**Практична робота № 8**

**Визначення складу та кількості фаз за діаграмою стану**

**Мета роботи:** закріпити теоретичні знання по фазах та структурних складових, навчитися практично визначати склад та кількість фаз за діаграмою.

# Теоретичні відомості

**Діаграмою стану** називають графічне зображення фаз та структурних складових в координатах “температура – концентрація”.

**Компонентами** системи Fe-Fe3C є залізо Fe і вуглець C.

**Фазою** називають відокремлену частину системи, яка має свою структуру, хімічний склад, властивості і відокремлена від решти системи поверхнею розділу. Розрізняють такі фази в системі Fe-Fe3C:

**Структурою** називають форму, розміри та розташування фаз у системі.

 L **(ліква)** – розчин вуглецю в розплавленому залізі.

Ф **(ферит)** – твердий розчин проникнення вуглецю в α-залізі з структурою ОЦК і розчинністю від 0% до 0,02%. Ферит має невисоку твердість і високу пластичність.

Фδ **(ферит δ)** – твердий розчин проникнення вуглецю в δ-залізі з структурою ОЦК і розчинністю від 0% до 0,1%.

А **(аустеніт)** – твердий розчин про­никнення вуглецю в γ-залізі з структурою ГЦК і розчинністю від 0% до 2,14%. Аустеніт парамагнітний, пластичний, має низьку міцність і твердість.

Ц **(цементит)** - хімічне з’єднання заліза з вуглецем – карбід заліза (Fe3C), містить 6,67% С. Температура плавлення цементиту – 1260°С. Цементит має дуже високу твердість та крихкість.

Існують різновиди цементиту:

ЦІ - виділяється при кристалізації з рідкої фази у всіх залізовуглецевих сплавах, які містять вуглецю більше 4,3%;

ЦІІ - виділяється при вторинній кристалізації з аустеніту внаслідок зменшення розчинності вуглецю в γ-залізі при зниженні температурі від 1147°С до 727°С;

ЦІІІ- виділяється з фериту внаслідок зменшення розчинності вуглецю в α-залізі при зниженні температури від 727°С до кімнатної;

**Структурними складовими** називають частину системи, що містить дві і більше фаз. В системі Fe-Fe3C розрізняють такі структурні складові.

П **(перліт)** – евтектоїдна механічна суміш, яка складається з дрібних різних за розміром пластинок цементиту в феритній основі. Вміст вуглецю становить 0,8%. Утворюється при розпаді аустеніту визначеного складу при температурі 727°С. Структура має перламутровий блиск.

Л **(ледебурит)** – евтектична механічна суміш цементиту і аустеніту, містить 4,3% вуглецю. При температурі вище 727°С і нижче 1147°С ледебурит називають високотемпературним, він складається з аус­теніту і цементиту ЦІ і позначається як ЛВ. При температу­рі нижчій 727°С ледебурит називають низькотемпературним, він складаєть­ся з перліту і цементиту і позначається як ЛН.

**Координати точок діаграми Fe-Fe3C**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Точка | t,ºC | %C | Визначення точки |
| A | 1539 | 0 | Температура плавлення заліза |
| C | 1147 | 4,3 | Склад евтектики |
| D | 1260 | 6,67 | Температура плавлення цементиту |
| E | 1147 | 2,14 | Гранична розчинність вуглецю в γ-залізі  |
| G | 911 | 0 | Поліморфне перетворення α-заліза в γ-залізо  |
| P | 727 | 0,02 | Гранична розчинність вуглецю в α-залізі  |
| S | 727 | 0,8 | Евтектоїд не перетворення |
| Q | 20 | 0,006 | Мінімальна розчинність вуглецю в α-залізі  |

**Основні лінії діаграми:**

*Лінія АВСD – лінія ліквідус*. Вище цієї лінії всі сплави знаходяться в рідкому стані.

*Лінія AHJECF – лінія солідус.* Нижче цієї лінії всі сплави знаходяться в твердому стані.

*Лінії поліморфного перетворення:*

Вуглець розчиняючись в поліморфній модифікації α-заліза знижує температуру поліморфного перетворення від 911°С до 727°С.

GS і GP – лінії нижнього поліморфного перетворення.

HN, JN – лінії верхнього поліморфного перетворення.

*Лінії змінного розчинення вуглецю в поліморфних модифікаціях*:

ES – max 2,14% С min 0,8% С;

GP – max 0,02% С min 0,006% С;

*Лінії ізотермічного перетворення:*

По лінії JHB при 1499°С відбувається перитектичне перетворення:



По лінії ECF при 1147°С відбувається евтектичне перетворення



По лінії PSK відбувається евтектоїд не перетворення



**Критичними точками** називаються температури, при яких відбуваються фазові та структурні перетворення в сплавах системи “Fe-Fe3C”. Позначаються буквою А (arret – зупинка (фран.).

А0 – цементит переходить з феромагнітного стану в парамагнітний;

А1 – знаходяться на лінії PSK, при температурі 727°С аустеніт розпадається з утворенням перліту;

А2 – знаходяться на лінії МО, при температурі 768°С залізо із феромагнітного стану переходить в парамагнітний;

А3 – знаходяться на лінії GS, відбувається перетворення аустеніту в ферит;

Аcm – знаходяться на лінії SE, початок виділення цементиту вторинного.

При нагріві через тепловий гістерезис добавляють букву с (АС1, АС3), при охолодженні r (Аr1, Аr3).

**Кінцевий структурний стан** сплаву визначається фазами та структурними складовими в області діаграми, яка відповідає заданій концентрації вуглецю при температурі 600°С.

**Чис­ло ступенів вільності** визначають згідно з правилом фаз С = К + 1 – Ф, де К = 2 – число компонентів, Ф – число фаз.

## З допомогою **правила відрізків** визначимо кількість фаз:



Необхідно зазначити, що всі описані зміни структури, що проходять при охолодженні сплавів, повторюються і при нагріванні сплавів (у зворотному порядку). Це справедливо лише в тому випадку, коли охолодження і нагрівання проходять із дуже малими швидкостями, і при будь-якій температурі всі можливі перетворення повністю завершені й сплави знаходяться в стані фазової рівноваги.

Про фазові перетворення можна судити з кривих їх охолодження або нагрівання. Як приклад розглянемо процес структуроутворення в сталі з *0,4% С* (рис. 5.2). Вище точки *1* сталь знаходиться в рідкому стані і безперервно охолоджується. В інтервалі температур *1-2* із рідкої фази, склад якої змінюється по ліквідусу *АВ*, випадають кристали *– фериту,*склад яких визначається по солідусу *АН.*За правилом фаз*С=2-2+1=1, t  const*. При кристалізації виділяється тепло, на ділянці кривої *1-2* охолодження сплаву зменшується. При температурі точки 2 проходить трифазне перитектичне перетворення: *РВ+Н А1+Р(залишок); С=2-3=1=0, t=const.*

Залишкова рідина кристалізується при безперервному охолодженні в інтервалі температур *2-3*з утворенням аустеніту. В інтервалі *3-4* сплав має структуру *А*(аустеніту), безперервно охолоджується. При температурах *4-5* проходить поліморфне перетворення, *ГЦК*перебудовується в *ОКЦ* ґратку і з аустеніту виділяються кристали -фериту.

При температурі точки 5 проходить трифазне евтектоїдне перетворення *А(S) Ф(Р)+Ц(К),* коли з аустеніту, не перетвореного у ферит, утворюється ***евтектоїд - перліт****(Ф+Ц).*У процесі подальшого охолодження сплаву зфериту виділяється *ЦІІІ*, який нашаровується на цементиті перлітному. Структура сталі охолодженої нижче температури *точки 5*(до точки *6*)*- Ф+П*(рис. 5.3, а).

Масові долі *(%)*фериту й перліту як структурних складових сталей можуть бути визначені за правилом відрізків. Наприклад, при *600*°*С Ф=(0,8-0,4)/(0,8-0,01)100=50 %,*а перліту *П=(0,4-0,01)/(0,8-0,01)100=50 %.*Масова доля фериту як фази, що існує разом із цементитом, *Ф=(6,67-0,4)/(6,67-0,01)100=94 %*. Решта *6 %* належать іншій фазі – цементиту.

Таким чином, структура, що містить *0,4% С*, складається із *50 %* фериту і *50%* перліту (відповідно до фазового аналізу - *94 % Ф+6 %Ц).*



Рисунок 5.2 – Діаграма стану системи “Залізо-вуглець” і криві охолодження сталей (сплави І і ІІ) і чавунів (сплави ІІІ і ІV)

Аналогічна ферито-перлітна структура (тільки з різною часткою цих складових) усіх доевтектоїдних сталей (рис. 5.3, б).

Кристалізація типової заевтектоїдної сталі II з 1,5 % вуглецю (рис. 5.2) відбувається в інтервалі температур від точки 7 до точки 8, коли з рідкої сталі з’являються зерна аустеніту. Після закінчення кристалізації від температури точки 8 до точки 9 в аустенітній області відбувається просте фізичне охолодження однофазного сплаву. Оскільки лінія ES – лінія сольвусу, тобто лінія обмеженої розчинності вуглецю в -Fe (аустеніті), то нижче від точки 9 аустеніт стає перенасиченим вуглецем. Надлишкові атоми вуглецю виходять із ґратки аустеніту, зв’язуються з атомами заліза у хімічну сполуку – цементит. Такий цементит визначають як вторинний - ЦII. Він виділяється по межах аустенітних зерен у вигляді тонкого прошарку. При охолодженні до 727 °С кількість вуглецю в аустеніті зменшується до 0,8 % (від точки 9 до точки S по лінії ES) і такий аустеніт при температурі точки 10 перетворюється на перліт. Структура всіх заевтектоїдних сталей – темні зерна перліту, оточені світлими прошарками вторинного цементиту (рис. 5.3, г).



     а б     в     г

Рисунок 5.3 – Схеми структур: а – технічного заліза; б —доевтектоїдної сталі; в – евтектоїдної сталі; г – заевтектоїдної сталі

Як уже зазначалось, залізовуглецеві сплави з вмістом вуглецю більше 2,14% є чавунами, які поділяються на евтектичні, до- і заевтектичні.

У доевтектичних чавунах (сплав III, рис. 5.2) первинна кристалізація відбувається в інтервалі температур між точками 12 і 13 з виділенням аустеніту. При температурі точки 13 (1147 °С) проходить евтектичне перетворення РС Л(АЕ+Ц). Згідно з правилом фаз – С=2-3+1=0 – це перетворення відбувається при постійній температурі (див. криву охолодження сплаву III).

Після закінчення цієї реакції структура сплаву буде складатися з аустеніту та ледебуриту. При зниженні температури з 1147 °С до 727 °С (точка 14) із аустеніту, в якому було 2,14 % С за рахунок зменшення розчинності вуглецю до 0,8 % (точка S) виділяється вторинний цементит ЦII, що розміщується навколо зерен аустеніту. Такий вторинний цементит виділяється також і з аустеніту, що входить до складу ледебуриту. При температурі 727°С проходить евтектоїдне перетворення аустеніту (як первинного, так і того, що входив до складу ледебуриту) в перліт (АП), після завершення якого кінцева структура доевтектичних чавунів (рис. 5.4, а) буде складатися з перліту (темні зерна) і плямистої структури ледебуриту (темні плями перліту на фоні світлого цементиту). Вторинний цементит зливається з цементитом ледебуриту і як окрема фаза не спостерігається.

Структура евтектичного чавуну з 4,3 % С – суто ледебуритна (рис. 5.4, б).



а     б     в

Рисунок 5.4 – Схеми структур чавунів: а – доевтектичного; б – евтектичного; в - заевтектичного

Кристалізація заевтектичних чавунів (сплав IV на рис. 5.2) починається з виділення в точці 16 кристалів первинного цементиту Ц1 у вигляді пластин. При температурі точки 17 (1147 °С) відбувається евтектичне перетворення РС Л(АЕ+Ц), після завершення якого структура буде складатися з ледебуриту і первинних кристалів цементиту. Така структура буде зберігатися аж до кімнатної (точки19) з тією різницею, що в кінцевому ледебуриті буде не аустеніт, а перліт, який утворився внаслідок евтектоїдного перетворення при температурі точки 18 —727 °С (рис. 5.4, в).

Ці чавуни називаються білими, оскільки в зламі мають білий сріблястий колір, який визначається наявністю в структурі цементиту.

Діаграма стабільної рівноваги, позначена на рис. 5.2 пунктиром, відображає можливість утворення високовуглецевої фази – графіту на всіх етапах процесу структуроутворення в сплавах з підвищеним вмістом вуглецю. В інтервалі температур ліквідус *DC* – солідус *CF* із рідини виділяється графіт. При евтектичній температурі *1153 0С* (ізотерма *E1C1F1*) рідина складу *С*твердне з утворенням графітної евтектики *(АЕ+Г)*. В інтервалі температур *ECF – PSK* через зменшення розчинності вуглецю в аустеніті (лінія *ES*) виділяється графіт. При евтектоїдній температурі *(tPSK=738*°*С)* вміст вуглецю в аустеніті досягає *0,7 % (S1)* і аустеніт розпадається на ферит і графіт.

Таким чином, при охолодженні сплавів, які включають *2,14…6,67 % С,* формується структура, яка складається з фериту та графіту. Це так звані графітизовані чавуни.