

Практическое занятие

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ «ЖЕЛЕЗО - УГЛЕРОД»

1 Цель работы

Приобретение навыков работы с диаграммами состояния на примере диаграммы железо-углерод.

2 Общие сведения

Диаграммы состояния представляют собой графическое изображение состояния сплавов. Свойства сплавов определяются, прежде всего, составом фаз и их количественным соотношением. Сведения о составе и соотношении фазовых составляющих можно получить на основе анализа диаграммы состояния.

Важнейшими работами по построению диаграммы железо-углерод являются работы Ф. Осмонда (Франция), Р. Аустена (Англия), А. А. Байкова, Н.Т. Гуддова (Россия). Первый вариант диаграммы был построен в 1879 г. Маннесманом. Более содержательно, хотя не полной, была диаграмма, построенная Аустеном в конце XIX века. К началу 20-х годов XX века диаграмма приобрела вид, близкий к современному. Уточнение диаграммы продолжается и в настоящее время.

Железо с углеродом образует ряд химических соединений: Fe_3C , FeC (карбидов). Как было указано ранее при рассмотрении диаграмм с химическими соединениями, последние могут рассматриваться как самостоятельные компоненты. Так поступают и при рассмотрении диаграммы железо-углерод, где один компонент - железо, другой - химическое соединение Fe_3C (цементит) с содержанием углерода 6,67 %.

Таким образом, диаграмма железо-углерод охватывает ограниченный участок сплавов с концентрацией углерода от 0 до 6,67%. Практически этого достаточно, т.к. в существующих сплавах железа с углеродом содержание углерода не превышает этого значения.

По диаграмме состояния можно представить полную картину кристаллизации любого сплава, формирования его структуры. Диаграмма состояния позволяет оценить свойства сплавов, найти оптимальные параметры таких технологических процессов как литье, термическая и химико-термическая обработка, сделать заключение о возможности обработки давлением и т.д.

2.1 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:

- найти на оси концентраций диаграммы железо-углерод точку, определяющую состав заданного сплава;
- мысленно провести вертикальную линию от этой точки до пересечения с линией ликвидус (данная линия называется фигуративной);
- проследить, сколько областей с различным фазовым составом эта линия пересекает (рисунок 5.1).

Замечание: В большинстве случаев каждая из областей находится 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 рисунке 5.1 является точечным.



Рисунок 5.1-Фрагмент диаграммы состояния Fe - C для определения количества температурных интервалов

2.2 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 А).

Температуры фиксированных точек диаграммы состояния и концентрация углерода в них приведены в таблице 5.1 и в таблице 5.2.

Таблица 5.1 - 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

Таблица 5.2 - Фазы и структурные составляющие

Фазы, структурные составляющие	Решетка	C, %	Примечание
Феррит, т. е. α-твердый раствор	ОЦК; a = 2,86 Å	<0,1	До 768 °С ферромагнитен
Аустенит, т.е. γ-твердый раствор	ГЦК, a = 3,64 Å	<2,06	Стабилен в интервале 911-1392 °С
Дельта-феррит - δ-твердый раствор	О.Ц.К.; a = 2,93 Å (при 1425 °С)	-0,1	Стабилен в интервале 1392-1536 °С
Цементит — Fe ₃ C	Орторомбическая, распадающаяся на плотно упакованную гексагональную; a = 4,517 Å ; b = 5,079 Å ; c = 6,73 Å	6,67	HV800; Fe ₃ C = 7,4 гсм ⁻³ ; точка Кюри при 215 °С. Fe ₃ C встречается в трех структурных формах (первичный, вторичный, третичный)
Первичный цементит - Fe ₃ C	То же	>5	Первичная кристаллизация из расплава (по линии CD)
Вторичный цементит — Fe ₃ C	» »	0,8 - 4,3	Выделяется из у-твердого раствора (по линии ES)
Третичный цементит — Fe ₃ C	» »	0,02	Выделяется из α-твердого раствора (по линии PQ)
Графит — С	Гексагональная		Пластинчатый, сферический
Перлит — α-твердый раствор + Fe ₃ C	.	0,02 (а) и 6,67 (Fe ₃ C)	88 % феррита, 12 % цементита
Ледебурит I	.	4,3	51,4 % аустенита, 48,6% Fe ₃ C
Ледебурит II	.	4,3	51,4 % перлита, 48,6 % Fe ₃ C
Доэвтектоидные сплавы	.	<0,80	Феррит и перлит (сталь)
Эвтектоидный сплав	.	0,8	Перлит (сталь)
Заэвтектоидные сплавы	—	0,8-2,06	Вторичный цементит и перлит (сталь)
Доэвтектические сплавы	—	2,06-4,3	Первичный у-твердый раствор и ледебурит (чугун)
Эвтектический сплав	.	4,3	Ледебурит (чугун)
Заэвтектический сплав	.	4,3-6,67	Цементит и ледебурит (чугун)

2.3 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 (рисунок 5.2).

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



Рисунок 5.2 - Фрагмент диаграммы состояния Fe - C для определения фазового состава двухфазных областей

2.4 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 (рисунок 5.3). (Конодой называется горизонтальный отрезок, проведен-

ный в двухфазной области диаграммы состояния и опирающийся своими концами на фазовые границы). Проекции концов коноды на ось концентраций покажут состав каждой из фаз, составляющих сплав при заданной температуре. Например, на рисунке 5.3 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 Q. На нижней границе в жидкости - точкой C_3 , а в аустените - точкой C.

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 (см. таблицу 5.1) определяет состав фаз, которым принадлежат эти точки.



Рисунок 5.3 - Фрагмент диаграммы состояния Fe - C для определения концентрации углерода в фазах в двухфазных областях

2.5 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:

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

F ~ число фаз, составляющих сплав в данном температурном интервале.

2.6 Определение структурного состава сплава в каждом температурном интервале

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 °C. Третичный цементит выделяется из феррита ниже температуры 727 °C. 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 °C, и является механической смесью двух фаз: феррита и цементита.

Ледебурит - это продукт эвтектического распада жидкости, протекающий при охлаждении чугунов ниже 1147 °C, и представляет собой механическую смесь двух фаз: аустенита и цементита. Ниже температуры 727 °C ледебурит, после эвтектоидного распада аустенита, входящего в него, представляет собой смесь перлита и цементита.

Структурный состав обычно обозначен на диаграммах состояния*

2.7 Построение кривой кристаллизации заданного сплава

При построении кривой кристаллизации сплава (рисунок 5.4) 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.

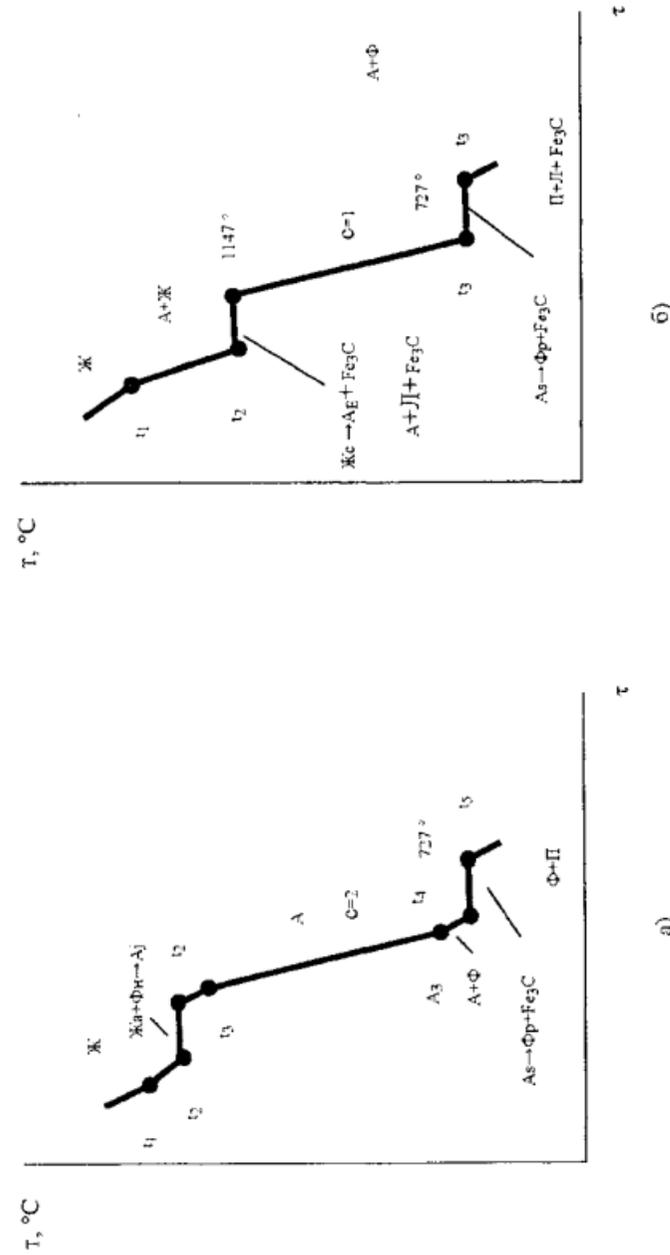


Рисунок 5.4 – Кривые охлаждения доэвтектоидной стали (а) и доэвтектического чугуна (б)

2.8 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 (рисунок 5.5).

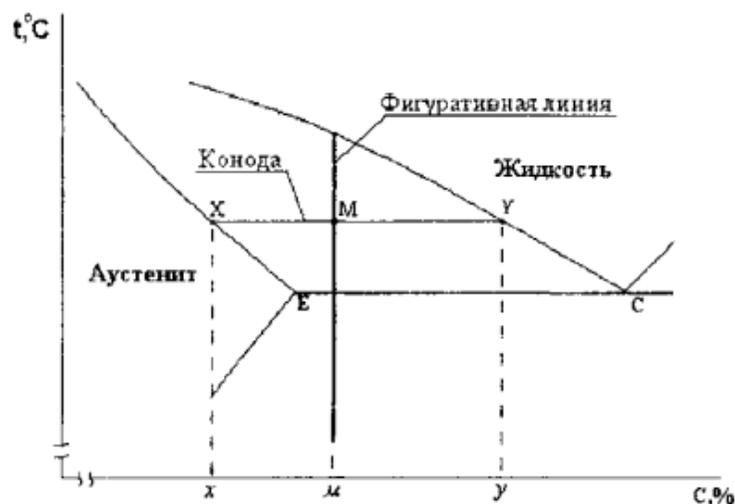


Рисунок 5.5 - Определение относительного фазового состава сплава в точке М

На рисунке через фигуративную точку М проведена конода ХУ.

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).

3 Порядок выполнения работы

3.1 Получите у преподавателя задание на выполнение работы (на первом этапе - концентрацию углерода в сплаве, на втором - температуру сплава).

3.2 Опишите процесс кристаллизации сплава заданного состава (этап первый). В процессе работы заполните таблицу 5.3.

Таблица 5.3 - 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		
1						
2						

3.3 Исходя из найденного структурного состава, выполните рисунок предполагаемой структуры сплава.

4 Содержание отчета по выполненной работе

4.1 Цель работы.

4.2 Таблица фазового и структурного состава сплава в температурных интервалах.

4.3 Рисунок кривой кристаллизации.

4.4 Расчеты количественного фазового и структурного состава.

4.5 Рисунок предполагаемой микроструктуры сплава.

5 Контрольные вопросы

5.1 Какие сведения можно получить на основе анализа диаграммы состояния?

5.2 Что называется фигуративной точкой на диаграмме состояния?

5.3 Что представляет собой фигуративная линия?

5.4 Сформулируйте первое правило отрезков.

5.5 Что называется конодой?

5.6 Что понимается под вариантностью системы (числом степеней свободы)?

5.7 Напишите формулу для расчета вариантности (числа степеней свободы).

5.8 Сформулируйте второе правило отрезков.