

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. Солровождается полиморфным превращением Fe_γ в Fe_α

При охлаждении стали со скоростью, большей критической *(V > Vк),* превращение начинается при температуре начала мартенситного превращения ($M_н$) и заканчивается при температуре окончания мартенситного превращения ($M_к$).

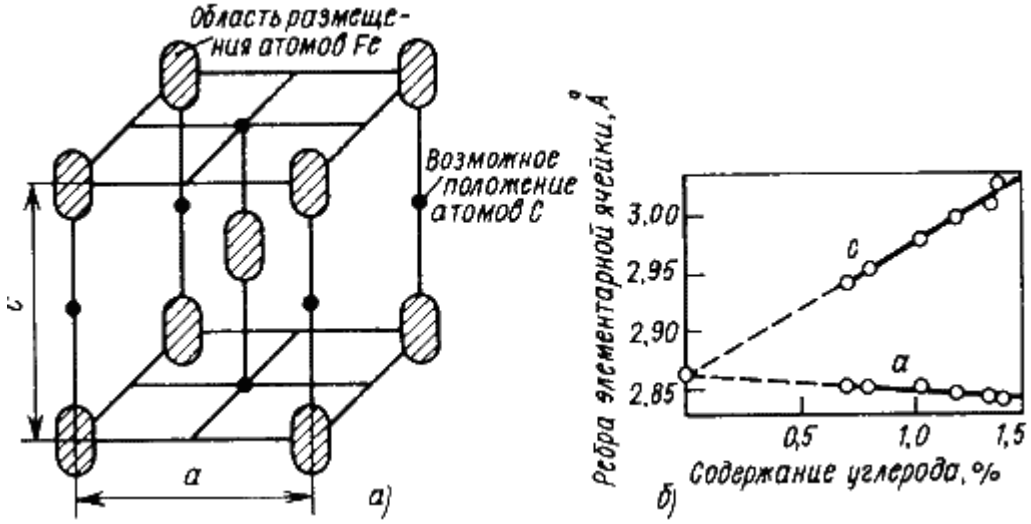
В результате такого превращения аустенита образуется продукт закалки – *мартенсит.*

Минимальная скорость охлаждения Vк, при которой весь аустенит переохлаждается до температуры Мн 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 прямопролорциональна содержанию углерода в стали



Кристаллическая решетка мартенсита (*а*);
влияние содержания углерода на параметры *а* и *с* 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. Образуясь 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*.

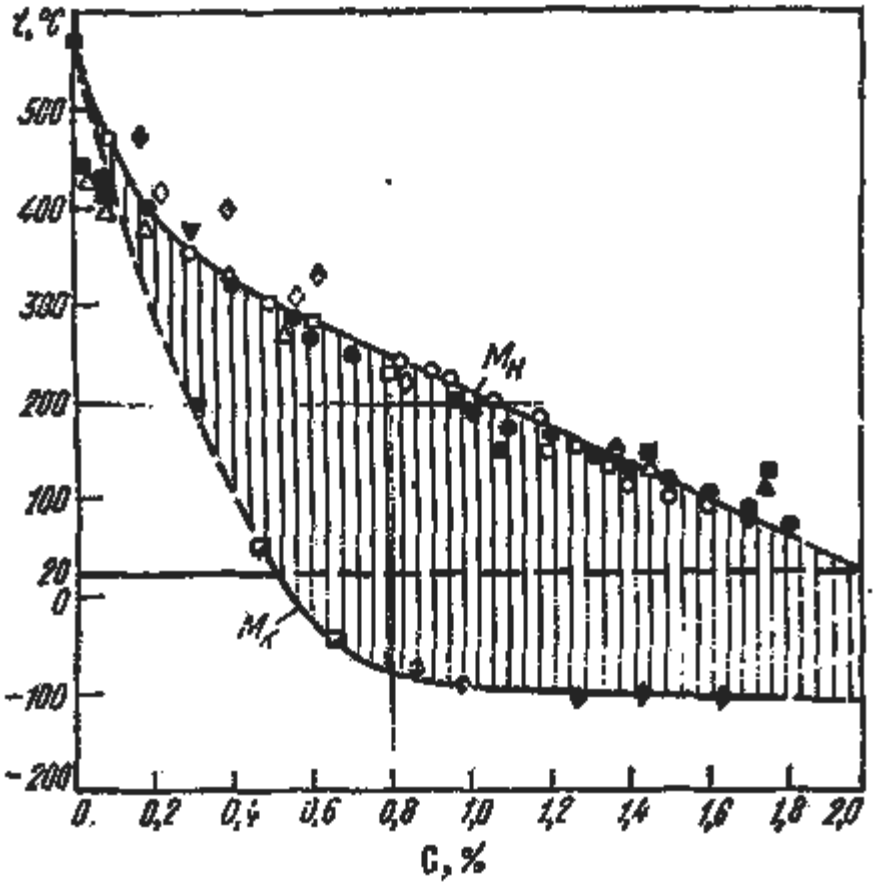
4. Мартенситное превращение происходит только при непрерывном охлаждении.

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

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

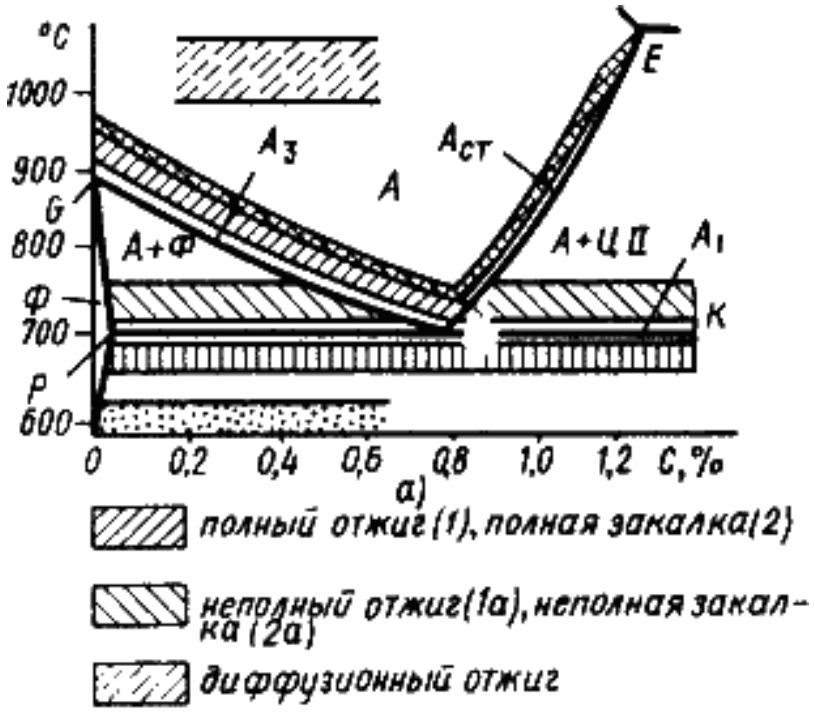
Для сталей с содержанием углерода выше *0,6 %* $M_К$ уходит в область отрицательных температур

Мартенситное превращение чувствительно к напряжениям, и деформация аустенита может вызвать превращение даже при температурах выше M_H. В сталях с M_K ниже 20^oC 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, закалки 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.

Выводы лекции:

Мартенситное превращение и его распад: Высокая скорость охлаждения фиксирует пересыщенный твёрдый раствор — мартенсит (основа высокой твёрдости при закалке), который при последующем нагреве распадается с образованием феррито-цементитных структур (отпуск).

Базовые виды термообработки: Сочетание операций отжига, нормализации, закалки и отпуска позволяет управлять фазовым составом стали в широком диапазоне — от максимальной пластичности до высокой твёрдости и прочности.

Отжиг и нормализация: Отжиг (включая отжиг I рода для снятия внутренних напряжений и выравнивания состава) обеспечивает равновесную структуру и лучшую обрабатываемость, тогда как нормализация (охлаждение на воздухе) формирует более мелкозернистую и прочную структуру.

Технологическое применение: Выбор конкретного режима предварительной или окончательной термообработки определяется маркой стали и требованиями к механическим и технологическим свойствам детали.

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.