



«Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство»

Лабораторна робота №9

2016

Лабораторная работа №8

ОТПУСК СТАЛИ

Цель работы – проанализировать структурные превращения при отпуске, изучить структуру и свойства закаленной стали в зависимости от температуры отпуска и определить роль легирующих элементов в процессах, происходящих при отпуске.



Приборы и материалы:

1. Образцы углеродистой стали 40 и легированной стали 40X в закалённом состоянии.
2. Твердомер Роквелла.
3. Металлографический микроскоп.
4. Лабораторные электропечи.
5. Микрошлифы закалённых сталей 40 и 40X после отпуска при разных температурах.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Отпуск - это термическая обработка, заключающаяся в нагреве закалённой стали до температур ниже критической точки A_{c1} , выдержке при этих температурах и последующем **охлаждении на воздухе** (реже в масле). Отпуск обязательно проводится после закалки, а иногда, для легированных сталей, и после нормализации.

Цель отпуска – получение необходимого комплекса свойств (твёрдости, прочности, пластичности, ударной вязкости) и частичное или полное снятие напряжений.



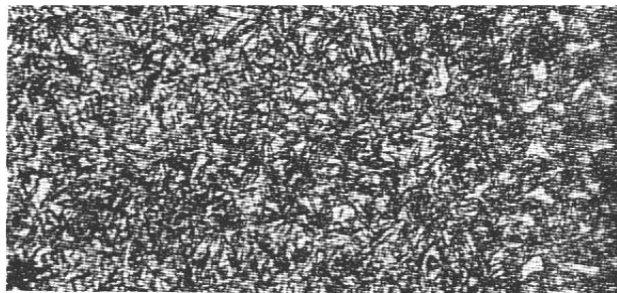
Температура нагрева при отпуске зависит от того, какие свойства необходимо получить для тех или иных изделий. Существуют **три вида отпуска**:

- **низкий** (низкотемпературный) в интервале температур **150-250 °C**;
- **средний** (среднетемпературный) в интервале температур **300-450 °C**;
- **высокий** (высокотемпературный) в интервале температур **500-650 °C**.

НИЗКИЙ ОТПУСК

После закалки стали образуется **мартенсит**, который является пересыщенным твердым раствором углерода в Fe_{α} . При нагреве выше **150 °С (низкий отпуск)**, вследствие перемещения атомов (ионов) углерода в дефектные места кристаллической решетки, **мартенсит закалки** превращается в **мартенсит отпуска**.

При этом **напряжения уменьшаются** примерно на **~ 1/3**. Твердость и прочность после низкого отпуска практически не изменяются.



Мартенсит отпуска

Низкий отпуск **применяют** в тех случаях, когда требуется **высокая твердость и износостойкость** изделия.



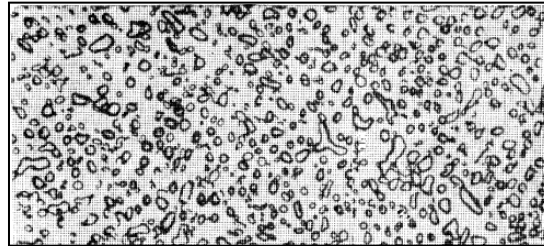
После объёмной закалки, цементации или нитроцементации, после поверхностной закалки низкому отпуску подвергают детали машин, работающие в условиях трения и износа.

СРЕДНИЙ ОТПУСК

При **среднем отпуске** происходит распад мартенсита на ферритно-цементитную смесь зернистого строения. Избыточный углерод выделяется из пересыщенного твердого раствора в виде высокодисперсных частиц **цементита зернистой формы**.



Высокодисперсная ферритно-цементитная смесь зернистого строения называется **трооститом отпуска**.



Троостит отпуска



Закалочные напряжения уменьшаются ~ **2/3 %**.

Твердость стали после среднего отпуска **ниже**, чем после закалки и низкого отпуска. **Существенно** возрастают упругие свойства.

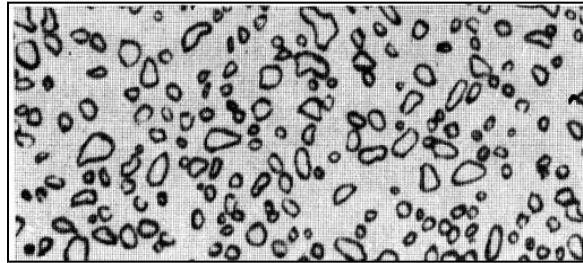


Несколько повышаются пластичность и ударная вязкость. **Средний отпуск используют для рессор и пружин, торсионных валов**, то есть таких изделий, которые эксплуатируются в условиях значительных упругих деформаций.

ВЫСОКИЙ ОТПУСК

При **высоком отпуске** продолжается распад мартенсита на ферритно-цементитную смесь и происходит рост цементитных частиц. Зернистая структура, образуемая при высоком отпуске, называется **сорбит отпуска**.

В процессе высокого отпуска **полностью снимаются закалочные напряжения**. Характеристики прочности снижаются, но остаются на достаточном уровне, особенно предел текучести.



Сорбит отпуска



Значительно возрастают пластичность и ударная вязкость, снижается порог хладноломкости.

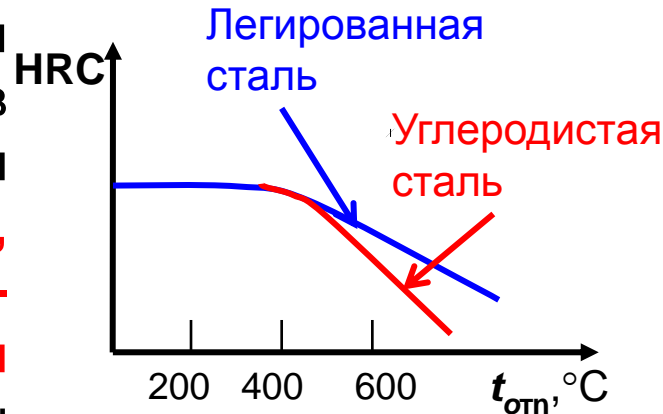


Таким образом, после закалки и высокого отпуска достигаются достаточно высокие значения прочности в сочетании с высокой пластичностью и ударной вязкостью. Получение такого комплекса свойств обеспечивает **высокую конструкционную прочность**.

УЛУЧШЕНИЕ

Термическая обработка, заключающаяся в закалке с высоким отпуском, называется **улучшением**.

Такая термическая обработка используется для деталей, которые в процессе эксплуатации испытывают **ударные, циклические, знакопеременные нагрузки** (шатун, вал, ось, клапан и др.).



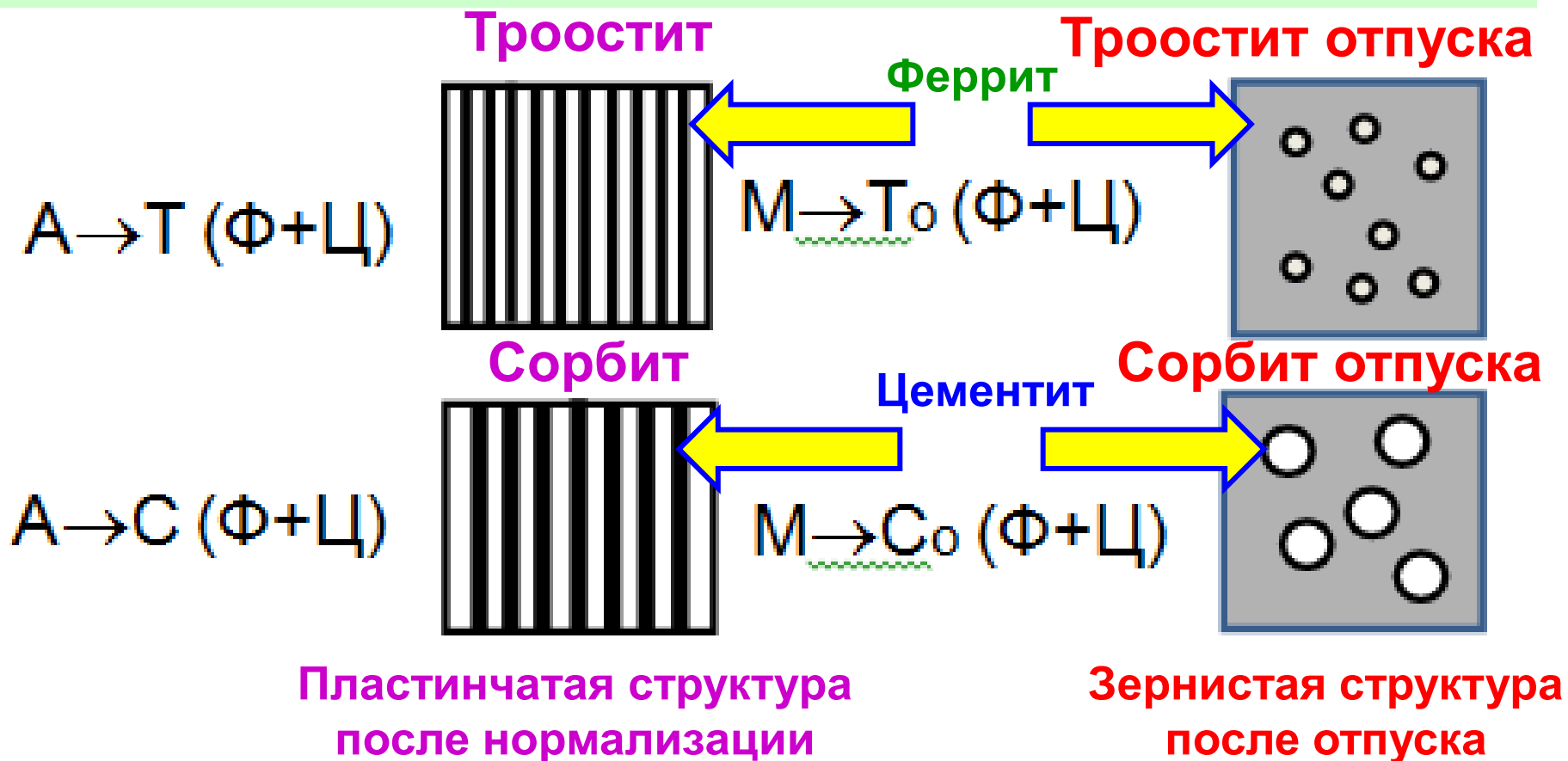
Характер изменения твёрдости при отпуске для углеродистой и легированной стали

Легирующие элементы существенно влияют на структурные превращения при отпуске. Они **замедляют процесс распада мартенсита и тормозят укрупнение и коагуляцию карбидных частиц**.

В высоколегированных сталях, имеющих большое количество легирующих элементов, распад мартенсита с последующим укрупнением и округлением карбидов и связанное с этим снижение твердости, задерживаются до температуры 600 °C и выше.

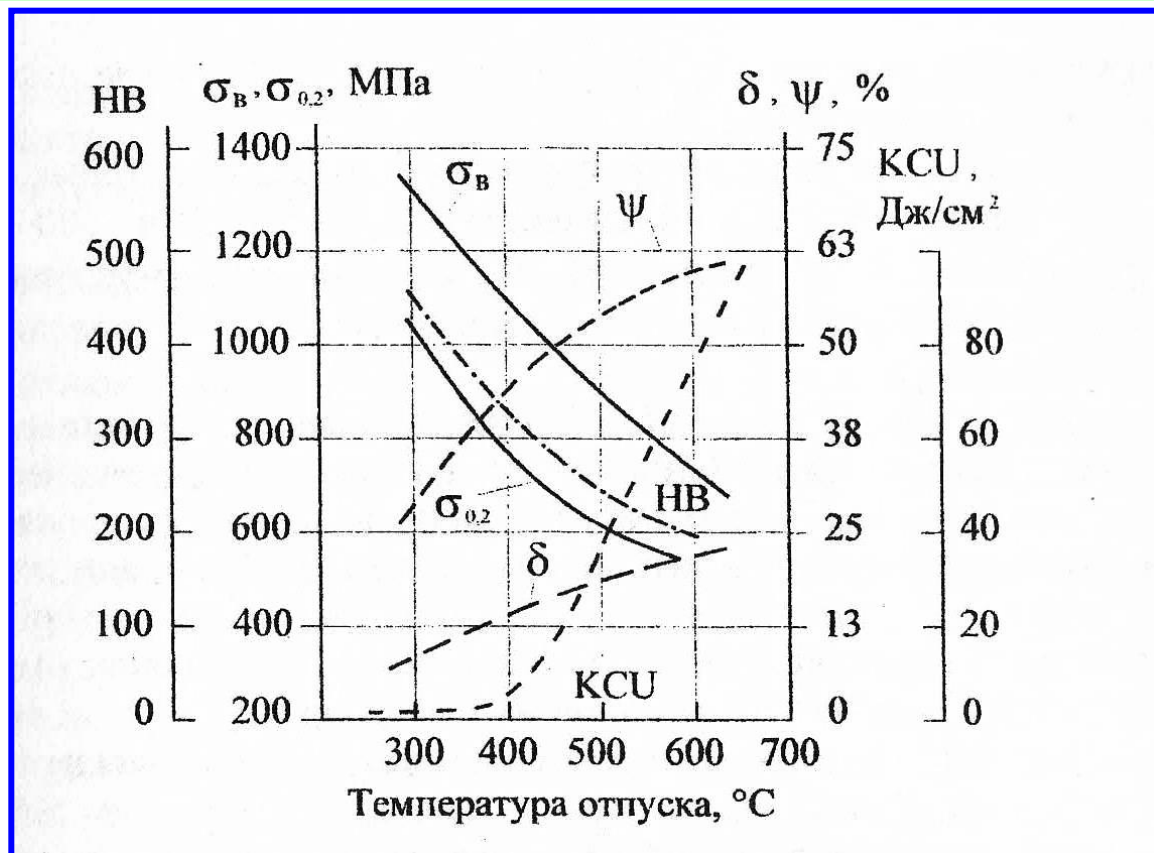
ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАСТИНЧАТЫХ И ЗЕРНИСТЫХ СТРУКТУР

Ферритно-цементитная смесь (троостит и сорбит), которая образуется из аустенита, имеет пластинчатое строение. Ферритно-цементитная смесь, образующаяся при распаде мартенсита, имеет зернистое строение, обеспечивает более высокий комплекс механических характеристик.



ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ЗАКАЛЁННОЙ СТАЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТПУСКА

Характер изменения свойств обусловлен различными структурами, формирующимися при распаде мартенсита. Аустенит при отжиге и нормализации превращается в пластинчатые структуры (перлит, троостит, сорбит), а после улучшения мартенсит распадается с образованием зернистых структур.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1) Измерить твердость закаленных образцов сталей 40 и 40Х.

2) Загрузить по одному образцу углеродистой и легированной стали в печи с температурами 200, 400, 600 °С, выдержать их в течение 20 мин и затем охладить на воздухе.

3) Измерить твердость отпущенных образцов.

4) Изучить микроструктуру сталей, отпущенных при разных температурах.

5) Оформить отчет о работе.

ОТЧЁТ О РАБОТЕ

Отчёт о работе должен включать:

- 1) Цель работы.
- 2) Краткое изложение теоретических основ работы.
- 3) Результаты измерения твердости, сведенные в таблице 1.
- 4) График изменения твердости углеродистой и легированной сталей в зависимости от температуры отпуска.
- 5) Схематическое изображение микроструктуры закаленной и отпущенной при различных температурах стали обеих марок.
- 6) Выводы.

Таблица 1. Твёрдость сталей 40 и 40Х
в закалённом состоянии и после
отпуска при разных температурах

Марка стали	Твёрдость, HRC			
	До отпуска	После отпуска при температурах, °С		
		200	400	600
40				
40Х				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Что такое отпуск?
- 2) С какой целью проводится отпуск?
- 3) При какой температуре проводят низкий, средний и высокий отпуск?
- 4) Как изменяются структура и свойства стали после низкого отпуска? Привести области использования низкого отпуска.
- 5) Как изменяются структура и свойства стали после среднего отпуска? Определите области применения среднего отпуска.
- 6) Какие структурные превращения происходят при высоком отпуске?
- 7) Что такое улучшение стали? Какие свойства имеет сталь после улучшения? Приведите примеры деталей, которые подвергают закалке с высоким отпуском.
- 8) Как влияют легирующие элементы на структурные превращения при отпуске?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1) Изучить влияние на порог хладноломкости низкого отпуска.

2) Подобрать детали автомобиля, которые подвергают среднему отпуску.

3) Подобрать детали автомобиля, которые подвергают высокому отпуску.

Протокол к лабораторной работе №9 «Отпуск закалённой стали»

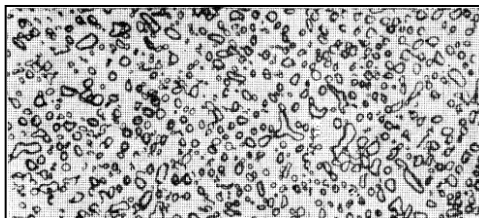
Низкий отпуск:
150-200°C



Мартенсит отпуска



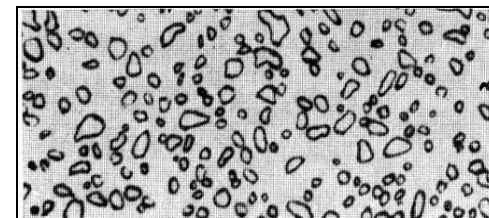
Средний отпуск:
300-450°C



Троостит отпуска



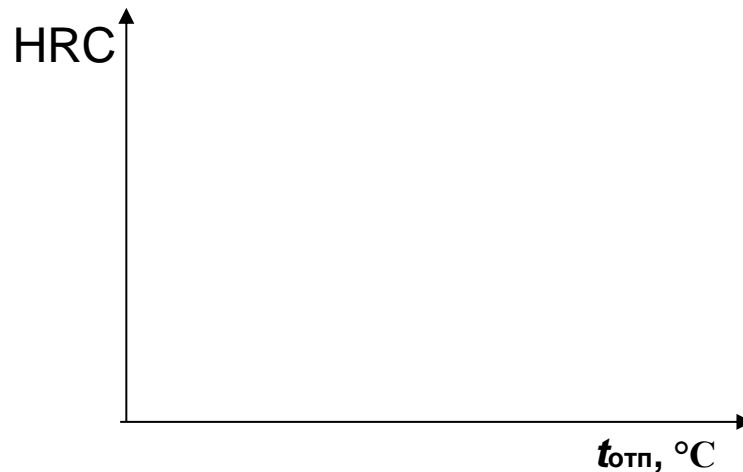
Высокий отпуск:
500-650°C



Сорбит отпуска



Марка стали	Твердость HRC			
	До отпуска	После отпуска при температуре, °C		
		200	400	600
40				
40X				



Выполнил: ст. гр. _____

Принял: _____

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1) Матеріалознавство : підручник / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. – Х. : Вид-во ХНАДУ, 2007. – 440 с.
- 2) Технология конструкционных материалов и материаловедение: учебник / И.П. Гладкий, В.И. Мощенок, В.П. Тарабанова, Н.А. Лалазарова, Д.Б. Глушкова. – Х.: НТМТ, 2014. – 528 с.
- 3) Лахтин Ю. М. Материаловедение : учебн. для машиностр. вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
- 4) Матеріалознавство : підручник / О.І. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.М. Москаленко. – 2-е вид., перероб. і доп. – К. : Політехніка, 2002. – 384 с.



Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Дощечкина Ирина Васильевна

Мощенок Василий Иванович

Лалазарова Наталиа Алексеевна

г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М
Tel.(8-057)707-37-92