**Лекція №7**

**ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА**

**Змістовний модуль 2. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

 **Тема 4. ЛЕГОВАНІ СТАЛІ**

**План лекції**

* 1. Вплив легуючих елементів на структуру і властивості легованої сталі.
	2. Маркування легованих сталей.
	3. Класифікація легованих сталей.
		1. Конструкційні сталі.
		2. Інструментальні сталі.
		3. Сталі і сплави з особливими властивостями.

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЇ**

***Легованими*** (від латинського слова «legos» - складний) називаються сталі, в складі яких містяться спеціально введені (легуючі) елементи, що змінюють їх механічні і фізико-хімічні властивості. До таких елементів належать: хром, нікель, вольфрам, молібден, ванадій, кобальт, титан, алюміній, мідь, ніобій, бор та ін. Марганець в кількості понад 1% і кремній — понад 0,5% також є легуючими елементами.

***Вплив легуючих елементів на структуру і властивості легованої сталі***

Властивості легованих сталей визначаються кількістю введених ле­гуючих елементів і характером їх взаємодії з основними компонентами — залізом і вуглецем.

За цією ознакою легуючі елементи можна поділити на дві групи:

1. елементи, які не утворюють карбідів (Nі, Со, Sі, А1);
2. карбідоутворюючі елементи (Сг, Мn, Мо, W, V, Ті, *Zr,* N6).

Елементи першої групи утворюють з залізом тверді розчини, при цьому нікель і кобальт мають необмежену розчинність у залізі при будь- яких температурах. У відпалених сталях елементи цієї групи розчинені у фериті, а в загартованих — у мартенситі або в аустеніті. Тому виявити їх наявність у сталях за допомогою мікроскопічного аналізу немає можливості.

Взаємодія елементів другої групи з компонентами сталі і їх розподіл у структурі складніша і залежить від вмісту вуглецю. При порівняно невеликому його вмісті частина карбідоутворюючих елементів перебуває в твердому розчині. Якщо ж у сталі міститься велика кількість вуглецю і мало карбідоутворюючих елементів, то вони в основному будуть у вигляді карбідів. При невеликій кількості (менше 5%) карбідоутворюючі елементи мало змінюють структуру сталі і при мікроскопічному аналізі майже не виявляються.

Істотно впливають легуючі елементи на поліморфні перетворення заліза. Одні з них (Nі, Со, Мn) знижують критичні точки ***А3***і підвищують ***A4***; інші — Сг, Sі, Мо, W, V, Ті — навпаки, підвищують точки ***А3*** і знижують ***А4****.*

Легуючі елементи, які розчиняються у фериті, впливають на алотропні перетворення заліза, підвищуючи або знижуючи критичні точки А3 і А4 (рис. 1), таким чином розширюючи або звужуючи зони існування аустеніту і фериту. Зокрема, Mn, Ni, Pt знижують критичну точку А3 і підвищують точку А4, розширюючи γ-зону від кімнатної до температури плавлення за певної масової частки цих елементів у сталі (рис. 1, а). Такі сталі називають ***аустенітними***. Сталі цього класу містять до 20…30% легуючих елементів. Це зносостійкі, немагнітні, деякі види нержавіючих, жаростійких сталей (110ГІЗЛ, 08Х18Н10Т, 03Х13АГ19, 08Х23Н18).



Рис. 1. Вплив легуючих елементів на фазові перетворення сталей:

а — аустенітних; б — феритних

Усі інші елементи Si, Al, P, Be, W, Sn, Mo, Sb, V, Ti, навпаки, знижують критичну точку А4 і підвищують точку А3, розширюючи α-зону (рис. 1, б). Сталі такої структури називають ***феритними***.

Ці сталі не загартовуються, оскільки при нагріванні й охолодженні не відбувається перетворення α ↔ γ. Це сталі марок 12Х17, 08Х17Т, 15Х25Т, 15Х28. Вони є корозійностійкими. У відпаленому стані структура цих сталей складається з легованого фериту і невеликої кількості карбідів.

Наявність легуючих елементів приводить до ряду змін у перетво­реннях, що відбуваються при нагріванні та охолодженні. Майже всі елементи, особливо карбідоутворюючі, зменшують схильність аусте­нітного зерна до росту при нагріванні.

Особливої уваги заслуговує вплив легуючих елементів на процес ізотермічного перетворення аустеніту. Всі елементи, крім кобальту, уповільнюють цей процес, тобто підвищують стійкість переохолодженого аустеніту (зсувають С-подібні криві на діаграмі ізотермічного пе­ретворення вправо) і тим самим зменшують критичну швидкість охо­лодження при гартуванні. Це має велике практичне значення, тому що дає змогу застосовувати при загартуванні менш інтенсивні охолоджувачі. У зв’язку з цим леговані сталі при гартуванні охолоджують у маслі, а деякі — навіть на повітрі.

В свою чергу підвищення стійкості аустеніту і зменшення критичної швидкості гартування сприяють підвищенню прогартовуваності сталі. Підвищена прогартовуваність є однією з головних переваг легованої сталі перед звичайною вуглецевою.

Багато з легуючих елементів (Мп, Сг, Ni і ін.) знижують температуру початку мартенситного перетворення, тобто точку *Мн.* Якщо ця температура знижується до нуля (наприклад при 5% Мn), то при загартуванні аустеніт не розпадається і зберігається в сталі при кімнатній температурі

На перетворення загартованої сталі впливають головним чином кар- бідоутворюючі елементи. Леговані карбіди починають виділятися в структурі при більш високих температурах (450—550° С), ніж цементит у вуглецевих сталях (200—250° С). Крім того, леговані карбіди мають високу дисперсність і малу схильність до росту (коагуляції). Тому зниження твердості і міцності загартованої сталі з такими карбідами при нагріванні уповільнюється і стає помітним лише при температурах 650—700°С, що сприяє підвищенню теплостійкості сталі.

***Маркування легованих сталей***

Леговані сталі маркують літерами, що вказують на вид легуючих елементів та цифрами, які визначають їх кількість у сплаві. При цьому цифра, що стоїть на початок марки легованої сталі вказує на вміст вуглецю у сплаві у сотих частках відсотка для конструкційних і в десятих частках відсотка – для інструментальних сталей.

Цифри, що стоять після літер, вказують на вміст даного легуючого елементу в сплаві в цілих частках відсотка. Якщо після літери цифра відсутня, то вміст цього легуючого елементу в сплаві становить 1%, або навіть менше.

Позначення легуючих елементів в марках сталі:

А-азот (N2), Б-ніобій (Nb), В-вольфрам (W), Г-марганець (Mn), Д – мідь (Cu), Є-селен (Se), К-кобальт (Co), Л-берилій (Be), М-молібден (Mo), Н- нікель (Ni), П – фосфор (P), Р- бор (B), С-кремній (Si), Т- титан (Ti), Х- хром (Cr), Ф- ванадій (V), Ц- цирконій (Zr), Ю- алюміній (Al), Ч- рідкоземельні метали (РЗМ).

Цифри в марках сталі вказують на вміст вуглецю і легуючих еле­ментів. Перші дві цифри на початку марки показують середній вміст ьуглецю в сотих частках процента. Цифри, які стоять після букви, показують середній вміст легуючого елемента, що позначається цією буквою, в процентах. Якщо легуючого елемента міститься близько 1 %, то цифри не ставляться. Буква А в кінці марки вказує, що дана сталь належить до високоякісних, тобто містить в собі мінімальну кількість шкідливих домішок (сірки і фосфору). Наприклад, марка ***40ХН2МА*** позначає сталь з середнім вмістом 0,40%С, 1%Сг, 2% №, 1%Мо; ця сталь високоякісна, адже в кінці марки поставлена буква А.

Конструкційна сталь ***12ХНЗА***. Цифра, що стоїть на початок марки сталі, вказує на вміст вуглецю в сплаві, який становить 0,12%. Літери «Х» і «Н» вказують на те, що сталь легована хромом (в межах 1%) та нікелем (цифра 3 вказує на те, що нікелю в сталі 3%) і носить назву хромонікелевої.

При маркуванні інструментальних і деяких інших сталей іноді від­ходять від розглянутої системи позначень. Так, наприклад, марка ***4Х9С2*** означає жароміцну сталь з 0,40%, а не з 0,04 %С. У високовуглецевих інструментальних сталях цифри, які вказують вміст вуглецю, взагалі опускаються, наприклад, марка Х12М означає сталь з вмістом 1,45—1,70%С, близько 12%Сг і 0,5 %Мо. Інструментальна сталь ***9ХС*** - містить С=0,9%, Сr≈1% та Si≈1%.

Деякі леговані сталі виділені в окремі групи і позначаються бук­вами: Ш — шарикопідшипникові, Р — швидкорізальні, Є — магнітні, Е — електротехнічні.

Дослідні сталі, що виплавлялися на заводі «Электросталь», по­значалися буквами ЭИ і числом — номером сталі (наприклад, ЭИ 756).

***Класифікація легованих сталей***

Конструкційні леговані сталі класифікують за ***складом, структурою і призначенням.***

***За складом*** вони поділяються на ***низьколеговані***, ***середньолеговані*** і ***високолеговані***. У низьколегованих сталях сумарний вміст легуючих елементів не перевищує 2,5%, у середньолегованих становить від 2,5 до 10% і у високолегованих — понад 10%.

***За структурою*** леговані сталі поділяють на класи залежно від того, яка утворюється в них структура після нормалізації зразків діаметром 25 *мм.* Розрізняють сталі ***перлітного, мартенситного і аустенітного*** класів.

До ***перлітного*** класу належать сталі з вмістом легуючих елементів до 5%; після нормалізації вони мають структуру перліту (сорбіту, і трооститу). До ***мартенситного*** класу — сталі з вмістом легуючих еле­ментів понад 5%; після нормалізації вони мають мартенситну структуру. і, нарешті, до ***аустенітного*** класу — сталі з вмістом легуючих елементів у кількості до 10—30%, в яких при охолодженні на повітрі аустеніт не зазнає перетворень і зберігається при кімнатній температурі.

Сталі з великим вмістом вуглецю і карбідоутворюючих елементів, у структурі яких поряд з основою (перліт, мартенсит, аустеніт) є значна кількість карбідів, виділяють в ***карбідний клас***.

***За призначенням*** леговані сталі поділяють на ***конструкційні***, ***ін­струментальні*** і ***сталі з особливими властивостями***.

***Конструкційні сталі***

До конструкційних належать низько- і середиьолеговані сталі. Як легуючі елементи в них присутні ***хром, марганець, кремній, нікель і рідше — вольфрам, молібден, ванадій і бор.*** Для значної зміни властивостей ці сталі легують одночасно кількома елементами, наприклад, хромом і нікелем; хромом, марганцем і кремнієм; хромом,нікелем і вольфрамом і т. д.

У конструкційних сталях зазвичай міститься хрому до 2,5%, марганцю до 1,5%. кремнію до 1%. В таких кількостях ці елементи підвищують міцність, твердість і прогартовуваність сталі.

Нікель вводять у конструкційну сталь головним чином для підви­щення її прогартовуваності і ударної в’язкості.

Вольфрам, молібден і ванадій використовують частіше у хромоні­келевих сталях як додаткові легуючі елементи для підвищення їх міцності і твердості, а ванадій — пружності при підвищених температурах.

У загальному машинобудуванні найбільш широкого застосування набули такі конструкційні сталі.

*Марганцевисті маловуглецеві сталі* з вмістом марганцю до 2% (15Г, 20Г, 30Г2) легко обробляються тиском і різанням, добре зварюються, після цементації мають більш в’язку і міцну серцевину, ніж вуглецеві сталі. Марганцевисті сталі застосовують для виготовлення зварних конструкцій, а також виробів, які піддаються цементації.

*Кремнисті сталі* з вмістом 1,5—2% Sі (55С2, 60С2) після термічної обробки мають високу твердість і пружність; в основному вони призна­чені для виготовлення ресор і пружин.

*Хромисті сталі* 15Х, 20Х застосовують для виготовлення деталей, що цементуються і працюють при терті і вимагають підвищеної міцності і в’язкості серцевини. Сталі 30Х і 40Х застосовують для деталей, що загартовуються (валів, осей, шестерень).

Хромисті сталі з вмістом 0,9—1,1 %С і 0,8—1,6% Сг (наприклад, ШХ9, ШХ15) мають високу твердість і зносостійкість, їх застосовують для виготовлення деталей шарико- і роликопідшипників.

*Хромонікелеві сталі* після термічної обробки набувають великої міцності, твердості, пружності у поєднанні з високою ударною в’язкістю. Сталі 12ХНЗА, 12ХН4А, 12Х2Н4А застосовують для виготовлення важконавантажених цементованих, а сталі 37XH3A, 40ХН — загартовуваних деталей (валів, зубчастих коліс, осей і т. п.).

*Хромомарганцевокремнисті сталі* 25ХГСА і 30ХГСА, які скороче­но називаються хромансиль, мають високу міцність і добру зварюваність. Вони є основним матеріалом для виготовлення відповідальних зварних конструкцій.

*Хромонікелевольфрамові* і *хромонікельмолібденові сталі* (30ХНВА, 40ХНМА і ін.) мають комплекс високих механічних властивостей, в тому числі велику в’язкість і міцність проти втомлюваності. їх застосовують для виготовлення відповідальних деталей, які працюють при великих навантаженнях і вібраціях.

***Інструментальні сталі***

Інструментальні сталіповинні мати високу твердість і зносостій­кість. Тому їх легують головним чином карбідоутворюючими елементами (Сг, W, Mn, Si, V).

Залежно від призначення інструментальні сталі поділяються на сталі для ***різального, штампового і вимірювального інструменту***.

Сталі для ***різального інструменту***, в свою чергу, поділяються на сталі, які зберігають твердість при нагріванні до температури 200—• 250°С, і сталі, що зберігають твердість при нагріванні до 600—650°С; останні називають *швидкорізальними.*

Сталі з теплостійкістю до 200—250°С застосовують для виготовлен­ня інструментів, які в процесі роботи не розігріваються вище вказаних температур, наприклад свердел, мітчиків, плашок, розверток, зенкерів, напилків і т. п. До них належать сталі марок: X (1 %С, 1,4%Сг), 9ХС (0,9%С, 1,1 %Сг, l,3%Si), ХВГ (1 %С, 1,3%W, 1%Мп), ХВ5 (1,3%С, 0,6%Сг, 5%W, 0,2%V).

Швидкорізальні сталі належать до високолегованих, вони зберіга­ють твердість, міцність і зносостійкість при нагріванні до температури 600—650° С.

Найбільш поширена швидкорізальна сталь Р18 складається з 0,6%С, 4%Cr, 18%W і 1,2%V. Поряд з цими елементами швидкорізальні сталі, що використовуються для виготовлення інструментів, які працюють у більш важких умовах, легують кобальтом (Р18К40) і ванадієм(Р18Ф2), а також обома цими елементами разом (Р18К5Ф2).

Структура швидкорізальних сталей у відпаленому стані складається з легованого фериту і великої кількості (до 25%) карбідів. Для надання сталі з такою структурою найкращих ріжучих властивостей необхідно перевести максимальну кількість легуючих елементів з карбідів у металеву основу, тобто в твердий розчин. Цього досягають гартуванням від високих (1200—1300° С) температур. Після загартування структура швидкорізальних сталей складається з мартенситу і залишкового аустеніту (близько 30%). За допомогою наступного дво- або триразового відпускання при температурі 560° С вдається зменшити вміст залишкового аустеніту і тим самим трохи підвищити твердість сталі.

Для виготовлення штампів, які деформують метал у холодному ста­ні, застосовують сталі з високою твердістю, міцністю, а також високим опором пластичній деформації і зношенню. Сталі 4ХС, 4ХВ2С, Х12Мта ін., що застосовуються для виготовлення штампів, які працюють при великих ударних навантаженнях, крім того, повинні мати ще і достатню в’язкість.

До сталей, які застосовуються для виготовлення штампів, що при­значені для гарячого деформування металів, ставляться більш високі вимоги. Крім значної твердості й міцності, вони повинні мати підвищену теплостійкість і теплопровідність, добру жаро- і термостійкість.

Кувальні штампи виготовляють із сталей, легованих хромом, ні­келем, кремнієм, вольфрамом (наприклад, 5ХНМ, 5ХНВ).

Штампи для гарячої висадки і пресування нагріваються в роботі до більш високих температур, ніж кувальні. Тому для їх виготовлення застосовують високовольфрамові сталі, а також сталі, додатково лего­вані молібденом, ванадієм і кремнієм (наприклад, ЗХ2В8, 5Х4СВ4МФ).

Сталі, що застосовуються для виготовлення вимірювального ін­струменту, повинні мати високу зносостійкість, здатність тривалий час зберігати задані розміри і мати невеликий коефіцієнт лінійного розши­рення. Цим вимогам задовольняють сталі марок X і ХГ.

***Сталі і сплави з особливими властивостями***

До цієї групи належать сталі і сплави, які мають особливі хімічні або фізичні властивості, їх поділяють на ***нержавіюч***і, ***жароміцні, жаростійкі***, ***магнітні***, з ***високим електроопором і особливими тепловими властивостями.***

*Нержавіючі сталі* мають високу корозійну стійкість у хімічно активних газових і рідких середовищах. Висока корозійна стійкість цих сталей забезпечується великим вмістом хрому і нікелю, які утворюють на поверхні щільні захисні плівки окислів.

Нержавіючі сталі поділяють на хромисті і хромонікелеві.

Хромисті нержавіючі сталі (2X13, 3X13, 4X13 і ін.) призначені для виготовлення виробів, які піддаються термічній обробці з метою під­вищення міцності і твердості. З них виготовляють штоки, вали, осі, клапани, пружини і інші деталі хімічного устаткування.

Хромонікелеві нержавіючі сталі (1Х18Н9Т, Х16Н15МЗБ і ін.) додатково легують титаном, молібденом, ніобієм і деякими іншими еле­ментами. Ці сталі мають високі пластичні властивості.їх звичайно за­стосовують у вигляді листів і труб для виготовлення апаратури, яка працює в контакті з водяною парою, кислотами і іншими хімічно ак­тивними середовищами. Хромонікелеві нержавіючі сталі добре штам­пуються і зварюються. Термічній обробці (загартуванню) їх піддають з метою одержання однорідної аустенітної структури, яка забезпечує високі пластичні властивості.

*Жароміцні і жаростійкі сталі і сплави.* Під жароміцністю розумі­ють здатність сплавів зберігати міцність, а під жаростійкістю — здатність чинити опір дії газової корозії при високих температурах.

Жароміцні сплави одночасно є і жаростійкими. До жаростійких сплавів вимога жароміцності не пред’являється, тому що вони призначені для роботи при невеликих навантаженнях.

Легуючими елементами в жароміцних сталях є хром, нікель, моліб­ден, вольфрам, ніобій, титан і бор (наприклад, сталь 1X14Н18В2БР1).

Жароміцні сталі застосовують для виготовлення деталей, які працю­ють тривалий час при температурах 600—750° С. Для роботи при тем­пературах до 1000° С використовуються складнолеговані сплави на основі нікелю (ХН77ТЮ, ХН70МВТЮБ і ін.).

Основними легуючими елементами в жаростійких сталях є хром, кремній і алюміній. При вмісті 10—13%Сг сталь жаростійка до темпе­ратури 750° С, при 15—17% Сг — до 800—900° С, а при 25% Сг — до 1000° С. У промисловості широко застосовують жаростійку сталь марок 1Х12СЮ, 1Х25Н25ТР та ін.

*Магнітні сплави* поділяються на дві групи: ***магнітнотверді і ма- гнітном’які.***

***Магнітнотверді*** сплави застосовують для виготовлення постійних магнітів. До них належать сталі, леговані хромом і кобальтом (ЕХЗ, ЕХ9К15М), а також спеціальні сплави на залізонікельалюмінієвій основі, що містять 27—32% Мі, 12—14% А1 і 4—12% Си. Особливо високу магнітну енергію мають сплави, до складу яких поряд з вказаними елементами входить кобальт (15—35%).

Магнітні сталі і сплави піддають загартуванню і відпусканню за спеціальними режимами.

Магнітні сплави застосовують для виготовлення осердь магнітних пристроїв (трансформаторів, реле).

Як ***магнітном’які*** використовують так звані електротехнічні кремнисті сталі з вмістом кремнію до 4%, а також спеціальні сплави: пермалой і альсифер. Пермалой являє собою сплав нікелю з залізом, іноді додатково легований молібденом, хромом і іншими елементами; альсифер — сплав алюмінію, кремнію і заліза.

Електротехнічну сталь і пермалой використовують у вигляді холод­нокатаних відпалених листів; альсифер — сплав ливарний.

*Сплавив з високим електроопором* застосовують для виготовлення електронагрівальних елементів лабораторних і промислових печей та інших пристроїв. Ці сплави працюють при температурах до 1300° С, тому поряд з високим електроопором вони повинні мати також велику жаростійкість. Цим вимогам задовольняють так звані фехралі — сталі, леговані 12—28% Сг і 3,5—5,8% А1 (Х13Ю4, 0Х27Ю5А), а також ніхроми — сплави хрому з нікелем (Х20Н80, Х20Н80ТЗ).

До *сплавів з особливими тепловими властивостями* належать залізонікелеві сплави:

1. інвар Н36 — сплав, який має в інтервалі температур від 50 до 100°С мінімальний коефіцієнт лінійного розширення, що мало змінюється; застосовується в приладобудуванні для виготовлення деталей, які повинні зберігати свої розміри при зміні температури;
2. елівар Х8Н36 — сплав, який має у великому інтервалі температур сталу пружність; застосовується для виготовлення пружин годинників і хронометрів, а також ряду деталей фізичних приладів;
3. платиніт Н42 — сплав з коефіцієнтом лінійного розширення, близьким до коефіцієнта розширення скла, добре спаюється з склом; застосовується замість платини для впаювання електродів в електро­вакуумні прилади.

***Контрольні запитання***

1. Які сталі називають легованими?

2. Класифікація легованих сталей за вмістом легуючих елементів, за структурою після відпалювання і нормалізації, за призначенням.

3. Як легуючі елементи впливають на фазові перетворення в сталях?

4. Розшифрувати марки сталей 45ХН, 60С2А, ШХ15СГ, 9ХС, Р6М5.

5. Якими елементами легують магнітом’які, магнітотверді сталі?

Джерела інформації

1. Руденко Л.Ф. Леговані сталі та сплави: навч. посіб. / Л.Ф. Руденко, Т.П. Говорун. – Суми: СумДУ, 2012. – 171 с.
2. 11. Лахтин Ю.М. Материаловедение/ Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева.– М.: Машиностроение, 1980. – 493с.

Інтернет джерела

1. <https://www.youtube.com/watch?v=SsJIbQw_pE4>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=IJYzhhk5vsU>