



Лекция 12

**Тема Лекции:
Основы теории термической обработки
стали (продолжение).**

**Технологические особенности и
возможности отжига и нормализации.**

*к.ф.-м.н., PhD, ассоциированный профессор
Тулегенова Аида Тулегенкызы*

Цель лекции:

Ознакомление с сущностью процессов отжига и нормализации, их технологическими особенностями, влиянием на структуру и свойства сталей, а также рассмотреть области применения этих видов термической обработки.

Основные вопросы:

1. Превращение аустенита в мартенсит при высоких скоростях охлаждения
2. Превращение мартенсита в перлит.
3. Технологические возможности и особенности отжига, нормализации, закалки и отпуска
4. Отжиг и нормализация. Назначение и режимы
5. Отжиг первого рода.

Превращение аустенита в мартенсит при высоких скоростях охлаждения

Данное превращение имеет место при высоких скоростях охлаждения, когда диффузионные процессы подавляются. Сопровождается полиморфным превращением Fe_γ в Fe_α

При охлаждении стали со скоростью, большей критической ($V > V_k$), превращение начинается при температуре начала мартенситного превращения (M_n) и заканчивается при температуре окончания мартенситного превращения (M_k).

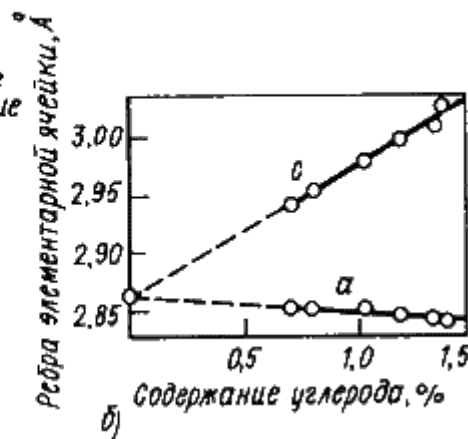
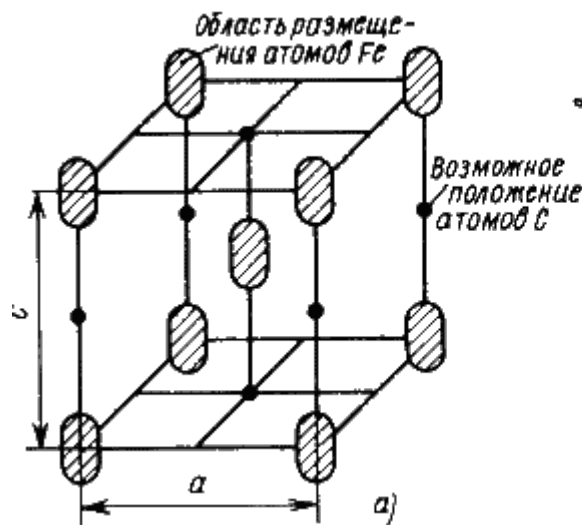
В результате такого превращения аустенита образуется продукт закалки – *мартенсит*.

Минимальная скорость охлаждения V_k , при которой весь аустенит переохлаждается до температуры M_n и превращается, называется *критической скоростью закалки*

Так как процесс диффузии не происходит, то весь углерод аустенита остается в решетке и располагается либо в центрах тетраэдров, либо в середине длинных ребер

Мартенсит – пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в Fe_α .

При образовании мартенсита кубическая решетка Fe_α сильно искажается, превращаясь в тетрагональную. Искажение решетки характеризуется степенью тетрагональности: $c/a > 1$. Степень тетрагональности прямопропорциональна содержанию углерода в стали



**Кристаллическая решетка мартенсита (а);
влияние содержания углерода на параметры a и c решетки
мартенсита (б)**

Механизм мартенситного превращения имеет ряд особенностей

1. *Бездиффузионный характер.*

Превращение осуществляется по сдвиговому механизму. В начале превращения имеется непрерывный переход от решетки аустенита к решетке мартенсита (когерентная связь). При превращении гранецентрированной кубической решетки в объемно-центрированную кубическую атомы смещаются на расстояния меньше межатомных, т.е. нет необходимости в самодиффузии атомов железа.

2. *Ориентированность кристаллов мартенсита.*

Кристаллы имеют форму пластин, сужающихся к концу, под микроскопом такая структура выглядит как игольчатая. Образуюсь мгновенно пластины растут либо до границы зерна аустенита, либо до дефекта. Следующие пластины расположены к первым под углами 60 или 120, их размеры ограничены участками между первыми пластинами

Механизм мартенситного превращения имеет ряд особенностей



Ориентированность
кристаллов мартенсита

Ориентированный (когерентный) рост кристаллов *мартенсита* обеспечивает минимальную поверхностную энергию. При когерентном росте, из-за различия объемов аустенита и мартенсита, возникают большие напряжения. При достижении определенной величины кристаллов *мартенсита*, эти напряжения становятся равными пределу текучести аустенита. В результате этого нарушается когерентность и происходит отрыв решетки мартенсита от решетки аустенита. Рост кристаллов прекращается.

3. Очень высокая скорость роста кристалла, до *1000 м/с*.

4. Мартенситное превращение происходит только при непрерывном охлаждении.

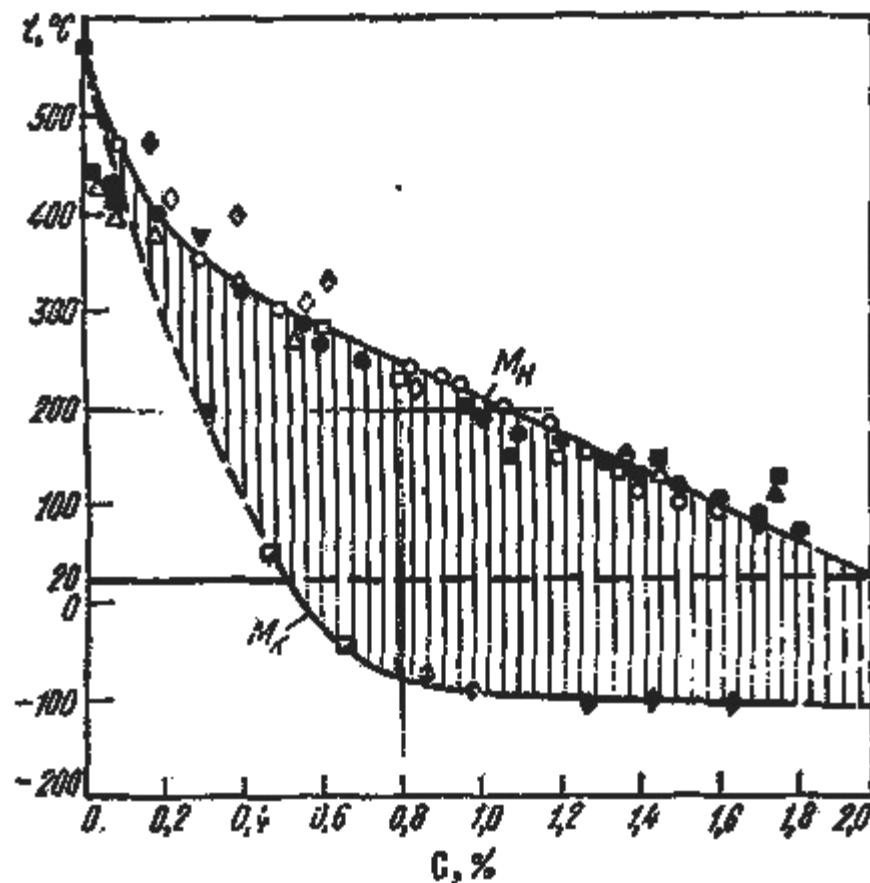
Для каждой стали начинается и заканчивается при определенной температуре, независимо от скорости охлаждения.

Температуру начала мартенситного превращения называют мартенситной точкой M_H , а температуру окончания превращения – M_K . Температуры M_H и M_K зависят от содержания углерода и не зависят от скорости охлаждения

Для сталей с содержанием углерода выше 0,6 % M_K уходит в область отрицательных температур

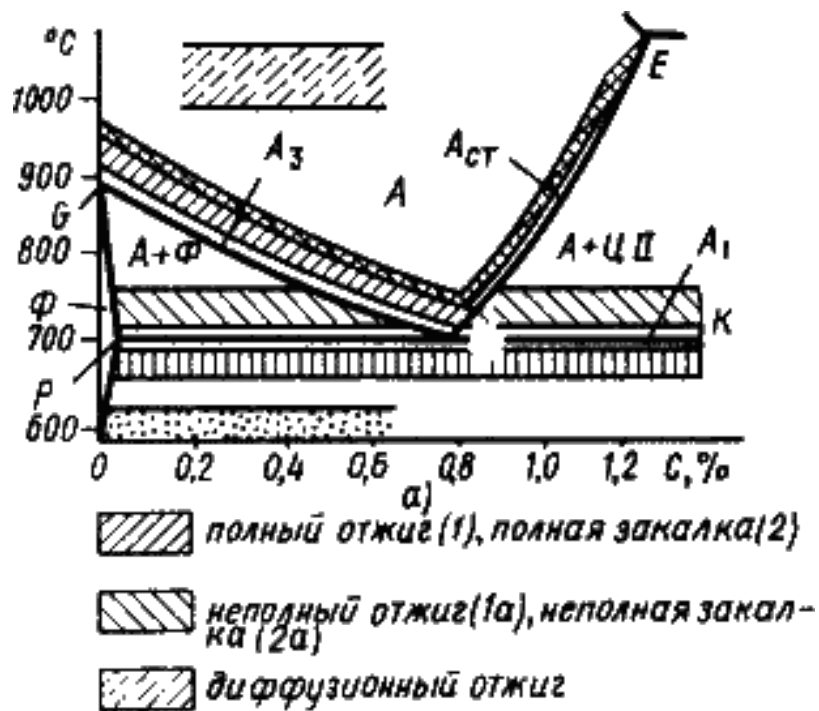
Мартенситное превращение чувствительно к напряжениям, и деформация аустенита может вызвать превращение даже при температурах выше M_H .

В сталях с M_K ниже 20°C присутствует аустенит остаточный, его количество тем больше, чем ниже M_H и M_K . (при содержании углерода $0,6...1,0\%$ количество аустенита остаточного – 10% , при содержании углерода $1,5\%$ - до 50%). В микроструктуре наблюдается в виде светлых полей между иглами мартенсита.



Зависимость температур начала (M_H) и конца (M_K) мартенситного превращения от содержания углерода в стали

Технологические возможности и особенности отжига, нормализации, закали и отпуска



Левый угол диаграммы состояния **железо – цементит** и температурные области нагрева при термической обработке сталей

Нагрев может осуществляться в нагревательных печах, топливных или электрических, в соляных ваннах или в ваннах с расплавленным металлом, пропусканием через изделие электрического тока или в результате индукционного нагрева.

С точки зрения производительности, нагрев с максимальной скоростью уменьшает окалинообразование, обезуглероживание и рост аустенитного зерна. Однако необходимо учитывать перепад температур по сечению, что ведет к возникновению термических напряжений. Если растягивающие напряжения превысят предел прочности или предел текучести, то возможно коробление или образование трещин.

Вопросы для контроля изучаемого материала:

1. Какова основная цель отжига и нормализации стали?
2. В чём состоят различия между полным, неполным и изотермическим отжигом?
3. Чем нормализация отличается от отжига по температуре и режиму охлаждения?
4. Какие структурные изменения происходят при этих видах термообработки?
5. В каких случаях применяют отжиг, а в каких — нормализацию?

Список литературных источников:

1. Новиков И. И. Материаловедение. — М.: Металлургия, 2019.
2. Callister W. D., Rethwisch D. G. Materials Science and Engineering: An Introduction. — Wiley, 2022.
3. Cullity, B. D., Graham, C. D. Introduction to Magnetic Materials. — Wiley-IEEE Press, 2011.
4. Kittel, C. Introduction to Solid State Physics. — Wiley, 2018.
5. Coey, J. M. D. Magnetism and Magnetic Materials. — Cambridge University Press, 2010.