

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

3.1. Критические точки в стали

Температуры, при которых происходят фазовые и структурные превращения в сплавах, называются критическими точками. Критические точки в сплавах системы Fe-Fe₃C имеют условные обозначения. Все критические точки обозначаются буквой А. Основные критические точки следующие. На линии PSK лежит первая критическая точка А₁ (727°), соответствующая превращению П → А при нагревании, или А → П при охлаждении; на линии GS лежат критические точки А₃, обозначающие начало выделения феррита из аустенита при охлаждении или конец растворения феррита в аустените при нагревании. На линии ES лежат критические точки А_{сm} (читать А_{цм}). В точке А_{сm} при охлаждении стали из аустенита начинают выделяться кристаллы Цп, а при нагревании в этой точке Цп до конца растворится в аустените.

3.2. Превращения в стали при нагреве

Теорию термообработки стали принято разбирать на эвтектоидной стали, т.к. эта сталь имеет только одну критическую точку (А₁). В равновесном состоянии (при комнатной температуре) эта сталь имеет структуру перлита. В точке А₁ при нагреве происходит переход перлита в аустенит по реакции: П (Ф+Ц) → А, т.е. Fe α + Fe₃C → Fe γ (С).

Прохождение этой реакции складывается из 3-х процессов:

- 1) Аллотропическое изменение кристаллической решетки железа Fe α → Fe γ.
- 2) Растворение цементита в Fe γ с получением аустенита.
- 3) Гомогенизация аустенита (выравнивание концентрации электронов по объему), т.к. в первый момент получается неоднородный раствор.

Там, где были включения цементита, концентрация углерода в аустените будет повышенная, а где были пластины феррита – пониженная. Для выравнивания химического состава обычно при температуре нагрева проводится выдержка.

Превращение перлита в аустенит является кристаллизационным процессом и имеет закономерности этого процесса. Вначале на границах ферритных и цементитных включений возникают центры перекристаллизации – мелкие кристаллики аустенита. Затем эти центры растут за счет перехода атомов от феррито-цементитной структуры к новой кристаллической решетке (Fe γ (С)). В первую очередь в аустенит переходит феррит, а цементитные включения растворяются не сразу. Выдержка при температуре нагрева приводит к окончательному растворению цементита и гомогенизации аустенита.

3.3. Измельчение и рост аустенитного зерна при нагреве

В тот момент, когда полностью завершится переход перлита в аустенит при нагреве выше точки А₁, зерно аустенита получается мелким. Такое зерно называется начальным. Причина сильного измельчения зерна заключается в том, что при переходе перлита в аустенит возникает большое количество центров перекристаллизации.

Известно, что зародыши новой фазы легче всего возникают в участках с неравновесным состоянием атомов, чаще всего на границах зерен, дислокациях и других дефектных местах в структуре.

В перлитной структуре кроме границ зерен между отдельными колониями перлита имеет место межфазовая граница феррит-цементит внутри зерен перлита. Эти границы имеют тем большую протяженность, чем мельче феррито-цементитная смесь. Центры аустенитных кристаллов образуются и на межзеренных границах, и внутри зерен на границах феррит-цементит, поэтому центров получается во много раз больше, чем при обратной перекристаллизации аустенита в перлит. Таким образом, при перлито-аустенитном превращении происходит сильное измельчение зерна. На этом явлении основываются все виды термообработки, предназначенные для измельчения зерна в стальных изделиях. Размер зерна аустенита оказывает большое влияние как на механические, так и технологические свойства стали.

Стали разного химического состава имеют различную склонность к росту аустенитного зерна при нагреве. Если в структуре стали есть устойчивые частицы, препятствующие росту зерна при нагреве, такие стали называются природно- или наследственно-мелкозернистыми. В отличие от них обычные стали, у которых зерно начинает расти при перегреве сразу, называется наследственно- (природно-) – крупнозернистыми.

Для получения наследственной мелкозернистости в сталь при раскислении добавляют алюминий, который образует оксиды и нитриды, очень устойчивые при нагреве.

Легированные стали сильными карбидообразующими элементами (Ti, Cr, V, Mo, W) также приводит к наследственной мелкозернистости. Самая высокая температура, до которой карбиды не растворяются, составляет 1050-1100⁰С. При более высоких температурах, когда частицы, сдерживавшие рост зерен, растворяются, у наследственно мелкозернистых сталей начинается укрупнение структуры. За наследственное зерно аустенита условно принимается размер, который получается после выдержки при температуре 930⁰С, 3 часа.

Свойства изделий зависят от действительного, а не наследственного зерна аустенита. Но стали с мелким наследственным зерном более технологичны, т.к. допускают при горячей обработке (обработка давлением, термообработка) нагрев до более высоких температур, что более технологично и производительнее.

Величину зерна определяют баллами. Между номером зерна (баллом) «N» и количеством зерен «n», помещающихся на 1 мм² шлифа, существует следующая зависимость $n = 2^{N+3}$. Стали с зерном N 1-5 относят к группе крупнозернистых, а с зерном 6-15 к мелкозернистым.

3.4. Превращения в стали при охлаждении.

Вначале, как всегда, рассмотрим превращения в эвтектоидной стали. Выше точки Ас₁ эта сталь имеет структуру аустенита. При медленном охлаждении в аустените происходит превращение, описываемое реакцией: $Fe \gamma(C) \rightarrow Fe \alpha + Fe_3C$, т.е. аустенит превращается в феррито-цементитную смесь. Сущность этого превращения заключается в следующем. Ниже 727⁰С (А₁) должно произойти аллотропическое изменение кристаллической решетки железа: $Fe \gamma \rightarrow Fe \alpha$. Это приводит к скачкообразному падению растворимости углерода в железе. Следовательно, углерод должен выделиться из раствора, и он выделяется в виде цементита. Таким образом,

превращение аустенита в перлит состоит из двух процессов, которые зависят друг от друга: 1) $Fe\gamma \rightarrow Fe\alpha$, 2) Диффузионное выделение углерода из решетки железа в виде Fe_3C . Обычно перлит, полученный при охлаждении непосредственно из аустенита, имеет пластинчатую структуру. Растет перлит в виде колоний из отдельных центров. Зародышем перлитной колонии чаще всего является цементит, зарождение которого облегчено на границе аустенитных зерен. К растущей пластинке цементита из соседних областей подходят атомы углерода, и обедненные углеродом области железа испытывают аллотропическое превращение, превращаясь в феррит. Обычно перлит растет колониями от границ аустенитного зерна. Эти колонии при разрушении стали ведут себя как самостоятельные зерна. Размер фасеток в изломе в среднем равен размеру перлитных колоний. С уменьшением размера перлитных колоний, называемых также эвтектонидными зернами, ударная вязкость стали растет. Перлитные колонии зарождаются на границах аустенитных зерен. Поэтому с уменьшением аустенитного зерна сокращается и размер перлитных колоний.

При ускоренном охлаждении аустенит имеет свойство переохлаждаться до температур, значительно ниже точки A_1 , в результате из переохлажденного аустенита получаются неравновесные структуры, более твердые и прочные.

Кинетику превращения переохлажденного аустенита изображают на диаграмме изотермического превращения аустенита, которую строят экспериментально для каждой марки стали.

Межпластиночное расстояние – очень важная характеристика. С увеличением степени дисперсности феррито-цементитной структуры твердость, пределы прочности, текучести и выносливости возрастают, а относительное удлинение, относительное сужение, и вязкость снижаются. Твердость перлитных структур указана на диаграмме. Резких границ между перлитом, сорбитом и троститом нет, это условная классификация феррито-цементитных смесей по дисперсности, удобная в практике термообработки.

3.5. Мартенситное превращение

Если аустенит очень быстро охладить до низких температур, где диффузия не идет, то наступает мартенситное превращение, когда перестраивается кристаллическая решетка железа бездиффузионным путем, а перераспределение углерода не происходит, т.е. углерод не выделяется из решетки α - железа: $A \rightarrow M$, т.е. $Fe\gamma(C) \rightarrow Fe\alpha(C)$

Таким образом, из аустенита получается пересыщенный раствор углерода в α -Fe, называемый мартенситом. Углерода в мартенсите столько же, что и в исходно аустените. Кроме углерода, аустенит и соответственно мартенсит может содержать легирующие элементы.

Атомы углерода занимают поры в решетке α -Fe и сильно искажают ее (см. рис. 1.10): один параметр у кубической решетки увеличивается (высота «с»), а размеры ее основания уменьшаются. Такое искажение объясняется тем, что пора имеет размеры значительно меньше, чем диаметр атома углерода (диаметр атома углерода в свободном состоянии равен $1,54^0A$, а диаметр свободного места в о.ц.к. решетке железа, так называемой поры, равен $0,62^0A$). Такая вытянутая решетка называется тетрагональной, а отношение c/a – степенью тетрагональности. Чем больше в мартенсите углерода, тем больше отношение c/a .

Перестройка решетки железа происходит путем сдвига рядов атомов по определенным кристаллографическим направлениям. Каждый атом сдвигается при этом на расстояние, меньшее межатомного. Кристаллы мартенсита имеют вид тонких пластин, они в процессе превращения сопряжены с аустенитом по определенным кристаллографическим плоскостям, и межфазная граница не образуется (когерентная связь). Под микроскопом эти тонкие пластины имеют вид иголок.

Мартенсит имеет больший удельный объем, чем аустенит, вследствие этого в процессе превращения в структуре стали возрастают упругие напряжения. Когда эти напряжения достигнут критической величины, сопряженность решеток мартенсита и аустенита нарушается, рост кристалла мартенсита прекращается. Мартенситные пластины растут с огромной скоростью (~ 100 м/с). Величина первой пластины определяется размером аустенитного зерна, т.к. при переходе границы нарушается сопряженность кристаллических решеток. Дальнейшее превращение протекает путем зарождения новых кристаллов мартенсита в оставшемся аустените по определенным кристаллографическим направлениям.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое критические точки, укажите их на диаграмме Fe_γ от Fe_α ?
2. Что такое аустенитное зерно и какие факторы влияют на изменение его размеров?
3. Какие процессы происходят в стали при охлаждении и как изменяются свойства перлита?
4. Что такое мартенсит, каковы его свойства, в чем сущность мартенситного превращения?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Дегтярев, М.Г. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов* / М.Г. Дегтярев. – М.: Колос, 2007 г. – с.317.
2. *Материаловедение и технология металлов* / под ред. Г.П. Фетисова. – М.: Высшая школа, 2000 г. – с. 403.
3. Оськин, В.А. «*Материаловедение. Технология Конструкционных Материалов*» / В.А. Оськин, В.В. Евсиков. – М.: КолосС, 2007 г. – с. 394.
4. *Технология конструкционных материалов: учебное пособие* / А.А. Аникин, [и др.]. – Саратов: СГАУ, 2007 г. – с. 218.

Дополнительная

1. Гиин Э.Ч. *Технология литейного производства* / Э.Ч. Гиин, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин. – М.: Академия, 2005 г. – с. 267.
2. *Технология конструкционных материалов : методические указания к лабораторным работам* / А.А. Аникин, [и др.] Саратов. СГАУ. 2006 г. – с. 25.
3. *Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения* / под ред. М.М. Федорченко. – М.: Машиностроение. 1985 г. – с. 264.
4. *Технология металлов и материаловедение* / под. ред. Л.Ф. Усовой. – М.: Металлургия, 1987 г. – с 799.