Энгельсский технологический институт

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Энгельс 2025 г.

**Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.»**

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Методические рекомендации
к лабораторной работе по курсу «Материаловедение»
для студентов всех специальностей и направлений
всех форм обучения

Энгельс 2023г.

УДК 620.22 (075.8)
ББК 30.3я73-1
А 86

А 86 **Артеменко А.А., Коноплянкин С.В.** Диаграмма состояние железоуглеродистых сплавов: Методические рекомендации к лабораторной работе по курсу «Материаловедение» – Энгельс: Изд-во ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2023. – 16 с.

Рецензенты: доцент кафедры «Технология и оборудование электрофизических, электрохимических методов обработки» ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., к.т.н.. Козлов Г.А,;
доцент кафедры «Материаловедение» ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., к.т.н. Попова Н.Е.

Методические рекомендации посвящены изучению диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов. Рассматриваются превращения, происходящие при медленном охлаждении сплавов. Представлены методы построения кривой охлаждения/нагревания, определения фазового состава сплава в каждом температурном интервале, определение концентрации углерода в каждой из фаз, расчет вариантности системы, определение структурного состава, расчет количественного фазового и структурного состава сплава. Предложены варианты контрольных сплавов для самостоятельной работы студентов по закреплению материала.

УДК 620.22 (075.8)
ББК 30.3я73-1

Одобрено редакционно-издательским советом
ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Брошюра издается в авторской редакции

Цель работы

1. Изучить диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов.
2. Изучить превращения, происходящие в железоуглеродистых сплавах при медленном охлаждении и нагреве.

Наглядные пособия

1. Диаграмма состояния системы Fe – Fe_3C.
2. Фотографии микроструктур железоуглеродистых сплавов.

Основные сведения

Металлический сплав получают сплавлением двух или более элементов. В технике широко применяют сплавы железа с углеродом, кремнием, марганцем, хромом, никелем и другими веществами.

Элементы - металлы и неметаллы, образующие сплав, называются компонентами.

Свойства сплава зависят от многих факторов, но прежде всего они определяются составом фаз и их количественным соотношением.

Фаза – это однородная по химическому составу, строению, свойствам часть сплава, отделенная от других частей (фаз) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура изменяется скачком.

Сплавы могут составлять следующие элементы структуры: механические смеси, твердые растворы и химические соединения.

Твердые растворы образуются в результате проникновения в кристаллическую решетку одного компонента атомов другого компонента. Твердые растворы бывают двух типов: твердые растворы замещения и твердые растворы внедрения.

При образовании химических соединений компоненты вступают в химическое взаимодействие. К химическим соединениям относят карбиды, оксиды, сульфиды и др.

Механические смеси представляют собой смесь двух фаз, когда отсутствует взаимодействие между компонентами, нет взаимного растворения, компоненты не вступают в химические реакции и их кристаллические решетки различны.

Процесс кристаллизации сплавов и связанные с ним закономерности строения сплавов изучают по диаграммам состояния. Диаграммы состояния это графические изображения, показывающие в условиях равновесия фазовый состав и структуру сплавов в зависимости от температуры и химической концентрации компонентов.

Под равновесным состоянием сплава понимают такое состояние, при котором все фазовые превращения в сплаве происходят полностью в соответствии с диаграммой состояния. Такое состояние наступает при медленном охлаждении сплава. По диаграммам состояния можно определить число фаз в

сплавах, относительное количество каждой фазы, ее состав и природу: компоненты, твердый раствор, химическое соединение, определить температуры плавления, затвердевания и аллотропических превращений в сплавах.

Диаграммы состояния строят на основании результатов термического анализа, при котором для сплавов различного состава вычерчивают кривые охлаждения в координатах температура – время. На кривых охлаждения каждого сплава фиксируют температуры фазовых превращений (критические точки). Затем критические точки различных сплавов переносят на диаграмму состояния, которую строят в координатах температура – концентрация. Точки, соответствующие температурам начала и конца кристаллизации, температурам фазовых превращений, соединяют плавными кривыми.

Компоненты железоуглеродистых сплавов

Железо обладает температурным полиморфизмом и может существовать в двух аллотропических модификациях альфа-железо (Fe_α) и гамма-железо (Fe_γ). Fe_α имеет объемно-центрированную кубическую решетку (ОЦК); а Fe_γ -гранецентрированную кубическую кристаллическую решетку (ГЦК). В интервале температур 911-1392 °С устойчивой модификацией является модификация Fe_γ. Ниже 911 °С и выше 1392 °С, вплоть до температуры плавления 1539 °С, более низким уровнем энергии обладает модификация Fe_α и, следовательно, устойчивой будет модификация Fe_α.

Для того, чтобы отличать низкотемпературную модификацию Fe_α, существующую при температурах ниже 911 °С, от высокотемпературной, существующей выше 1392 °С, последнюю принято называть дельта-железо (Fe_δ).

Графит – представляет собой аллотропическую модификацию углерода. Он мягок, малопрочен. В чугунах и в графитизированной стали содержится в виде включений различной формы.

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов

Структуры могут быть однофазные, двухфазные и многофазные. К однофазным структурам относят феррит, аустенит, цементит.

Феррит (Ф) - твердый раствор внедрения углерода в α-железе с ОЦК решеткой с максимальной растворимостью углерода 0,02 % при 727 °С.

Характеризуется низкой прочностью ($\sigma_в$ = 250 МПа) и твердостью 63 – 130 НВ), высокой пластичностью (относительное удлинение δ = 40 %). На диаграмме состояния феррит занимает область GPQ (рис. 1.). Образуется из аустенита. Твердый раствор внедрения углерода в Fe_δ называют высокотемпературным ферритом.

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в γ-железе с ГЦК решеткой, с предельной растворимостью углерода 2,14 % при температуре 1147 °С. В железоуглеродистых сплавах в равновесном состоянии аустенит не существует при комнатных температурах. Обладает высокой пластичностью

и низкой твердостью, относительное удлинение находится в пределах 40-50 %, твердость 160-200 НВ. Железоуглеродистые сплавы, находящиеся в аустенитном состоянии, легко поддаются обработке давлением. На диаграмме состояния аустенит занимает область NJESG (рис. 1.).

Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом Fe_3C (карбид железа). Имеет сложную кристаллическую решетку. В Fe_3C содержится 6,67 % С. Характеризуется высокой твердостью (800 НВ), но очень хрупок. Чем больше цементита в сплавах, тем большей твердостью и меньшей пластичностью они обладают.

В зависимости от условий образования различают цементит первичный ($Ц_I$), который образуется при кристаллизации заэвтектических чугунов (ниже линии CD).

Цементит вторичный ($Ц_{II}$) – образуется у сплавов с содержанием 0,9-2,0 % С при охлаждении аустенита в результате изменения растворимости углерода в аустените (ниже линии ES в интервале температур от 1147 °С до 727 °С).

Цементит третичный ($Ц_{III}$) образуется у сплавов с содержанием 0,01-0,025 % С, при охлаждении феррита в результате изменения растворимости углерода в феррите (линия PQ), ниже температуры 727 °С.

К двухфазным составляющим относят перлит и ледебурит.

Перлит (П) – механическая смесь (эвтектоид), состоящая из двух фаз: феррита и цементита, содержит 0,8 % С. Образуется в результате распада аустенита в процессе его охлаждения при температурах ниже 727°С. Перлит в зависимости от формы частичек цементита бывает пластинчатым или зернистым, что определяет его механические свойства. Перлит чаще всего имеет пластинчатое строение и является прочной структурной составляющей ($\sigma_в$ = 800-900 МПа, $\delta \leq 16$ %, 180-220 НВ).

Ледебурит (Л) – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита, образующаяся из жидкого расплава при температуре 1147 °С и содержащая 4,3 % С. Так как при температуре ниже 727 °С аустенит превращается в перлит, то ледебурит состоит из цементита и перлита. В этой структурной составляющей цементит образует сплошную матрицу, в которой размещен перлит. Такое строение ледебурита служит причиной его большой твердости (> 600 НВ) и хрупкости.

Диаграммы состояний Fe – C и Fe – Fe_3C

Диаграммы отражают в координатах температура – массовая доля элемента (С) в виде линий и точек границы областей устойчивости фаз в сплавах железа с углеродом. Они охватывает области твердого и твердо-жидкого состояний. Жидкое состояние чугуна, как наименее изученное, на этой диаграмме условно показано однородным. В связи с этим последние годы предпринимаются попытки расширить диаграмму состояния сплава главным образом в области жидкого состояния.

Взаимодействие железа с углеродом описывается двумя диаграммами:
1) стабильной - железо-углерод (Fe-C) (рис. 1, пунктирные линии);
2) метастабильной - железо-цементит ($Fe-Fe_3C$) (рис. 1, сплошные линии).

Фазовые превращения в сталях отражает диаграмма состояния $Fe-Fe_3C$. Фазовые превращения в высокоуглеродистых сплавах – чугунах – развиваются согласно диаграмме Fe-C. Так как при практических скоростях охлаждения углерод в системе Fe-C находится в виде цементита, наибольшее практическое применение имеет диаграмма Fe – Fe_3C. Обычно в железоуглеродистых сплавах отмечают концентрацию не цементита, а углерода, в связи с чем ее принято называть диаграммой железо-углерод.

Диаграмма состояния Fe-C нанесена на диаграмме $Fe-Fe_3C$. Такой способ изображения системы Fe-C дает возможность сравнивать обе диаграммы. Чтение диаграммы Fe-C принципиально не отличается от чтения диаграммы $Fe-Fe_3C$, но во всех случаях из сплавов выпадает не цементит, а графит. Каждая точка диаграммы состояния характеризует строго определенный состав сплава при соответствующей температуре. Точка A (1539 ºC) отвечает температуре плавления железа, точка D (≈1250 ºC) – температуре плавления цементита, точки N (1392 ºC) и G (910 ºC) соответствуют полиморфному превращению $Fe_\alpha \leftrightarrow Fe_\gamma$.

Концентрация углерода (по массе) для характерных точек диаграммы состояния (рис. 1) следующая: B – 0,51 % C в жидкой фазе, находящейся в равновесии с δ–ферритом ($Fe_\delta(C)$) и аустенитом ($Fe_\gamma(C)$), при перитектической реакции и при 1499 ºC; H – 0,1 % C в δ-феррите при 1490 ºC; J – 0,16 % C - в аустените-перитектике при 1490 ºC; E – 2,14 % предельное содержание в аустените при 1147 ºC; S – 0,8 % C в аустените при реакции эвтектоидного превращения 727 ºC; P – 0,02 % C – предельное содержание в феррите ($Fe_\alpha(C)$) при 727 ºC.

Линия, соединяющая точки ABCD на диаграмме – линия ликвидус.

Выше этой линии все железоуглеродистые сплавы находятся в жидком состоянии. Линия AHJECF – линия солидус. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии и при дальнейшем охлаждении происходят только процессы, связанные с изменением растворимости углерода в Fe_α и Fe_γ, а также процессы, которые обусловливаются аллотропическим (полиморфным) превращением железа.

Линия AB указывает температуру начала кристаллизации δ–феррита из жидкого сплава; линия BC - температуру начала кристаллизации аустенита; линия CD – температуру начала кристаллизации первичного цементита.

При достижении температуры 1147 °C ECF (эвтектики) состав жидкой фазы любого сплава, расположенного между точками E и F диаграммы, будет соответствовать точке C (4,3 % C). При этой температуре оставшаяся часть жидкой фазы состава 4,3 % углерода кристаллизуется с образованием эвтектики – механической смеси кристаллов аустенита и цементита, называемой ледебуритом.

Ниже линии GS происходит полиморфное превращение аустенита в феррит. Линия SE является линией насыщения и показывает, как изменяется растворимость углерода Fe_{γ} с изменением температуры. Вследствие уменьшения растворимости углерода в Fe_{γ} при понижении температуры из пересыщенного аустенита будет выделяться вторичный цементит $Ц_{II}$.

Линия PSK 727 °C является линией эвтектоидного превращения. При этой температуре аустенит (A_s) состава точки S (0,8 % C) распадается с образованием перлита ($П_s$): $A_s \rightarrow П_s \rightarrow (Ф + Ц)$

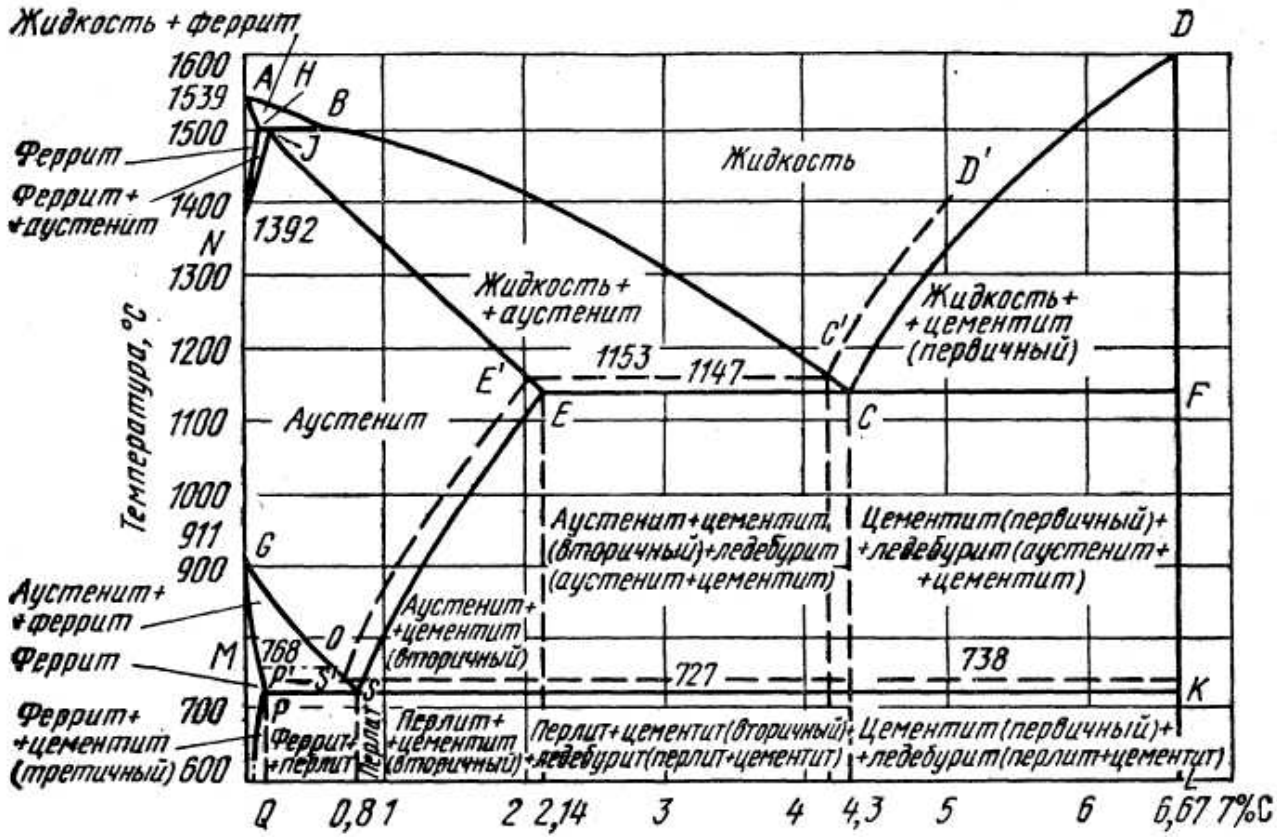


Рис. 1. Диаграмма состояния железо-цементит и железо-углерод (штриховые линии)

Определение количества интервалов

Фигуративной точкой называется точка на диаграмме состояния, характеризующая состояние сплава заданной концентрации при определенной температуре.

Под температурным интервалом следует понимать область температур, в которой сплав находится в качественно неизменном фазовом составе. Для определения количества температурных интервалов необходимо проделать следующее:

а) найти на оси концентраций диаграммы железо-углерод точку, определяющую состав заданного сплава;

б) мысленно провести вертикальную линию от этой точки до пересечения с линией ликвидус (данная линия будет называться фигуративной);

в) проследить через сколько областей с различным фазовым составом проходит линия (рис. 2).

Замечание: В большинстве случаев каждая из областей находиться между двумя сплошными линиями диаграммы состояния. Однако область может стянуться в точку, если она лежит на горизонтальных линиях диаграммы: линии перитектики (HIB), эвтектики (ECF) или эвтектоида (PSK). Например, четвертый температурный интервал на рис. 2. является точечным.

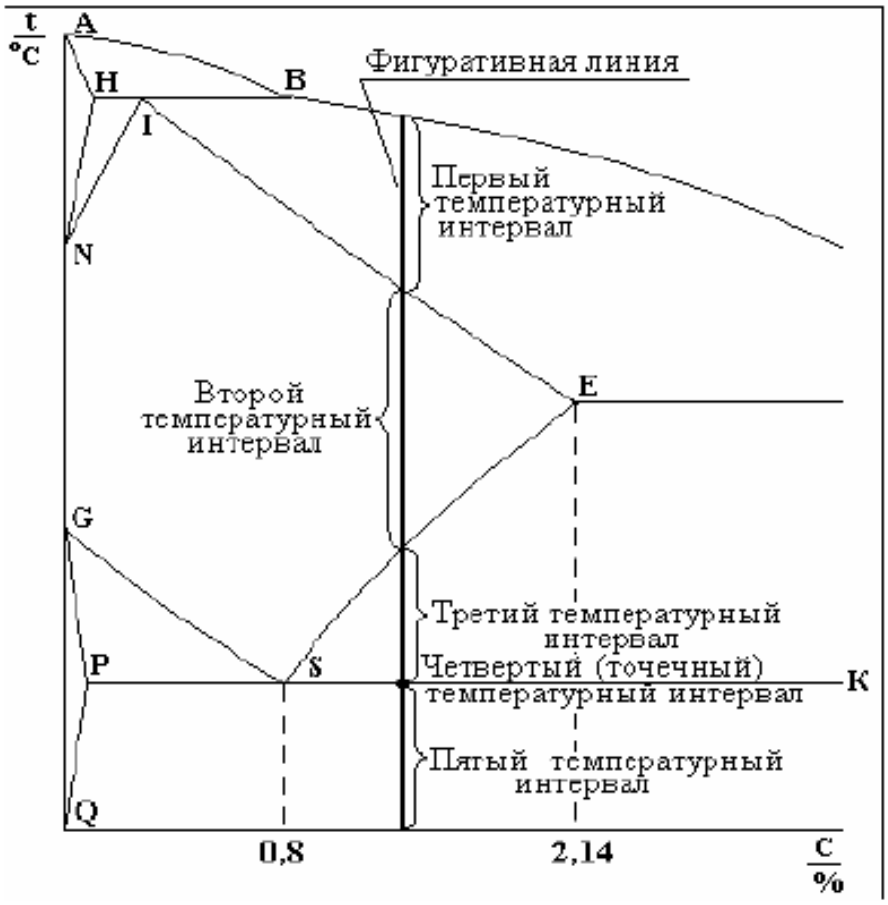


Рис. 2. Фрагмент диаграммы состояния Fe – C для определения количества температурных интервалов.

Определение температур верхней и нижней границ каждого из температурных интервалов

Граничными точками температурных интервалов являются точки пересечения фигуративной линии со сплошными линиями диаграммы состояния.

Температура нижней границы температурных интервалов совпадает с температурой верхней границы последующего интервала.

Температуры граничных точек, а также концентрации углерода в них следует определять по рисункам фрагментов диаграммы состояния железо углерод (приложение Б).

Температуры фиксированных точек диаграммы состояния и концентрация углерода в них приведены в таблице 1.

Таблица 1

Фиксированные точки диаграммы состояния

Наименование точки	Температура, °С	Концентрация углерода, %
A	1539	0
H	1499	0,1
I	1499	0,16
B	1499	0,5
N	1392	0
D	1250	6,69
E	1147	2,14
C	1147	4,3
F	1147	6,69
G	911	0
P	727	0,02
S	727	0,8
K	727	6,69
Q	600	0,01
L	600	6,69

Определение фазового состава сплава в каждом из температурных интервалов

Фазами могут быть только чистые компоненты, растворы и химические соединения. В диаграмме железо-углерод фазами являются: феррит-дельта, феррит, аустенит, цементит и жидкость.

При определении фазового состава в температурных интервалах, соответствующих двухфазным областям диаграммы, обратите внимание, с какими фазами (однофазными областями) граничит данная область слева и справа. Эти фазы и будут присутствовать в рассматриваемом интервале (рис. 3).

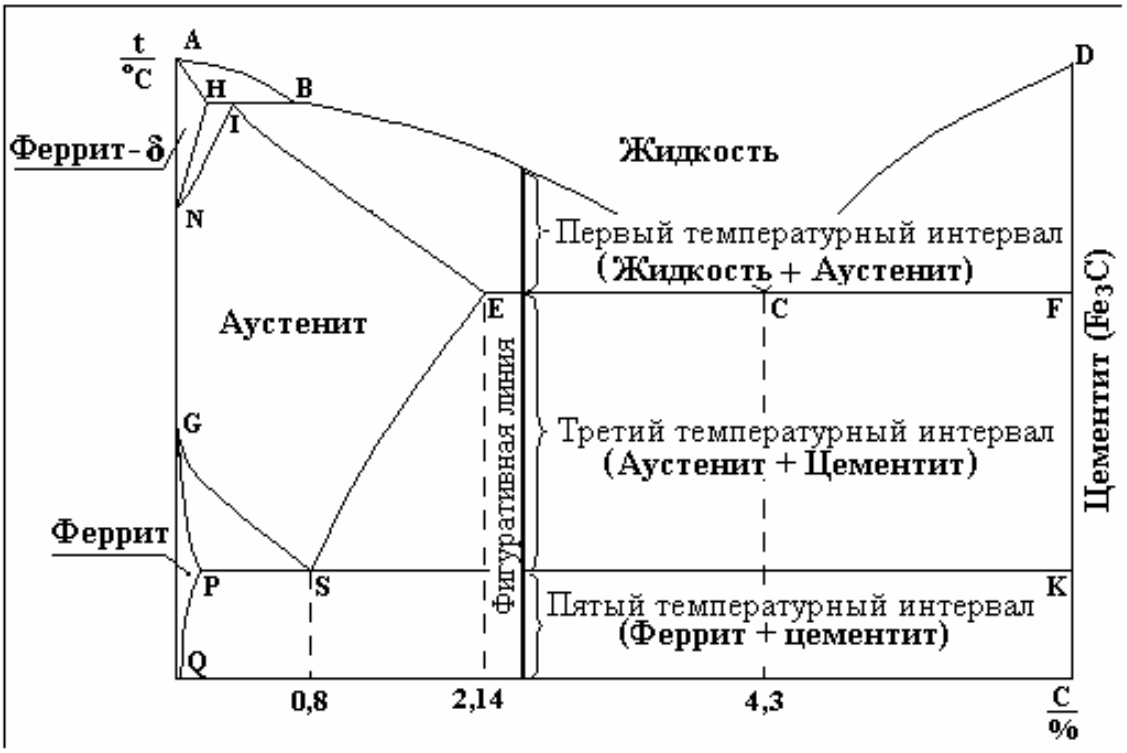


Рис. 3. Фрагмент диаграммы состояния Fe – C для определения фазового состава двухфазных областей.

При определении фазового состава в “точечных” температурных интервалах, соответствующих трехфазным областям (линия перитектики 1499 °C, линия эвтектики 1147 °C, линия эвтектоида 727 °C), обратите внимание каким трем фазам принадлежат точки линии. Эти фазы и будут присутствовать в рассматриваемом температурном интервале.

Определение концентрации углерода в каждой из фаз при температурах, соответствующих верхней и нижней границам каждого из температурных интервалов

При отыскании концентрации углерода в фазах в температурных интервалах, соответствующих двухфазным областям, следует применить первое правило отрезков: «Чтобы определить концентрацию компонентов в фазовых составляющих сплава, нужно через заданную точку двухфазной области провести коноду (рис. 4.) Проекции концов коноды на ось концентраций покажут состав каждой из фаз, составляющих сплав при заданной температуре.»

Конодой называется горизонтальный отрезок, проведенный в двухфазной области диаграммы состояния и опирающийся своими концами на фазовые границы. Например, на рис. 4. коноды проведены через точки, соответствующие верхней (T_1) и нижней (T_2) границам рассматриваемого температурного интервала. На верхней границе температурного интервала концентрация углерода в жидкости будет определяться точкой C_2, а в аустените –

точкой C_1. На нижней границе в жидкости – точкой C_3, а в аустените – точкой C_2.

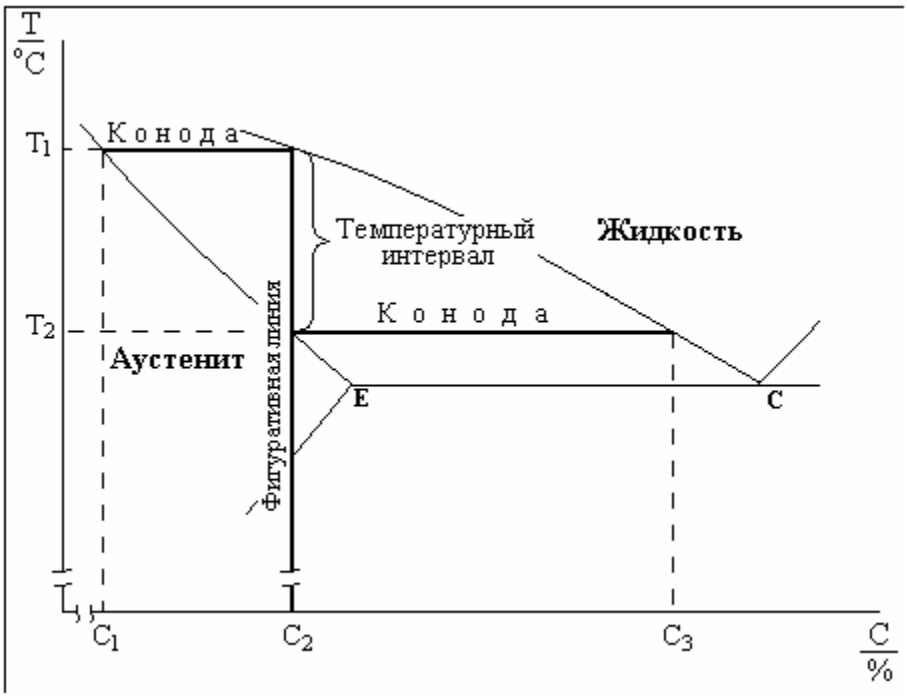


Рис. 4. Фрагмент диаграммы состояния Fe – C для определения концентрации углерода в фазах в двухфазных областях

При отыскании концентрации углерода в фазах в “точечных” температурных интервалах, соответствующих трехфазным областям, обратите внимание какие фиксированные точки принадлежат этой линии. Концентрация углерода в фиксированных точках (таблица 1) определяет состав фаз, которым принадлежат эти точки.

Расчет вариантности системы

Под вариантностью системы (числом степеней свободы) понимают число внешних и внутренних факторов, которые можно изменять, не выводя систему из данного фазового состава. Внешним фактором является температура, внутренним – концентрация компонентов.

Расчет вариантности *C,* (числа степеней свободы) системы проводят по формуле, известной как правило фаз:

$$C = K - F + n,$$

где K – число компонентов ($K = 2$, поскольку система железоуглеродистых сплавов состоит из двух компонентов – железа и углерода),

F – число фаз, составляющих сплав в данном температурном интервале;

n – число внешних параметров.

При рассмотрении равновесия в металлических сплавах, находящихся под воздействием атмосферного давления, единственным внешним переменным фактором является температура и поэтому $n = 1$.

Определение структурного состава сплава в каждом из температурных интервалов

Железоуглеродистые сплавы могут иметь в своем составе следующие структурные составляющие: феррит-дельта, феррит, аустенит, жидкость, цементит первичный, цементит вторичный, цементит третичный, перлит и ледебурит.

Для определения структурного состава следует отчетливо представлять какие превращения происходят в данном температурном интервале и во всех предшествующих интервалах.

Структурные составляющие феррит-дельта, феррит, аустенит и жидкость совпадают с соответствующими фазовыми составляющими.

Первичным называется цементит, выделяющийся в заэвтектических чугунах из жидкости. Вторичный цементит – это цементит, выделяющийся в заэвтектоидных сталях и в доэвтектических чугунах из аустенита в интервале температур от 1147 до 727 ºС. Третичный цементит выделяется из феррита ниже температуры 727 ºС. Встречается третичный цементит только в низкоуглеродистых сталях с концентрацией углерода не более 0,02 %. Все виды структурного цементита сохраняются с момента образования до комнатной температуры и ниже.

Перлит представляет собой продукт эвтектоидного распада аустенита, протекающего при охлаждении железоуглеродистых сталей в районе температуры 727 ºС, и является механической смесью двух фаз: феррита и цементита.

Ледебурит – это продукт эвтектического распада жидкости, протекающего при охлаждении чугунов ниже 1147 ºС, и представляет собой механическую смесь двух фаз: аустенита и цементита. Ниже температуры 727 ºС ледебурит, после эвтектоидного распада аустенита, входящего в него, представляет собой смесь перлита и цементита. Структурный состав обычно обозначен на диаграммах состояния.

Построение кривой кристаллизации заданного сплава

При построении кривой кристаллизации сплава руководствуются значениями вариантности системы в каждом из температурных интервалов. При этом интервалы с нулем степеней свободы изображаются в виде горизонтального отрезка, интервалы с одной или двумя степенями свободы – в виде наклонной линии. Причем линия, соответствующая интервалу с двумя степенями свободы, вычерчивается круче, чем с одной степенью свободы. Масштаб по горизонтали произвольный.

Расчет количественного фазового и структурного состава сплава (этап второй)

Для расчета количества каждой из фаз (в процентах), присутствующих в сплаве при заданной температуре, следует воспользоваться вторым правилом отрезков: «Для нахождения количественного соотношения фазовых составляющих сплава нужно через заданную точку двухфазной области диаграммы состояния, характеризующую состояние сплава (фигуративную точку), провести коноду. Отношение длины отрезка, заключенного между фигуративной точкой и одним из концов коноды, к длине всей коноды численно равно относительному количеству второй фазы (соответствующей второму концу коноды)».

Для определения длины коноды найдите, в соответствии с первым правилом отрезков, концентрации углерода в точках, на которые она опирается. Далее следует пользоваться значениями концентраций как координатами на числовой оси (рис. 5.).

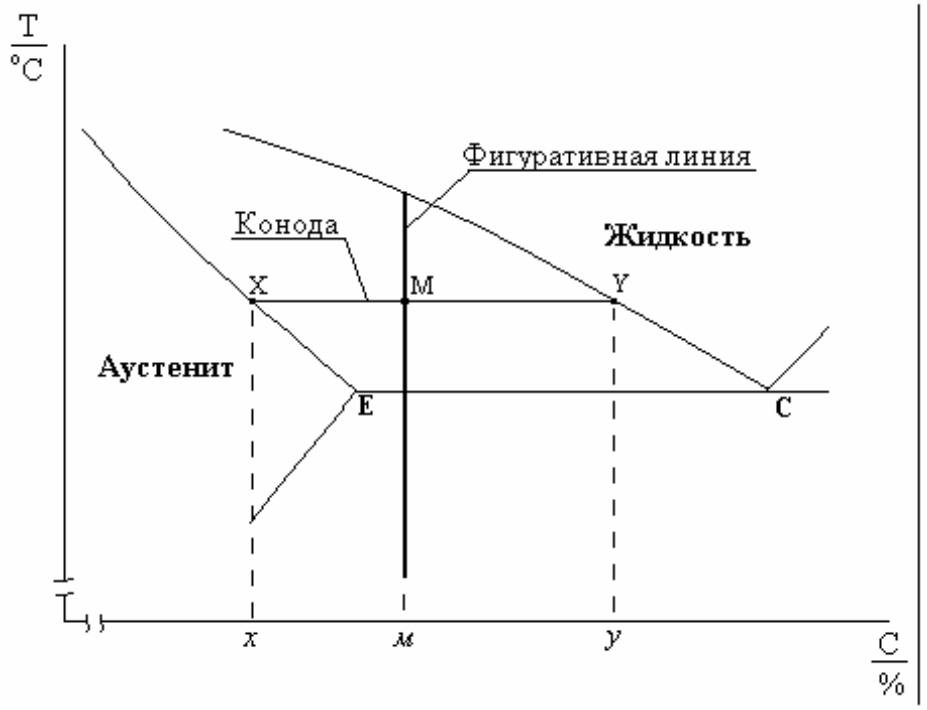


Рис. 5. Определение относительного фазового состава сплава в точке М.

На рисунке через фигуративную точку М проведена конода ХУ. В соответствии с изложенным количество жидкости в сплаве в точке М равно:

$$Ж = \frac{m-x}{y-x} \cdot 100\%,$$

количество аустенита в точке М:

$$A = \frac{y-m}{y-x} \cdot 100\%,$$

где *м*, *x*, *y* – концентрация углерода соответственно в точках *М*, *Х*, *У*.

Расчет количественного фазового состава в трехфазных областях невозможен, поскольку в них происходит при одной и той же температуре непрерывное изменение соотношения фаз. Характер изменения определяется направлением движения теплоты (к системе или от нее).

При расчете количественного структурного состава сплава при данной температуре конода должна опираться не на фазовые, а на структурные границы. К структурным границам относятся, кроме границ, совпадающих с фазовыми границами (сплошные линии диаграммы состояния), еще и вертикальные линии, проведенные пунктирными линиями и соответствующие эвтектической (4,3 %) и эвтектоидной (0,8 %) концентрации углерода в сплавах.

Задачу о количественном структурном составе сплава при трех структурных составляющих решают более сложным путем. В данном случае используют то, что масса эвтектики с момента ее образования остается в сплаве при дальнейшем его охлаждении неизменной. Поэтому содержание эвтектики (ледебурита) можно рассчитывать при условии, когда в сплаве присутствуют только две структурные составляющие (ледебурит + аустенит).

Порядок выполнения работы.

1. Изучите по диаграмме состояния Fe – Fe_3C превращения, происходящие в железоуглеродистых сплавах при охлаждении.
2. Ознакомьтесь со структурными составляющими железоуглеродистых сплавов. Найдите на диаграмме состояния области существования этих структур.
3. Получите у преподавателя задание на выполнение работы (на первом этапе - концентрацию углерода в сплаве, на втором – температуру сплава).

Варианты контрольных сплавов

№ п/п	% С	Т, °С	№ п/п	% С	Т, °С	№ п/п	% С	Т, °С
1	0.2	800	11	5.1	800	21	1.2	800
2	1.1	900	12	2.8	900	22	3.5	900
3	3.0	850	13	1.1	850	23	4.3	850
4	4.3	1000	14	0.45	1000	24	5.5	1000
5	5.0	1300	15	1.7	1300	25	0.15	1300
6	0.02	950	16	1.0	950	26	0.8	950
7	0.35	750	17	4.5	750	27	0.9	750
8	0.8	1400	18	2.7	1400	28	2.4	1400
9	1.3	1100	19	0.7	1100	29	4.7	1100
10	2.5	1200	20	0.4	1200	30	1.2	1200

4. Опишите процесс кристаллизации сплава заданного состава (этап первый). В процессе работы заполните таблицу 2.
5. Изобразите кривую охлаждения.
6. Провести расчеты количественного фазового и структурного состава.

Таблица 2

Фазовый и структурный состав сплава в температурных интервалах

Номер температурного интервала	Температурные границы интервалов		Концентрация углерода в фазовых составляющих, %			Структурный состав	Вариантность системы
	верхняя граница	нижняя граница	наименование фазы	на верхней границе	на нижней границе		
1							
2							
…							

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание структурных составляющих железоуглеродистых сплавов.
3. Рисунок диаграммы состояния Fe – Fe_3C.
4. Кривая охлаждения для заданного сплава и расчеты количественного фазового и структурного состава.

Контрольные вопросы

1. Какие железоуглеродистые сплавы относятся к техническому железу, сталям и чугунам?
2. Какая из структур железоуглеродистых сплавов является механической смесью феррита и цементита?
3. Что такое фаза?
4. Что такое аустенит?
5. Что такое феррит?
6. Что такое цементит?
7. Какими линиями диаграммы ограничивается температурный интервал первичной кристаллизации?
8. В чем состоит сущность эвтектического превращения?
9. В чем состоит сущность эвтектоидного превращения?
10. Что такое ледебурит?
12. На какой линии происходят эвтектические превращения?
13. На какой линии происходят эвтектоидные превращения?

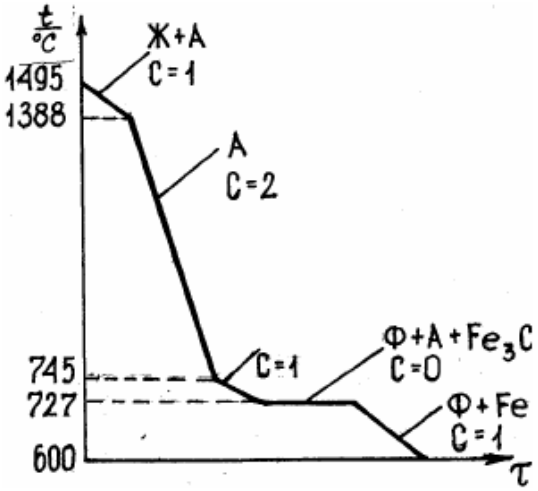
14. Содержание углерода в цементите?

Литература

1. Лахтин Ю.М. Материаловедение. / Ю.М. Лахтин Ю.М., В.П. Леонтьева. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. 528 с.
2. Геллер Ю.А. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи: учеб. пособие для вузов / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. 6-е изд., перераб. и доп. М.:Металлургия, 1989. 456 с.

Приложение А

Приобретение навыков работы с диаграммой состояния железо-углерод
Исходные данные:
Сплав содержит 0,7 % углерода. Заданная температура 600 °С.



Номера температурных интервалов	Температурные границы интервалов, °С		Концентрация углерода в фазовых состояниях, %			Структурный состав	Вариантность системы
	верхние границы	нижние границы	наименование фазы	на верхней границе температурного интервала	на нижней границе температурного интервала		
1	1495	1388	Ж А	0,7 0,2	2,25 0,7	Ж+А	1
2	1388	745	А	0,7	0,7	А	2
3	745	727	А Ф	0,7 0,016	0,8 0,02	А+Ф	1
4	727	727	Ф А Fe_3C	0,8 0,02 6,67	0,8 0,02 6,67	А+Ф+П	0
5	727	600	Ф Fe_3C	0,02 6,67	0,01 6,67	Ф+П	1
Ж - жидкость, А - аустенит, Ф - феррит, П - перлит, Fe_3C - цементит							

Артеменко Александр Александрович

Коноплянкин Сергей Владимирович

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Ответственный за выпуск Артеменко А.А.
Оригинал-макет Коноплянкин С.В.

Подписано в печать _____
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать RISO.
Объем _____ Тираж _____ Заказ № _____

413100, Россия, Саратовская область, г. Энгельс, пл. Свободы, 17
ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А.