

Лекція 8. ЛЕГУВАННЯ.

1. Вплив легуючих елементів на властивості сталі.
2. Визначення класу легованої сталі.
3. Маркування легованих сталей

1. Вплив легуючих елементів на властивості сталі.

Легованими називають сталі, які, крім заліза, вуглецю і технологічних домішок, містять спеціальні (легуючі) елементи, які вводять до складу сталі з метою поліпшення, певних фізичних, хімічних, механічних, або технологічних властивостей. Сталі можуть містити один або кілька легуючих елементів. Найчастіше використовують такі легуючі елементи як Cr, Ni, Mn > 0.8%, Si > 0,5%, Mo, W, Co, а також Cu, Ti, Zr, Nb, Al.

При легуванні сталі потрібно враховувати, що легуючі елементи можуть мати спорідненість до кисню, сірки, азоту та вуглецю і, як наслідок, утворювати хімічні сполуки з киснем, які мають назву оксиди, сіркою – сульфіді, азотом – нітриди, вуглецем - карбіді. Тому при введенні легуючих елементів в рідку сталь і її наступному охолодженні, при формуванні зливка або виливка, а також у процесі термічної обробки, частка елементів витрачається на формування оксидів, сульфідів, нітридів і карбідів, а частка розчиняється у рідині, яка при твердінні перетворюється в твердий розчин, який, у випадку фазових перетворень, розпадається по дифузійному, або бездифузійному механізму.

За збільшенням спорідненості до кисню елементи можна розташувати у наступному порядку: Fe, Ni, Mo, W, Cr, Mn, Si, C, B, Ti, Mg, Al, Zr, Ba, Ce, Ca; до сірки - Si, Al, Fe, Mn, Ti, La, Ca, Ce; до азоту та вуглецю – Fe, Mn, Cr, Mo, W, V, Nb, Ta, Ti, Zr, Hf.

Вміст кисню, сірки та азоту в залізовуглецевих сплавах коливається від тисячних до сотих часток відсотка (табл. 2), тому витрата елементів при формуванні оксидів, сульфідів і нітридів є незначна і основний розподіл легуючих елементів відбувається між твердим розчином (аустенітом, феритом або мартенситом) і карбідами.

Вплив легуючих елементів на структуру та властивості залізовуглецевих сплавів зв'язаний зі зміною структури і властивостей твердого розчину та карбідів, для яких, також, суттєве значення має дисперсність та їх розподіл.

Елементи з хімічною спорідненістю до вуглецю більшою, ніж у заліза називають карбідоутворюючими легуючими елементами. Карбідоутворюючі елементи в періодичній системі Д. І. Менделєєва розташовані лівіше заліза. Вони можуть розчинятись у цементиті (Fe_3C) або утворювати спеціальні карбіди.

Легуючі елементи, які розташовані справа від заліза в періодичній системі Д. І. Менделєєва (Ni, Co, Si, Cu та ін.) мають меншу хімічну

спорідненість з вуглецем, ніж залізо і тому участі в утворенні карбідів практично не приймають, а лише розчиняються у фериті й аустеніті.

При введенні порівняно невеликої кількості легуючого карбідоутворюючого елемента в сталь, він спочатку розчиняється в цементиті, заміщаючи частину атомів заліза та утворює легований цементит. Формула легovanого цементиту має вигляд $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$, $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ та ін.

Наприклад, марганець може замінити в цементиті всі атоми заліза, хром - до 25 %, молібден - до 3 %. Після перевищення легуючим елементом граничної розчинності в цементиті утворюються спеціальні карбіди типу Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 , Mn_3C , Fe_3C із складними та Mo_2C , WC , VC , TiC з простими кристалічними ґратками. Карбіди першої групи недостатньо стійки і при нагріванні до високих температур розпадаються з утворенням твердого розчину легуючих елементів в аустеніті. Карбіди другої групи відрізняються великою стійкістю і не розпадаються при нагріванні. Усі карбіди мають високу твердість, але твердість карбідів другої групи трохи вище.

Розподіл легуючих елементів між феритом та карбідами показаний на рис. 91. З рисунку видно, що чим вище ступінь

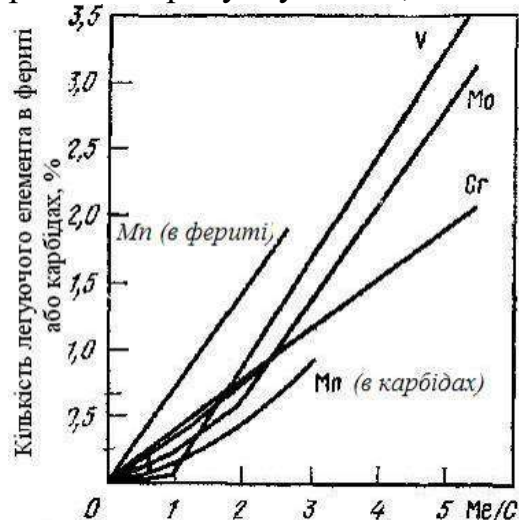


Рис. 91. Розподіл карбідоутворюючих елементів між феритом і карбідами

хімічної спорідненості легуючого елемента до вуглецю, тим більш велика його частка зв'язується в карбіди, а менша - знаходиться в α -твердому розчині. На цьому графіку кількість легуючого елемента, введенного в сталь, представлено у вигляді відношення Me/C , де Me - кількість легуючого елемента [% (ат.)], C - кількість вуглецю [% (ат.)], тому він справедливий для сталей з різним вмістом вуглецю і легуючих елементів. Для марганцю наведено так само його кількість, зв'язана в карбід.

Мала відмінність ступеня хімічної спорідненості *марганцю* до вуглецю порівняно з залізом призводить до того, що велика його частина розчиняється у фериті, а менша бере участь в утворенні карбіду $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$. При легуванні марганцем конструкційних сталей у широкому інтервалі концентрацій відбувається безперервне в постійному співвідношенні збагачення їм фериту і карбідів.

При легуванні сталі елементами з високим ступенем хімічної спорідненості до вуглецю закономірності їх розподілу між карбідами і феритом істотно інші, ніж марганцю. Найкраще можна простежити на прикладі ванадію, такими ж будуть закономірності для титану та ніобію.

Ванадій, а також *титан*, *ніобій*, *цирконій* утворюють з вуглецем карбід практично одного типу MeC . На прикладі ванадію (рис. 91) видно, що для

цих елементів існують дві стадії легування. На першій стадії зі збільшенням вмісту легуючого елемента $V/C \approx 1$ відбувається слабе збагачення ним твердого розчину і зв'язування основної його частки в карбіди. При цьому збільшується кількість карбіду легуючого елемента і зменшується кількість цементиту. Перехід від першої стадії легування до іншої ($V/C > 1$) характеризується завершенням переходу від карбіду Fe_3C до VC . Цим завершується процес карбідоутворення при легуванні конструкційної сталі також і такими елементами, як Ti , Nb , Zr .

На першій стадії легування перехід від цементиту до спеціального карбіду легуючого елемента супроводжується зменшенням розмірів карбідних часток, тобто ростом дисперсності часток карбідної фази та зниженням вмісту вуглецю у фериті відповідно до рівноваги системи α -твердий розчин - карбід.

Друга стадія легування характеризується активним збагаченням α - твердого розчину легуючим елементом.

Для інших легуючих карбідоутворюючих елементів, таких як Cr , Mo і W , що мають меншу спорідненість до вуглецю, ніж розглянуті вище V , Ti і Nb , загальні закономірності зміни фазового і структурного стану такі ж. Оскільки ці елементи утворюють з вуглецем не один, а кілька типів карбідів, першу стадію легування розділяють на кілька етапів відповідно до змін карбідної фази. Так, для молібдену перший етап легування закінчується при $Mo/C \approx 1$ і відповідає завершенню переходу карбіду типу Me_3C , тобто $(Fe, Mo)_3C$, у карбід типу $Me_{23}C_6$, - $(Mo, Fe)_{23}C_6$ (рис. 91). Другий етап цієї стадії легування закінчується при $Mo/C \approx 2$, коли завершується утворення карбіду Mo_6C . Далі при $Mo/C > 2$ починається друга стадія легування, коли весь Mo введений понад зазначену кількість ($Mo/C > 2$) переходить у α - твердий розчин.

Для хрому з ще меншою спорідненістю до вуглецю, ніж молібден, перший етап першої стадії легування обмежується $Cr/C \approx 1,2$ і відповідає переходу карбіду Me_3C , тобто $(Fe, Cr)_3C$, у карбід Me_7C_3 , - $(Cr, Fe)_7C_3$, а другий етап першої стадії легування не завершується і при $Cr/C \approx 5$, тому що в цьому випадку не закінчується перехід карбіду Me_7C_3 у $Me_{23}C_6$. Друга стадія легування хромом настає при $Cr/C > 10$.

Розчиняючись у твердому розчині легуючі елементи змінюють умови фазових перетворень і швидкість дифузійних процесів.

Ступінь взаємодії легуючого елемента з твердим розчином, наприклад, феритом визначається співвідношенням атомних радіусів заліза і легуючого елемента, а також типів і параметрів їх кристалічних ґраток. Розчиняючись в α -залізі, атоми легуючих елементів збільшують або зменшують параметр його кристалічної ґратки залежно від співвідношення атомних радіусів заліза й легуючого елемента (рис. 92).

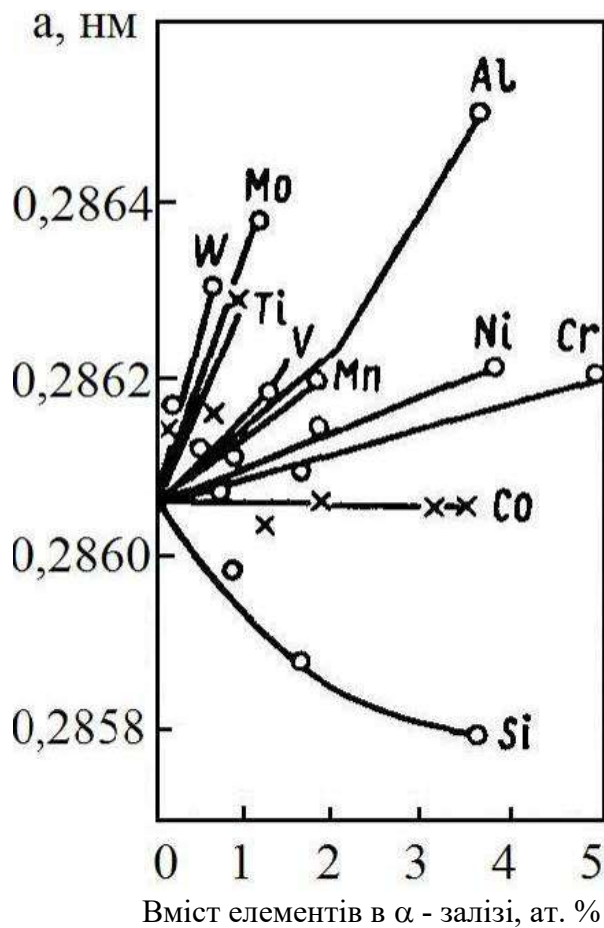


Рис. 92. Залежність параметра гратки α - заліза від концентрації легуючого елемента

Зміна параметрів гратки та ускладнення руху дислокацій приводить до зростання міцності фериту.

$$\Delta\sigma = \sum_{i=1}^n K_i \cdot C_i,$$

де K_i - коефіцієнт зміцнення фериту при легуванні елементом у кількості 1,0% (за масою);

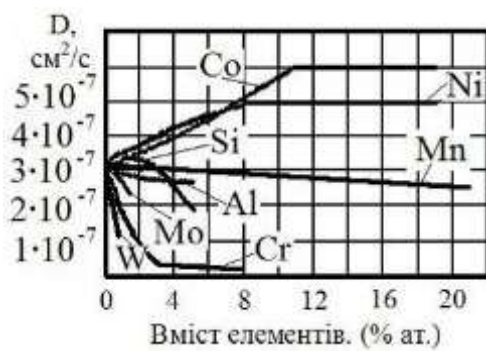
C_i - концентрація елемента, розчиненого у фериті.

Значення коефіцієнта K_i для елементів, що входять до складу легуваних сталей, наведені у табл. 11. Видно, що максимальне зміцнення відбувається при збільшенні в фериті вуглецю, азоту та кремнію. Мінімальний вплив спостерігається при легуванні фериту ванадієм.

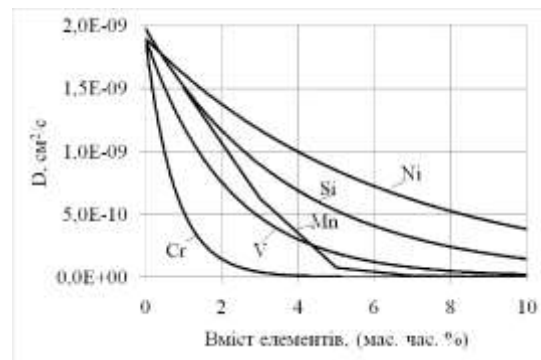
Таблиця 11. Коефіцієнт зміцнення фериту при легуванні елементами у кількості 1 % (мас.)

Елемент	C+N	Si	Ti	Al	Cu	Mn	Cr	Ni	Mo	V
K_i	467	8,6	8,2	6,0	3,9	3,3	3,1	3,0	1,1	0,3

Одночасно зі зміною параметрів кристалічної гратки при легуванні змінюється швидкість дифузії елементів (рис. 93). З рис. 93 видно, що, легуючі елементи, в основному, знижують швидкість переміщення вуглецю як в аустеніті, так і фериті.



a



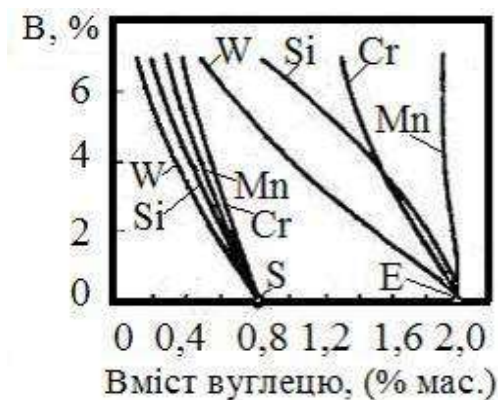
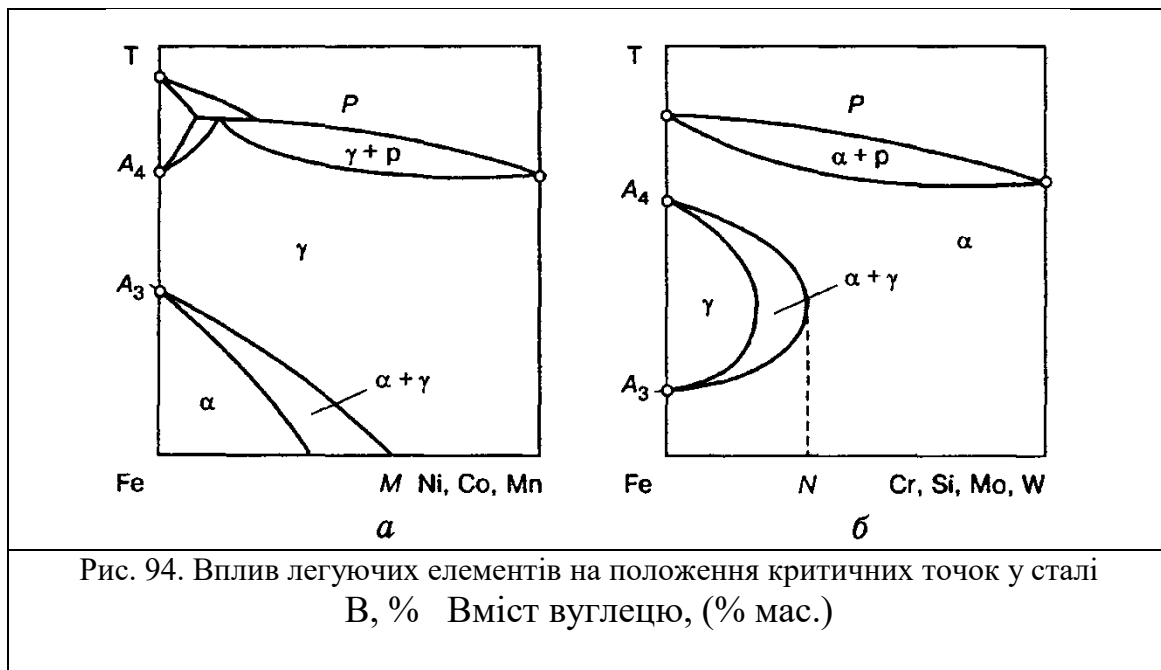
б

Рис. 93. Вплив легуючих елементів на коефіцієнт дифузії вуглецю в аустеніті (*a*) та фериті (*б*) *a* – $t = 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C = 0,4\%$;
б – $t = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C=0,2\%$, $\text{Si}=0,27\%$, $\text{Mn}=0,5\%$

Розчиняючись у залізі легуючі елементи утворюють тверді розчини заміщення та змінюють критичні точки (температури), що обмежують області існування гомогенних твердих розчинів α - і γ - заліза (рис. 94). Такі легуючі елементи, як Ni, Mn і Co підвищують критичну температуру A_4 і знижують - A_3 , розширюють область γ - заліза та звужують α - заліза і називаються аустенітоутворюючими елементами (рис. 94, *a*). Видно, що з концентрації M легуючого елемента, γ - твердий розчин існує у проміжку температур від кімнатної до лінії солідус. Сплави з концентрацією легуючого елемента, що перевищує M називають аустенітними. Вони не зазнають фазових перетворень $\alpha \leftrightarrow \gamma$ під час нагрівання і охолодження.

Друга група елементів - Al, Si, V, Cr, Mo, W, Ti, Be та ін. (α - стабілізатори) знижує критичну температуру A_4 й підвищує - A_3 , звужуючи область γ - твердого розчину (рис. 94, *б*) і розширюючи область α -твердого розчину. Такі елементи називаються феритоутворюючими. Сплави на основі заліза, які, починаючи з концентрації N легуючого елемента, мають в усьому діапазоні температур тільки α -твердий розчин, називаються *феритними*.

Такі елементи, як W, Cr, Si, Mo, Mn, V, Ti зменшують кількість вуглецю в перліті (точка S на діаграмі Fe-C) та його максимальний вміст в аустеніті (точка E на діаграмі Fe-C) (рис. 95), тому в сталі легованій цими елементами утворення перлітної структури буде відбуватися при вмісті вуглецю менше 0,8%.



Легуючі елементи впливають на температури мартенситного перетворення та, як наслідок, на кількість залишкового аустеніту в загартованій сталі (рис. 96). Алюміній і кобальт підвищують температуру початку мартенситного перетворення, кремній не впливає, а більшість елементів знижує цю температуру.

Наприклад, легування сталі 5 % Mn знижує початок мартенситного перетворення до 0 °C, тому за такого або більшого вмісту марганцю сталь має аустенітну структуру після повного охолодження.

Кількісна закономірність впливу легуючих елементів на зміну температури початку мартенситного перетворення встановлена А.А. Поповим і має наступний вигляд:

$$M_{\pi} = 520 - 320 \cdot C\% - 50 \cdot Mn\% - 30 \cdot Cr\% \cdot (Ni + Mo) - 5 \cdot (Cu + Si).$$

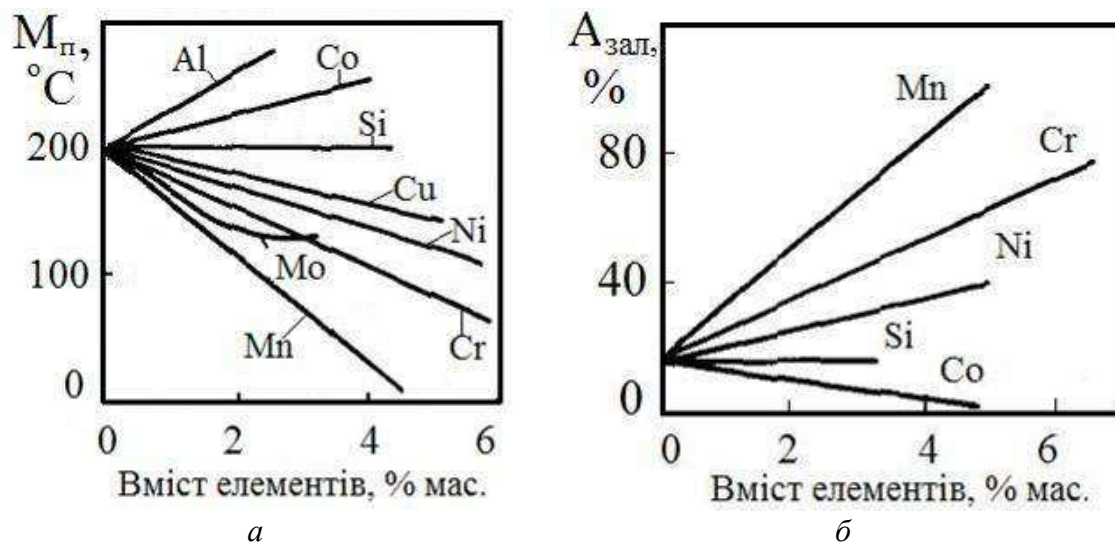


Рис. 96. Вплив легуючих елементів на температуру початку мартенситного перетворення (а) та кількість залишкового аустеніту (б) у сталі з 1 % вуглецю

[На початок](#)

2. Визначення класу легованої сталі.

Вітчизняні леговані сталі класифікують за хімічним складом, структурою та призначенням.

За хімічним складом леговані сталі розподіляються залежно від:

- вмісту вуглецю на *низьковуглецеві* - $0,02 < C < 0,25\%$, *середньовуглецеві* - $0,25\% \leq C \leq 0,6 \%$, *високовуглецеві* - $0,6 \% < C < 2,14\%$;
- назви основного легуючого елемента - *хромисті, нікелеві, хромонікелеві, марганцеві* тощо;
- сумарною часткою легуючих елементів - *низьколеговані* містять до 2,5% легуючих елементів; *середньолеговані* – від 2,5 до 10 %, *високолеговані* - $\geq 10\%$.

Оптимальна кількість основних легуючих елементів у сталях показана в табл. 13.

Структура легованих сталей суттєво залежить від швидкості охолодження після нагрівання. Тому розрізняють сталі за структурою у рівноважному (після відпалу) та нерівноважному (після нормалізації) стані.

За структурою у рівноважному стані сталі розподіляються на:

- *доевтектоїдні* ($0,02 < C < 0,8 \%$), які містять у структурі перліт і надлишковий ферит. Наприклад, сталь 45, 40, 30, 20, 45Х, 30ХРА, 33ХС, 38ХС, 30Х, 30Г2, 20ХГР, 20Х, 16ХГ, 15ХА, 40ХФА, 40ХС, 40ХГР, 35ХГСА та ін.;

Таблиця 13. Оптимальна кількість основних легуючих елементів у сталях (% мас.)

Легуючий елемент	Тип сталі	
	Низьколегована	Середньо - та високолегована
Si	1,30 - 2,00	4,0 – 5,0
Mn	0,50 – 1,50	≥ 2
Cr	1,00 – 2,00	≥ 2
Ni	1,00 – 2,00	≥ 2
Mo	0,20 – 0,50	≥ 0,50
W	0,50 – 0,60	≥ 1,00
V	0,16 – 0,20	≥ 0,20
Al	-	9,0 – 11,0
Cu	-	0,40 – 1,00

- *евтектоїдні* ($C = 0,8 \%$) з перлітною структурою. Наприклад, сталь У9, У8, У8Г, 6ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХС, 7ХФ, 60С2Н2А, 6ХВГ;

- *заевтектоїдні* ($C > 0,8 \%$), які мають у структурі надлишкові (вторинні) карбіди. Наприклад, сталь У13, У12, У10, Х, 9ХС, 9Х1, 8ХФ, 7ХЗ, ХГС, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ, 9ХВГ та ін.;

- *ледебуритні*, що мають надлишкові карбіди, які виділяються з рідкої фази під час кристалізації. Останні у литому стані утворюють з аустенітом евтектику — ледеburит. Наприклад, сталь Х12, Р18, Р9.

За структурою після охолодження зразків (діаметром 25 мм) на повітрі розрізняють такі основні класи сталей:

- *феритний* - сталі містять до 0,3 - 0,4 % С та до 20 – 25 % таких феритоутворюючих елементів як Cr, Si та Al. Наприклад, сталь 15Х25Т, 15Х28, Х13Ю4, Х14, 12Х17, Х27Ю5, Х25Ю5, Х23Ю5, 0Х17Ю5, 08Х13 та ін.;

- *перлітний (сорбітний, трооститний)* - сталі цього класу характеризує відносно низький вміст легуючих елементів (0,1-1,5% С та 5 - 7% інших легуючих елементів). Наприклад, сталь 45, 40, 30, 20, 45Х, 30ХРА, 33ХС, 38ХС, 30Х, 30Г2, 20ХГР, 20Х, 16ХГ, 15ХА, 40ХФА, 40ХС, 40ХГР, 35ХГСА, 30ХГС, 27ХГР, 18ХГТ, 15ХМ, 50Г2, 45Г2, 38Х2МЮА, 30ХМА, 30ХГТ, 20ХНТР, 20ХГНР, 20ХН, 15Н2М, 60Г, 50ХФА, 50С2, 60С2, 60С2ХА, 50ХГ, 50ХН, 40ХН, 38ХГН, 30ХГСН2А; 12Х1МФ; 25Х2М1Ф; 25Х1МФ; 20Х3МВФ; 18Х3МВ, тощо;

- *мартенситний* - сталі містять дещо більшу кількість легуючих елементів (0,2-0,7% С та 10-15% легуючих елементів). Наприклад, сталь 30Х13Н7С2, 5ХНВ, 20Х13, 15Х11МФ, 15Х5М, 20Х2Н4А, 20ХН4ФА та ін.;

- *аустенітний* - характеризується високим вмістом легуючих елементів (0,1-1,0% С та 10 – 40 % легуючих елементів). Наприклад, сталь 12Х25Н16Г7АР, 10Х17Н13МЗТ, 10Х17Н13М2Т, 10Х14Г14Н4Т, 09Х14Н19В2БР, 06ХН28МДТ, 08Х18Н12Т, 08Х18Н12Б, 17Х18Н9 та ін. Існують також такі проміжні класи як:

- *перліто-мартенситний*. Наприклад, сталь 5ХНМ, 5ХГМ, 40ХН2МА, 30ХН2МФА, 20ХН2М, 12Х2Н4А, 12ХН3А та ін.;
- *мартенсито-феритний*. Наприклад, сталь 40Х9С2, 14Х17Н2, 18Х12ВМБФР, 13Х14НЗВ2ФР, 15Х6СЮ та ін.;
- *аустеніто-мартенситний*. Наприклад, сталь 09Х17Н7Ю, 09Х15Н8Ю та ін.;
- *аустеніто-феритний*. Наприклад, сталь 20Х20Н14С2, 20Х23Н13, 08Х21Н6М2Т та ін.

Умови формування перлітного, мартенситного та аустенітного класів сталей наведені на рис. 101.

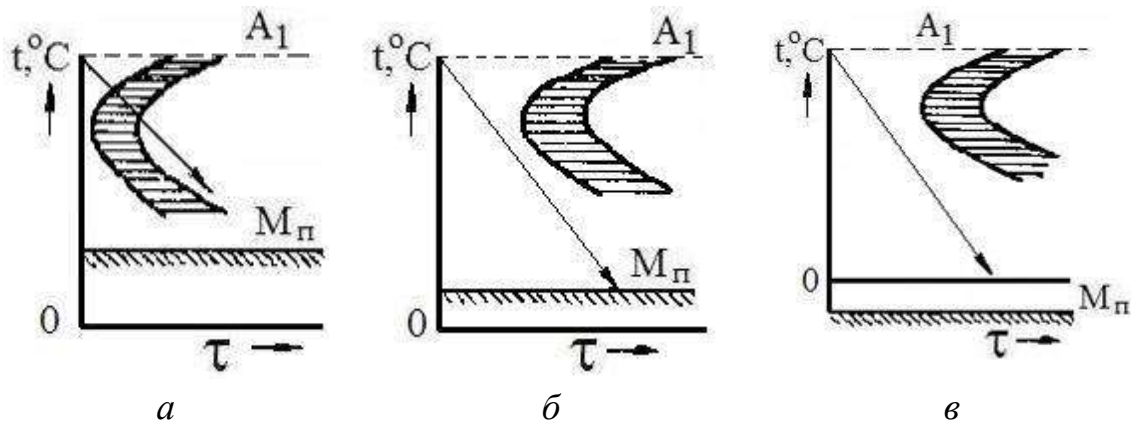


Рис. 101. Діаграми розпаду сталей перлітного (а), мартенситного (б), та аустенітного (в) класів

За призначенням леговані сталі розподіляються на *конструкційні* та *інструментальні*.

Конструкційні леговані сталі використовують для деталей машин і механізмів та зазвичай піддають термічній обробці. У свою чергу, їх поділяють на:

1. *Сталі для цементації*, які використовують для виробів, що працюють в умовах тертя, ударних і знакозмінних навантажень. Хімічний склад таких сталей обмежений вмістом вуглецю до 0,25 %, наприклад 18ХГТ, 15ХФ, 20ХГР, 25ХГТ, 20ХН, 12ХН3А, 20ХН2М, що дозволяє зберегти в'язку серцевину виробу після загартування.

Глибина цементованого шару, звичайно, досягає 1-3 мм, але може бути і більшою.

Легована сталь при цементації дозволяє одержувати в серцевині структуру сорбіту, трооститу або навіть мартенситу, але завдяки низькій концентрації вуглецю, серцевина матиме високу ударну в'язкість.

Наявність в структурі поверхневого шару надлишкового аустеніту, що особливо характерно для легованих сталей. Це призводить до помітного зниження твердості (HRC 50) сталі.

Для виробів малих розмірів, що працюють в умовах тертя та незначних навантажень, використовують сталі типу 15ХА, 20Х. Відповідальні деталі,

для експлуатації при високих і ударних навантаженнях та великих швидкостях, виготовляються зі сталей типу 15ХФ, 18ХГ, 25ХГМ.

Великі важконавантажені деталі, для експлуатації в умовах динамічних і вібраційних навантажень, виготовляють зі сталей, легованих комплексом карбідоутворюючих елементів (Cr, V, Ti, Mo) з нікелем. Це сталі 20ХН, 20ХН3А, 12Х2Н4, 18ХГТ, 20ХГР.

2. *Сталі поліпшувані* - це низьколеговані сталі з вмістом вуглецю 0,3 - 0,5 %. Для забезпечення потрібних властивостей міцності, пластичності та в'язкості їх піддають гартуванню з високим відпуском (500 - 600°C), тобто поліпшують. Загальна кількість легуючих елементів у поліпшуваних сталях становить 3 - 5 % (Cr, Ni, W, Mo, Si, V), основний легуючий елемент - хром (0,8 - 1,1 %).

Розрізняють хромисті сталі - 40Х, 45Х. Для підвищення прогартуваності, їх додатково легують бором (0,002 - 0,003 % - сталь 40ХР), або марганцем (до 1 % - Сталь 40ХГ). З них виготовляють деталі для роботи в умовах підвищених напружень і знакозмінних навантажень (шатуни, колінчасті вали, тощо).

Хромомарганцеві сталі, леговані Si і Mn (хромансил), наприклад 30ХГС, добре зварюються після термообробки. Для великих відповідальних і важконавантажених деталей складної форми використовують сталі зі значним вмістом Ni та Mo, наприклад, сталі 40ХНМ; 30ХН2МФ; 40ХН2МФ; 40ХН2МА; 38ХН3МФ, тощо.

3. *Пружинно-ресорні леговані* сталі містять 0,5-0,7 % С, додатково леговані Si (до 2 %) і елементами Mn, Cr, V, W, B, які підвищують пружні характеристики і прогартуваність сталі. Сталі 50С2, 50ХГФА використовують для ресор автомобілів, сталі 55СГ, 60СГ, 65С2ВА, 60С2ХФА - для відповідальних пружин, ресор, тощо. Додаткове легування сталі вольфрамом, молібденом, ванадієм підвищує стійкість до відпуску, що дозволяє використовувати їх для роботи при температурах до 200 - 250 °С.

Режими термічної обробки пружинно-ресорних сталей наведені в таблиці ДП.5.

При легуванні бором (0,003 %) підвищується поріг пружності і прогартуваність сталі (сталі 55ХГР, 50ХФРА тощо). Для підвищення опору втомі і зменшення чутливості до концентраторів напружень пружини і листи ресор у готовому вигляді піддають поверхневому наклепуванню струменевою обробкою шротом.

4. *Шарикопідшипникові сталі* складають особливу групу конструкційних сталей, що відповідають вимогам високої міцності і зносостійкості. Для них характерним є високий вміст вуглецю ($\approx 1\%$) і хрому. Для маркування цих сталей використовують літери ШХ, які розшифровуються, як сталь шарикопідшипникова хромиста, далі йдуть цифри, що вказують на вміст хрому в десятих частках відсотку. Наприклад, сталь ШХ6 (0,6%Cr); ШХ9 (0,9%Cr); ШХ15 (1,5%Cr).

Евтектоїдний (0,8%) вміст вуглецю і хрому в сталі забезпечують одержання після гартування структури дисперсного мартенситу з карбідами високої твердості, зносостійкості і прогартуваності сталі. Для підвищення прогартуваності сталь її додатково легують марганцем і кремнієм (сталь ШХ15СГ; ШХ20СГ).

Інструментальні леговані сталі використовують для виготовлення різального, штампувального і вимірювального інструменту.

Умовно їх поділяють на *леговані, штампові та швидкорізальні*.

1. *Інструментальні леговані сталі*, порівняно з вуглецевими, характеризує підвищена прогартуваність, значна міцність, більш високі різальні властивості, пластичність у відпаленому стані. Легуючі елементи W, Mo, Co, Cr підвищують теплостійкість, Mn - загартованість, Ni - в'язкість, V - зносостійкість.

У низьколегованих інструментальних сталях (C=0,9-1,3%) основним легуючим елементом є хром (Сталь X; 11X; 13X). При вмісті хрому до 0,4 % прогартуваність сталей низька, а з підвищенням вмісту хрому до 1,3 - 1,6 % при легуванні кількома елементами (Cr, Mn, Si, W) вона значно зростає (сталь 9XC; 9XBГ; XBГ; X12M, тощо).

Для вимірювального інструменту використовують сталі X, XBГ після гартування і спеціального низького відпуску при 120 - 130 °C протягом 15 - 20 год з наступною обробкою при температурах нижче нуля (до - 60 °C).

Сталь X з теплостійкістю до 200 °C застосовують також для токарних і стругальних різців. Сталь 9XC з теплостійкістю до 260 °C - для виготовлення сверدل, розверток, фрез, мітчиків, плашок; сталі типу XBСГ; 9X5BФ з теплостійкістю до 450°C - для виготовлення крупних сверدل, плашок, протяжок, фрез та іншого різального інструменту.

Сталі з меншим вмістом вуглецю і підвищеною в'язкістю використовують для інструменту, що працює в умовах значних ударних навантажень (пневматичні зубила, ножі для холодного різання металу, тощо), наприклад, сталь 4XC; 6XC; 4XB2C та ін.

Для виготовлення інструменту з високою твердістю і зносостійкістю, а також незначною деформацією під час гартування використовують сталі типу X12Ф1.

Режими термічної обробки інструментальних легованих сталей наведені в таблиці Д.ІІ.6.

2. *Штampові сталі*. Для виготовлення штампів холодного деформування складної форми перерізом від 75 до 100 мм використовують сталі X і XBГ.

Для виготовлення штампів гарячого деформування використовують сталі 5XHM, 5XGM, 5XHB з вмістом вуглецю від 0,5 до 0,6 % леговані хромом, який підвищує міцність і прогартуваність, а також вольфрамом і молибденом, які підвищують твердість, теплостійкість, подрібнюють зерно, нікелем, який підвищує в'язкість, прогартуваність і марганцем, який замінює нікель.

3. *Швидкорізальними сталями* називають високолеговані

інструментальні сталі, які містять від 0,75 до 1,1% С та W, Cr, V, Mo і мають високу теплостійкість, - до 600-650 °С. Такі сталі позначаються літерою Р і цифрою, яка вказує на вміст вольфраму у відсотках. Наприклад, при позначенні Р9, Р18 вміст вольфраму складає 9 і 18%, відповідно. Вміст хрому 4% і ванадію 2% при маркуванні цих сталей не вказують. До складу швидкорізальних сталей додатково вводять також молібден і кобальт. Для маркування таких сталей використовують літери М і К та цифри, які вказують на їх кількість у відсотках (сталь Р6М5; Р9К5; Р18К5Ф2, тощо).

[На початок](#)

3. Маркування легованих сталей

Маркування якісної легової сталі складається з поєднання букв і цифр, що вказують на її хімічний склад. Легуючі елементи мають такі позначення: азот - А, ніобій - Б, вольфрам - В, марганець - Г, мідь - Д, кобальт - К, берилій - Л, молібден - М, нікель - Н, свинець - П, хром - Х, бор - Р, кремній - С, титан - Т, ванадій - Ф, цирконій - Ц, алюміній - Ю, рідкісноземельні метали - Ч.

Цифри після літери вказують на вміст даного легуючого елемента. При вмісті елемента менше або близько 1 % цифри не пишуть; близько 2 % - цифру 2 тощо. При маркуванні конструкційних якісних сталей цифри перед першою літерою марки використовують для позначення середнього вмісту вуглецю у сотих частках відсотка, а у високовуглецевих інструментальних сталях - в десятих частках відсотка. Наприклад, сталь марки 20Х містить 0,17- 0,23 % С; 0,7- 1,0 Cr; сталь 30ХГСН2 - 0,3 % С; до 1 % Cr; до 1 % Mn; до 1 % Si; до 2 % Ni.

Літера А у кінці марки сталі вказує на обмежений вміст сірки і фосфору (до 0,03 % кожного) - високоякісна, а також на те, що дотримано всіх технологічних вимог металургійного процесу виробництва високоякісної сталі. Наприклад, Сталь 18ХНЗА.

Особливо високоякісна сталь має в кінці марки літеру Ш. Наприклад, Сталь 95Х18Ш, особливо високоякісна, виплавлена методом електрошлакового переплаву, містить 0,9-1,0 % С; 17- 19 % Cr; 0,03 % Р і 0,015 % S.

Деякі групи сталей мають додаткові позначення: марки шарикопідшипникових сталей починаються з літери Ш, швидкорізальних - з літери Р, магнітотвердих - з літери Е, автоматних - з літери А.

Для скорочення кількості знаків при маркуванні сталі іноді відступають від загальноприйнятої системи, особливо для складнолегованих сталей. У марках таких сталей не вказують цифру, що означає вміст вуглецю або іншого елемента (інструментальні сталі з вмістом вуглецю понад 1 %).

[На початок](#)