

## **Лабораторная работа № 5**

### **Диаграмма состояния сплавов железа с углеродом**

#### ***ЦЕЛЬ РАБОТЫ***

Изучить фазовые и структурные превращения по диаграмме  $Fe - Fe_3C$  в равновесном состоянии.

#### ***ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ***

Диаграмма состояния – графическое изображение состояния сплава изучаемой системы в зависимости от его концентрации и температуры. Диаграмма состояния показывает равновесные, устойчивые состояния, т.е. такие, которые при данных условиях обладают минимальной свободной энергией.

Исследование любого сплава начинается с построения и анализа диаграммы состояния соответствующей системы, так как диаграмма состояния дает возможность изучать фазы и структурные составляющие сплава.

Пользуясь диаграммой состояния, можно установить возможность проведения термической обработки, термического упрочнения и параметры их режима, температурные режимы литья и пластической деформации.

Сплавы железа с углеродом (стали и чугуны) являются наиболее распространенными металлическими материалами и составляют примерно 95% от всех применяемых металлических материалов. Сталь – основа современной техники. Чугун наиболее распространенный литейный сплав и основной исходный материал для выплавки стали. Техническое железо – с минимальным содержанием углерода и других примесей – производят в небольших количествах для нужд электротехники.

Первое представление о диаграмме состояния железо-углерод дал русский металлург Д.К. Чернов, который в 1868 году указал на существование в стали критических точек, их зависимость от содержания в ней углерода и впервые указал на полиморфизм железа.

Диаграмма состояния сплавов  $Fe - Fe_3C$  охватывает не все сплавы от 0 до 100% углерода, а только часть их с содержанием углерода от 0 до 6,67% или с содержанием цементита  $Fe_3C$  от 0 до 100%. Железоуглеродистые сплавы с более высоким содержанием углерода практического применения не имеют, так как они очень хрупкие.

Диаграмма состояния  $Fe - Fe_3C$  по сравнению с основными типами диаграмм состояния двойных сплавов является более сложной.

Основными элементами, от которых зависят структура и свойства сталей и чугунов, являются железо и углерод.

**ЧИСТОЕ ЖЕЛЕЗО** – серебристо-светлый металл, атомный номер 26, атомный вес 55,85. Технически чистое железо содержит 0,10...0,15% всех примесей. Наиболее чистое железо, полученное в лабораторных условиях, содержало 99,9917%  $Fe$ . Свойства железа зависят от степени его чистоты. Для технически чистого железа температура плавления равна  $1539^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ ,

плотность  $7,85 \text{ г/см}^3$ . Железо обладает невысокой твердостью и прочностью  $HV \sim 80$ ;  $\sigma_B \approx 250 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_{0,2} \approx 120 \text{ МПа}$  и хорошей пластичностью  $\delta \approx 50 \%$ ;  $\psi \approx 80 \%$ .

При нагреве железо испытывает аллотропические превращения. До  $911^\circ\text{C}$  железо имеет кубическую объемноцентрированную решетку (ОЦК), его обозначают  $Fe_\alpha$ . При  $911^\circ\text{C}$  происходит превращение кубической объемноцентрированной решетки в кубическую гранецентрированную решетку, в температурном интервале  $911 \dots 1392^\circ\text{C}$  железо обозначают  $Fe_\gamma$ . При  $1392^\circ\text{C}$  вновь происходит перестройка г.ц.к. решетки в о.ц.к., которую обозначают  $Fe_\alpha$  или  $Fe_\delta$ ; она сохраняется до температуры плавления. При  $768^\circ\text{C}$  на кривой нагрева железа появляется перегиб, соответствующий изменению магнитных свойств железа (точка Кюри для железа). До  $768^\circ\text{C}$   $Fe_\alpha$  ферромагнитно, выше  $768^\circ\text{C}$   $Fe_\alpha$  парамагнитно. Пока не было установлено, что магнитные превращения не связаны с аллотропией, немагнитное  $Fe_\alpha$  обозначали как модификацию  $Fe_\beta$ , существовавшую от  $768$  до  $911^\circ\text{C}$ .

**УГЛЕРОД** в природе встречается в виде двух модификаций в форме алмаза, имеющего сложную кубическую решетку, и в форме графита, имеющего простую гексагональную решетку. Плотность графита  $2,25 \text{ г/см}^3$ . В отличие от других материалов прочность графита увеличивается при повышении температуры: при  $20^\circ\text{C}$   $\sigma_B \approx 20 \text{ МПа}$ ; : при  $2500^\circ\text{C}$   $\sigma_B \approx 40 \text{ МПа}$ ; что выше прочности всех тугоплавких металлов при данной температуре. При нагреве до  $3650^\circ\text{C}$  сублимация (возгонка) графита – превращение в газообразное состояние, минуя жидкое состояние.

В результате взаимодействия железа с углеродом образуются следующие четыре фазы.

**ФЕРРИТ (Ф)** – твердый раствор внедрения углерода в  $Fe_\alpha$ . Обозначается  $Fe_\alpha(C)$ . Растворимость углерода в  $Fe_\alpha$  очень низкая. Максимальная растворимость достигает  $0,02\%$  при  $727^\circ\text{C}$ . При комнатной температуре растворяется меньше  $0,006\%$  углерода.

Поры в решетке  $Fe_\alpha$  гораздо меньше размеров атома углерода (диаметр атома углерода  $0,154 \text{ нм}$ ), по-видимому углерод находится в дефектах решетки. Название фазы «феррит» связано с ее ферромагнитными свойствами. Выше  $1392^\circ\text{C}$  высокотемпературный  $\delta$ -феррит [ $Fe_\delta(C)$ ] имеет предельную растворимость углерода  $0,1\%$  при  $1499^\circ\text{C}$ . Твердость и механические свойства феррита близки к свойствам технически чистого железа; они зависят от количества легирующих элементов, присутствующих в нем (многие металлы и неметаллы образуют с ферритом твердые растворы замещения). Феррит  $Fe_\alpha(C)$  с  $0,006\% \text{ C}$  при температуре  $20^\circ\text{C}$  имеет  $\sigma_B \approx 250 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_{0,2} \approx 120 \text{ МПа}$ ;  $\delta \approx 50 \%$ ;  $\psi \approx 80 \%$   $HV 80 \dots 90$  ( $800 \dots 900 \text{ МПа}$ ), т.е. феррит мягок и пластичен.

**АУСТЕНИТ (А)** – твердый раствор внедрения углерода в  $Fe_\gamma$ . Его обозначают  $Fe_\gamma(C)$ . Фаза имеет название в честь английского ученого Р.Аустена. Углерод занимает пору в центре г.ц.к. ячейки. Максимальная растворимость углерода в  $Fe_\gamma$   $2,14\%$  при  $1147^\circ\text{C}$ , а при  $727^\circ\text{C}$  – всего лишь  $0,8\%$ . Аустенит – парамагнитен, вязок, весьма пластичен ( $\delta = 40 \dots 50\%$ ), имеет

низкую прочность и твердость,  $HB \sim 170 \dots 220$  (1700 ... 2200 МПа). Легирующие элементы растворяющиеся в аустените могут значительно изменить его свойства, а также температурные границы его существования.

**ЦЕМЕНТИТ (Ц)** – химическое соединение железа с углеродом ( $Fe_3C$  – карбид железа), образующееся при содержании углерода 6,67% (цементит имеет сложную орторомбическую решетку, в элементарной ячейке которой находятся 12 атомов железа и 4 атома углерода). Температура плавления цементита  $1250^\circ C$ . Цементит имеет очень высокую твердость ( $HB - 800$  (8000 МПа), хрупкий. До  $217^\circ C$  обладает слабыми ферромагнитными свойствами. По условиям образования различают цементит первичный (Ц<sub>I</sub>), вторичный (Ц<sub>II</sub>), третичный (Ц<sub>III</sub>).

**ЖИДКИЙ РАСТВОР (ЖР)** – хорошо перемешанные атомы железа и углерода. Жидкое железо хорошо растворяет углерод, образуя однородную жидкую фазу с неограниченной растворимостью компонентов.

Из этих фаз при определенной температуре и концентрации углерода могут образоваться двухфазовые структуры.

**ПЕРЛИТ (П)** – это механическая или эвтектоидная смесь феррита и цементита вторичного. Образуется при охлаждении из аустенита с содержанием углерода 0,8% от  $727^\circ C$ . Название перлит эвтектоид получил за блеск на полированном и протравленном шлифе, напоминающий блеск перламутра. Твердость пластинчатого перлита  $HB 200 \dots 250$  (2000 ... 2500 МПа) а зернистого перлита  $160 \dots 220$  (1600 ... 2200 МПа).

**ЛЕДЕБУРИТ (Л)** – это механическая или эвтектическая смесь аустенита и цементита первичного. Ледебурит образуется при охлаждении из жидкого раствора с содержанием углерода 4,3% от  $1147^\circ C$ . При дальнейшем охлаждении ниже  $727^\circ C$  аустенит, входящий в ледебурит, превращается в перлит. Эвтектика названа в честь немецкого ученого Ледебура. Ледебурит отличается большой твердостью ( $HB 600 \dots 700$  или  $6000 \dots 7000$  МПа) и хрупкостью.

На диаграмме  $Fe-Fe_3C$  можно выделить две области по содержанию углерода: стали – с содержанием углерода от 0 до 2,14% и чугуны – с содержанием углерода от 2,14 до 6,67% (рис. 1).

Рассмотрим фазовые превращения при охлаждении сплавов с различным содержанием углерода (см. рис. 1). Для упрощения допускаем, что фазовые превращения начинаются на соответствующих линиях, в действительности происходят ниже, так как запас свободной энергии новой и старой фаз на соответствующих линиях одинаков. Однако чтобы происходило фазовое превращение, необходим меньший запас свободной энергии новой фазы, чем старой, что достигается переохлаждением сплава ниже соответствующей линии. Метастабильную диаграмму состояния  $Fe-Fe_3C$  рассматриваем от высоких температур расплавленного раствора до комнатной ( $20^\circ C$ ).

Линия  $ABCD$  – линия ликвидус, от которой начинается процесс кристаллизации и выше которой сплавы находятся в жидком состоянии. Линия  $AHJECF$  – линия солидус, на которой заканчивается процесс

кристаллизации. Ниже линии солидус все сплавы находятся в твердом состоянии.

В сплавах, содержащих до 0,1% углерода (до точки  $H$ , см. рис. 1), при охлаждении происходит кристаллизация  $Fe_\delta(C)$  с последующим превращением его в аустенит. В сплавах, содержащих 0,1 ... 0,5% углерода (до точки  $B$ , см. рис. 1), образование аустенита происходит по линии  $HJB$  при  $1499^\circ C$ .

Таким образом все сплавы, содержащие до 2,14% углерода, после окончания кристаллизации жидкого раствора имеют структуру аустенита.

Сплавы, с содержанием углерода меньше 0,02%, расположены левее точки  $P$  и представляют собой технически чистое железо. После кристаллизации аустенита при его охлаждении до точки на линии  $GS$  в сплаве никаких фазовых превращений не происходит: аустенит просто охлаждается. На линии  $GS$  начинается перестройка решетки аустенита (г.ц.к.) в решетку феррита (о.ц.к.) с изменением содержания углерода в обоих твердых растворах: по мере охлаждения состав аустенита изменяется по линии  $GS$ , а состав феррита – по линии  $GP$ . Состав сплавов и количество фаз для сплавов системы  $Fe-Fe_3C$  определяют и рассчитывают по правилу отрезков. В точке  $A_1$  на линии  $GP$  вторичное превращение заканчивается и до точки на линии  $PQ$  происходит охлаждение образовавшегося феррита. Ниже линии  $OP$  сплавы находятся в области двухфазного состояния  $\Phi + \Psi$ . Линия  $PQ$  (см. рис. 1) – линия переменной растворимости углерода в решетке феррита от 0,02 до 0,006%. Этот избыточный углерод образует с железом химическое соединение  $Fe_3C$ , т.е.  $\Psi_{III}$  (цементит третичный, в отличие от цементита вторичного  $\Psi_{II}$ ). При обычном охлаждении  $\Psi_{III}$  выделяется главным образом внутри зерен в виде очень дисперсных включений, увеличивая прочность феррита. Если охлаждение проводить медленно, то  $\Psi_{III}$  будет выделяться по границам зерен феррита.

Рассмотрим первичные и вторичные превращения в сталях, т.е. в сплавах с содержанием углерода от 0,02 до 2,14%.

Углеродистыми сталями называют сплавы железа с углеродом (содержание углерода до 2,14%, точка  $E$ , рис.1), заканчивающие кристаллизацию образованием аустенита. В структуре таких сплавов отсутствует эвтектика (ледебурит), благодаря чему они обладают высокой пластичностью, особенно в аустенитном состоянии.

По структуре углеродистые стали подразделяют на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные.

Кривая охлаждения сплава I (см. рис. 1) типична для всех сплавов, содержащих от 0,02 до 0,8% углерода, разница – только в температурах критических точек. От точки 0 до точки 1 (рис. 2,  $a$ ) никаких превращений в жидком растворе не происходит. В точке на линии  $BC$  (см. рис. 1 и рис. 2,  $a$ ) начинается кристаллизация аустенита и в точке на линии  $JE$  заканчивается. При этом состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидуса  $BC$ , а состав аустенита – по линии солидус  $JE$ .

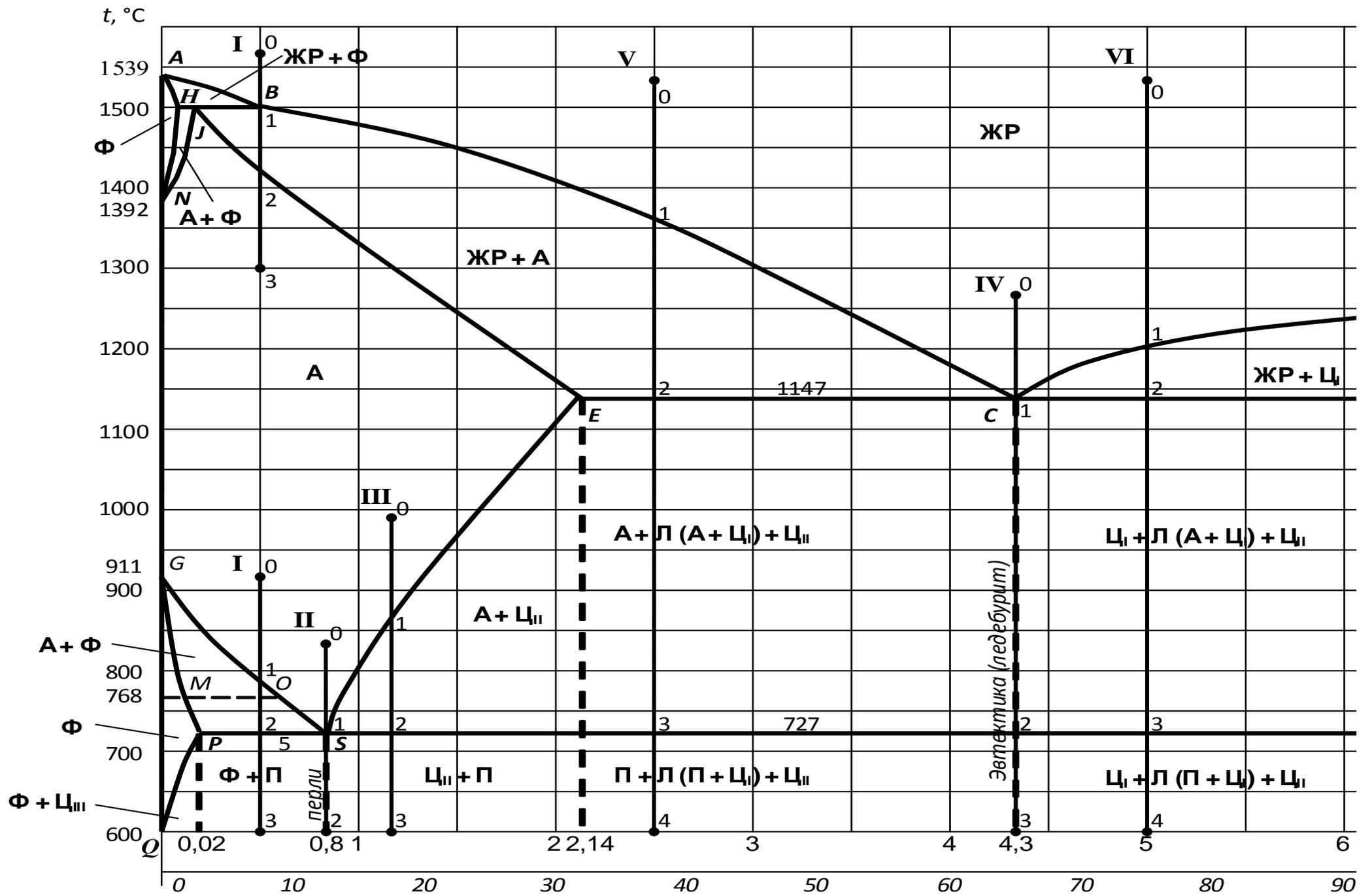
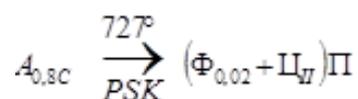


Рисунок 1 – Диаграмма состояния сплавов Fe – Fe<sub>3</sub>C

Выше точки  $A_{c3}$  на линии  $GS$  доэвтектоидная сталь имеет структуру аустенита. Ниже точки  $A_{r3}$  на линии  $GS$  в доэвтектоидных сталях начинаются вторичные превращения, т.е. превращения в твердом состоянии (см. рис. 1). При медленном охлаждении  $A_{r3}$  начинается распад аустенита с выделением феррита, который протекает до точки  $A_{r1}$  на линии  $PSK$ .

Вследствие выделения из аустенита феррита концентрация углерода в аустените непрерывно возрастает (между точками  $A_{r3}$  и  $A_{r1}$ ) и при достижении точки  $A_{r1}$  концентрация углерода в аустените становится равной 0,8%, т.е. эвтектоидной состав аустенита изменяется по линии  $GS$ , состав феррита по линии  $GP$  (см. рис. 1). В точке  $A_{r1}$  при 727°C происходит второй этап – эвтектоидно-перлитный распад аустенита с концентрацией углерода 0,8%, т.е.  $A_s \Leftrightarrow \Phi_p + \Pi_k$ . Чем больше в стали углерода, т.е. чем ближе располагается сплав к точке  $S$ , тем большее время необходимо для этого превращения и в структуре сплава будет больше перлита. Структура стали ниже точки  $A_{r1}$  будет состоять из  $\Phi + \Pi$ .

Сплав II (см. рис. 1) содержит 0,8% углерода, т.е. по составу отвечает точке эвтектоидного превращения. При его охлаждении до 727°C аустенит не испытывает никаких превращений, поэтому при температуре 727°C весь аустенит превратится в перлит по эвтектоидной реакции



При эвтектоидном превращении наблюдается восходящая диффузия. Ведущей фазой является цементит. Пластинка цементита начинает расти от границы зерна аустенита, центром кристаллизации оказывается неметаллическое включение. Соседние области обедняются углеродом и там образуется феррит, причем г.ц.к. решетка аустенита превращается в о.ц.к. решетку феррита. Повторяясь многократно, этот процесс приводит к образованию зерна перлита, состоящего из параллельных пластинок, цементита и феррита. Чем грубее и крупнее выделение цементита, тем хуже механические свойства перлита.

Сплав III (см. рис. 1) содержит углерода больше 0,8%, но меньше 2,14%, т.е. он располагается между точками  $S$  и  $E$ . После кристаллизации заэвтектоидная сталь, как и доэвтектоидная и

эвтектоидная стали, имеет структуру аустенит, т.е. кристаллизация сплава III протекает также, как и сплавов I и II.

Аустенит заэвтектоидной стали содержит большее количество углерода по сравнению с эвтектоидной сталью, поэтому распад аустенита начинается с выделения фазы, богатой углеродом, т.е. цементита вторичного при температурах по линии  $ES$ . Точка  $E$  соответствует максимальной растворимости углерода в аустените, т.е. 2,14%, а точка  $S$  – минимальной, т.е. 0,8%. Избыточный углерод по мере понижения температуры выделяется из решетки аустенита и образует с железом вторичный цементит  $\Pi_{II}$ .

В точке  $Ar_1$  при  $727^\circ\text{C}$  происходит эвтектоидное превращение по реакции. Таким образом, после окончательного охлаждения сплав будет иметь структуру П+Ц<sub>II</sub>. По сравнению с Ц<sub>III</sub> выделение Ц<sub>II</sub> происходит при более высоких температурах, когда скорости диффузии велики. Поэтому Ц<sub>II</sub> образуется по границам зерен в виде сетки. Цементит первичный, вторичный, третичный по химическим и физическим свойствам не отличаются, так как все они – карбид железа  $Fe_3C$ , отличие только в условиях образования, что влияет на размер и форму зерна цементита. При первичной кристаллизации из жидкого раствора образуется цементит первичный (Ц<sub>I</sub>), при вторичной кристаллизации из твердого раствора аустенита образуется цементит вторичный (Ц<sub>II</sub>), а при третичных превращениях из твердого раствора феррита выделяется цементит третичный (Ц<sub>III</sub>).

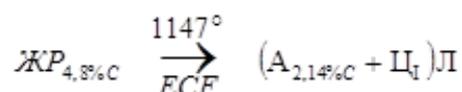
Особенностью всех сплавов с содержанием углерода от 2,14 до 6,67% является наличие в их структуре ледебурита (Л). Это чугуны.

Белые чугуны делятся на доэвтектический (содержание углерода от 2,14 до 4,3%), эвтектический (содержание углерода 4,3%) и заэвтектический (содержание углерода от 4,3 до 6,67%) (см. рис. 1).

Кривая охлаждения сплава V доэвтектического белого чугуна типична для всех сплавов, содержащих от 2,14 до 4,3% С, т.е. расположенных от точки E до точки C. Кристаллизация зерен аустенита начинается в точке 1 и заканчивается в точке 2 (см. рис. 1). С понижением температуры состав аустенита изменяется по линии солидуса JE, а состав жидкой фазы – от точки 1 до точки C. Содержание углерода в оставшемся жидком растворе увеличивается с понижением температуры и при  $1147^\circ\text{C}$  становится равным эвтектическому, т.е. 4,3%. Жидкий раствор ЖР<sub>4,3%С</sub> претерпевает эвтектическое превращение  $ЖР_C \Leftrightarrow A_E + Ц_F$ . При температуре между линиями ECF и PSK сплав имеет структуру А + Л(А + Ц<sub>I</sub>) + Ц<sub>II</sub>. Вторичные

превращения в доэвтектическом белом чугуне на I этапе связаны с уменьшением растворимости углерода в аустените по мере снижения температуры по линии ES, из аустенита выделяется цементит вторичный (Ц<sub>II</sub>). При  $727^\circ\text{C}$  аустенит достигает эвтектоидной концентрации с содержанием углерода 0,8% и далее на II этапе происходит эвтектоидное превращение  $A_S \Leftrightarrow \Phi_P + Ц_K$ . Структура доэвтектического белого чугуна будет П + Л(П + Ц<sub>I</sub>) + Ц<sub>II</sub>. Вторичный цементит сливается с цементитом ледебурита.

Эвтектический белый чугун (сплав IV, см. рис. 1), имеющий концентрацию углерода 4,3%, кристаллизуется при постоянной температуре  $1147^\circ\text{C}$  в точке C (в интервале точек I – I') с образованием ледебурита Л (А + Ц<sub>I</sub>). Эвтектическая реакция образования ледебурита идет по всей линии ECF.



Вторичные превращения в сплаве (превращения в твердом состоянии) происходят в два этапа. III этап: между точками 1' и 2 в процессе охлаждения сплава от  $1147$  до  $727^\circ\text{C}$  из аустенита  $A_{2,14\%C}$  в составе ледебурита Л(А + Ц<sub>I</sub>)

выделяется цементит вторичный  $\text{Ц}_{\text{II}}$ , так как растворимость аустенита по мере охлаждения изменяется.

При  $727^{\circ}\text{C}$  (в точке 2,) концентрация углерода в аустените становится равной эвтектоидной, т.е. 0,8%, и в интервале точек 2 – 2', происходит второй этап – эвтектоидное превращение аустенита  $\text{A}_{0,8\%C} \rightleftharpoons \text{Ф}_P + \text{Ц}_K$ . Ниже  $727^{\circ}\text{C}$  структура сплава – эвтектического белого чугуна будет  $\text{Л}(\text{П} + \text{Ц}_{\text{I}} + \text{Ц}_{\text{II}})$ .

При охлаждении сплавов, содержащих углерода от 4,3 до 6,67% (сплав VI, см. рис. 1) в точке 1 начинается кристаллизация цементита первичного  $\text{Ц}_{\text{I}}$ , так как жидкий раствор богат углеродом. С понижением температуры по мере кристаллизации  $\text{Ц}_{\text{I}}$  содержание углерода в жидком растворе уменьшается и при  $1147^{\circ}\text{C}$  (точка 2) становится равным эвтектическому, т.е. 4,3%. Далее происходит эвтектическая кристаллизация оставшегося количества жидкого раствора  $\text{ЖР}_{4,3\%C}$ . Ниже  $1147^{\circ}\text{C}$  (I этап) происходят вторичные превращения в заэвтектическом белом чугуне. При поинжении температуры (точки 2' – 3) из аустенита, входящего в ледебурит  $\text{Л}(\text{A} + \text{Ц}_{\text{I}})$ , выделяется цементит

вторичный  $\text{Ц}_{\text{II}}$ , концентрация углерода в аустените уменьшается и при  $727^{\circ}\text{C}$  достигается 0,8%, т.е. эвтектоидной концентрации. Структура белого заэвтектического чугуна на I этапе  $\text{Ц}_{\text{I}} + \text{Л}(\text{A} + \text{Ц}_{\text{II}}) + \text{Ц}_{\text{II}}$ .

При  $727^{\circ}\text{C}$  (точка 3) начинается II этап – разложение аустенита  $\text{A}_{0,8\%C}$  по реакции на феррит и цементит вторичный  $\text{Ц}_{\text{II}}$ . Структура заэвтектического белого чугуна ниже  $727^{\circ}\text{C}$  будет состоять из  $\text{Ц}_{\text{I}} + \text{Л}(\text{П} + \text{Ц}_{\text{I}}) + \text{Ц}_{\text{II}}$ .

Температуры, при которых происходят фазовые и структурные превращения в сплавах системы  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ , т.е. критические точки, обозначают буквой А (начальная буква французского слова *arret* – остановка). Первая критическая точка  $\text{A}_1$  лежит на линии  $\text{PSK}$  ( $727^{\circ}\text{C}$ ) и соответствует превращению  $\text{П} \rightleftharpoons \text{A}$ ;  $\text{A}_2$  – линия  $\text{MO}$  ( $768^{\circ}\text{C}$ ), при этой температуре происходит магнитное превращение феррита;  $\text{A}_3$  – линия  $\text{GOS}$ , по этой линии происходит превращение  $\text{Ф} \rightleftharpoons \text{A}$ , температура которого зависит от содержания углерода в стали;  $\text{A}_4$  – линия  $\text{NJ}$  – превращение  $\text{Fe}_\gamma \rightleftharpoons \text{Fe}_\delta$ ;  $\text{A}_{\text{CM}}$  – линия  $\text{SE}$ , начало выделения  $\text{Ц}_{\text{II}}$  (иногда эту точку обозначают и как  $\text{A}_3$ ). Поскольку превращения совершаются при нагреве и охлаждении при различных температурах вследствие теплового гистерезиса, чтобы отличить эти процессы, ввели дополнительные обозначения. При нагреве обозначают  $\text{Ac}_1$ ,  $\text{Ac}_3$ , при охлаждении –  $\text{Ar}_1$ ,  $\text{Ar}_3$  (начальные буквы от французских слов – *chauffe* – нагрев и *refroidissement* – охлаждение).

### **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Тема лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения.
4. В определенном масштабе необходимо выполнить диаграмму состояния сплавов  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  и кривые охлаждения железоуглеродистых сплавов, дать пояснения происходящих при этом фазовых превращений.

### ***КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ***

1. Что называется сплавом железа с углеродом?
2. Назовите структурные составляющие железоуглеродистых сплавов.
3. Какой сплав называется чугуном?
4. Как подразделяются стали по процентному содержанию углерода?
5. Структура сплава с содержанием углерода 4,3% при нормальной температуре?
6. Упорядоченный перенасыщенный твердый раствор углерода в  $Fe\alpha$  называется?
7. Химическое соединение  $Fe_3C$  называется?
8. Твердый раствор внедрения углерода в  $Fe\alpha$  называется?
9. Среди структур железоуглеродистых сплавов наибольшей твердостью обладают?
10. Среди структур железоуглеродистых сплавов наибольшей пластичностью обладают?
11. Твердый раствор внедрения углерода в  $Fe\alpha$  называется?