



**«Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство»**

**Лабораторна робота №7**

**2016**

# Лабораторная работа №7

## ЗАКАЛКА СТАЛИ

Цель работы - ознакомиться с практикой закалки стали и изучить влияние химического состава и охлаждающей среды на структуру и свойства стали после термической обработки.

### Приборы и материалы:

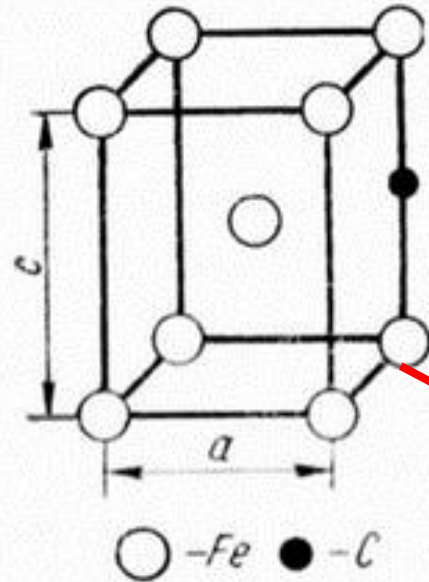
1. Образцы углеродистой стали 40 и легированной 40X в отожженном состоянии.
2. Твердомер Роквелла.
3. Металлографический микроскоп.
4. Лабораторная электропечь.
5. Закалочные ванны с водой и маслом.
6. Микрошлифы сталей 40 и 40X в исходном отожженном состоянии и после нагрева выше  $A_{c3}$  с последующим охлаждением в различных средах (в воде, масле, на воздухе).



# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

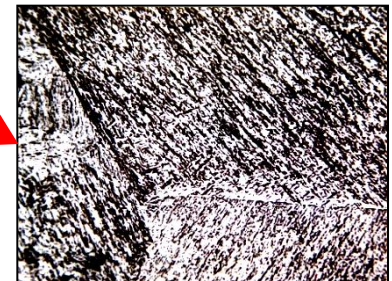
**Закалка** - это термическая обработка, которая заключается в нагреве стали выше критических температур, выдержке при этих температурах и охлаждении со скоростью выше критической. Закалке подвергают детали, содержащие  $> 0,3\%$  углерода. С меньшим содержанием углерода – незакаливающиеся стали!

**Цель закалки** – получение мартенситной структуры с равномерным распределением углерода, обеспечивающей повышение твёрдости и прочности.



Кристаллическая ячейка мартенсита

**Мартенсит** - это пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в  $Fe_{\alpha}$ .

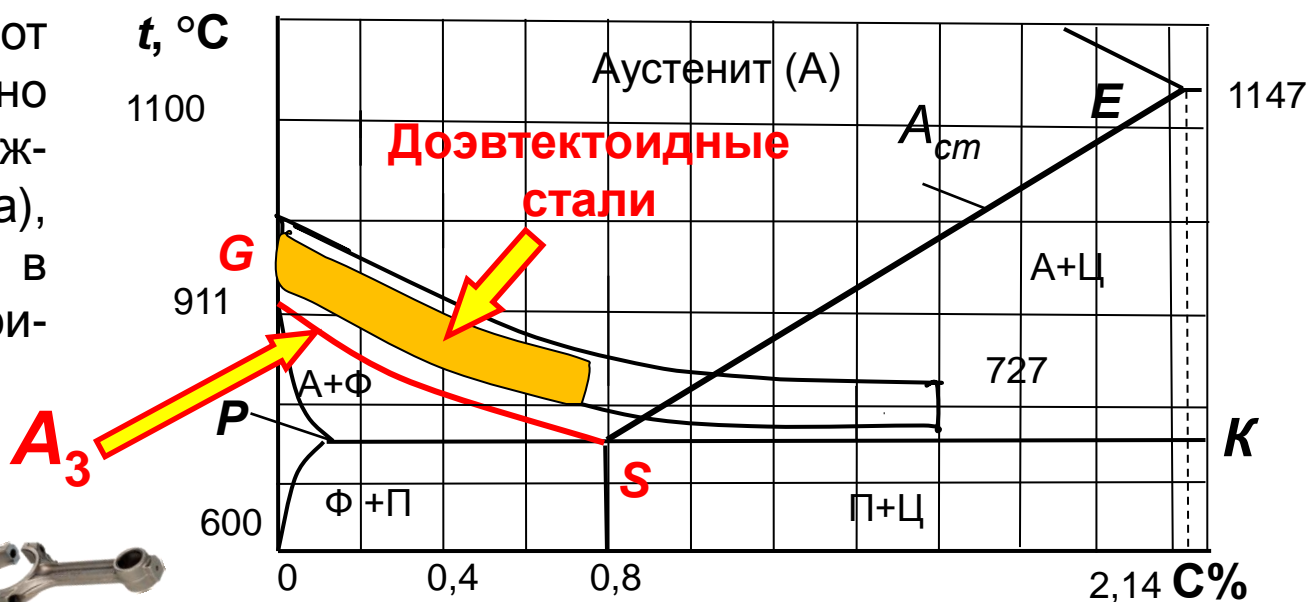


Для закалки необходимо выбрать нагревательную среду, температуру нагрева, время выдержки при этой температуре и охлаждающую среду.

# ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ДОЭВТЕКТОИДНЫХ СТАЛЕЙ

Температура нагрева под закалку зависит от химического состава стали и определяется положением критических точек  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ . **Доэвтектоидные стали** для закалки следует нагревать до температуры на **50-60 °С выше  $A_{c3}$  (выше линии GS)**.

В случае закалки от температур выше  $A_{c1}$ , но ниже  $A_{c3}$  (с межкритического интервала), кроме мартенсита в структуре будет присутствовать феррит.

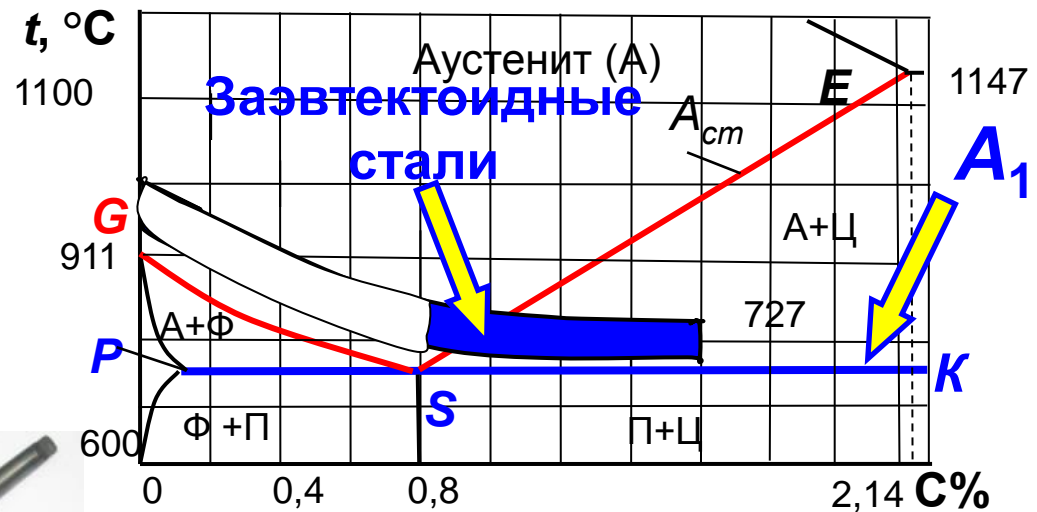


Феррит снижает твердость и прочность стали, вследствие этого закалку доэвтектоидных сталей от температур, соответствующих интервалу ( $A_{c1} - A_{c3}$ ), не производят.

# ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ЗАЭВТЕКТОИДНЫХ СТАЛЕЙ

**Заэвтектоидные стали** под закалку нагревают до температуры на **50-60 ° C** выше  $A_{c1}$  (линия **PSK**). После закалки образуется структура мартенсита с некоторым количеством вторичного цементита.

Присутствие цементита в структуре закаленной заэвтектоидной стали повышает ее твердость и износостойкость, что необходимо для инструментальных сталей.



Заэвтектоидные стали нецелесообразно нагревать выше температуры  $A_{c3}$ , так как это приводит к росту зерна аустенита, растворению вторичного цементита, возникновению закалочных напряжений, интенсивному окислению и обезуглероживанию поверхности детали.

# ВРЕМЯ ВЫДЕРЖКИ ПРИ ЗАКАЛКЕ

Чтобы избежать окисления и обезуглероживания поверхности детали нагрев необходимо производить в **защитных газовых средах** (контролируемые атмосферы), **соляных ваннах, расплавленном металле, в вакууме.**

**Выдержка** ( $\tau$ ) детали в печи или ванне, необходимая для прогрева массы металла и завершения фазовых превращений, зависит от среды, в которой происходит нагрев, размеров детали, химсостава стали.



Продолжительность выдержки в газовой среде (воздухе) составляет **1 минуту на 1 мм толщины или диаметра детали.**

$$\tau = d \cdot 1 \text{ мин}$$

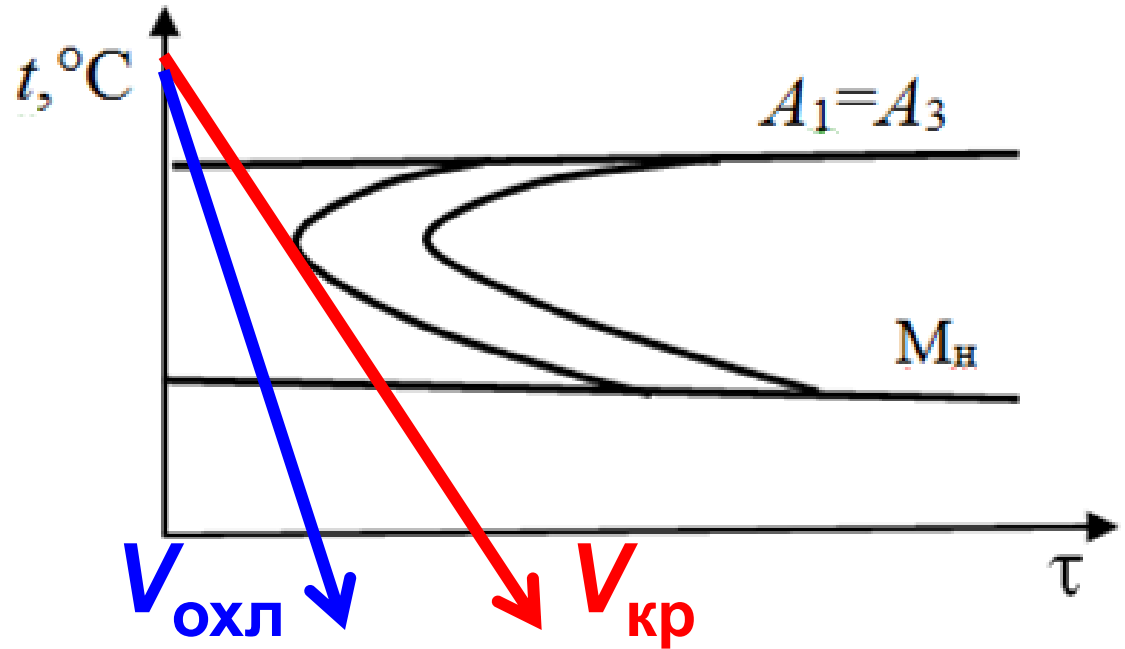
Соотношение выдержек в различных нагревательных средах примерно следующее: если принять время выдержки в газовой среде 1, то в расплавленных солях она равна 0,5, в расплавленных металлах - 0,25.

# ВЫБОР СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ

**Скорость охлаждения** при закалке должна быть быстрой, чтобы обеспечить формирование мартенсита (не допустить распада аустенита) и не вызвать таких закалочных напряжений, которые могут привести к образованию трещин.

Для получения мартенситной структуры по всему сечению детали необходимо, чтобы скорость охлаждения и поверхности и сердцевины была выше критической

$$V_{\text{охл}} > V_{\text{кр}}$$



В противном случае в поверхностном слое и в сердцевине детали после закалки будет различная структура, а следовательно, и разные свойства.

# ВЫБОР СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

**Критическая скорость охлаждения, необходимая для получения мартенсита**, обусловлена химическим составом стали. Чем больше легирующих элементов содержит сталь, тем меньше ее критическая скорость охлаждения, и тем легче получить мартенсит при закалке.

В качестве охлаждающей среды чаще всего используют **воду**, водные растворы солей и щелочей, минеральное **масло**.

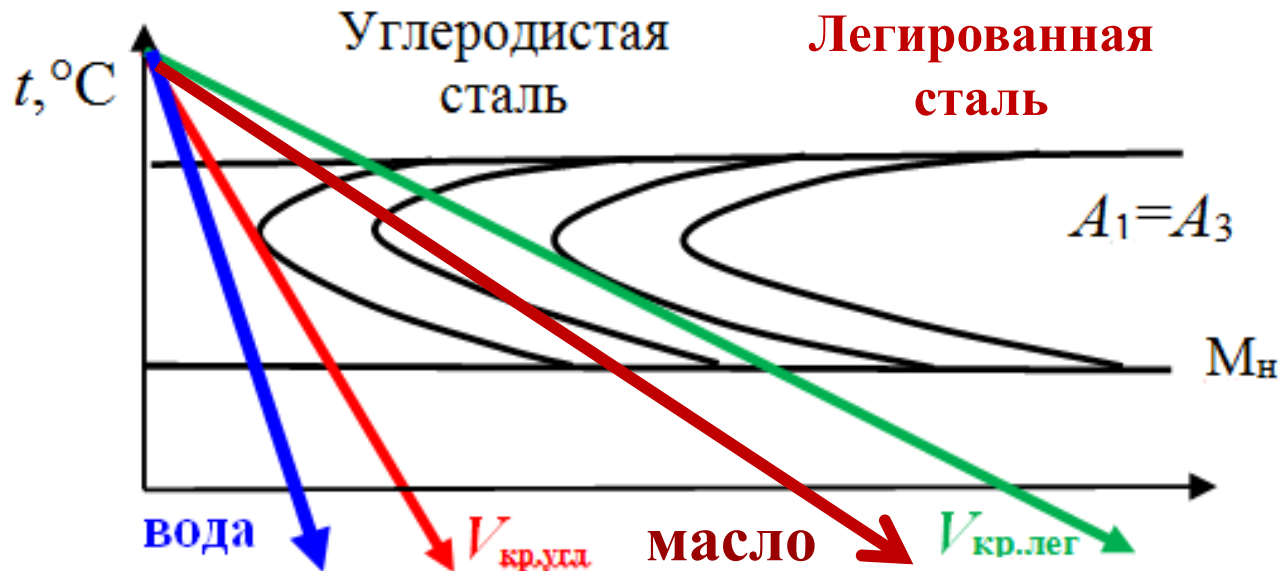


**Углеродистые стали** имеют высокую критическую скорость ( $V_{\text{кр.угл}}$ ), поэтому их охлаждают в **воде** – очень интенсивном охладителе.



# ВЫБОР СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

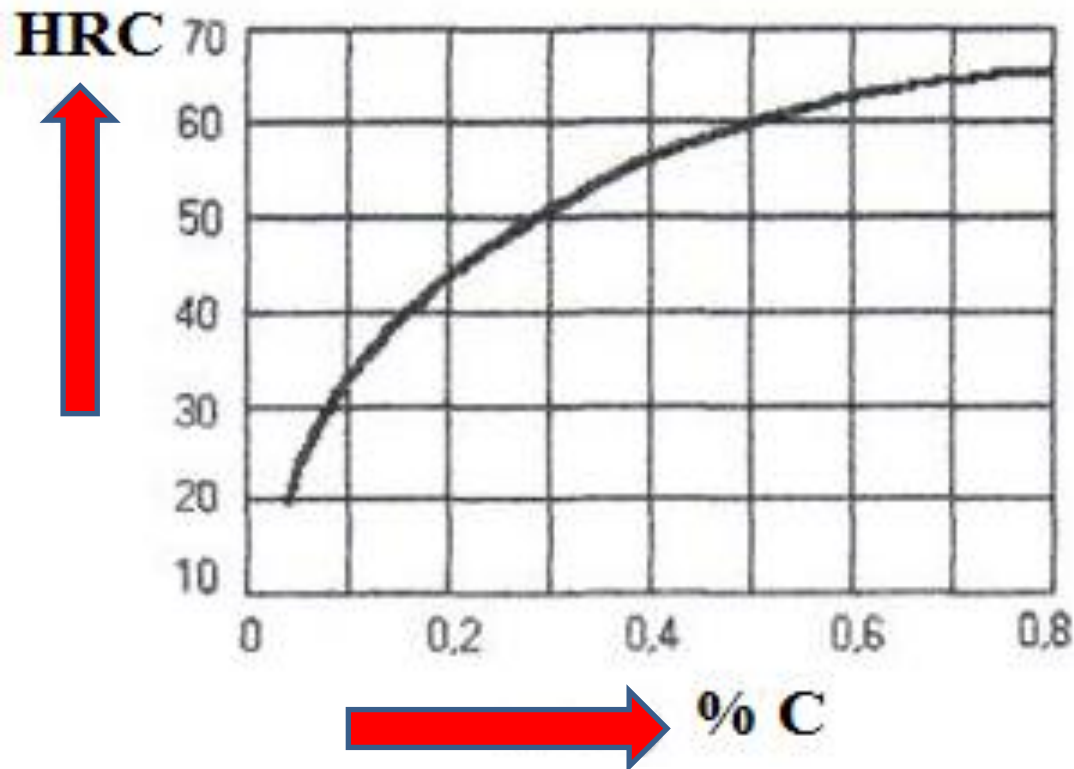
Легирующие элементы сдвигают с-образную диаграмму вправо, увеличивают инкубационный период и уменьшают критическую скорость охлаждения ( $V_{кр.лег} < V_{кр.угл}$ ), поэтому легированные стали закалывают в масле.



Охлаждение в минеральном масле, отводящем тепло с меньшей скоростью, чем вода, способствует снижению закалочных напряжений.

# ТВЁРДОСТЬ МАРТЕНСИТА

Твердость мартенсита, полученного при закалке, определяется количеством углерода в стали: чем больше углерода в мартенсите, тем выше его твердость.

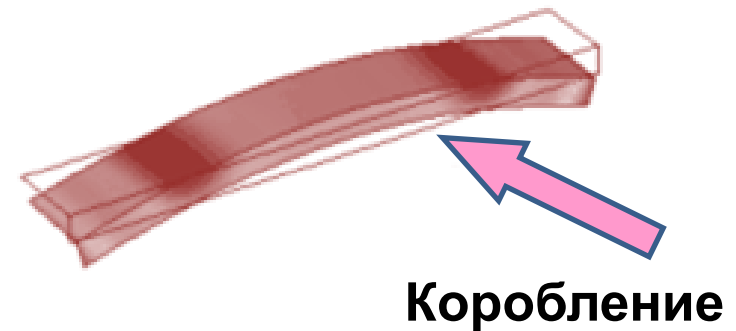
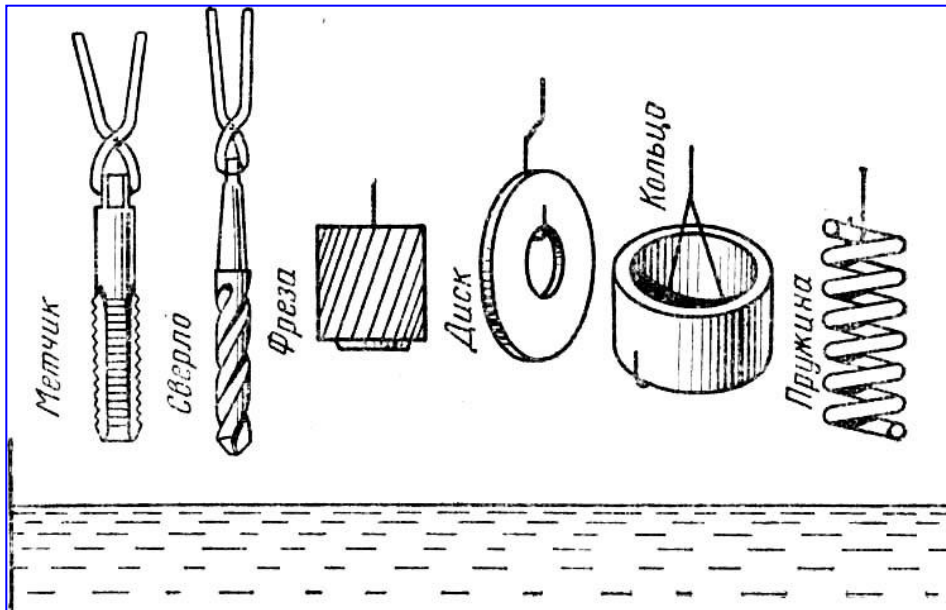


Стали с содержанием углерода менее 0,3% имеют низкую твердость и являются незакаливаемыми.

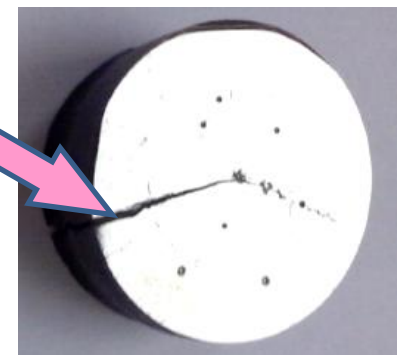
# ДЕФЕКТЫ ЗАКАЛКИ

Для того, чтобы избавиться от остаточного аустенита, закаленные изделия следует охлаждать до температуры ниже  $M_k$ . Такая обработка называется **обработкой холодом**.

К основным дефектам при термической обработке относятся: недостаточная твердость; завышенная твердость; коробление и образование трещин; окисление и обезуглероживание.



Закалочная трещина



Чтобы не допустить коробления длинные изделия нагревают и охлаждают в вертикальном положении или в заневоленном состоянии.

# ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1) На каждую группу из 3-4 студентов получить образцы сталей 40 и 40Х в отожженном состоянии.

2) Используя справочник, ознакомиться с химическим составом сталей 40 и 40Х, выбрать для них температуру нагрева под закалку, определить время выдержки при температуре нагрева, учитывая сечение образцов.

3) Измерить твердость образцов в исходном состоянии.

4) Изучить микроструктуру образцов обеих сталей.

5) Загрузить по три образца каждой стали в печь, нагретую до необходимой температуры, и выдержать при этой температуре нужное время.

# ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6) Охладить по одному образцу каждой стали в воде, масле и на воздухе. Следует иметь в виду, что термообработка с охлаждением на воздухе - это нормализация, а не закалка, и используется в данной работе для оценки влияния охлаждающей среды на структуру и свойства.

7) Измерить твердость термообработанных образцов.

8) Изучить микроструктуру термообработанных образцов с помощью металлографического микроскопа.

9) Оформить отчет о работе.

# ОТЧЁТ О РАБОТЕ

Отчёт о работе должен включать:

- 1) Цель работы.
- 2) Краткое изложение теоретических основ работы.
- 3) Данные о твердости сталей 40 и 40Х в исходном состоянии и после термической обработки, внесенные в табл. 1.
- 4) Микроструктуры сталей различных марок в отожженном состоянии и после термической обработки по разным режимам.
- 5) Анализ влияния охлаждающей среды на структуру и свойства сталей различных марок.
- 6) Выводы.



# КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Что такое закалка стали?
- 2) До каких температур необходимо нагревать под закалку доэвтектоидные и заэвтектоидные стали и почему?
- 3) Какие нагревательные среды используются при нагреве под закалку?
- 4) Как определить время выдержки при нагреве под закалку?
- 5) Что такое мартенсит? От чего зависит его твёрдость?
- 6) Что такое критическая скорость охлаждения?
- 7) Какие охлаждающие среды используют для закалки углеродистой и легированной стали?



# ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1) Изучить оборудование для термической обработки.

2) Ознакомиться с современными охлаждающими средами.

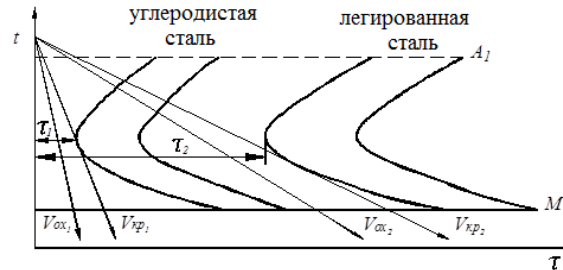
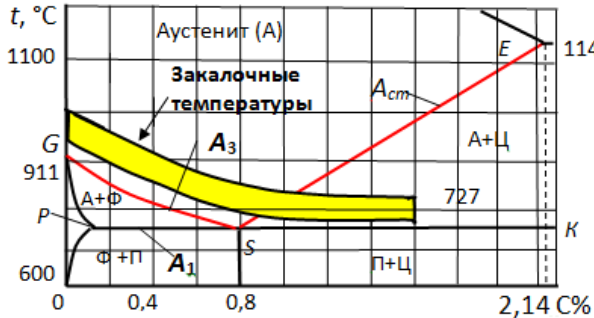
3) Изучить мероприятия, которые позволят избежать дефектов закалки.

4) Привести существующие специальные способы закалки, позволяющие уменьшить внутренние напряжения.

# Протокол к лабораторной работе №8

## «Закалка стали»

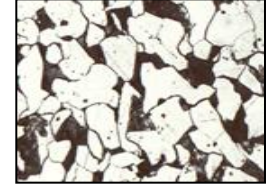
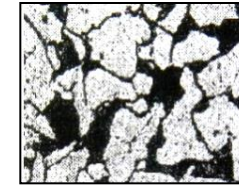
Сталь	Структура после охлаждения	
	В воде	В масле
Углеродистая	М	М+Т
Легированная	М	М



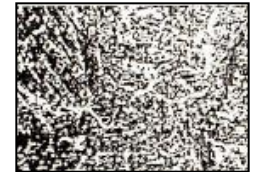
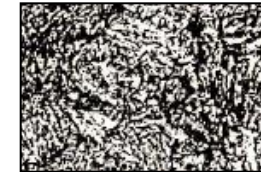
Микроструктуры стали в исходном состоянии и после термической обработки

Сталь 40

Сталь 40X



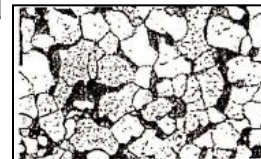
Исходное состояние (отожжённое)



Охлаждение в воде

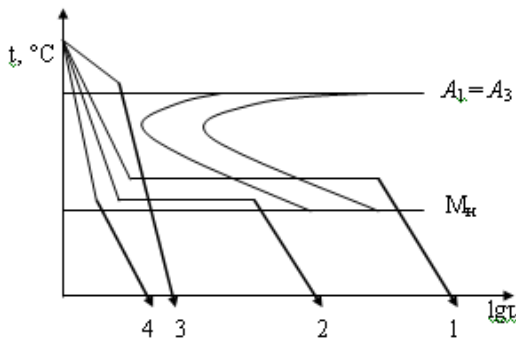


Охлаждение в масле



Охлаждение на воздухе (нормализация)

Марка стали	Твёрдость в отожжённом состоянии		Температура нагрева под закалку, °C	Твёрдость после нагрева и охлаждения						
				в воде		в масле		на воздухе		
	HRB	HBW		HRC	HBW	HRC	HBW	HRB	HBW	
40										
40X										



Специальные виды закалки: 1 – изотермическая, 2 – ступенчатая, 3 – с подстуживанием, 4 – прерывистая

Выполнил: ст. гр. \_\_\_\_\_

Принял: \_\_\_\_\_