

ЛЕКЦІЯ 25

ДІАГРАМИ СТАНУ ПРОВІДНИХ СПЛАВІВ ТА МЕТОДИ ЇХ ПОБУДОВИ

Компоненти і фази в залізовуглецевих сплавах

Основними компонентами залізовуглецевих сплавів є залізо і вуглець.

Залізо високої чистоти являє собою метал білого кольору з сильно вираженими феромагнітними властивостями і температурою плавлення 1535°C . Міцність заліза знаходиться в межах $\sigma_B = 175 \div 245$ МПа, твердість по Брінеллю — $490\text{—}690$ МПа ($HB\ 50\text{—}70$), відносне здовження $\delta = 40 \div 50\%$.

У твердому стані залізо зазнає трьох перетворень: одного магнітного і двох поліморфних. Ці перетворення супроводяться тепловим ефектом, тому на кривій нагрівання (охолодження) вони фіксуються критичними точками.

При нормальній температурі залізо має об'ємноцентровані кубічні ґратки (о. ц. к). Цю модифікацію заліза називають α -залізом (Fe_{α}).

При температурі 768°C α -залізо втрачає магнітні властивості. Це не зв'язане з перебудовою атомів у кристалічних ґратках. Тому щоб відрізнити магнітне α -залізо від немагнітного останнє іноді називають β -залізом ($Fe_{\beta(\alpha)}$).

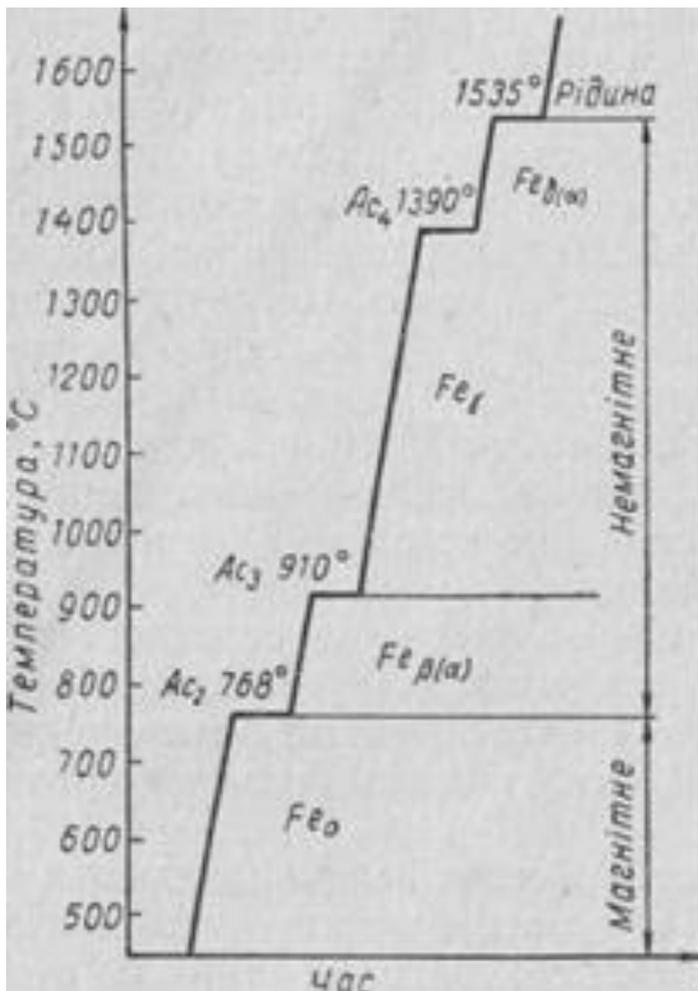


Схема поліморфних перетворень заліза при нагріванні.

При температурі 910°C β (α)-залізо перетворюється на γ -залізо (Fe_{γ}) з гранецентрованими кубічними ґратками (г.ц.к.). Вище 1390°C г. ц. к. ґраток стає нестійкою і знову перетворюється на ґратки о. ц. к. Цю модифікацію на відміну від низькотемпературної α -модифікації з ґратками о. ц. к. називають δ -залізом ($\text{Fe}_{\delta(\alpha)}$). При температурі 1535°C залізо плавиться.

Критичним точкам (температурам), які відповідають певним перетворенням у залізі, присвоєні спеціальні позначення.

Так, температуру магнітного перетворення $Fe_{\alpha} \rightarrow Fe_{\beta(\alpha)}$ позначають A_2 , температуру перетворення $Fe_{\beta(\alpha)} \rightarrow Fe_{\gamma}$ — A_3 , температуру перетворення $Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\delta(\alpha)}$ — A_4 . Крім того, якщо перетворення відбуваються при нагріванні, то до позначення критичної точки додають індекс c (Ac_2, Ac_3), а при охолодженні — індекс r (Ar_2, Ar_3).

Позначення критичної точки і індексів походить від французьких слів: *arrêt* — зупинка, *choffage* — нагрівання, *refroidissement* — охолодження.

Коли до заліза добавляють інші елементи, зміщується положення критичних точок.

Другий компонент залізовуглецевих сплавів — вуглець неметалевий елемент з температурою плавлення 3500°C . Зміни, що відбуваються з ним, і його структура в залізовуглецевих сплавах визначаються характером взаємодії з залізом.

При затвердінні залізо і вуглець утворюють у сплавах тверді розчини і хімічні сполуки. В певних умовах вуглець може бути у вигляді включень графіту.

Твердий розчин вуглецю в α -залізі називають феритом (Φ). Гранична розчинність вуглецю в α -залізі при нормальній температурі не перевищує 0,006%. Ферит має міцність $\sigma_B = 245 \div 295$ МПа. Твердість фериту по Брінеллю перебуває в межах 80—980 МПа (НВ 90—100), відносно здовження $\delta = 30 \div 40\%$.

Твердий розчин вуглецю у γ -залізі називають аустенітом (A). Розчинність вуглецю у γ -залізі значно вища, ніж в α -залізі, і з підвищенням температури змінюється від 0,8 (727° С) до 2,14% (1147° С). Аустеніт немагнітний, має підвищену порівнюючи з феритом пластичність.

Залізо з вуглецем утворює також декілька хімічних сполук (карбідів), з яких найбільший практичний інтерес являє карбід Fe_3C з вмістом вуглецю 6,67%. Цей карбід у залізовуглецевих сплавах називають цементитом (Ψ).

Цементит феромагнітний до температури 210°C (точка A_0) характеризується високою твердістю по Брінеллю — 7840 МПа (НВ \approx 800) і крихкістю; температура його плавлення точно невизначена, оскільки по

мірі наближення до неї цементит розпадається як хімічна сполука, тому її рахують приблизно 1550° С.

Таким чином, фазами в залізовуглецевих сплавах можуть бути окрім *рідкої фази* ще: *ферит* (чисте залізо), *аустеніт*, *цементит* і *елементарний графіт*. Залежно від співвідношення компонентів і температури в залізовуглецевих сплавах утворюються різні структурні складові і структури.

Структурними складовими в цих сплавах є *ледебурит*, що утворюється при первинній кристалізації із рідкого розчину при концентрації вуглецю 4,3% і температурі 1147°С. Умови утворення ледебуриту відповідають лінії ECF на діаграмі (рис. 5.2). Ця структура представляє собою тонку механічну суміш (евтектику) із кристалів аустеніту, гранично насиченого вуглецем в момент утворення їх і кристалів цементиту первинного.

Другою структурною складовою в залізо – вуглецевих сплавах є *перліт*, що утворюється при вторинній кристалізації (рекристалізації) в результаті розпаду аустеніту, при його охолодженні, з концентрацією вуглецю 0,8% і температурі 727°С. Умови утворення перліту відповідають лінії PSK на діаграмі. Ця структура представляє собою тонку механічну суміш (евтектоїд) із кристалів фериту і кристалів цементиту.

Діаграма стану залізовуглецевих сплавів

Вона побудована в межах концентрації вуглецю не від 0 до 100%, а від 0 до 6,67%, тобто до утворення першої хімічної сполуки — карбіду заліза Fe₃C. Така побудова пояснюється тим, що хімічна сполука, яка утворюється в сплавах, поводить себе як окремий компонент. Це дає змогу розглядати діаграми стану сплавів з такими сполуками по частинах. З іншого боку, обмеження діаграми стану залізо — вуглець вказаним складом пояснюється тим, що застосовувані в практиці сплави цієї системи звичайно містять в собі вуглецю менше 5%.

Отже, можна розглядати залізо (ферит) і цементит як компоненти, що застосовуються в залізовуглецевих сплавах. Тому діаграму стану цих сплавів іноді називають діаграмою залізо — цементит (Fe—Fe₃C).

Сплави заліза з вмістом вуглецю до 4,3% починають тверднути на ділянці AC лінії ліквідуса, виділяючи кристали твердого розчину

аустеніту, а з вмістом вуглецю понад 4,3% — на ділянці CD лінії ліквідуса, виділяючи кристали хімічної сполуки — цементиту. Цей цементит називають первинним і позначають індексом 1. Остаточо тверднуть сплави на лінії солідуса AECF.

Безпосередньо після затвердіння сплави, розташовані на діаграмі стану ліворуч від точки E (2,14%С), однорідні і складаються із зерен аустеніту, а розташовані праворуч від точки E неоднорідні і являють собою механічну суміш із зерен аустеніту і цементиту. При цьому в сплаві з 4,3% вуглецю (точка С) утворюється однорідна евтектична суміш, яка називається ледебуритом (Л).

Таким чином, точка E поділяє діаграму стану залізо — вуглець на дві частини. Сплави, розташовані ліворуч від цієї точки, характеризуються тим, що тверднуть при змінній температурі (лінія AE) і після затвердіння мають однорідну структуру, що складається із зерен аустеніту. Ці сплави називають сталями. Завдяки однорідній структурі сталі мають високу пластичність, яка дає змогу обробляти їх тиском (куванням і прокатуванням).

У сплавах, розташованих праворуч від' точки E, кристалізація закінчується при сталій температурі 1130° С (лінія ECF). При цьому утворюється евтектика — ледебурит. Ці сплави називають чавунами. Наявність крихкої, але більш легкоплавкої евтектики перешкоджає обробленню чавунів тиском, проте поліпшує їх ливарні властивості.

Остаточна структура сталей і чавунів при нормальній температурі визначається рядом перетворень у твердому стані, які відбуваються при температурах, що відповідають лініям GS, SE і PSK діаграми стану залізо — вуглець.

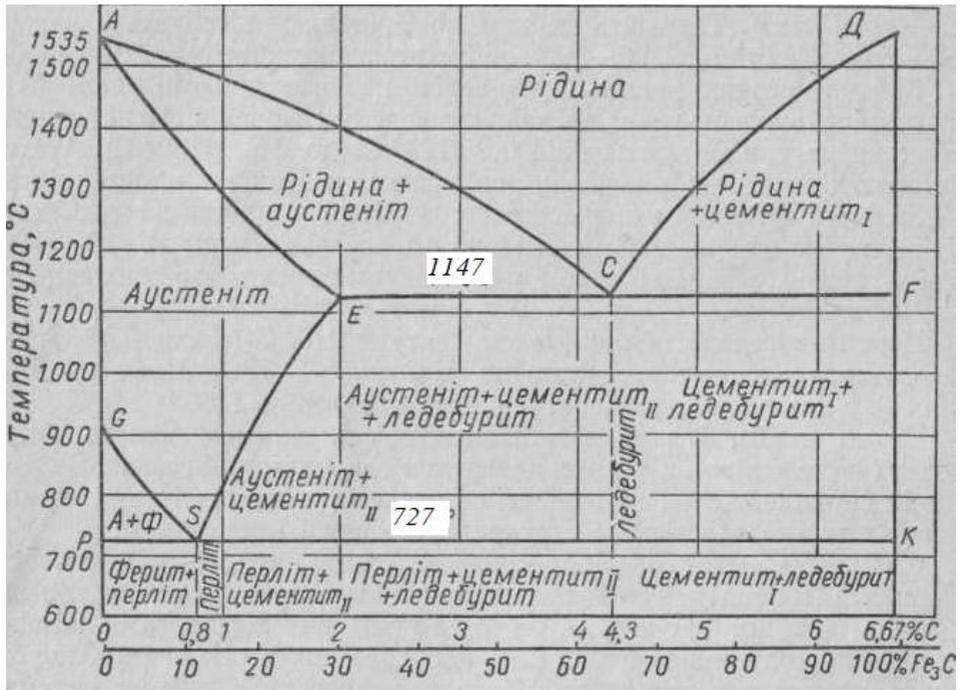
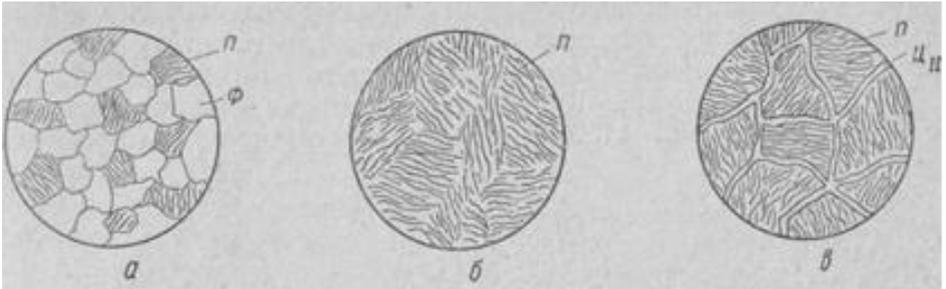


Рис. 5.2 Спрощена діаграма стану залізо - вуглець

Структура сталей.

Розгляд перетворень у сталях в твердому ста-ні і їх структури розпочнемо з сталі, яка містить 0,8%С і зазнає одного перетворення в точці S при температурі 727° С.

При охолодженні після затвердіння ця сталь до точки S складається із зерен твердого розчину аустеніту. В точці S аустеніт стає нестійким і розпадається. Причиною розпаду є поліморфне перетворення заліза ($Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\alpha}$). Оскільки вуглець дуже обмежено розчинюється в α -залізі, наслідком цього перетворення є виділення його у вигляді багатой на вуглець фази — цементиту. Таким чином, в результаті розпаду аустеніту утворюється дрібнодисперсна феритно-цементитна суміш смугастої будови, яка називається перлітом (П).



Мікроструктура сталі: а — доевтектоїдної; б — евтектоїдної; в — заевтектоїдної.

На відміну від евтектики, що виділяється при затвердінні рідини, суміш, яка утворюється в результаті розпаду твердого розчину, називають евтектоїдом. Евтектоїд у залізвуглецевих сплавах утворюється при сталій температурі 723°C (A_{r1}) — незалежно від вагових співвідношень компонентів. Тому лінію PSK називають лінією евтектоїдного перетворення, сталь з структурою евтектоїду (перліту) — евтектоїдною (або перлітною), а точку S — евтектоїдною точкою.

Сталі, розташовані на діаграмі ліворуч від точки S, називають доевтектоїдними, а праворуч — заевтектоїдними.

У доевтектоїдних сталях при температурах, які відповідають лінії GS (місце критичних точок A_{r3}), починається процес перекристалізації аустеніту у ферит. Тому при дальшому зниженні температури концентрація вуглецю в аустеніті, що залишається, підвищуватиметься і в точці A_{r1} (лінія PSK) досягне евтектоїдної, тобто 0,8%. Оскільки аустеніт евтектоїдної концентрації нижче точки A_{r1} нестійкий, він розпадається з утворенням перліту.

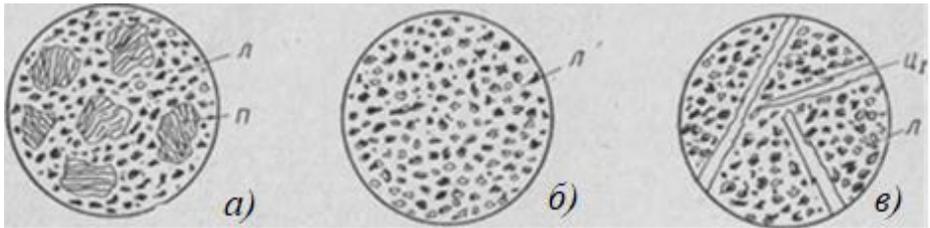
Отже, структура повільно охолоджених доевтектоїдних сталей складається з двох складових: зерен фериту (світлі ділянки), які виділилися з аустеніту в інтервалі температур між лініями GS і PSK, і перліту (темні ділянки), що утворився в результаті розпаду аустеніту при температурі 727°C . Очевидно, що з підвищенням вмісту вуглецю кількість перліту у доевтектоїдних сталях підвищуватиметься, а фериту буде відповідно зменшуватися. При вмісті 0,8%С структура сталі складатиметься з самого перліту.

Перетворення аустеніту у заевтектоїдних сталях починається на лінії граничної розчинності вуглецю SE (місце критичних точок A_{cm}). При цій температурі з аустеніту починає виділятися надлишковий вуглець у вигляді багатойонної фази — вторинного цементиту, який позначається індексом П. При дальшому зниженні температури кількість цементиту, який виділився, збільшується, тому концентрація вуглецю в аустеніті, що залишається, зменшується і в точці A_{G1} (лінія PSK) досягає евтектоїдної. Аустеніт, що залишився, перетворюється при цій температурі в перліт.

Таким чином, структура повільно охолоджених заевтектоїдних сталей складається також з двох структурних складових: цементиту (світла сітка), який виділився в інтервалі температур між лініями SE і РБК, і перліту (темні ділянки смугастої будови), що утворився в результаті розпаду аустеніту при температурі 727°C . З підвищенням вмісту вуглецю кількість вторинного цементиту (товщина сітки) в заевтектоїдних сталях збільшується.

Структура чавунів

Кристалізація чавунів закінчується при постійній температурі 1147°C утворенням евтектики. Тому лінію *ECF* діаграми стану залізо — вуглець називають лінією евтектичного перетворення.



Мікроструктура білого чавуну: а) — доевтектичного; б) — евтектичного; в) — заевтектичного.

Структура чавуну з 4,3 % вуглецю безпосередньо після затвердіння (точки *C*) складається з однорідної аустенітно-цементитної евтектичної суміші — ледебуриту. При дальшому охолодженні з аустеніту, як і в заевтектоїдній сталі, виділяється вторинний цементит. У зв'язку з цим аустеніт збіднюється на вуглець і, досягнувши при температурі 727°C евтектоїдної концентрації, розпадається з утворенням перліту. Оскільки вторинний цементит, який виділяється з аустеніту, змішується з цементитом евтектичного походження і структурно не виявляється,

структура ледебуриту при нормальній температурі складається з перліту і цементиту. Чавун з такою структурою називають *евтектичним*, а точку *C* — евтектичною точкою.

Чавуни, розташовані ліворуч від точки *C*, називають *доевтектичними*, а праворуч — *заевтектичними*.

Доевтектичні чавуни починають тверднути на лінії *AC*. При цьому виділяються кристали аустеніту. В міру зниження температури рідка частина сплаву збагачується вуглецем і при 1147°C , досягнувши евтектичної концентрації (4,3%), твердне з утворенням евтектики (ледебуриту).

Таким чином, доевтектичні чавуни безпосередньо після затвердіння складаються з кристалів аустеніту, які виділилися в інтервалі температур між лініями *AC* і *EC*, і ледебуриту, що утворився в результаті затвердіння рідкої частини сплаву евтектичної концентрації при температурі 1147°C . При дальшому охолодженні первинний аустеніт і аустеніт ледебуриту виділяють вторинний цементит і, досягнувши температури 727°C , перетворюються в перліт. Тому структура доевтектичних чавунів при нормальній температурі складається з перліту і ледебуриту.

На відміну від доевтектичних при затвердінні заевтектичних чавунів виділяються кристали первинного цементиту, який не зазнає при охолодженні жодних перетворень. Тому після затвердіння структура їх складається з кристалів первинного цементиту (світлі голки) і ледебуриту.

У розглянутих чавунах весь вуглець перебуває з зв'язаному стані у вигляді карбиду заліза Fe_3C . Такі чавуни у зламі мають білий відтінок, тому їх називають *білими*. Білі чавуни важко піддаються обробці різанням і в практиці мають обмежене застосування через високу твердість, що викликана наявністю великої кількості цементиту. За певних умов, які залежать від швидкості охолодження, хімічного складу або термічної обробки чавуну, карбід заліза може розпадатися з утворенням графіту.

Чавуни, в яких частина вуглецю перебуває у вільному стані у вигляді графіту, у зламі мають сірий відтінок, тому їх називають *сірими*.

Контрольні запитання

1. Чим відрізняються сталь та чавун?
2. Чим відрізняються метастабільна і стабільна діаграми стану системи залізо-вуглець?
3. Які основні фази утворюються в залізобуглецевих сплавах?
4. Що таке критичні точки температури?
5. У якому вигляді знаходиться надлишковий вуглець у білому чавуні?
6. Які характерні точки діаграми стану системи залізо- вуглець вам відомі?
7. На які види поділяють сталі залежно від вмісту вуглецю?
8. Що таке ліквідус, солідус?
9. Як називається лінія ECF на діаграмі залізо – вуглець? Які перетворення в структурі залізо – вуглецевих сплавів відбуваються на цій лінії при охолодженні?
10. Як називається лінія PSK на діаграмі залізо – вуглець? Які перетворення в структурі залізо – вуглецевих сплавів відбуваються на цій лінії при охолодженні?
11. Які перетворення в структурі залізо – вуглецевих сплавів відбуваються на лінії GS при охолодженні?
12. Які перетворення в структурі залізо – вуглецевих сплавів відбуваються на лінії SE при охолодженні?
13. Як називається точка S на діаграмі залізо – вуглець?
14. Як називається точка C на діаграмі залізо – вуглець?
15. При якій температурі відбуваються евтектичні перетворення?
16. При якій температурі протікають евтектоїдні перетворення?
17. Яку структуру називають евтектикою в залізо-вуглецевих сплавах?
18. Яку структуру називають евтектоїдом в залізо-вуглецевих сплавах?