

# Властивості та діаграма стану залізо – вуглець.

## Структура перетворення при нагріванні

Найважливішими матеріалами в сучасній машинобудівній промисловості є залізовуглецеві сплави: технічне залізо, сталі та чавуни. Основою для вивчення процесів формування їх структури є діаграма стану системи Fe-C .

Залізо – сріблясто-білий метал, який має температуру плавлення  $1539^{\circ}\text{C}$  і такі механічні властивості: твердість 80 НВ, границя міцності при розтягуванні 250 МПа, і відносне видовження 45 %. Залізо порівняно з деякими металами є м'яким і пластичним.

Вуглець неметалева хімічна речовина, температура плавлення якої становить  $3500^{\circ}\text{C}$ , міцність 20-40 МПа.

У залізовуглецевих сплавах вуглець перебуває у вигляді графіту (в структурі чавунів), або у вигляді хімічної сполуки карбиду заліза  $\text{Fe}_3\text{C}$  із вмістом вуглецю 6,67 %.

Залізо і вуглець при відповідних концентраціях і температурах можуть утворювати механічні суміші, хімічні з'єднання і тверді розчини.

*Алотропічне перетворення* завжди супроводжується виділенням теплоти при охолодженні й поглинанням теплоти при нагріванні.

У твердому стані залізо може перебувати у двох модифікаціях – об'ємоцентрична кубічна ґратка і гранецентрична кубічна ґратка.

Зміна будови кристалічної ґратки заліза зумовлює зміну деяких його властивостей. Наприклад, у  $\text{Fe}_\alpha$  ( $\alpha$  - залізо) майже

не розчиняється вуглець, а у  $Fe_\gamma$  ( $\gamma$  залізо) розчиняється до 2,14 % за температури 1147 °C.

## Діаграма стану залізо — цементит та перетворення структурних складових залізовуглецевих сплавів.



Рис. 2.22. Діаграма стану залізовуглецевих сплавів стану Fe — Fe<sub>3</sub>C

Діаграму побудовано для системи залізо — цементит (Fe — Fe<sub>3</sub>C). По осі абсцис відкладено вміст вуглецю у сплаві (у відсотках). Крайня ліва точка відповідає чистому залізу (0 % C), а крайня права точка — чистому цементиту (6,67 % C). Сплави з вмістом вуглецю, більшим за 6,67 %, на діаграмі не позначаються, бо вони не мають практичного значення.

По осі ординат відкладено температури, причому інтервал їх такий, що в ньому вкладаються всі внутрішні перетворення в залізовуглецевих сплавах: найвищою температурою на правій ординаті є температура плавлення чистого цементиту (1550 °C); на лівій ординаті - температура плавлення заліза (1539 °C).

На діаграмі лінії поділяють її на кілька ділянок, причому на ній зазначено, з яких структурних складових складається сплав на кожній ділянці і за яких температур. Діаграма розділена на

групи сталей і групи чавунів. Межею між ними є вміст вуглецю (2,14 %).

Лінія  $ACD$ , що є лінією *ліквідусу*, характеризує початок випадання твердих кристалів з рідкого сплаву: по лінії  $AC$  — кристали твердого розчину вуглецю в  $\gamma$ -залізі, по лінії  $CD$  — хімічна сполука  $Fe_3C$  (цементит). Твердий розчин вуглецю в  $\gamma$ -залізі називають *аустенітом* (А). Лінія  $AECF$ , що є лінією *солідуса*, характеризує сплави в твердому стані. Отже, в проміжку температур між лініями  $ACD$  і  $AECF$  на ділянці  $ACE$  — сплав складається з рідкого сплаву (РС) і кристалів аустеніту (А), а на ділянці  $DCF$  — з рідкого сплаву (РС) і кристалів цементиту (Ц). Цементит, який виділяється по лінії  $CD$ , називають *первинним* цементитом.

У точці  $C$  (після затверднення) утворюється *евтектика*, що складається з аустеніту і цементиту. Цю евтектику називають *ледебуритом* (Л), вміст вуглецю становить 4,3 %. При температурі 727 °С евтектоїдної концентрації, розпадається з утворенням перліту. Тому ледебурит за нормальної температури складається з перліту і цементиту. Чавун із такою структурою називають *евтектичним* Чавун, який містить вуглецю менше ніж 4,3 %, називають *доевтектичним*. Доевтектичні чавуни за нормальної температури складаються з перліту і ледебуриту. Чавун, який містить вуглецю більш як 4,3 %, називається *заевтектичним*. Він складається з кристалів цементиту і ледебуриту). На діаграмі нижче від лінії  $AECF$  всі сплави перебувають у твердому стані, але на діаграмі є ще ряд ліній: це означає, що й після затверднення в сплавах ще відбуваються зміни. Це так, адже твердий розчин вуглецю в

у-залізі, що утворився нижче від лінії  $AC$  (аустеніт), при подальшому охолодженні сплаву розпадається на складові.

Розпад аустеніту настає, по-перше, тому, що, як видно з діаграми, розчинність вуглецю в у-залізі зменшується зі зниженням температури, а саме: за температури  $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$  в у-залізі розчиняється  $2,14\%$  вуглецю (точка  $E$ ), а за температури  $727\text{ }^{\circ}\text{C}$  — тільки  $0,8\%$  (точка  $\text{£}$ ); лінія  $EB$  і зумовлює граничну розчинність вуглецю в у-залізі для різних температур. Отже, по лінії  $EZ$  у місці критичних точок  $A_{c_m}$  з аустеніту випадає вуглець. Проте вуглець в аустеніті розчинений не у вигляді чистого вуглецю, а у вигляді цементиту, тому він у такому стані й випадає. Цементит, що виділяється з аустеніту по лінії  $ES$ , називають *вторинним цементитом* ( $\text{Ц}_{\text{вт}}$ ). По лінії  $GS$  (геометричному місці точок  $A_{c_3}$ ) з аустеніту виділяється *ферит* ( $\Phi$ ) (майже чисте залізо). Отже, в точці  $\text{£}$  утворюється *евтектика*, що складається з фериту та цементиту і називається *перлітом* ( $\Pi$ ). На відміну від першої евтектики (ледебуриту), цю евтектику називають *евтектоїдом*. Такий евтектоїд, що складається з суміші фериту і цементиту, називають перлітом.

Із діаграми видно, що перліт має завжди постійний склад ( $0,8\%$  вуглецю) і сталу найнижчу температуру перетворення  $727\text{ }^{\circ}\text{C}$  (місці критичних точок  $A_{c_1}$ ). Сталь, склад якої відповідає точці  $S$  ( $0,8\%$   $\text{C}$ ), називається *евтектоїдною* і має структуру чистого перліту). Перліт складається з ряду найдрібніших смужок фериту і цементиту, що якнайтісніше змішані між собою.

Сталь із вмістом вуглецю менш як 0,8 % (зліва від точки 5) називається *доевтектоїдною* і має структуру, що складається з перліту і фериту.

Сталь із вмістом більше ніж 0,8 % вуглецю (праворуч від точки S) називається *заевтектоїдною* і має структуру, яка складається з перліту і цементиту. З віддаленням від точки S наявність цементиту збільшується, а з наближенням до точки S у ній більше перліту.

## Характеристика структурних складових залізовуглецевих сплавів

Залежно від вмісту вуглецю, температури нагрівання і швидкості охолодження в залізовуглецевих сплавах утворюється шість структурних складових: ферит, перліт, аустеніт, ледебурит, цементит і графіт.

**Ферит** — твердий розчин вуглецю в  $\alpha$ -залізі Просторова гратка фериту — об'ємоцентричний куб. Ферит дуже м'який і має твердість 80 НВ, високі ударну в'язкість і пластичність. Пластичність фериту залежить від розміру зерна: чим дрібніші зерна, тим вища пластичність.

**Перліт** — евтектоїдна суміш зерен фериту і цементиту, відповідає повному розпаду твердого розчину аустеніту.

**Аустеніт** — твердий розчин вуглецю в  $\gamma$ -залізі (з гранецентричною кубічною граткою). Найбільший вміст вуглецю в аустеніті за температури 1147 °С становить 2,14%. Зі зниженням температури до 727 °С вміст вуглецю зменшується до 0,8 %. Під мікроскопом аустеніт виявляється у вигляді світлих зерен з характерними подвійними лініями. Він має високу в'язкість, його твердість становить 170...220 НВ.

**Ледебурит** — евтектична суміш аустеніту і цементиту з вмістом вуглецю 4,3 %. За температури 727 °С аустеніт перетворюється на перліт, тому за температур, нижчих за 727 °С, ледебурит складається з перліту і цементиту. Твердість ледебуриту становить 700 НВ, він дуже крихкий. Ледебурит характерний для структури білих чавунів.

**Цементит** — хімічна сполука заліза з вуглецем ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), вміст вуглецю — 6,67 %. Він має високу твердість (800 НВ) і

крихкість, пластичність його майже нульова. Цементит у сталях і чавунах буває у вигляді сітки на межах зерен або у вигляді вкраплень, які мають форму пластинок чи зерен.

У разі повільного нагрівання і витримування за високої температури він розпадається, виділяє вільний вуглець у вигляді графіту.

**Графіт** — кристалічна видозміна вільного вуглецю. Трапляється в чавунах і сталях після відпалювання. Міцність графіту дуже низька. Під мікроскопом графіт у сірому чавуні має вигляд пластинок різного розміру і форми.

Практичне застосування діаграми залізовуглецевих сплавів має велике значення при визначенні температури плавлення, кристалізації чавунів і сталей та температурних інтервалів для гарячої обробки сталі тиском, а найголовніше — при визначенні температури нагрівання сталі при різних видах термічної обробки.