

АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ FE-C (FE-Fe₃C)

Боровиков. А.В.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Высшая инженерная школа (163000, Архангельск, наб. Северной Двины, 17),
e-mail: sanya.borovikov@yandex.ru

Аннотация. В данной статье анализируется диаграмма Fe - C (Fe – Fe₃C). На основе поставленной цели работы были поставлены и выполнены следующие задачи: вычерчена диаграмма и дано её описание (описание всех линий: линия ABCD – линия ликвидус, линия AHJECF – линия солидус, линия GSE – линия вторичной кристаллизации стали, линия GPSK – линия конца вторичной кристаллизации стали, линия EF – линия начала вторичной кристаллизации чугуна, линия SK – линия конца вторичной кристаллизации чугуна); указаны структурные составляющие и фазы во всех областях диаграммы; даны их определения с указанием твердости; описаны превращения и построена кривая охлаждения в интервале от 16000 до 6000 C⁰ (с применением правила фазы) для сплава с содержанием углерода C = 5,0%; выбрана для заданного сплава любая температура между линиями ликвидус и солидус и определено: содержание углерода в фазах а также количественное соотношение фаз в %; изображена микроструктура заданного сплава при комнатной температуре; по микроструктуре описаны примерные механические свойства. Все диаграммы (диаграмма состояния железо – углерод, определение состава фаз) и кривые (кривая охлаждения), изображения (первичный цементит и ледебурит) наглядно изображены на рисунках.

Ключевые слова: анализ диаграммы, Fe-C (Fe-Fe₃C), кривая охлаждения, определение состава фаз, аустенит, цементит, ледебурит, феррит, перлит.

ANALYSIS OF THE DIAGRAM FE-C (FE-Fe₃C)

Borovikov. A. V.

The Northern (Arctic) Federal University. M. V. Lomonosov, higher engineering school (163000, Arkhangelsk, Severnaya Dvina emb, 17),
e-mail: sanya.borovikov@yandex.ru

This article analyzes the Fe - C diagram (Fe – Fe₃C). Based on the objectives of the work were set and accomplished the following tasks: drawn diagram and its description (a description of all the lines: line ABCD – line liquidus line AHJECF – line solidus line GSE – line secondary solidification of the steel line GPSK – line end of the secondary solidification of the steel line EF – line of the beginning of secondary crystallization of cast iron, the line SK – line end of the secondary crystallization of iron); stated structural components and phases in all areas of the chart; given their definitions with specification of hardness; the transformations are described and the cooling curve is constructed in the range from 16000 to 6000 C⁰ (using the phase rule) for an alloy with a carbon content C = 5.0%; any temperature between the liquidus and solidus lines is selected for a given alloy and determined: the carbon content in the phases and the quantitative phase ratio in %; the microstructure of a given alloy at room temperature is depicted; the approximate mechanical properties are described by the microstructure. All diagrams (iron – carbon state diagram, phase composition determination) and curves (cooling curve), images (primary cementite and ledeburite) are clearly shown in the figures.

The key words: analysis diagrams, Fe-C (Fe-Fe₃C), the cooling curve, the determination of the composition of the phases, austenite, cementite, ledeburite, ferrite, perlite

Цель работы: проанализировать диаграмму Fe-C (Fe-Fe₃C) [1].

На основе цели работы были поставлены следующие задачи:

- 1) Вычертить диаграмму и дать её описание;
- 2) Указать структурные составляющие и фазы во всех областях диаграммы, дать их определение с указанием твердости;
- 3) Описать превращения и построить кривую охлаждения в интервале от 1600 до 600 С0 (с применением правила фазы) для сплава с содержанием углерода С= 5,0%.
- 4) Выбрать для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус и определить:
 - Содержание углерода в фазах;
 - Количественное соотношение фаз в %.
- 5) Изобразить микроструктуру заданного сплава при комнатной температуре;
- 6) По микроструктуре описать примерные механические свойства.

Ход работы:

- 1) Анализ и описание диаграммы Fe – C (Fe -Fe₃C) (рисунок 1):

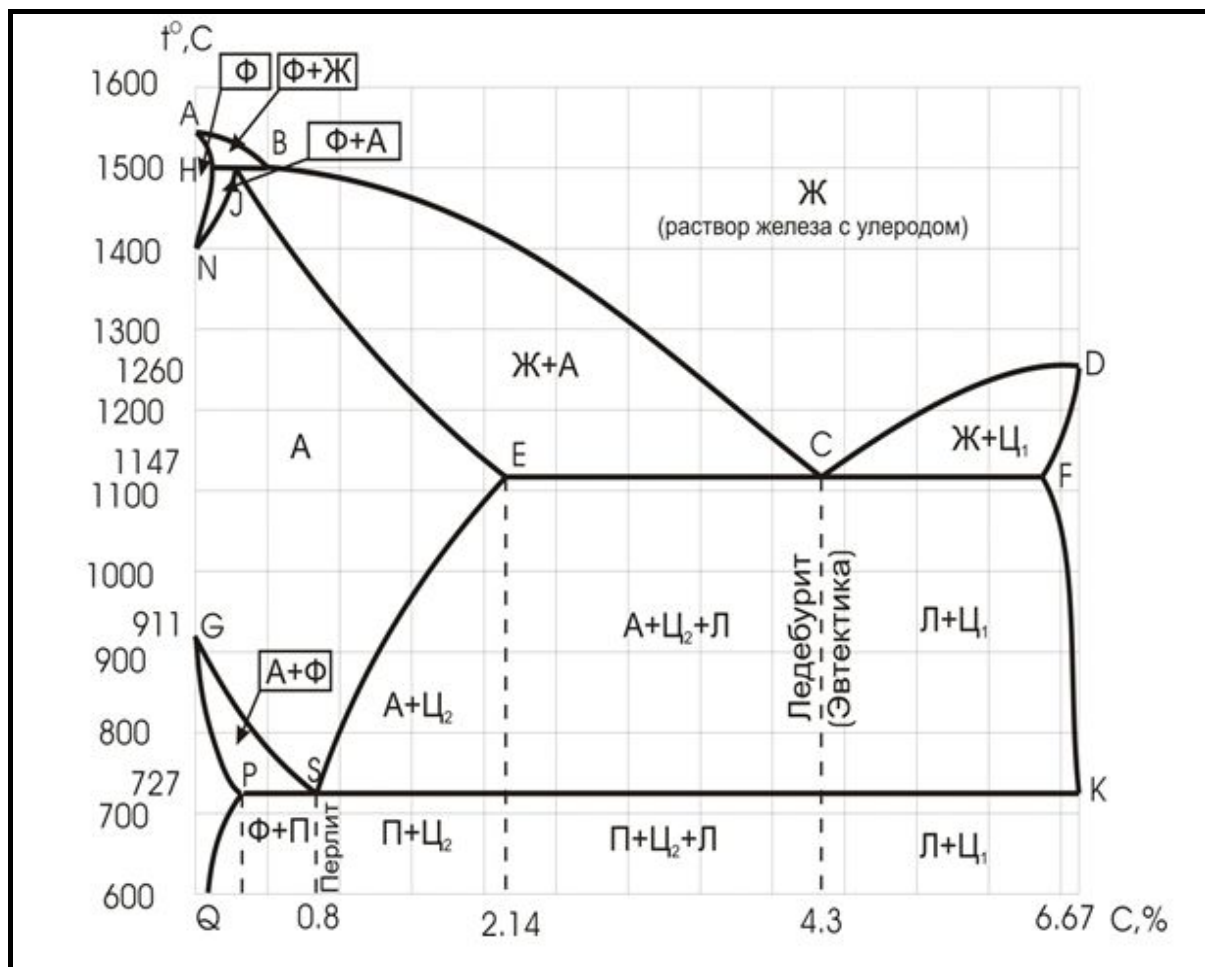


Рис.1. Диаграмма состояния железо - углерод

На диаграмме представлены следующие линии: [2].

Линия ABCD – линия ликвидус. Выше неё сплавы находятся в жидком состоянии;

Линия AHJECF – линия солидус. Ниже неё все сплавы находятся в твердом состоянии;

Линия GSE – линия вторичной кристаллизации стали;

Линия GPSK – линия конца вторичной кристаллизации стали;

Линия EF – линия начала вторичной кристаллизации чугуна;

Линия SK – линия конца вторичной кристаллизации чугуна;

Ниже линии PSK никаких изменений не происходит.

2) Определение структурных составляющих и фаз во всех областях диаграммы с указанием твердости:

- Аустенит (γ -фаза) — это высокотемпературная гранцентрированная модификация железа и его сплавов. Фаза была названа в честь Уильяма Чандлера Робертс-Остина. В углеродистых сталях аустенит представляет собой твёрдый раствор (внедрения) углерода в γ - железе ($Fe\gamma$) с мягкой (HB 30-40), пластичной структурой. В данном растворе атомы углерода входят внутрь элементарной ячейки γ – железа во время конечной термообработки. В сталях, которые содержат другие металлы кроме железа и легированных сталей, в кристаллической решётке атомы металлов замещают атомы железа и возникает твёрдый раствор замещения. Аустенит имеет кубическую гранцентрированную кристаллическую (ГЦК) решетку. Его структура представлена одной фазой в виде твёрдого раствора, который может иметь переменный состав в зависимости от температуры. Чем выше температура, тем больше, углерода растворяется в решетке γ - железа. Максимальная растворимость составляет 2,14% (при 1147°C), минимальная – 0,8% (в углеродистых сталях аустенит существует при температурах не ниже при 727°C).

В легированных сталях аустенит может существовать и при гораздо более низких температурах. Аустенитную фазу стабилизирует такой элемент как никель. Присутствие никеля в размере от восьми до десяти процентов приводит к тому, что аустенитная фаза сохраняется и при комнатной температуре [3,4].

- Цементит — это карбид железа (метастабильная фаза). Его химическая формула имеет вид Fe_3C . Он представляет собой химическое соединение железа с углеродом. Цементит содержит 6,67% углерода и обладает высокой твёрдостью HB 800. Цементит имеет орторомбическую кристаллическую решётку, он очень твёрд и хрупок, а также слабо магнитен до 210°C. Цементит может иметь различную форму (пластин, равноосных зёрен, сетки по границам зёрен и видманштеттову структуру) в зависимости от условий кристаллизации и последующей обработки. Он разлагается при температуре выше 1650°C. В

разных количествах в зависимости от концентрации цементит присутствует в железоуглеродистых сплавах уже при малых содержаниях углерода. Его формирование происходит в процессе кристаллизации из расплава чугуна. Цементит образуется при охлаждении аустенита или при нагреве мартенсита. Цементит является фазой и структурной составляющей железоуглеродистых сплавов, а также составной частью перлита, сорбита, ледебурита и троостита. Он является представителем фаз внедрения, соединения переходных металлов с лёгкими металлоидами. Цементит серый, твёрдый и термически устойчивый. Он не реагирует с щелочами, водой и гидратом аммиака. Реагирует с кислотами.

- Ледебурит - это структурная составляющая железоуглеродистых сплавов, главным образом чугунов, которые представляют собой эвтектическую смесь цементита и аустенита в интервале температур 727-1147°C или цементита и перлита в диапазоне температур ниже 727°C. Ледебурит имеет очень твёрдую и хрупкую структуру и имеет твёрдость HB 700. Он был назван в честь немецкого металлурга Карла Генриха Адольфа Ледебура. Основной фазой инициирующей зарождение ледебурита является цементит. Ледебурит присутствует в следующих железоуглеродистых сплавах: чугунах (доэвтектических чугунах, эвтектическом чугуне, в заэвтектических чугунах), сталях.

- Феррит - это фазовая составляющая сплавов железа, которая представляет собой твёрдый раствор углерода и легирующих элементов в α -железе (α -феррит). Феррит имеет мягкую и вязкую структуру, его твёрдость составляет HB 90-100. Твёрдый раствор углерода в α -железо Fe α . Феррит имеет кубическую объёмно-центрированную кристаллическую (ОЦК) решётку. Он является фазой составляющих других структур, например, перлита, состоящего из цементита и феррита. При температурах выше 1401 °C в железоуглеродистых сплавах образуется твёрдый раствор углерода в δ -железе, который можно рассматривать как высокотемпературный феррит.

- Перлит — это горная порода вулканического происхождения. Перлит представляет собой эвтектоидную смесь, состоящую из двух фаз - феррита и цементита. Структура достаточно прочная с твёрдостью HB 180-220. Образование перлита — это очень интересный процесс. На кромке потока лавы в местах первичного соприкосновения земной поверхности и магматических расплавов, в результате быстрого охлаждения лавы формируется вулканическое стекло под названием обсидиан. Уже в дальнейшем под воздействием подземных вод происходит его гидратация и в результате образуется перлит. Для него характерна мелкая концентрически-скорлуповатая отдельность, по которой он распадается на округлые ядра, которые напоминают жемчужины с характерным блеском. Среди всех остальных вулканических пород перлит отличается наличием конституционной воды (более 1%). Его пористость может быть от 8 до 40 процентов. Перлит может иметь

чёрную, красно-бурую, коричневую, зелёную, белую окраску различных тонов. Различают следующие разновидности перлита: обсидиановый, смолянокаменный, сферолитовый, стекловатый и другие. По текстурным признакам выделяют полосчатый, массивный, брекчиевидный и пемзовидный перлиты.

3) Описание превращения и построение кривой охлаждения в интервале от 16000 до 6000 С0 (с применением правила фазы) для сплава с содержанием углерода $C = 5,0\%$:

Сплав, содержащий 5.0% С, при охлаждении (при температуре t_1) начинает затвердевать. Из жидкого сплава выпадают кристаллы цементита. При понижении температуры образуются новые кристаллы с большим содержанием углерода, а ранее выпавшие кристаллы цементита продолжают расти, обогащаясь углеродом. Из этого следует, что наращиваемые слои на поверхности кристаллов содержат больше углерода, чем центральные. Всё это вызывает внутрикристаллическую, или дендритную ликвацию. Вследствие протекания диффузионных процессов в выпавших кристаллах происходит частичное выравнивание состава. Этот процесс протекает медленно, и затвердевший сплав имеет внутрикристаллитную ликвацию [5].

В интервале температур от 1147 °С до 727 °С при охлаждении чугуна цементит обедняется углеродом, его состав изменяется по линии ES и выделяется ледебурит. При небольшом переохлаждении ниже 727 °С в заэвтектических белых чугунах из жидкости кристаллизуется первичный цементит в виде плоских игл, затем образуется ледебурит. При комнатной температуре заэвтектический белый чугун содержит две структурные составляющие: первичный цементит и ледебурит. Фазовый состав белых чугунов при комнатной температуре такой же, как в углеродистых сталях. В равновесном состоянии, все они состоят из феррита и цементита.

Таким образом, после вторичной кристаллизации стали при температуре ниже 727⁰ С имеют следующую структуру: доэвтектоидны–перлит, цементит и ледебурит, эвтектоидные –ледебурит и заэвтектоидные – ледебурит и цементит.

Кривую охлаждения данной стали можно построить с использованием правила фаз: [6].

Зависимость между числом степеней свободы, числом компонентов и числом фаз и выражается уравнением $C = k - f + 1$,

Где,

C – число степеней свободы системы (вариантность системы);

k – число компонентов, образующих систему;

l – число внешних факторов;

f – число фаз, находящихся в равновесии.

Так как $b > a$, то содержание ледебурит+цементит больше содержания жидкой фазы.

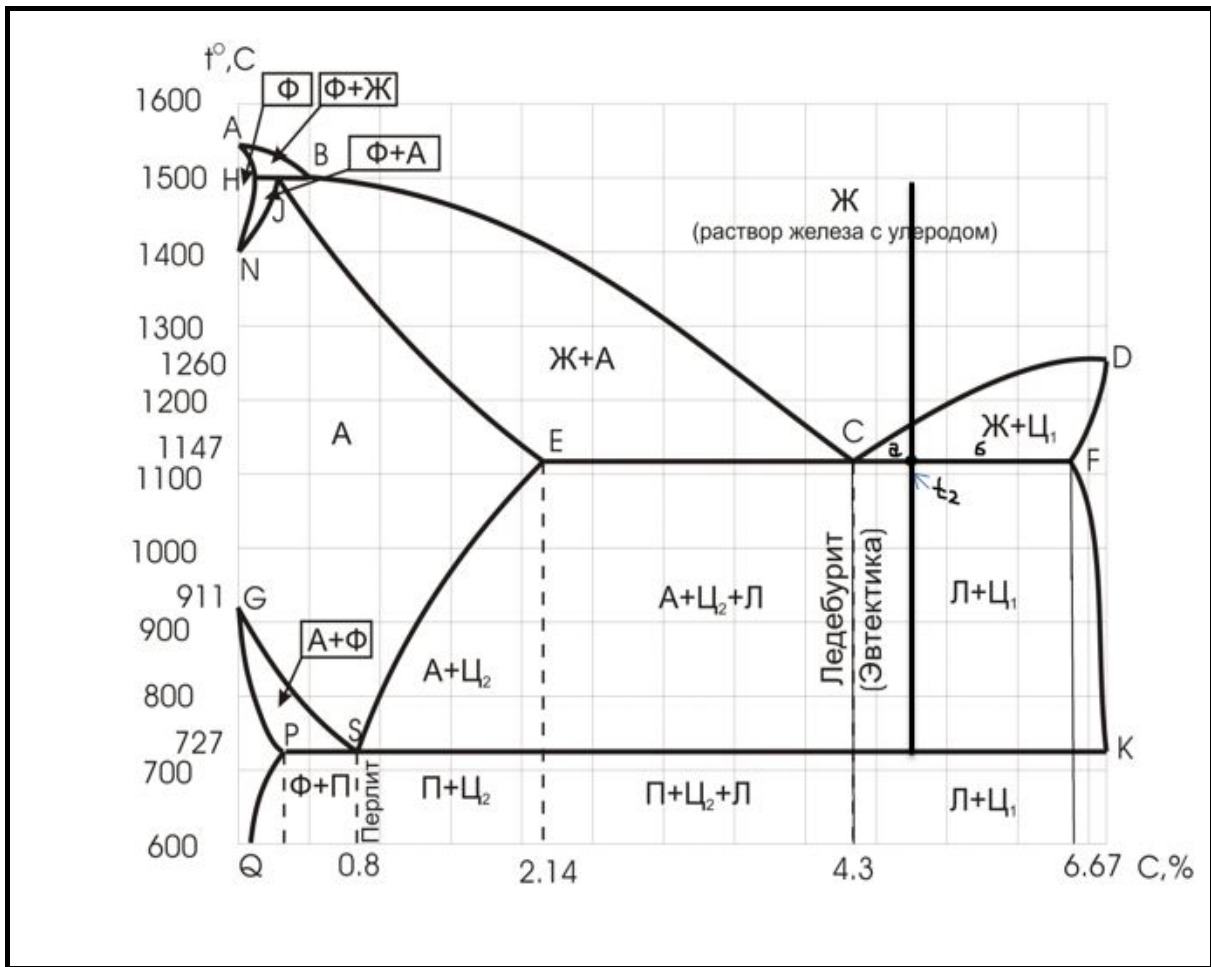


Рис.3. Определение состава фаз

5) Изображение микроструктуры заданного сплава при комнатной температуре:

При комнатной температуре заэвтектический белый чугун содержит две структурные составляющие: первичный цементит и ледебурит (рисунок 4).

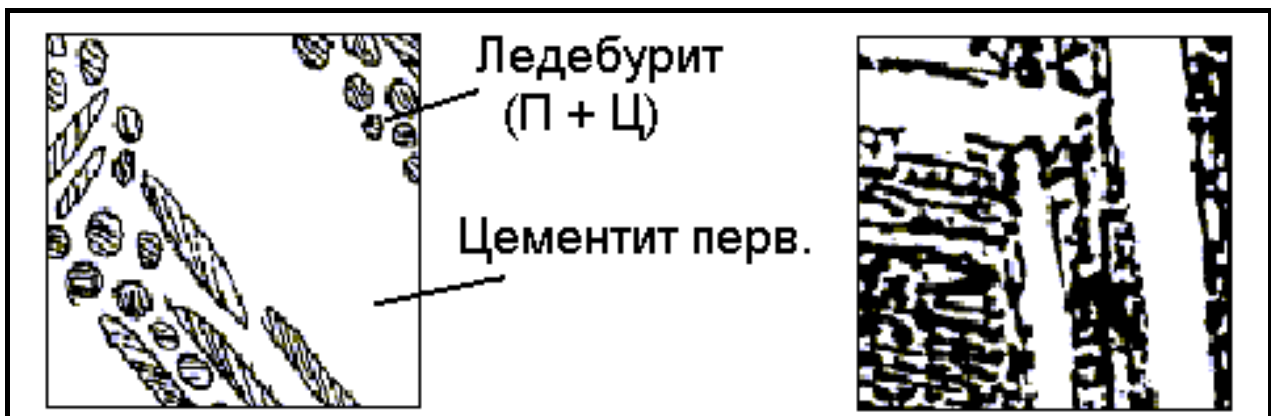


Рис.4. Первичный цементит и ледебурит

б) Описание примерных механических свойств по микроструктуре:

Из-за присутствия большого количества цементита белый чугун обладает высокой твердостью ($HV = 4500 - 5500$ МПа), хрупок и практически не поддается обработке резанием. Поэтому белый чугун имеет ограниченное применение, как конструкционный материал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. М. Александров. Материаловедение. Ч. I. Общее металловедение: курс лекций. - [Текст]. – Архангельск: САФУ, 2010. – 99 с.
2. Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г. Г. Мухин. Материаловедение: учебник для вузов. - [Текст]. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 648 с.
3. Р.К. Мозберг. Материаловедение. - [Текст]. -учебн. пособ. М.: Высш. шк., 1991. 480 с.
4. Т.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин. Материаловедение и технология металлов. - [Текст]. - учебник для вузов. М.: Высш. шк., 2002. – 638 с.
5. В.Н. Журавлёв., В.И. Николаев. Машиностроительные стали. - [Текст]. - справочник. М.: Машиностроение, 1992. – 480 с.
6. И.С. Стерин. Машиностроительные материалы. Основы материаловедения и термической обработки: - [Текст]. - учеб. пособие. СПб.: Политехника, 2003. – 344 с.