**Тема № 12**

**Залізо та його сплави. Вуглецеві сталі та чавуни**

**1. Компоненти та фази в системі Fe – C**

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

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

**Вуглець**- це неметалевий елемент з температурою плавлення 3500 °С. Із залізом він утворює тверді розчини або хімічні сполуки, а в певних умовах може виділятись у вигляді графіту.

**Залізо** з вуглецем утворює ряд хімічних сполук. З них практичне зна­чення має карбід Fе3С, який містить 6,67 % С. Цей карбід називають *цемен­титом* (Ц).

**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.

**2. Діаграма метастабільного стану системи Fe – C**

**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.

Лі*нія 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.

**Критичними точками** називаються температури, за 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).

**3. Структурні складові діаграми Fe – C**

**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.

**4. Нонваріантні перетворення залізовуглецевих сплавів**

Три горизонтальні ліній на діаграмі (HJB, ECF, PSK) вказують на наявність трьох нон варіантних перетворень.

**Лінії ізотермічного перетворення:**

По лінії JHB при 1499°С відбувається перитектичне перетворення 9рідина взаємодіє з кристалами Фδ з утворенням аустеніту):



Ця реакція властива тільки сплавам з вмістом вуглецю 0,1…0,5%.

По лінії ECF при температурі1147°С відбувається евтектичне перетворення



Евтектична механічна суміш аустеніту і цементиту названа ледебуритом. Таке перетворення властиве всім сплавам з вмістом вуглецю понад 2,14%

По лінії PSK відбувається при температурі 727°С евтектоїдне перетворення



Евтектоїдну механічну суміш фериту та цементиту назвали перлітом. Це перетворення властиве усім сплавам з вмістом вуглецю понад 0,02%.

**5. Характеристика вуглецевих сталей**

**Вуглецеві сталі** промислового виробництва – це багатокомпонентні сплави, які, крім заліза й вуглецю, мають домішки марганцю, кремнію, фосфору сірки та деякі інші. Кожен з перелічених компонентів впливає на структуру та властивості сталей.

В сталях завжди присутні домішки, які поділяються на три групи:

**1. Постійні домішки***:* кремній, марганець, сірка, фосфор.

**Марганець** і **кремній** вводяться в процесі виплавки сталі для розкислювання, вони є технологічними домішками.

Вміст марганцю не перевищує 0,5…0,8 %. Марганець підвищує міцність, не знижуючи пластичності, і різко знижує червоноламкість сталі, викликану впливом сірки.

Вміст кремнію не перевищує 0,35…0,4 %. Кремній, дегазуючи метал, підвищує густину зливка. Кремній розчиняється у фериті і підвищує міцність сталі і спостерігається деяке зниження пластичності.

Вміст **фосфору** в сталі 0,025…0,045 %. Фосфор, розчиняючись у фериті, спотворює кристалічні грати і збільшує межу міцності σв і межа текучості σт, але знижує пластичність і в’язкість.

**Сірка** – зменшується пластичність, зварюваність і корозійна стійкість. Фосфор –спотворює кристалічні грати.

Вміст сірки в сталях складає 0,025…0,06 %. Сірка – шкідлива домішка, потрапляє в сталь з чавуну. При взаємодії із залізом утворює хімічне з’єднання – сульфід сірки FeS.

Сірка знижує механічні властивості, особливо ударну в’язкість і пластичність, а також межа витривалості. Вона погіршує зварюваність і корозійну стійкість.

**2. Приховані домішки** - гази (азот, кисень, водень) – потрапляють в сталь при виплавці.

**Азот** і **кисень** знаходяться в сталі у вигляді крихких неметалічних включень: оксидів (FeO, SiO2, Al2O3 )нітридів (Fe2N), у вигляді твердого розчину або у вільному стані, розташовуючись в дефектах (раковинах, тріщинах).

Дуже шкідливим є розчинений в сталі водень, який значно окрихчує сталь. Він призводить до виникнення внутрішніх тріщин – флокенів.

*Флокени* – тонкі тріщини овальної або округлої форми, що мають в зламі вид плям – пластівців сріблястого кольору.

Метал з флокенами не можна використовувати в промисловості, при зварюванні утворюються холодні тріщини в наплавленому і основному металі.

Для видалення прихованих домішок використовують вакуумування.

**3. Спеціальні домішки** – спеціально вводяться в сталь для отримання заданих властивостей. Домішки називаються легуючими елементами, а сталі - легованими сталями.

**Вуглецеві сталі** класифікують за такими ознаками:

1. За хімічним складом сталі поділяються: вуглецеві і леговані.
2. За вмістом вуглецю:

- низьковуглецеві із вмістом вуглецю до 0,25 %;

- середньовуглецеві із вмістом вуглецю 0,3…0,6 %;

- високовуглецеві із вмістом вуглецю вище 0,7 %

1. За рівноважною структурою: доевтектоїдні, евтектоїдні, заевтектоїдні.
2. За якістю. Критерієм якості є масові частки шкідливих домішок: сірки і фосфору:

- image011, image012– вуглецеві сталі звичайної якості:

- image013– якісні сталі;

- image014– високоякісні сталі.

1. За способом виробництва розрізняють сталі, виплавлені:

- в мартенівських печах;

- в кисневих конверторах;

- в електричних печах: електродугових, індукційних і ін.

6. За ступенем окислення сталі поділяються на:

- спокійні;

- напівспокійні;

- киплячі.

1. За призначенням сталі поділяють:

- конструкційні – застосовуються для виготовлення деталей машин і механізмів;

- інструментальні – застосовуються для виготовлення різних інструментів;

- спеціальні – сталі з особливими властивостями: електротехнічні, з особливими магнітними властивостями і ін.

Прийнято буквено-цифрове позначення сталей.

Вуглецеві сталі звичайної якості (ГОСТ 380).

Сталі містять підвищену кількість сірки і фосфору. Маркуються Ст.2кп., БСт.3кп, ВСт.3пс, ВСт.4сп.

Ст – індекс даної групи сталі. Цифри від *0* до *6* - це умовний номер марки сталі. Із збільшенням номера марки зростає міцність і знижується пластичність сталі. Існує три групи сталей: А, Б і В. Для сталей групи А при поставці гарантуються механічні властивості, в позначенні індекс групи А не вказується. Для сталей групи Б гарантується хімічний склад. Для сталей групи В при поставці гарантуються і механічні властивості, і хімічний склад.

Індекси кп, пс, сп вказують ступінь розкислення сталі: кп - кипляча, пс – пс - напівспокійна, сп - спокійна.

Якісні вуглецеві сталі

Якісні сталі поставляють з гарантованими механічними властивостями і хімічним складом (група В). Ступінь розкислення, в основному, спокійна.

*Конструкційні якісні вуглецеві сталі* Маркуються двозначним числом, яке вказує середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Вказується ступінь розкислення, якщо він відрізняється від спокійної. Наприклад, сталь 08 кп, сталь 10 пс, сталь 45. Вміст вуглецю, відповідно, 0,08 %, 0,10 %, 0.45 %.

*Інструментальні якісні вуглецеві сталі* маркуються буквою У (вуглецева інструментальна сталь) і числом, яке вказує вміст вуглецю в десятих частках відсотка. Наприклад, сталь У8, сталь У13. Вміст вуглецю, відповідно, 0,8 % і 1,3 %

*Інструментальні високоякісні вуглецеві сталі.* Маркуються аналогічно якісним інструментальним вуглецевим сталям, тільки вкінці марки ставлять букву А для позначення високої якості сталі. Наприклад, сталь У10А.

**6. Характеристика чавунів**

За хімічним складом чавуни відрізняються від сталі високим вмістом вуглецю (більше 2,14 %) і постійних домішок (S, Р, Sі, Мn). Порівняно зі сталями чавуни мають нижчі механічні властивості, але значно кращі технологічні (ливарні, оброблюваність різанням, антифрикційні властивості, зносостійкість). Це зумовлює широке використання чавуну для виготовлення багатьох деталей у різних галузях машинобудування. Чавун, як правило, дешевший за сталь.

Залежно від стану вуглецю в чавуні розрізняють:

- білий чавун – вуглець перебуває в зв’язаному стані у вигляді цементиту, в зламі має білий колір і металевий блиск;

- сірий чавун – весь вуглець або велика частина знаходиться у вільному стані у вигляді графіту, а в зв’язаному стані знаходиться не більше 0,8 % вуглецю. Через велику кількість графіту його злам має сірий колір;

- половинчастий – частина вуглецю знаходиться у вільному стані у формі графіту, але не менш 2 % вуглецю знаходиться у формі цементиту. Мало використовується в техніці.

За структурою білі чавуни поділяють на доевтектичні (2,14...4,3 % С), евтектичні (4,3 % С) і заевтектичні (4,3...6,7 *%* С).

Структуру доевтектичних білих чавунів складають перліт, ледебурит і вторинний цементит. Евтектичний чавун має структуру ледебуриту -рівномірної механічної суміші перліту і цементиту. Заевтектичний чавун характеризує структура, що складається з первинного цементиту і ледебуриту.

Структура сірих, ковких і високоміцних чавунів складається з металевої основи, що пронизана графітовими вкрапленнями. Розрізняють три основні форми графітових вкраплень (фаз): пластинчасту, пластівчасту та кулясту.

**Сірим чавунам** притаманна пластинчаста форма графіту, який можна розглядати як тріщину чи надріз, що створює концентрацію напружень у металевій матриці та різко знижує характеристики міцності чавуну. Сірий чавун – найдешевший конструкційний матеріал. У виробництво надходить у вигляді виливків, має високі ливарні властивості, добре оброблюється різанням, чинить опір зношуванню, здатен розсіювати коливання при вібраційних і змінних навантаженнях (у 2... 4 рази вище за сталь). Промисловість випускає такі марки сірих чавунів: СЧК), СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45. При маркуванні сірих чавунів літери СЧ означають - чавун сірий, а цифри - мінімальне значення границі міцності при розтязі.

**Ковкі чавуни**більш пластичного, порівняно з сірим, чавуну. Його ніколи не кують. Одержують його шляхом тривалого високотемпературного відпалювання виливків білого чавуну з перлітно-цементитною структурою. Під час такого графітизуючого відпалювання цементит білого чавуну розпадається, утво­рюючи графіт пластівчастої форми. Залежно від структури металевої основи розрізняють ковкі феритний і перлітний чавуни. Феритні ковкі чавуни одержують з білих, які мають у своєму складі 2,4...2,8 % С; 0,8... 1,4 % Sі; 0,3...0,4 % Мn; 0,08... 0,1 % S; <0,2 % Р. Перлітні ковкі чавуни виготовляють з білих, які містять 2,8... 3,4 *%* С; 0,5...0,8 % Sі; 0,4...0,5 % Мn; 0,12 % 8 ; 0,2 % Р.

Залежно від показників міцності при розтязі і відносного видовження ковкі чавуни розрізняють за марками: КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12 - це феритні чавуни; КЧ45-6, КЧ50-4. КЧ56-4, КЧ60-3, КЧ63-2 -перлітні. З ковких чавунів виготовляють високоміцні деталі для змінних і ударних навантажень, підвищеного спрацювання, наприклад, шестерні, шатуни, картер заднього мосту, гальмівні колодки, ступиці, гачкові ланцюги, пальці різальних апаратів тощо.

**Високоміцні чавуни** *-* це різновид сірого чавуну з феритною або перлітною структурою, модифікованого магнієм або комплексними модифікаторами (магній з добавками силіцію та інші). В результаті модифікування одержують графіт кулястої форми і невеликих розмірів. Такі чавуни мають підвищену міцність і порівняно з сірими чавунами здатні чинити опір крихкому руйнуванню. Вони мають феритну або перлітну структуру металевої основи.

Залежно від границі міцності і відносного видовження високоміцні чавуни поділяють на такі марки: ВЧ38-І7, ВЧ42-12, ВЧ45-5, ВЧ50-2, ВЧ60-2, ВЧ70-3, ВЧ80-3, ВЧ100-4, ВЧ120-4. Високі механічні властивості цих чавунів дозволяють використовувати їх для виготовлення деталей машин, що працюють за умов значних навантажень, замість поковок і виливків із сталей. З високоміцного чавуну виготовляють деталі ковальсько-пресового обладнання, прокатних станів, парових турбін, тракторів, автомобілів (колінчасті вали, поршні тощо).