

# Термическая обработка сталей и сплавов

## Лекция 6

Разработчик  
к.т.н., доцент кафедры  
Металлургия черных металлов ЮТИ ТПУ

Д.В. Валуев

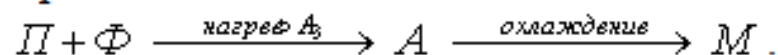
## Технологические особенности и возможности закали и отпуска

По температуре нагрева различают виды закали:

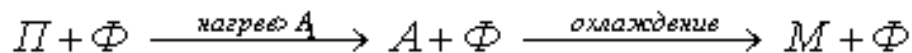
– полная, с температурой нагрева на  $30...50^{\circ}\text{C}$  выше критической температуры  $A_3$

$$T_{\text{н}} = A_3 + (30...50)^{\circ}\text{C}$$

Применяют ее для доэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



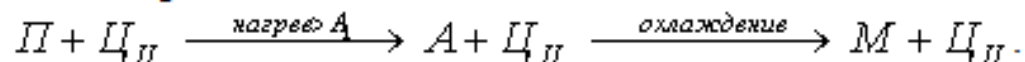
Неполная закалка доэвтектоидных сталей недопустима, так как в структуре остается мягкий феррит. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



– неполная с температурой нагрева на  $30...50^{\circ}\text{C}$  выше критической температуры  $A_1$

$$T_{\text{н}} = A_1 + (30...50)^{\circ}\text{C}$$

Применяется для заэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



# Технологические особенности и возможности закали и отпуска

## Закалка сталей



Температура нагрева сталей под закалку:

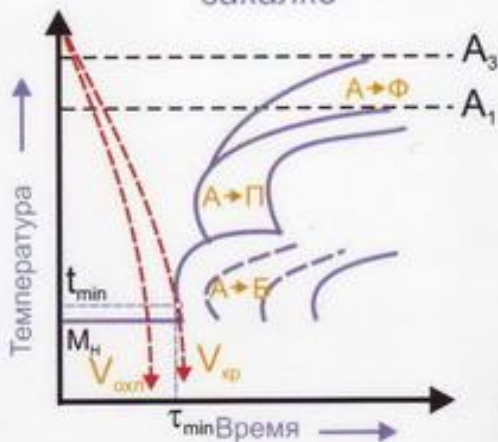
- углеродистая доэвтектоидная

$$t_H = A_{c3} + (30 - 50^\circ\text{C})$$

- углеродистая заэвтектоидная

$$t_H = A_{c1} + (30 - 50^\circ\text{C})$$

Охлаждение при закалке



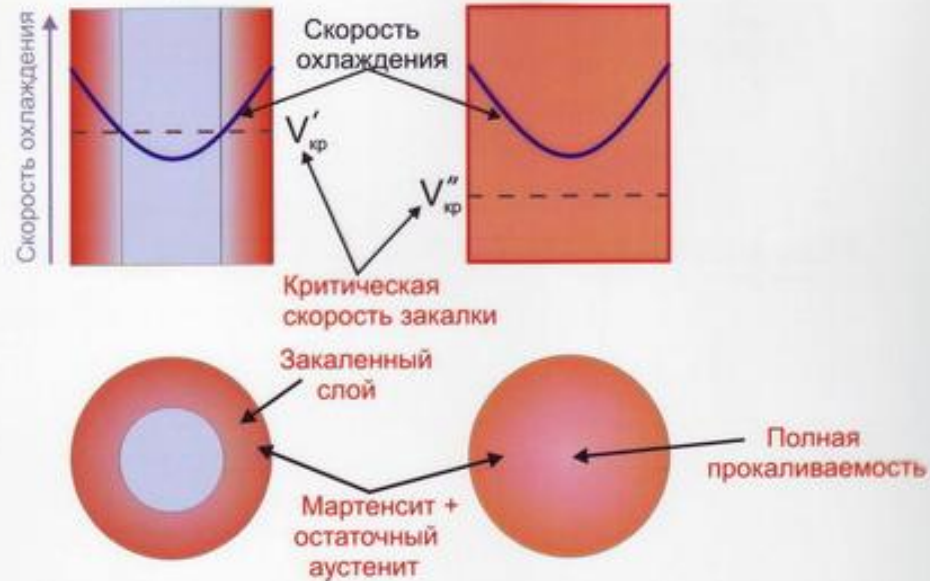
Охлаждающая способность воды и масла



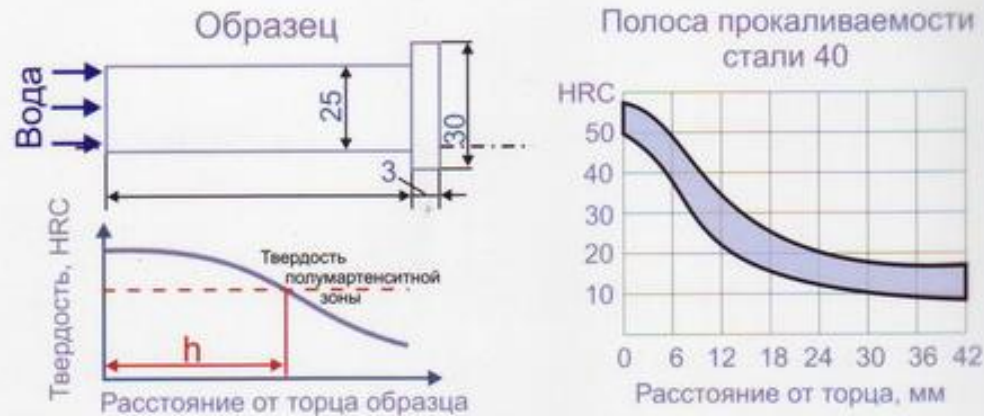
Конструкционные стали подвергают закалке и отпуску для повышения прочности и твердости, получения высокой пластичности, вязкости и высокой износостойкости, а инструментальные – для повышения твердости и износостойкости.

# Прокаливаемость стали

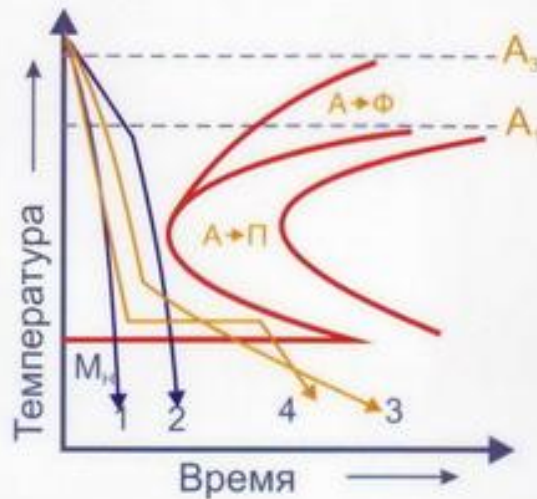
Под прокаливаемостью понимают глубину проникновения закаленной зоны



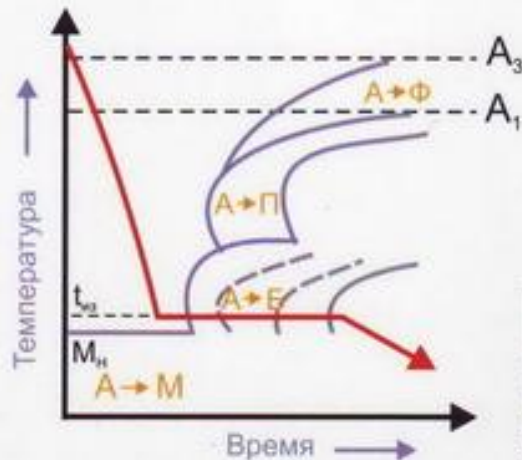
Определение прокаливаемости методом торцевой закалки



# Способы закалки



## Изотермическая закалка



Изотермическая закалка обеспечивает формирование структуры нижнего бейнита.

$$T_{из} = M_H + (20-40^{\circ}C)$$

## Свойства стали 40ХСНМА

Обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, МДж/м <sup>2</sup>
Закалка в масле + отпуск 550°C, 2ч	1230	1320	12	45	0,53
Изотемическая закалка (325°C, 1ч)	1200	1400	19	55	0,92

# Отпуск

## Отпуск закаленной стали

Процессы, происходящие при отпуске закаленных углеродистых сталей:

- распад мартенсита с образованием карбидов (20-350°C)
- превращение остаточного аустенита по механизму бейнитной реакции (200-300°C)
- снятие внутренних напряжений и превращение  $\epsilon$ -карбида ( $\text{Fe}_2\text{C}$ ) в цементит (350-400°C)
- сфероидизация и коагуляция карбидов (450°C и выше)
- уменьшение плотности дислокаций, полигонизация и рекристаллизация ферритной матрицы (450°C и выше)

Низкий отпуск



Высокий отпуск



# Отпуск

Различают три вида отпуска:

1. *Низкий отпуск* с температурой нагрева  $T_H = 150 \dots 300^\circ\text{C}$ .

В результате его проведения частично снимаются закалочные напряжения.

Получают структуру – *мартенсит отпуска*.

Проводят для инструментальных сталей; после закалки токами высокой частоты; после цементации.

2. Средний отпуск с температурой нагрева  $T_H = 300 \dots 450^\circ\text{C}$ .

Получают структуру – *троостит отпуска*, сочетающую высокую твердость 40...45HRC с хорошей упругостью и вязкостью.

Используется для изделий типа пружин, рессор.

3. Высокий отпуск с температурой нагрева  $T_H = 450 \dots 650^\circ\text{C}$ .

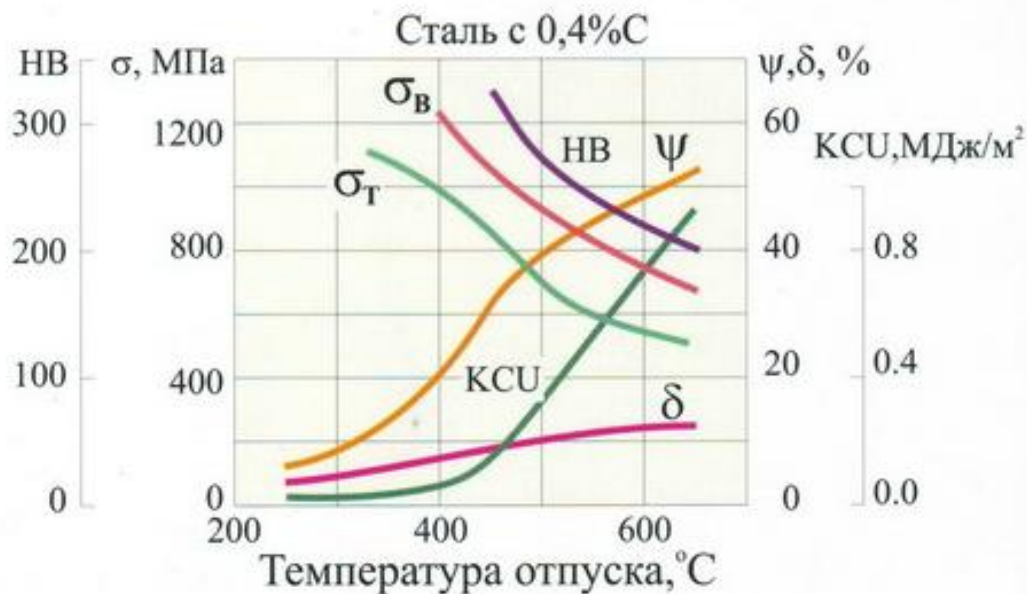
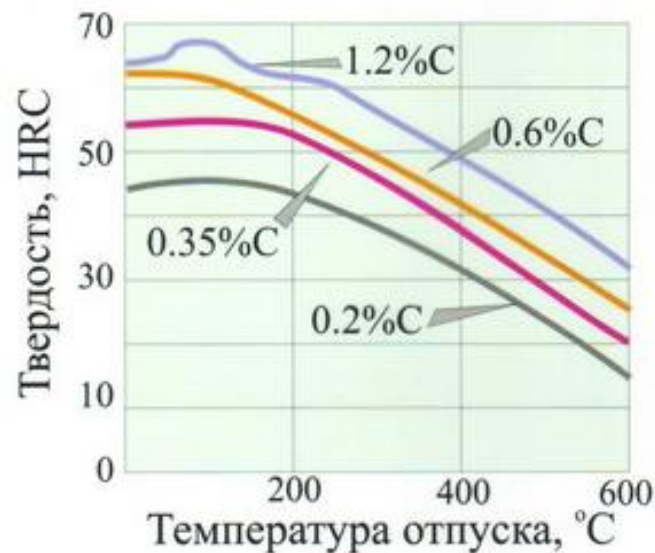
Получают структуру, сочетающую достаточно высокую твердость и повышенную ударную вязкость (оптимальное сочетание свойств) – *сорбит отпуска*.

Используется для деталей машин, испытывающих ударные нагрузки.

Комплекс термической обработки, включающий закалку и высокий отпуск, называется *улучшением*.

# Отпуск

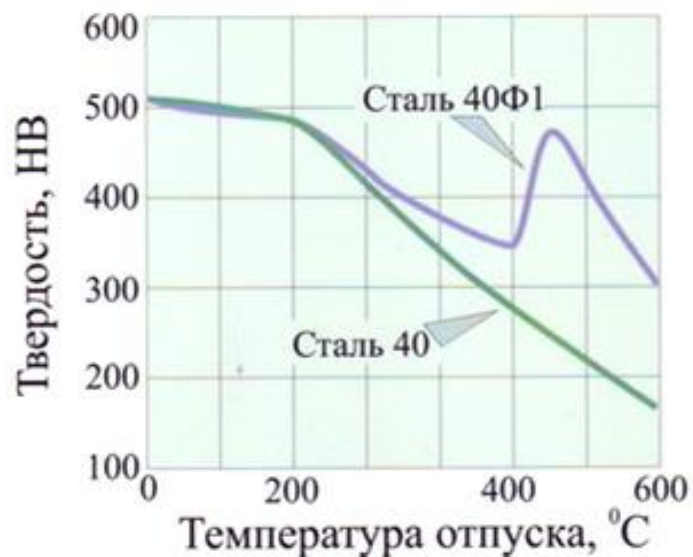
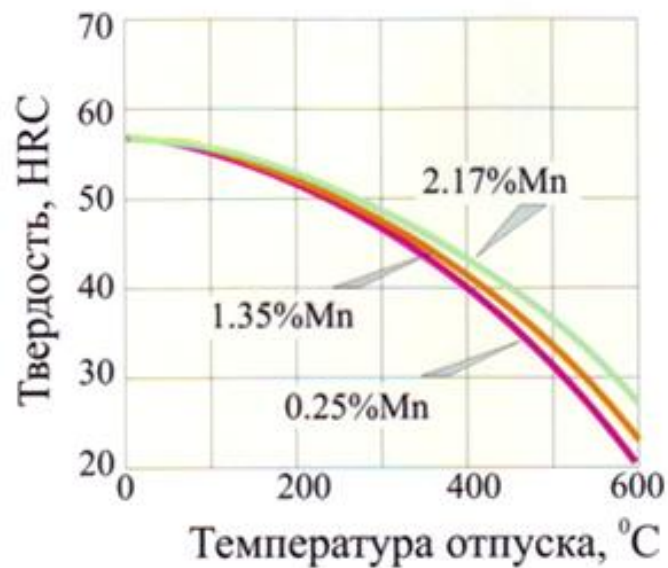
Изменение механических свойств при отпуске





# Отпуск

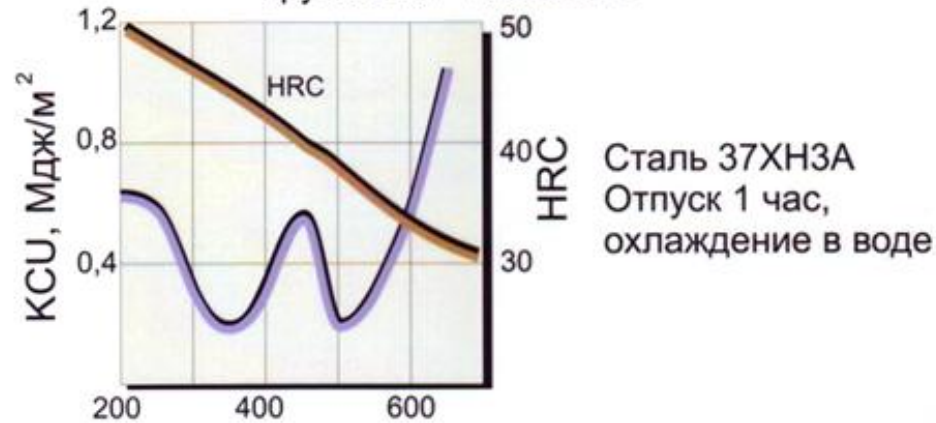
Изменение твердости при отпуске легированных сталей



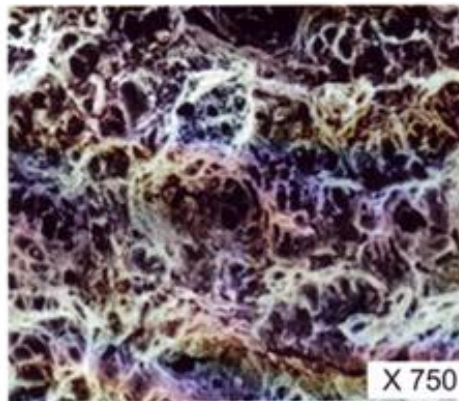
# Отпуск

## Отпускная хрупкость легированных сталей

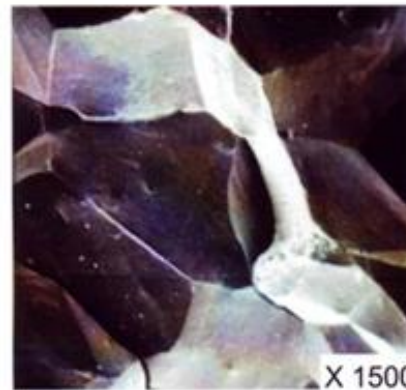
Интервал развития необратимой отпускной хрупкости - 250-400 °С, обратимой отпускной хрупкости - 450-600 °С



## Виды изломов стали 38ХС



Отпуск 650 °С, 2 часа,  
охлаждение в воде



Отпуск 650 °С, 2 часа  
+ 550 °С, 10 часов

**Спасибо за внимание**