

№ 2406

Металловедение

Микроструктуры промышленных сталей
и сплавов

Лабораторный практикум

№ 2406

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

“НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ “МИСиС”

Кафедра металловедения цветных металлов

Металловедение

Микроструктуры промышленных сталей
и сплавов

Лабораторный практикум

Допущено учебно-методическим объединением
по образованию в области металлургии в качестве учебного
пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 150400 – Металлургия



Москва 2015

УДК 669.017:620.18
М54

Рецензент
канд. техн. наук, проф. *В.К. Нарва*

Авторы: И.И. Новиков, В.К. Портной, А.В. Михайловская,
А.В. Поздняков, О.А. Яковцева

Металловедение : микроструктуры промышленных сталей и
М54 сплавов : лаб. практикум / И.И. Новиков [и др.]. – М. : Изд. Дом
МИСиС, 2015. – 108 с.
ISBN 978-5-87623-772-9

Представлены лабораторные работы по анализу микроструктур термически обработанных углеродистых и легированных сталей, алюминиевых, магниевых, титановых, оловянных, свинцовых, цинковых и никелевых сплавов.

Содержание практикума соответствует программе дисциплин «Материаловедение», «Современные проблемы металлургии и материаловедения».

Для студентов бакалавриата и магистратуры, обучающихся по направлению 150400 «Металлургия».

УДК 669.017:620.18

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1. Микроструктуры термически обработанных углеродистых сталей	4
Лабораторная работа 2. Микроструктуры легированных сталей.....	14
Лабораторная работа 3. Микроструктуры магниевых сплавов	21
Лабораторная работа 4. Микроструктуры титановых сплавов	27
Лабораторная работа 5. Микроструктуры оловянных, свинцовых и цинковых сплавов	42
Лабораторная работа 6. Микроструктуры алюминиевых сплавов.....	52
Лабораторная работа 7. Микроструктуры медных сплавов	78
Лабораторная работа 8. Микроструктуры никелевых сплавов	96

Лабораторная работа 1

МИКРОСТРУКТУРЫ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

(2 часа)

1.1. Цель работы

Цель работы – получение навыков проведения металлографического анализа углеродистых сталей после отжига, нормализации, закали, отпуска и цементации.

1.2. Теоретическое введение

Научные основы термической обработки были заложены великим русским металлургом Д.К. Черновым, открывшим в 1868 г. критические точки структурных превращений в стали. Режимы термической обработки стали связаны с критическими точками. Температуру, соответствующую линии PK на диаграмме состояния Fe–C (рис. 1.1), обозначают как температуру критической точки A_1 . Температуры, соответствующие линии GS , обозначают критическими точками A_3 , а линию SE – точками A_{cm} .

Из-за теплового гистерезиса при нагревании стали указанные превращения происходят при температурах выше точек A_1 , A_3 и A_{cm} , а при охлаждении – ниже этих точек. Температуру превращения при нагревании обозначают A_{c3} , а при охлаждении – A_{r3} .

Структура термически обработанной стали данного состава определяется тремя основными факторами – температурой нагрева, временем выдержки при этой температуре и скоростью охлаждения. Ниже, на примере эвтектоидной, доэвтектоидной и заэвтектоидной сталей, рассматриваются структуры, которые получаются при отжиге, закалке, отпуске и химико-термической обработке.

Отжиг и нормализация

Доэвтектоидные стали

Если нагреть сталь до такой температуры, при которой она находится в аустенитном состоянии, и выдержать при этой температуре

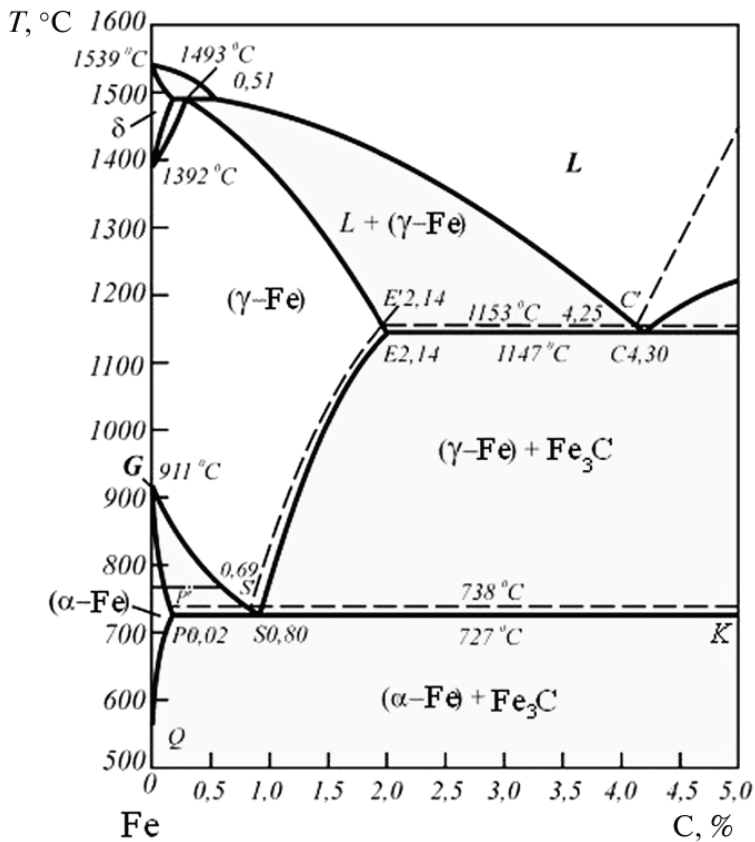


Рис. 1.1. Фазовая диаграмма системы Fe–C

до полной аустенитизации, а затем охладить её с не слишком большой скоростью, то происходит фазовое превращение с образованием из аустенита феррито-цементитной смеси.

Эвтектоидная смесь феррита с цементитом растет в виде колоний из отдельных центров в аустенитных зернах ($\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$). Чем больше скорость охлаждения стали, тем сильнее переохлаждается аустенит ниже 727 °C и более тонкое внутреннее строение имеют колонии эвтектоидной смеси. В зависимости от дисперсности пластинчатой феррито-цементитной смеси различают перлит, сорбит, троостит. Среднее межпластиночное расстояние в этих структурных составляющих соответственно равно приблизительно 0,5...1, 0,2...0,4 и 0,1 мкм.

Твердость перлита – наименьшая, троостита – наибольшая. Перлит образуется при небольших степенях переохлаждения аустенита – при температурах от A_1 до ~ 650 °С (охлаждение с печью со скоростью несколько градусов в минуту), и двухфазное строение его колоний выявляется при малых и средних увеличениях светового микроскопа. Сорбит образуется при несколько больших степенях переохлаждения аустенита – в интервале температур примерно 650...600 °С (охлаждение на воздухе со скоростью несколько десятков градусов в минуту). Поэтому он более дисперсен и микростроение его колоний выявляется только при больших увеличениях микроскопа. Троостит образуется при еще больших степенях переохлаждения аустенита – в интервале температур 600...550 °С (охлаждение в масле со скоростью несколько десятков градусов в секунду). Колонии троостита растут в виде сферолитов, а их внутреннее строение не выявляется даже при самых больших увеличениях светового микроскопа (разрешаемое расстояние светового микроскопа – 0,2 мкм). Электронно-микроскопическое изучение троостита показывает, что он отличается от перлита и сорбита только меньшей толщиной пластинок цементита. Благодаря большой дисперсности, троостит сильно растравливается при выявлении структуры, и в световой микроскоп виден сплошной темный фон шлифа.

При полном отжиге доэвтектоидную сталь нагревают до температуры выше точки A_{c3} на 20...40 °С (рис. 1.2, а), выдерживают и медленно, обычно вместе с печью, охлаждают. При полном отжиге доэвтектоидной стали из аустенита сначала выделяется весь избыточный феррит ($\gamma \rightarrow \alpha$) и затем образуется эвтектоид – перлит ($\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$) (рис. 1.3). При нормализации доэвтектоидную сталь нагревают до температуры выше точки A_{c3} на 30...50 °С), выдерживают и охлаждают на воздухе (рис. 1.2, б). При этом в структуре стали появляется сорбит. Увеличение скорости охлаждения доэвтектоидной стали с температуры выше A_{c3} приводит не только к увеличению дисперсности эвтектоида, но и к измельчению избыточных выделений феррита. При нормализации избыточный феррит не успевает полностью структурно обособиться. Не успевший выделиться в виде самостоятельной структурной составляющей избыточный феррит входит в эвтектоид. Такой эвтектоид с повышенным количеством феррита содержит меньше 0,8 % С, и поэтому он был назван А.А. Бочваром квазиэвтектоидом. В зависимости от степени дисперсности, квазиэвтектоид в доэвтектоидной стали так же, как и эвтектоид в чисто эвтектоидной стали, называют сорбитом или трооститом.

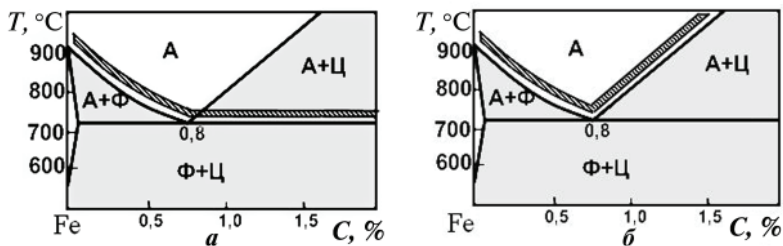


Рис. 1.2. Температура нагрева углеродистых сталей для отжига (а) и нормализации (б)

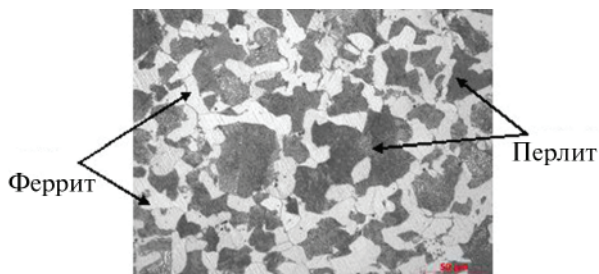


Рис. 1.3. Микроструктура стали 45 в отожженном состоянии

Чем больше скорость охлаждения, тем меньше успевают выделиться из аустенита структурно-свободного избыточного феррита. При достаточно быстром охлаждении выделение структурно-свободного избыточного феррита может быть полностью подавлено, и вся масса доэвтектоидной стали в этом случае имеет квазиэвтектоидную структуру. Это лишний раз указывает на то, что содержание углерода можно оценивать по микроструктуре только для хорошо отожженных сталей, приведенных в равновесное состояние.

Кроме скорости охлаждения на структуру стали сильно влияет температура нагрева в аустенитной области. Чем выше температура нагрева, тем более крупным вырастает аустенитное зерно и тем крупнее получаются выделения избыточного феррита и колонии эвтектоида. Если при полном отжиге доэвтектоидную сталь существенно перегреть выше точки A_{c3} , то образуется характерная *видманитеттова* структура. Из крупных зерен аустенита избыточный феррит выделяется в виде ориентированных пластин. При такой структуре сталь обладает пониженной ударной вязкостью. Поэтому при полном отжиге и норма-

лизации температура нагрева стали не должна значительно превышать точку A_{c3} .

Заэвтектоидные стали

Если заэвтектоидную сталь нагреть до полной аустенитизации выше точки A_{cm} и затем медленно, с печью, охладить, то по границам аустенитных зерен выделяется вторичный цементит в виде непрерывной сетки. Грубая сетка из хрупкого цементита снижает механические свойства стали. Поэтому отжиг с нагревом выше A_{cm} не используют. Заэвтектоидную сталь отжигают при температурах выше A_1 но ниже A_{cm} , при 740...780 °С (см. рис. 1.2, а). После такого нагрева в стали остается большое количество нерастворившихся включений цементита, которые служат центрами превращения во время распада аустенита при охлаждении. В результате образуется структура *зернистого перлита* (сферодита), и такой отжиг называют *сфероидизирующим*.

Нормализацию заэвтектоидной стали производят с нагревом выше A_{cm} (см. рис. 1.2, б). При таком нагреве вторичный цементит полностью растворяется в аустените, а при последующем ускоренном охлаждении на воздухе он не успевает выделиться в виде грубой сетки. Нормализованная сталь состоит из сорбита и включений вторичного цементита.

Основные цели отжига и нормализации – смягчение стали перед обработкой резанием (при отжиге оно более полное) и устранение таких «пороков», как вытянутые в направлении горячей деформации (например, прокатки) зерна избыточного феррита и сетка вторичного цементита.

Закалка

Феррит и цементит отличаются по химическому составу от исходного аустенита. Распад аустенита с образованием феррита и цементита – диффузионный процесс, связанный с перераспределением углерода, т.е. с диффузионным перемещением атомов на значительные расстояния, намного превышающие период решетки аустенита. При охлаждении углеродистой стали с достаточно большой скоростью, например, в холодной воде (сотни градусов в секунду), аустенит настолько сильно переохлаждается ниже 727 °С, что не распадается на смесь двух стабильных фаз, так как подвижность атомов при сильном переохлаждении очень мала.

При больших переохлаждениях в условиях малой подвижности атомов происходит бездиффузионное полиморфное превращение $\gamma \rightarrow \alpha$: аустенит (раствор внедрения углерода в γ -Fe с ГЦК решеткой) превращается в *мартенсит* (раствор внедрения углерода в α -Fe с ОЦК решеткой). Такое превращение называется *мартенситным*. Растворимость углерода в α -Fe при комнатной температуре в равновесных условиях ничтожна. В мартенсите же сохраняется все то количество углерода, которое было в исходном аустените. Поэтому мартенсит является *метастабильным пересыщенным раствором углерода в α -Fe*. Избыточные атомы углерода делают оцк решетку тетрагональной. Для полной закалки доэвтектоидную углеродистую сталь необходимо нагреть выше линии *GS*, выдержать до завершения аустенитизации и охладить в воде. После такой обработки структура закаленной стали будет состоять из мартенсита и небольшого количества остаточного аустенита. В сталях, содержащих более 0,5...0,6 % C, мартенсит образуется в виде ориентированных пластин, сечение которых в плоскости шлифа выглядит как иглы, часто расположенные под углами 60 и 120° одна к другой. Чем выше температура нагрева под закалку, тем крупнее вырастает аустенитное зерно и тем крупнее образуются в нем пластины мартенсита. В правильно закаленной стали мартенсит не имеет под микроскопом типичного игольчатого строения и называется «бесструктурный».

Зависимость температуры закалки стали от ее состава выглядит также, как эта зависимость для температуры отжига (см. рис. 1.2, *a*) и должна превышать линию A_{c3} для доэвтектоидных сталей и линию A_1 для заэвтектоидных на 30...50 °С. Закалка доэвтектоидной стали с температуры выше точки A_1 , но ниже A_3 называется неполной. В этом случае при температуре закалки в стали, кроме аустенита, находится также избыточный феррит. При закалке аустенит переходит в мартенсит, а феррит остается в виде мягких светлых включений на фоне мартенсита. Неполная закалка доэвтектоидной стали – это брак термической обработки.

Заэвтектоидные стали нагревают под закалку выше точки A_1 на 35...60 °С (см. рис. 1.2, *a*). При таком нагреве до температур в интервале A_1 – A_{cm} структура стали состоит из аустенита и вторичного цементита. При охлаждении в воде аустенит превращается в мартенсит. Вторичный цементит в структуре закаленной стали полезен: он тверже мартенсита и повышает износостойкость инструмента, который изготавливают из заэвтектоидной стали. Нагрев под закалку заэвтектоид-