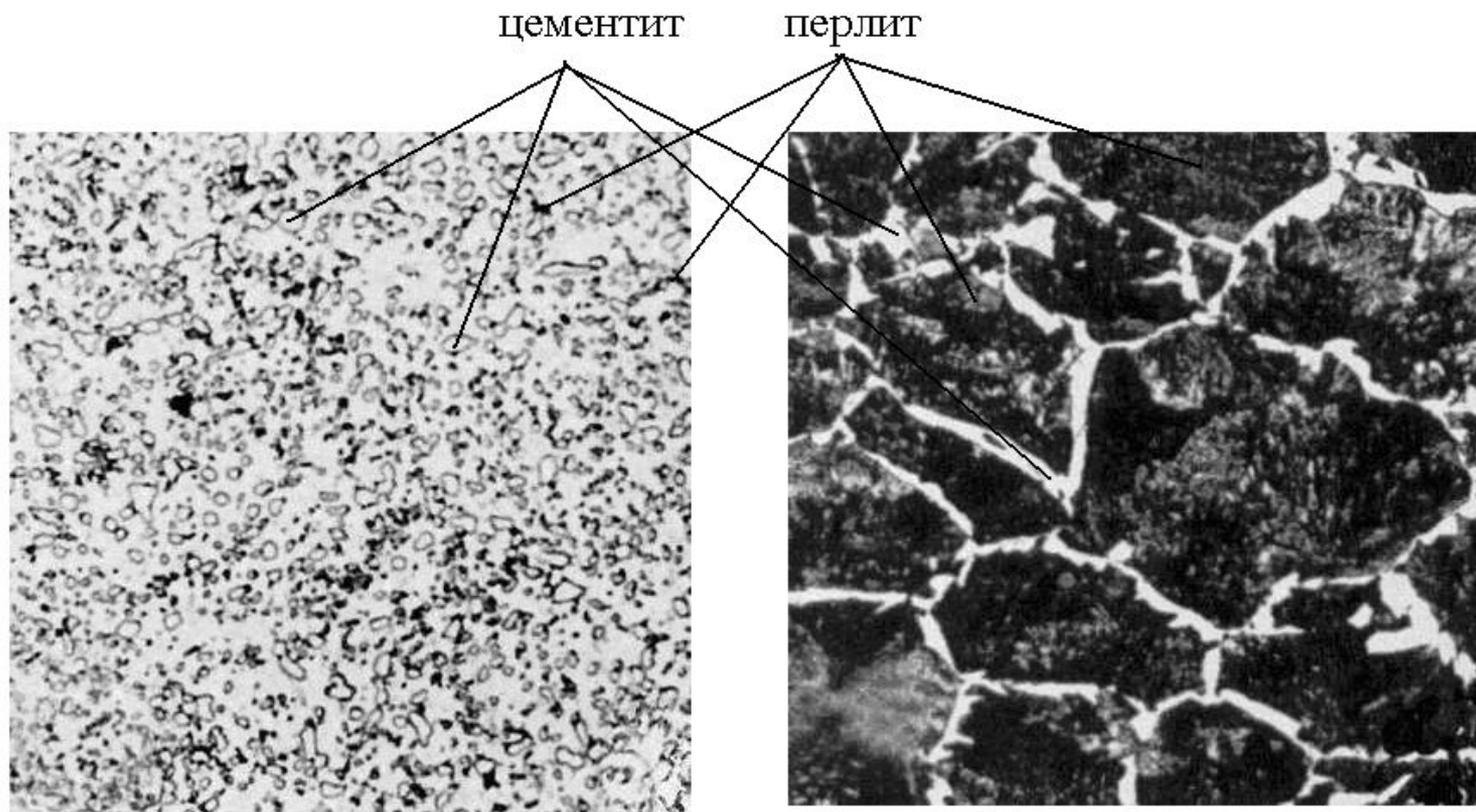
Сталь с содержанием углерода 0,1% (а) и 0,8 % (б)



а

б

Сталь с различным содержанием углерода



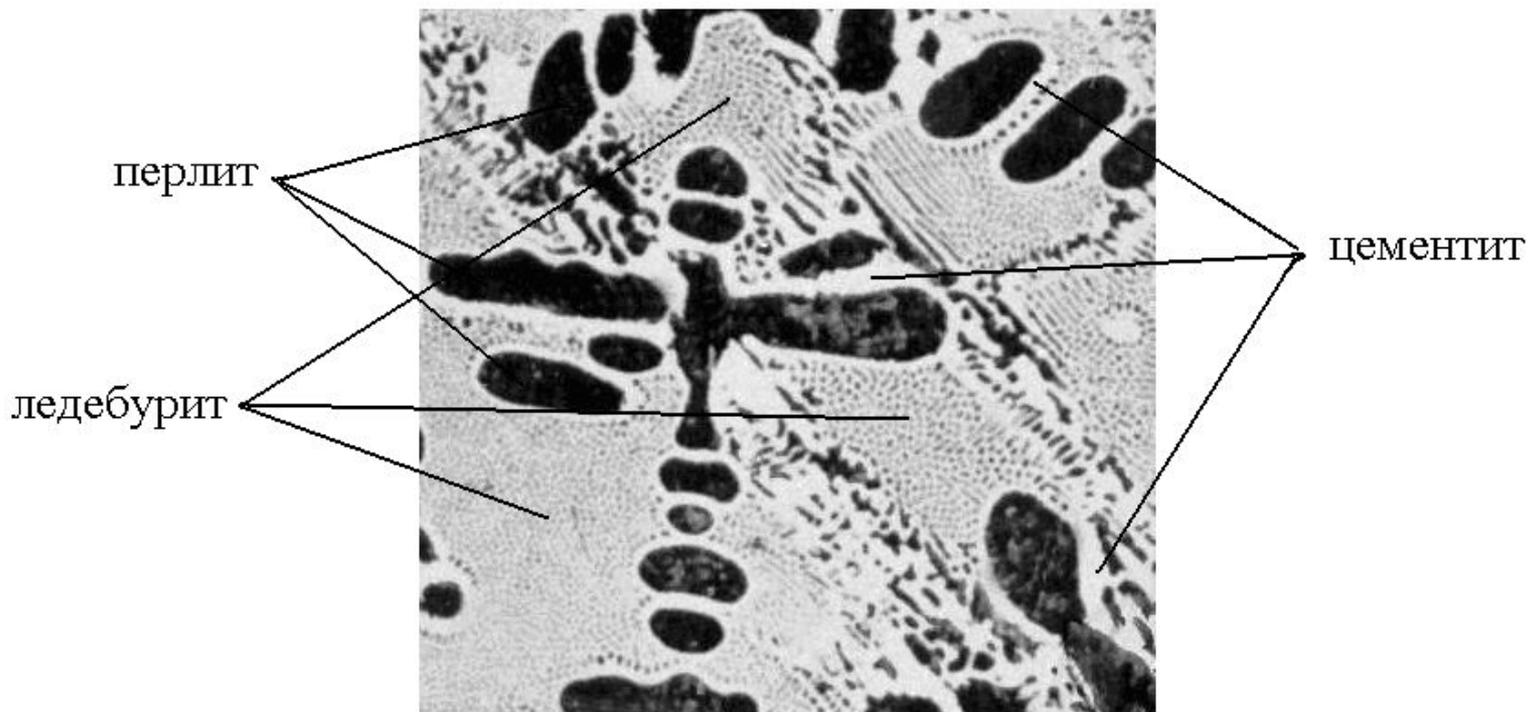
а

б

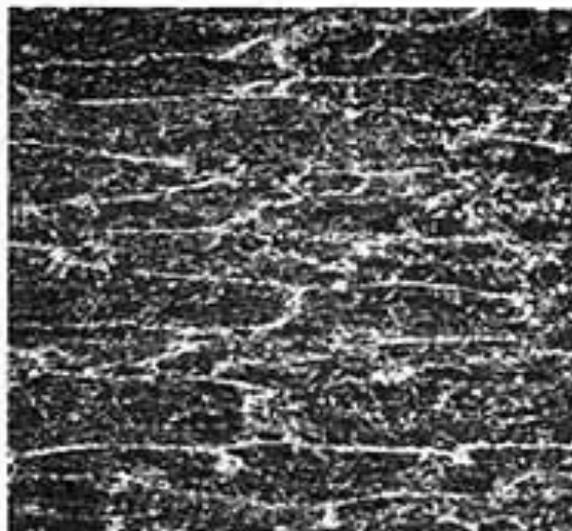
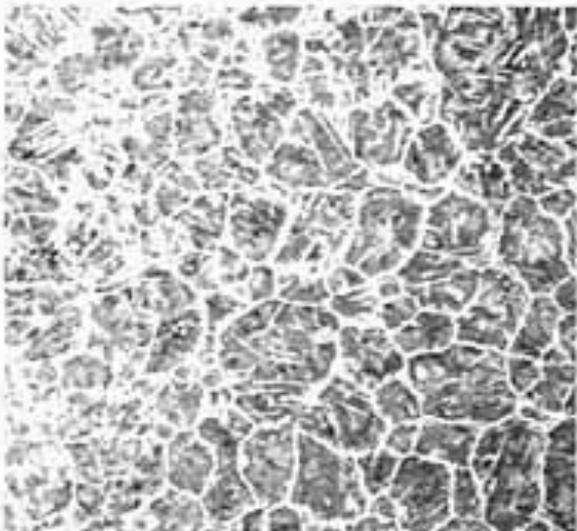
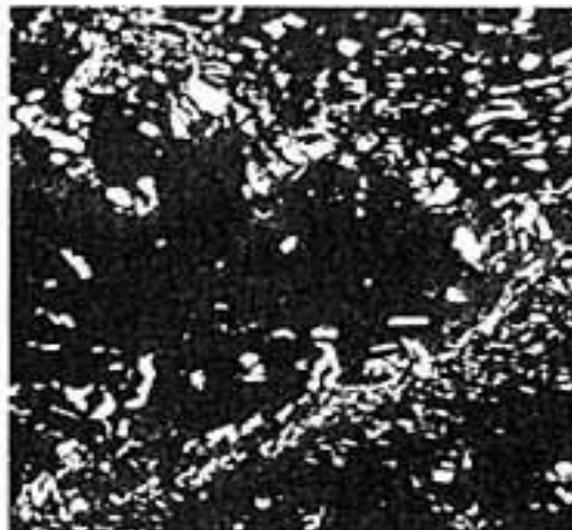
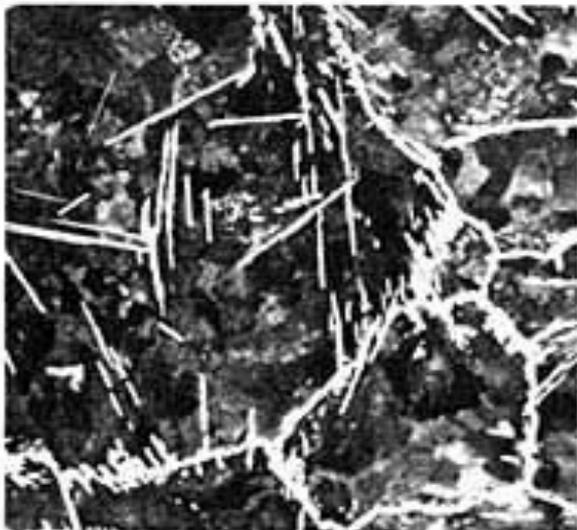
а) содержание углерода 1,1%

б) содержание углерода 1,3%

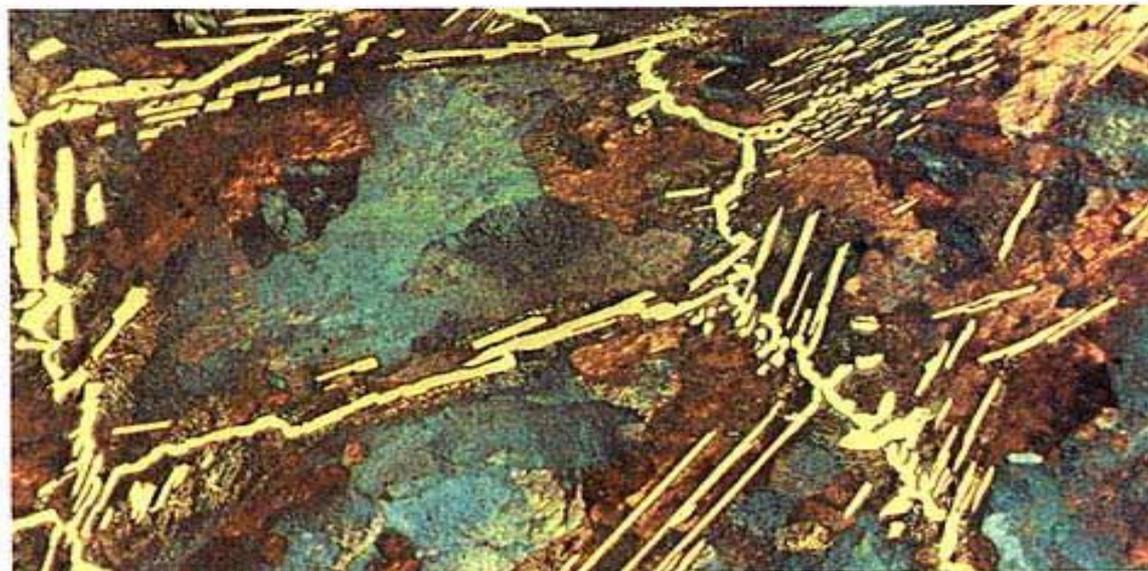
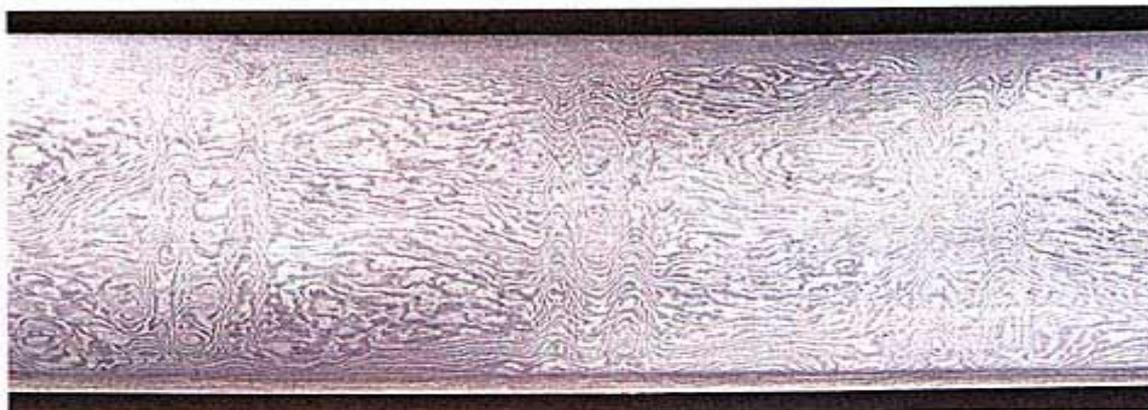
Структура серого чугуна



Влияниековки на сверхвысокоуглеродистую сталь.



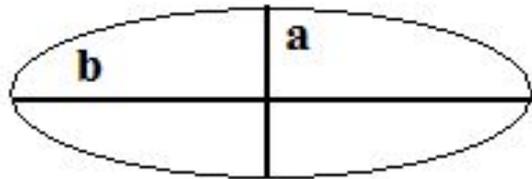
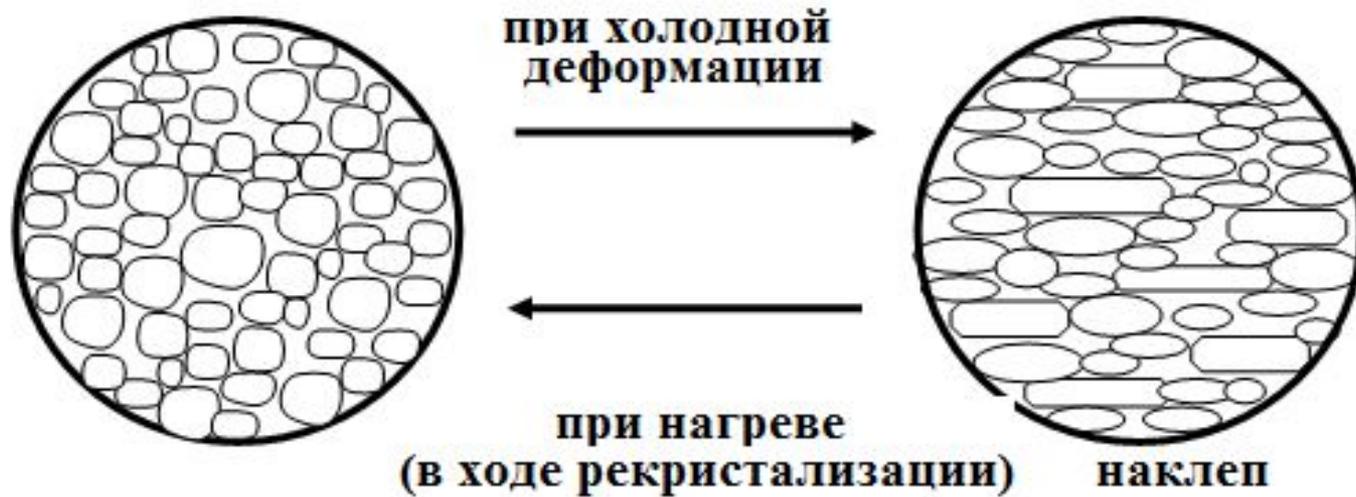
Дамасский узор на персидской сабле



Инструментальные методы исследования холоднодеформированных стальных изделий

- **1. Количественная металлография (по коэффициенту формы зерна)**
- **2. Определение микротвердости**
- **3. Магнитный метод (по величине коэрцитивной силы или пропорционального ей тока размагничивания)**

Изменение структуры стали

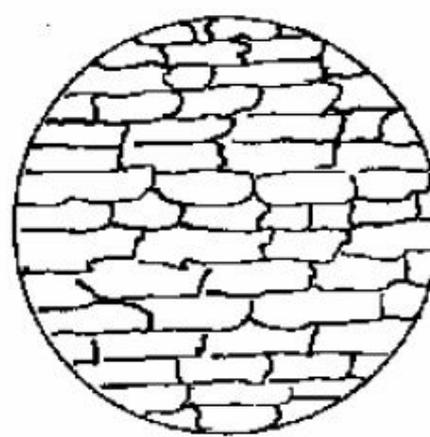


коэффициент
формы зерна = a/b

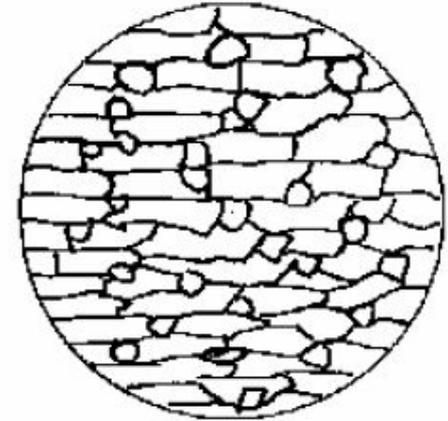
Количественный металлографический анализ холоднодеформированных стальных изделий.

Схема изменения структуры деформированного металла
при нагреве

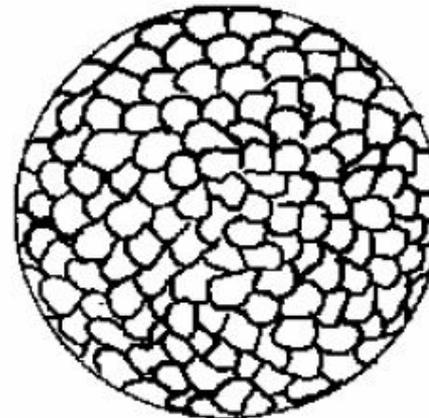
**а - исходная
структура, возврат;**
**б - первичная
рекристаллизация
(начало);**
**в - первичная
рекристаллизация
(окончание);**
**г - собирательная
рекристаллизация**



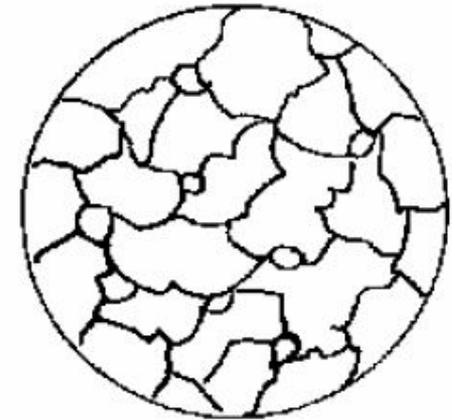
а



б



в



г

**Изменение твердости (НВ) -1
и тока размагничивания (J_p) – 2, 3
холоднодеформированного изделия (болт М8)
при нагревании в динамическом режиме**

