

## 7 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Термическая (тепловая) обработка состоит в изменении структуры металлов и сплавов путем нагревания их и последующего охлаждения с различной скоростью; при этом достигаются существенные изменения свойств при том же химическом составе сплава.

Термическая обработка стали и чугуна основана на вторичной кристаллизации применительно к линиям (рис.7.1)  $GOS(A_3)$ ,  $SE(A_{сr})$  и  $PSK(A_1)$ .

При термической обработке стали происходит 4 основные превращения:  $\Pi \rightarrow A$ ;  $A \rightarrow \Pi$ ;  $A \rightarrow M$ ;  $M_{зак} \rightarrow M_{отп}$ .

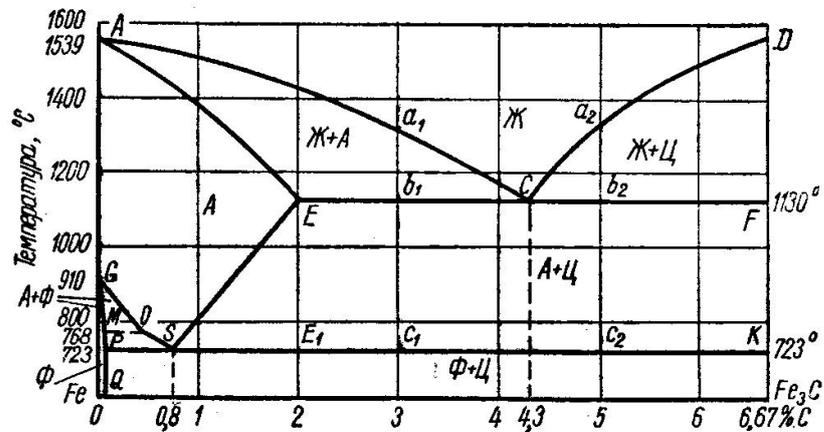


Рис.7 1. Диаграмма состояния системы Fe – Fe<sub>3</sub>C

### 7.1 Превращение стали при непрерывном нагреве ( $\Pi \rightarrow A$ )

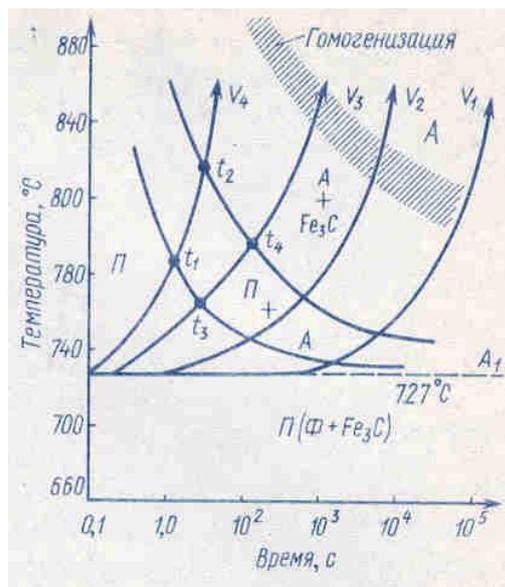


Рис.7. 2 – Диаграмма образования аустенита при непрерывном нагреве. Эвтектоидная сталь (0,8%).

На диаграмме (рис.7.2) 1-я кривая – начала превращения  $\text{П} \rightarrow \text{А}$ ; 2-я кривая – конец превращения  $\text{П} \rightarrow \text{А}$ ; Лучи – скорости нагрева  $V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4$ . Чем меньше скорость нагрева, тем выше длительность процесса.

### 7.1.1 Механизм образования аустенита из кристаллов перлита

В исходном состоянии сталь состоит из фаз феррита и цементита. При нагреве выше  $A_1$  центры кристаллизации появляются на границе  $\text{Ф} + \text{Ц}$ . Зародыши имеют малый размер. При дальнейшем нагревании или выдержке они растут. Движущей силой процесса роста является стремление системы к уменьшению термодинамического потенциала  $G$  за счет уменьшения поверхности энергии. Свойства стали после термообработки, зависят от величины образовавшегося зерна аустенита. Если зерно аустенита будет крупных размеров, то и продукты превращения аустенита после охлаждения будут крупнокристаллическими с пониженными механическими свойствами. Резко понижается сопротивление отрыву, ударная вязкость, повышается температурный порог хладноломкости стали. На рост зерна аустенита, влияет характер раскисления стали. Стали раскисленные алюминием являются наследственно мелкозернистыми, раскисленные марганцем и кремнием – крупнозернистыми. На величину зерна аустенита также оказывает влияние скорость нагрева. С повышением скорости нагрева уменьшается размер зерна, скорость зарождения центров кристаллизации (ч.ц.) аустенита возрастает быстрее, чем скорость роста кристаллов аустенита (с.р.) Наследственно мелкозернистые стали обладают лучшими технологическими свойствами.

Нагрев доэвтектоидной стали значительно выше  $A_3$  приводит к перегреву, т.е. к интенсивному росту зерна и к выделению феррита при охлаждении стали в виде пластинчатых и игольчатых кристаллов (видманштеттовая структура). Пережог (окисление границ зерна) имеет место, когда температура нагрева приближается к температуре солидус.

## 7.2 Превращение аустенита в перлит при охлаждении стали ( $\text{А} \rightarrow \text{П}$ )

При медленном охлаждении эвтектоидной стали по линии PSK (в точке  $A_{r1}$ ) произойдет полный распад аустенита с образованием перлита. Распад состоит из следующих этапов:

- 1) превращение  $\gamma$ -железа в  $\alpha$ -железо, т.е. перегруппировка атомов из решетки гранецентрированного куба  $\gamma$ -железа в решетку центрированного куба  $\alpha$ -железа с одновременным смещением атомов углерода, находящихся в твердом растворе  $\gamma$ -железа;

2) выделение из твердого раствора (аустенита) мельчайших частиц цементита ( $Fe_3C$ );

3) укрупнение частиц цементита в пластинки, размеры которых измеряются от малых долей микрона до нескольких микрон, и более или менее полный распад аустенита.

При ускорении охлаждения до 50 град/сек распад аустенита не успевает закончиться, размеры пластинок цементита достигают лишь десятых долей микрона и различимы только при очень больших увеличениях. Такая структура называется *сорбитом* (в честь Г.В. Сорби – английского естествоиспытателя).

При ускорении охлаждения до 100 град/сек полностью успевает завершиться лишь второй этап распада аустенита, а третий этап останавливается в самом начале. В результате размеры пластинок цементита измеряются сотысячными и миллионными долями миллиметра. Такая структура носит название *троостита* (по имени Л. Трооста – французского химика). Наличие тончайших пластинок цементита можно обнаружить с помощью электронного микроскопа.

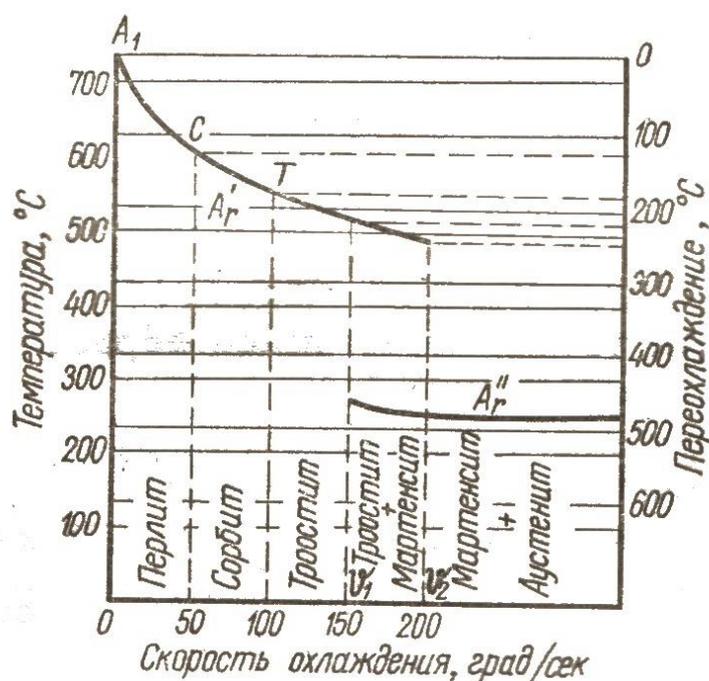


Рис.7.3 - Зависимость положения критических точек эвтектоидной стали от скорости охлаждения.

При скорости охлаждения 150-200 град/сек успевает завершиться лишь перегруппировка атомов железа, поэтому углерод остается в виде твердого раствора в  $\alpha$ -железе. Эта структура называется *мартенситом* (в честь А. Мартенса – немецкого металловеда).

Подводя итог сказанному, заметим, что перлит, сорбит и троостит по структуре представляют собой двухфазную смесь (феррита и цементита) и

отличаются друг от друга дисперсностью цементита; мартенсит же однофазен, это твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе.

Структура перлита, получающаяся при медленном охлаждении сплавов, называется *равновесной*, как и другие структуры. Структуры сорбита, троостита и мартенсита, получающиеся при ускоренных охлаждениях, называются *неравновесными*.

### 7.3 Изотермический распад аустенита

Наблюдениями установлено, что и скорость, и характер распада аустенита зависят от степени его переохлаждения.

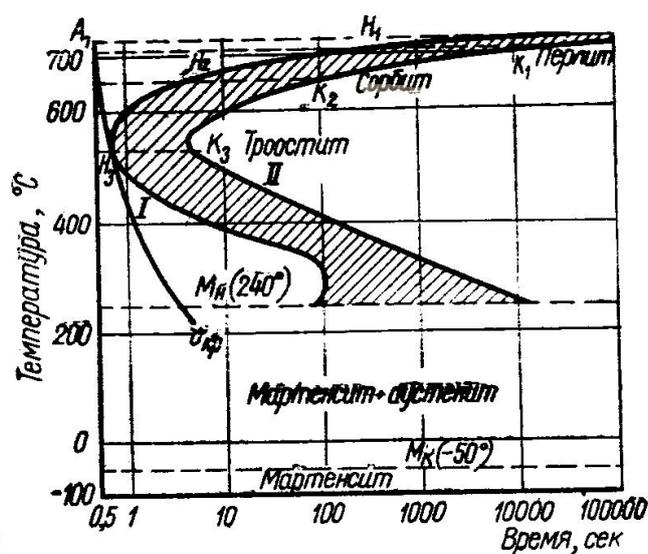


Рис.7. 4 - Диаграмма изотермического распада аустенита эвтектоидной стали.

На рис.7.4 приведена диаграмма изотермического распада аустенита эвтектоидной углеродистой стали. Диаграмма построена в координатах “Температура – логарифм времени” (время откладывается на абсциссе по логарифмической шкале), что дает возможность проследить за временем превращения от долей секунды до суток и более.

Предположим для простоты, что за время 0,5 сек удастся охладить образец из состояния аустенита до любой температуры: от точки  $A_{г1}$  до  $0^{\circ}$  и ниже. Охлаждая образец до  $700^{\circ}$  и выдерживая его при этой температуре, заметим, что в течение времени до точки  $N_1$  в аустените никаких превращений не происходит. Со времени, соответствующего точке  $N_1$ , начинается распад аустенита. Период времени до точки  $N_1$  называется *инкубационным* периодом. Распад аустенита заканчивается полностью ко времени точки  $K_1$ , когда аустенит перешел в перлит. Скорость дальнейшего охлаждения не влияет на структуру образца, поэтому за точкой  $K_1$  линия обрывается.

Наблюдая за образцом, охлажденным из состояния аустенита до температуры  $650^{\circ}$  и нанося на диаграмму точки начала  $H_2$  и конца  $K_2$  распада аустенита, заметим, что как инкубационный период, так и период распада аустенита уменьшились, а в результате распада получился сорбит.

Для образца, охлажденного до температуры около  $500^{\circ}$ , получим на диаграмме соответственно точки  $H_3$  и  $K_3$  распада аустенита, а структура стали будет представлять троостит. При увеличении количества подобных опытов определится ряд точек начала и окончания превращения аустенита. Соединяя эти точки, получим две кривые превращения аустенита; кривую *I* – начала превращения при разных температурах и кривую *II* – конца превращения при тех же температурах.

При охлаждении образцов со скоростью выше критической при температуре  $240^{\circ}$  (линия  $M_H$ ) начинается превращение аустенита в мартенсит; превращение всего аустенита в мартенсит происходит только при дальнейшем понижении температуры, и окончание этого превращения для эвтектоидной углеродистой стали наступит лишь при температуре  $-50^{\circ}$ .

Рассмотрев диаграмму (рис.7.4), отметим, что верхняя часть диаграммы характеризует изотермическое распадение аустенита в смесь феррита и цементита. Левее кривой *I* находится поле, отвечающее переохлажденному аустениту, область между кривыми *I* и *II* определяет время распада переохлажденного аустенита, правее кривой *II* находится поле продуктов распада аустенита: перлита, сорбита и троостита. Инкубационный период распада аустенита изменяется в зависимости от степени переохлаждения последнего: сначала уменьшается до некоторой критической величины, а затем вновь увеличивается. Этот период для каждой температуры определяется абсциссой кривой *I* – начала распада аустенита. Кривая *II* показывает, что длительность превращения также зависит от температуры переохлаждения. Прямая  $M_n$  является границей между верхней и нижней частями диаграммы. Эта прямая характеризует начало мартенситного превращения аустенита и соответствует прямому участку кривой  $A''r$  (см. рис. 7.3).

Нижняя часть диаграммы показывает, что для перевода всего остаточного аустенита в мартенсит необходимо понижать температуру стали до линии  $M_k$  (конец мартенситного превращения). Кривые изотермического распадения аустенита имеют форму буквы *C* и называют *C*-образными кривыми.

Для доэвтектоидной и заэвтектоидной сталей *C*-образные кривые смещены влево по сравнению с кривыми эвтектоидной стали; прямые  $M_n$  и  $M_k$  для первой расположены выше, а для второй – ниже, чем для эвтектоидной стали.

#### **7.4 Превращение аустенита при непрерывном охлаждении**

Термическую обработку стали обычно осуществляет не изотермическим процессом (при постоянной температуре), а непрерывным охлаждением после нагрева с получением аустенита.

На рисунке рассматривается диаграмма изотермического превращения переохладения аустенита эвтектоидной углеродистой стали

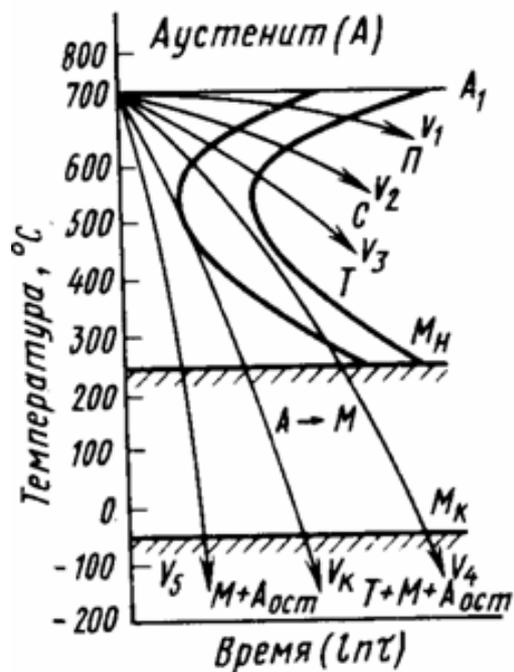


Рис.7.5 – Диаграмма распада аустенита при непрерывном охлаждении  
П – перлит; С- сорбит; Т – троостит; М – мартенсит.

При очень большой скорости охлаждения (кривая V<sub>5</sub>) превращение А в ферритно-цементитную смесь не происходит; весь А переохлаждается до температуры точки M<sub>н</sub> и превращается в мартенсит. Кривая охлаждения V<sub>к</sub> (касательная к выступу изотермической кривой) характеризует минимальную скорость охлаждения, при котором образуется мартенсит без продуктов распада (перлитного), и называется критической скоростью закалки.

