Дата:14.10.2021 г.

Преподаватель: Тюлин С.О.

Группа: 2ТЭМ

Дисциплина: ОП.04 Материаловедение

Пара: 3-я

Тема 2.6 Основы термической обработки стали: лекционное занятие

«Сущность и назначение видов термообработки: отжиг, нормализация, закалка, отпуск. Их краткая характеристика»

Цель занятия образовательная: ознакомить студентов с сущностью и назначением видов термической обработки стали: отжигом, нормализацией, закалкой, отпуском и их краткой характеристикой

Цель занятия воспитательная: вызвать интерес у студентов к использованию на практике полученных знаний и умений; развивать у них интерес к выбранной специальности, дисциплинированность, ответственность за выполняемую работу

Цель занятия развивающая: развитие аналитического и логического мышления студентов

Сущность и назначение видов термообработки: отжиг, нормализация, закалка, отпуск. Их краткая характеристика

Основными видами термической обработки сталей являются отжиг (первого и второго рода), нормализация, закалка и отпуск.

*Отжиг* состоит в нагреве металла, выдержке и последующем медленном охлаждении вместе с печью со скоростью примерно 1500/ч. Отжиг приближает металл к равновесному состоянию и при этом он становиться пластичным и хорошо подвергается механической обработке и обработке давлением.

*Отжиг первого рода* проводят для получения более равновесной структуры, чем исходная. К нему относятся рекристаллизационный и диффузионный отжиги.

При рекристаллизационном отжиге деформационно упрочненный металл нагревают несколько выше температурного порога рекристаллизации (Трекр=0,4Тпл). В результате отжига металл приобретает такие же механические свойства, какие он имел до деформации.

Диффузионный (гомогенизирующий) отжиг проводят при нагреве до высоких температур (для сталей – значительно выше А*с3* или А*cm*), предполагающих интенсивную диффузию атомов. Такому отжигу подвергают, например, отливки для устранения дендритной ликвации (гомогенизации сплава).

При *отжиге второго рода* обязательно протекает, хотя бы частичная, фазовая перекристаллизация. К отжигу второго рода относятся неполный и полный отжиг.

При неполном отжиге нагрев ведут до температуры А*с1* (ниже А*с3* или А*сm*). Происходит частичная перекристаллизация сплава (перлит переходит в аустенит). Чаще неполный отжиг применяют для заэвтектоидных сталей (сфероидизирующий отжиг).

При полном отжиге сталь нагревают выше А*с3*или А*cm*. Происходит полная перекристаллизация сплава с образованием однородного аустенита.

*Нормализация –* это частный вид отжига, отличающийся от отжига, большей скоростью охлаждения (примерно 1500/мин), проводится на спокойном воздухе и характеризуется более мелкозернистой структурой, чем после отжига, более высокой твердостью и прочностью. Нагрев доэвтектоидных сталей под нормализацию проводится выше линии А*с3*, а заэвтектоидных – выше А*cm*.

*Закалка сталей.* Закалкой называется фиксация при комнатной температуре высокотемпературного состояния сплава. Основная цель закалки – получение высокой твердости, прочности и износостойкости. Для достижения этой цели стали нагревают до температур на 30 – 50ОС выше линии GSK (рис.1), выдерживают определенное время при этой температуре и затем быстро охлаждают. Для приобретения различной твердости сталей могут применяться различные охлаждающие среды: воздух в цеху, сжатый воздух, холодные металлические плиты, водные растворы солей, щелочей, кислот и др. Наиболее распространенными закалочными средами в промышленных условиях являются вода с температурой до 35-40°С и различные сорта масел.



Рисунок 1 – Выбор температур нагрева стали в зависимости от вида термической обработки по диаграмме состояния Fe – Fe3С

 Структурные составляющие сталей имеют различную твердость, так, например:

1. Феррит (Ф) – твердый раствор углерода в α-железе. Это самая мягкая и пластичная структурная составляющая. Он мягок (твёрдость по Бринеллю — 50÷80 НВ) и пластичен, ферромагнитен (при отсутствии углерода);
2. Аустенит (А) – твердый раствор углерода в γ-железе. Это более твердая и прочная структурная составляющая. Аустенит имеет твёрдость 150÷180 НВ, пластичен, парамагнитен;
3. Перлит (П) – представляет собой механическую смесь феррита и цементита вторичного. Благодаря наличию цементита, он более прочен и тверд, чем феррит и аустенит. Твёрдость по Бринеллю — 180÷220 НВ;
4. Цементит вторичный (Ц2) – карбид железа – химическое соединение железа и углерода, является самой твердой и хрупкой структурной составляющей. Его твердость 800÷1000 HВ.

По температуре нагрева различают полную и неполную закалку.

Полная закалка осуществляется из аустенитной области. После охлаждения с критической скоростью закалки у всех углеродистых сталей образуется структура мартенсита. Полной закалке подвергают изделия из доэвтектоидных сталей, при этом исключается образование мягких ферритных включений.

Неполная закалка – закалка из промежуточных, двухфазных областей (А + Ф), (А+ЦII). В результате охлаждения с критической скоростью в доэвтектоидных сталях образуется структура Ф + М, а в заэвтектоидных – М + ЦII. Неполной закалке подвергают инструмент из заэвтектоидной стали, поскольку наличие включений вторичного цементита увеличивает твердость закаленного инструмента, т.к. цементит по твердости превосходит мартенсит.

Процессы, происходящие в сплаве на различных стадиях закалки, можно рассмотреть на примере эвтектоидной стали. В исходном отожженном состоянии эта сталь имеет структуру перлита (эвтектоидная смесь феррита и цементита). При достижении температуры А1 (727 0С) произойдет полиморфное превращение, т.е. перестройка кристаллической решетки феррита (ОЦК) в решетку аустенита (ГЦК), вследствие чего растворимость углерода резко возрастает. В процессе выдержки весь цементит растворится в аустените, и концентрация углерода в нем достигнет содержания углерода в стали, т.е. 0,8 %.

Следующий этап – охлаждение стали из аустенитной области до комнатной температуры – является определяющим при закалке. При охлаждении стали ниже температуры А1 происходит обратное полиморфное превращение, т.е. решетка аустенита (ГЦК) перестраивается в решетку феррита (ОЦК) и при этом растворимость углерода уменьшается в 40 раз (с 0,8 до 0,02). Если охлаждение происходит медленно, то «лишний» углерод успевает выйти из решетки феррита и образовать цементит. В результате формируется структура феррито-цементитной смеси. Если же охлаждение производится быстро, то после полиморфного превращения углерод остается вследствие подавления диффузионных процессов в решетке ОЦК. Образуется пересыщенный твердый раствор углерода в α - железе, который называется мартенситом (М).

Получить структуру мартенсита (или закалить сталь) можно только в том случае, если обеспечить скорость охлаждения больше или равную критической (Vкр) (рис. 2), чтобы не успели пройти процессы распада аустенита в верхнем районе температур.

Критическая скорость закалки или минимальная скорость охлаждения (Vкр) – это скорость, при которой аустенит переходит в мартенсит. Если же скорости охлаждения будут меньше Vкр , при распаде аустенита получим феррито-цементитные смеси различной дисперсности *троостит (Т), сорбит (С) и бейнит (Б)*.



Рисунок 2 – Диаграмма изотермического распада аустенита эвтектоидной стали со схемами микроструктур и их твердостью: 1 – кривая начала диффузионного распада аустенита; 2 – кривая конца диффузионного распада аустенита; Мн – линия начала мартенситного превращения; Vкр – критическая скорость охлаждения.

*Мартенсит* (от имени американского металлурга А. Мартенса) – микроструктура закаленной стали, представляющий собой пресыщенный *твердый раствор углерода в* α-*Fe*. Мартенситной структуре соответствует наиболее высокая твердость стали. Эта структура, на которую чаще закаливаются стали с использованием в качестве охладителя воды и машинного масла.

*Бейнит* (от имени американского металлурга Э. Бейна) – структура стали, образующаяся в результате т.н. промежуточного превращения аустенита. Бейнит состоит из *смеси частиц пересыщенного углеродом феррита и карбида железа*. В сталях с бейнитной структурой обычно имеется остаточный аустенит.

*Сорбит* (от имени англ. ученого Г.К. Сорби) – структурная составляющая стали, представляющая собой *смесь феррита и цементита*, образующаяся из аустенита в результате превращения при охлаждении. Отличается от перлита более тонкой (дисперсной) структурой, что обеспечивает более высокую прочность стали.

*Троостит* (от имени фр. ученого Л.Ж. Труста) – структурная составляющая стали, представляющая собой дисперсную *смесь феррита и цементита*, отличается от перлита и сорбита более тонкой (дисперсной) структурой. Образуется при распаде аустенита в температурном интервале 500-400оС (троостит закалки) или при отпуске закаленной стали при температурных режимах 350-400оС (троостит отпуска). Стали со структурой троостита обладают повышенной твердостью и прочностью, умеренной пластичностью и вязкостью.

Свойства сорбита и троостита занимают промежуточное положение между свойствами перлита (П) и мартенсита (М).

*Отпуск сталей.* К важнейшим механическим свойствам сталей наряду с твердостью относится и пластичность, которая после закалки очень мала. Структура резко- неравновесная, возникают большие закалочные напряжения. Чтобы снять закалочные напряжения и получить оптимальное сочетание свойств для различных групп деталей, обычно после закалки проводят отпуск стали. Отпуском стали является термообработка, состоящая из нагрева закаленной стали до температуры ниже линии PSK (критическая точка А1), выдержки при этой температуре и дальнейшего произвольного охлаждения. Этот процесс связан с изменением строения и свойств закаленной стали. При отпуске происходит распад мартенсита, переход к более устойчивому состоянию. При этом повышается пластичность, вязкость, снижается твердость и уменьшаются остаточные напряжения в стали. Механизм протекающих превращений при отпуске сталей – диффузионный, он определяется температурой и продолжительностью нагрева.

Первое превращение, протекающее в интервале 80 – 200ОС, соответствует выделению из мартенсита тонких пластин карбида. Выделение углерода из решетки приводит к уменьшению степени ее тетрагональности. Полученный при этом мартенсит, имеющий степень тетрагональности, близкую к 1, называется отпущенным.

При нагреве закаленной стали выше 300ОС происходит полное выделение углерода из раствора и снятие внутренних напряжений. Сталь состоит из мелкодисперсной смеси феррита и цементита (троостит отпуска).

При нагреве до температуры выше 480ОС идет процесс коагуляции (укрупнения) карбидных частиц и максимальное снятие остаточных напряжений. Формируется структура сорбита отпуска.

В зависимости от температуры нагрева различают низкий, средний и высокий отпуск.

*Низкий отпуск* проводят в интервале температур 80 – 250ОС для инструментов - изделий, которым необходимы высокая твердость и износостойкость. Получаемая структура МОТП или МОТП + ЦII (мартенсит отпуска + цементит вторичный).

*Средний отпуск* (350 – 500ОС) применяется для рессор, пружин, штампов и другого ударного инструмента, т.е. для тех изделий, где требуется достаточная твердость и высокая упругость. Получаемая структура – ТОТП (троостит отпуска).

*Высокий отпуск* (500 – 650ОС) полностью устраняет внутренние напряжения. Достигается наилучший комплекс механических свойств: повышенная прочность, вязкость и пластичность. Применяется для изделий из конструкционных сталей, подверженных воздействию высоких напряжений. Структура – СОТП (сорбит отпуска).

Термообработку, заключающуюся в закалке на мартенсит и последующем высоком отпуске, называют *улучшением*.

Домашнее задание:

Вопросы для самопроверки (законспектировать в срок - 16.10.21 до 18.00 и выслать мне на проверку по адресу: [sergtyulin@mail.ru](https://e.mail.ru/addressbook/view/u-p2RucLdR).

1. В чём заключается сущность и назначение отжига?

2. Что такое нормализация стали?

3.Какая основная цель закалки и её сущность?

4.Используя диаграмму «железо-углерод» обоснуйте почему для доэвтектоидных сталей необходимо проводить закалку с нагревом выше линии GS, а не ниже её?

5.Используя диаграмму «железо-углерод» обоснуйте почему для заэвтектоидных сталей необходимо проводить закалку с нагревом выше линии SK, а не выше линии SЕ?

6. Какие охлаждающие среды применяются при проведении закалки?

7. На какие структуры могут закаливаться стали?

8. В чём заключается сущность и для чего применяется низкий отпуск?

9. В чём заключается сущность и для чего применяется средний отпуск?

10. В чём заключается сущность и для чего применяется высокий отпуск?