

Леговані сталі і сплави: маркування, класифікація, вплив легувальних елементів на властивості сталі

Леговані сталі в широко застосовуються в авіаційно-космічній техніці для виготовлення деталей ($\sigma_{\text{тимч}} > 900 \text{ МПа}$).

Легованими сталями називають такі, в які спеціально вводять легувальні елементи, що забезпечують отримання потрібних властивостей.

Легувальними називаються елементи, що вводяться в сталь у певних концентраціях з метою зміни структури та властивостей сталі.

Окрім легувальних елементів, сталі завжди містять домішки. Домішки бувають корисні та шкідливі. До корисних домішок належать марганець, кремній, алюміній, які вводять в сталі у якості розкислювачів при виплавленні. Вони зменшують вміст кисню в сталі. Зазвичай вміст розкислювачів в сталях знаходиться в межах 0,3 – 0,7 % Mn, 0,2 – 0,4 % Si, 0,01 – 0,02 % Al.

До шкідливих домішок, належать, сірка, фосфор, кисень, водень, цинк, свинець, вісмут. Вміст шкідливих домішок в сталі обмежують. Зазвичай вміст сірки в сталі складає 0,01 – 0,04 %, а фосфору – 0,01 – 0,05 %.

Домішки забруднюють сталі, знижують механічні та фізико-хімічні властивості сталі. Для зменшення вмісту домішок сталі рафінують рідким синтетичним шлаком (Ш), електрошлаковим переплавленням (ЕШ). Інколи проводять вакуумно-дугове (ВД) або вакуумно-індукційне (ВІ) переплавлення.

Рафінування знижує вміст забруднення сталей неметалевими включеннями – оксидами, сульфідами, силікатними з'єднаннями, зменшують концентрацію дефектів в структурі.

Чим менше вміст домішок, тим вище тріщиностійкість сталі, стабільніше характеристики механічних властивостей.

Маркування легованих сталей. Для сталей вітчизняного виробництва існує система позначень, наведена у ГОСТ (для сталей іноземного виробництва

– AISI, ASTM, JIS, EN, DIN). Позначення складаються з числа цифр і літер, що вказують на приблизний склад сталі.

Кожен легуючий елемент позначають літерою: Н – нікель, Х – хром, К – кобальт, М – молібден, Г – марганець, Ю – алюміній, Д – мідь, Р – бор, Б – ніобій, Ц – цирконій, В – вольфрам, Т – титан, А – азот, Ф – ванадій, С – кремній.

Перші цифри в позначенні вказують на середній вміст вуглецю в сотих долях відсотка (у високовуглецевих сталях в десятих долях відсотка). Цифри, що йдуть після літери, вказують на вміст легуючого елемента у відсотках, якщо вміст елемента менше одного відсотка, то цифра відсутня. Літера А в кінці марки сталі означає, що сталь високоякісна (наприклад, 45ХНМА). Високоякісні сталі містять менше шкідливих домішок: $S < 0,025 \%$, $P < 0,025 \%$.

Отже сталь складу 0,1 ... 0,15 % С та 1,8 ... 2,7 % Мп позначається 12Г2; 0,28 ... 0,35 % С, 0,8 ... 1,1 % Cr; 0,9 ... 1,2 % Мп; 0,8 ... 1,2 % Si позначається 30ХГС.

Марки сталі, що виплавлені на заводі «Електросталь», позначаються літерою И, наприклад ЕИ або П, наприклад ЕП та порядковим номером плавки – ЕИ718, ЕП648. Електротехнічні сталі починаються з літери Е, шарикопідшипникові – Ш, високоміцні нержавіючі сталі – ВНС та нержавіючі – СН.

У порівнянні з маркуванням, прийнятим в США, Англії та інших країнах, маркування вітчизняних сталей найбільш зручна та наочно дозволяє дати оцінку належності сталі до того чи іншого класу.

Класифікація легованих сталей. Леговані сталі класифікують за наступними загальними ознаками:

1. За рівноважною структурою:
 - доевтектоїдні сталі, що мають в структурі надлишковий ферит;
 - евтектоїдні сталі, що мають перлітну структуру;
 - заевтектоїдні сталі, що мають в структурі надлишкові, вторинні карбіди.

2. За структурою після гартування на повітрі (рис. 1):

- сталі перлітного класу, що мають структуру перліту, сорбіту або троститу;
- мартенситного класу, що мають структуру мартенситу;
- сталі аустенітного класу, що мають структуру аустеніту.
- на повітрі. Сталі перлітного класу містять незначну кількість легуючих елементів. Швидкість охолодження перетинає С - криві.

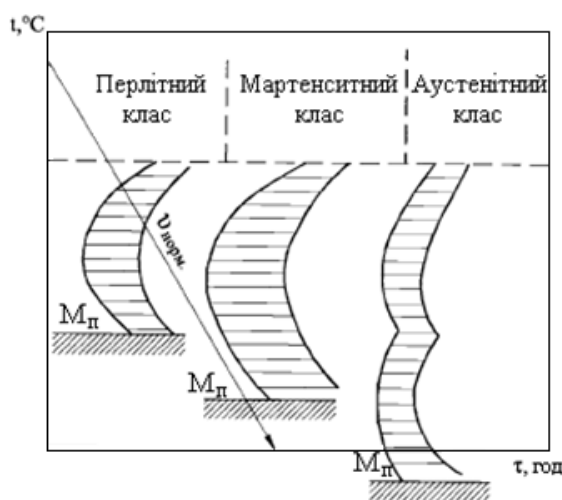


Рис. 1. Класифікація сталі за структурою після нормалізації.

3. За призначенням:

- конструкційні сталі, що застосовуються для виготовлення деталей машин;
- інструментальні сталі, що використовуються для виготовлення ріжучого, вимірювального та іншого інструменту;
- сталі з особливими властивостями, до яких відносяться жаростійкі, жароміцні, корозійностійкі, зносостійкі, сталі з особливими магнітними, електричними властивостями та інш.

4. За сумарним вмістом легувальних елементів:

- низьколеговані, що містять не більше 2,5 % легувальних елементів;
- середньолеговані, що містять від 2,5 до 10 % легувальних елементів;
- високолеговані, що містять більше 10 % легувальних елементів.

Інколи сталі розділяють за хімічним вмістом легувальних елементів на хромисті, хромонікелеві, хромонікельмолібденові, хромонікельалюмінієві, хромонікельтитанові та інш.

Вплив легувальних елементів на властивості сталі. Будова та властивості сталей залежать від хімічного складу, режиму термообробки, кількості, форми, розмірів та розподілення фаз в об'ємі стальної заготовки.

Оскільки сталі представляють собою сплави заліза з вуглецем, то легувальні елементи, що вводяться в сталь, можуть вступати у взаємодію як із залізом, так і з вуглецем. В результаті такої взаємодії утворюються первинні тверді розчини і проміжні фази.

При введенні легувальних елементів змінюється вигляд діаграми стану залізо-вуглець.

Хром, ванадій, вольфрам, молібден, алюміній, титан, ніобій, кремній, берилій розширюють область α -твердих розчинів, підвищують критичну температуру A_3 , звужують область γ -твердих розчинів (рис. 2). Ці елементи називають *феритоутворюючими*.

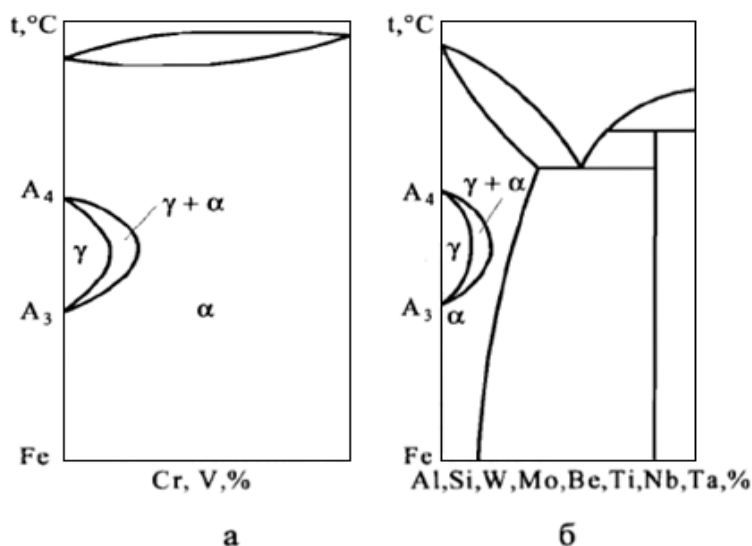


Рис. 2. Взаємодія феритоутворюючих елементів із залізом Cr, V (а); Al, Si, W, Mo, Be, Ti, Ni, Ta (б).

Хром і ванадій утворюють необмежені α -тверді розчини та замкнену вузьку область γ -твердих розчинів. При високому вмісті цих легувальних

елементів в сталях відсутні поліморфні перетворення і вони не зміцнюються при термічному обробленні.

В сталях легувальні елементи, розташовані у періодичній системі лівіше заліза, утворюють з вуглецем карбіди. Метали, що вступають у з'єднання з вуглецем в сталі, називаються *карбідоутворюючими*. Чим лівіше від заліза розташований у періодичній системі метал, тим менше добудована його d-електрона оболонка, яка добудовується валентними електронами вуглецю. Тому карбіди можуть мати металічні властивості.

Нікель, кобальт, мідь, кремній, алюміній не утворюють карбіди в сталях.

Марганець, хром, вольфрам, молібден, ванадій, ніобій, титан утворюють карбіди в сталях.

Карбіди розчиняють в собі залізо, марганець, нікель та інші легувальні елементи, зберігаючи структурну форму.

Розрізняють дві групи карбідних з'єднань в сталях. Першу групу карбідів складають Fe_3C , Mn_3C , Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 , $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$, $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$, $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$. Ці карбіди мають складну структуру, розчинюються при нагріванні та приймають участь у зміцненні при термічному обробленні.

Карбіди другої групи представляють собою фази впровадження: Mo_2C , NbC , TiC , TaC , VC , W_2C , WC , ZrC . Вони мають просту кристалічну решітку, важко розчинюються в аустеніті при нагріванні, відрізняються високою твердістю і температурою плавлення. Присутні фази впровадження перешкоджають зростанню зерна аустеніту при термічному обробленні та зменшують чутливість сталі до перегрівання.

Карбідоутворюючі елементи підвищують стійкість мартенситу сталі проти відпуску. Утворення високодисперсних карбідів типу впровадження при високому відпуску надає сталям ефект вторинної твердості (рис. 3).

Карбідні частинки гальмують рух дислокацій, зміцнюючи сталь. Міцність металу залежить від кількості, форми, розмірів та розподілення карбідів в сталі.

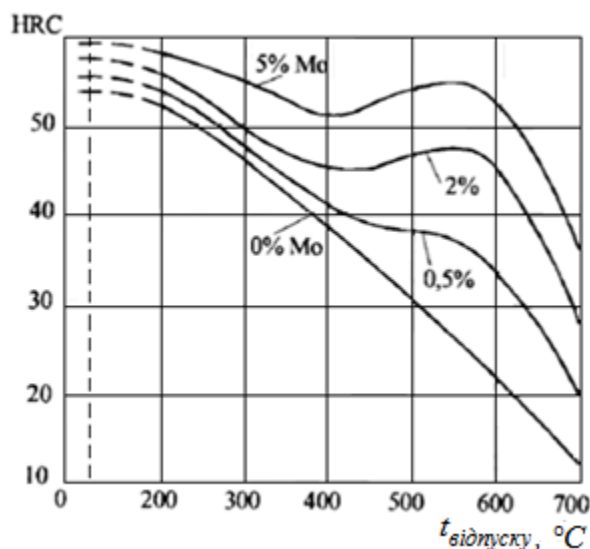


Рис. 3. Вплив молібдену на твердість сталі при відпуску.

Крім карбідів, в сталях можуть утворюватись і інші зміцнюючі фази. Наприклад, в мартенситостаріючих сталях міцність зростає за рахунок виділення металічних з'єднань легувальних елементів із залізом – NiTi , Ni_3Mo , Ni_3Ti (інтерметалідів).

Вольфрам, молібден, алюміній, титан, ніобій, кремній, берилій утворюють обмежені тверді розчини із залізом, такі сплави зміцнюються при термічному обробленні.

Нікель, марганець, кобальт, мідь, азот розширюють область γ -твердих розчинів (рис. 4), знижують критичну температуру A_3 .

Нікель, кобальт, марганець утворюють із залізом необмежені γ -тверді розчини і вузьку замкнену α -область. При високому вмісті цих елементів сталі також зміцнюються при термічному обробленні.

Елементи, що розширюють γ -область, називаються *аустенітоутворюючими*.

Вплив легувальних елементів на механічні властивості сталі. Легувальні елементи підвищують міцність та твердість фериту в сталях (рис. 5). Найбільш суттєве підвищення твердості фериту досягається при введенні в сталь Mn та Si . Значно підвищує міцність та твердість нікель.

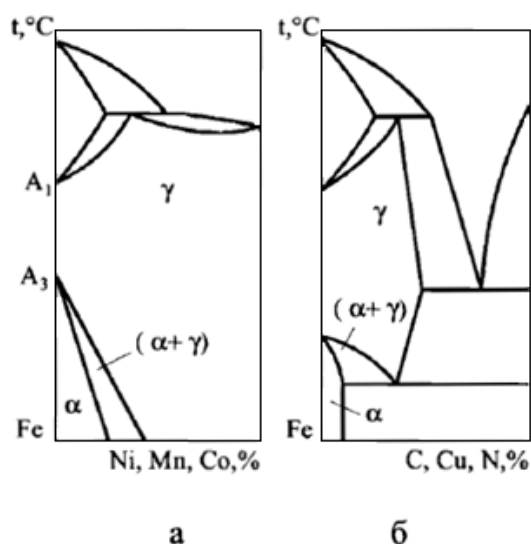


Рис. 4. Взаємодія аустенітоутворюючих елементів із залізом: Ni, Mn, Co (а); C, Cu, N (б).

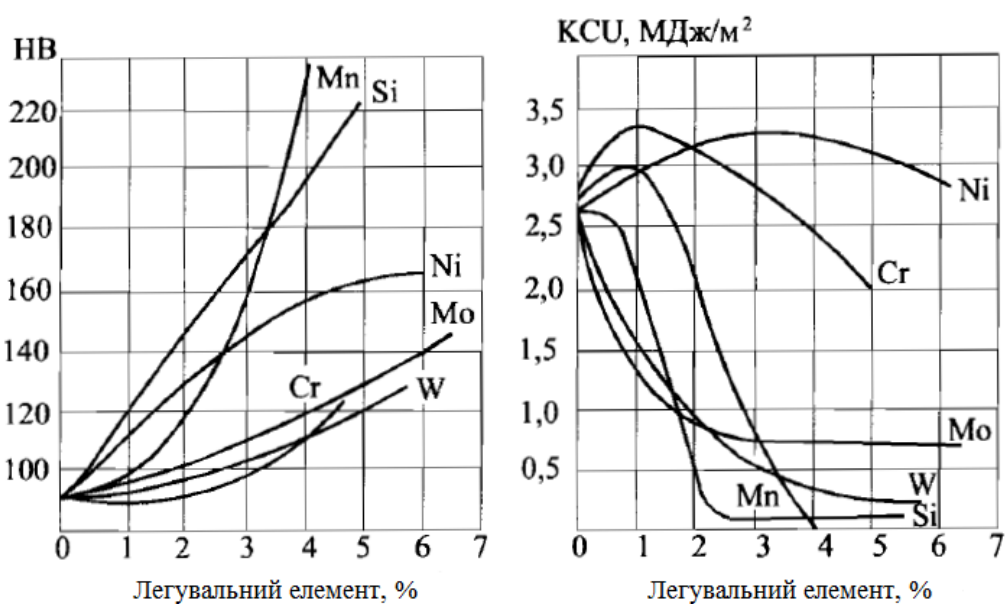


Рис. 5. Вплив легувальних елементів на твердість (а) та ударну в'язкість (б) фериту в сталях.

Нікель одночасно підвищує опір сталі крихкому руйнуванню, збільшує в'язкість та пластичність фериту сталі, зменшує чутливість сталі до концентрації напружень, знижує температуру крихкості.

Хром та марганець при невеликому вмісті також декілька підвищують в'язкість та пластичність фериту в сталях. Тому у конструкційні сталі хром і нікель вводять зазвичай у співвідношенні 1 : 3.

Легувальні елементи підвищують міцність аустеніту при кімнатній та підвищеній температурі.

Вплив легувальних елементів на прожарюваність сталей. Усі легувальні елементи, окрім кобальту, зрушують вправо С-лінії діаграми ізотермічного розпаду аустеніту та збільшують прожарюваність (рис. 6). В легованих сталях на лініях ізотермічного розпаду аустеніту спостерігається два максимума перетворення: верхній відповідає перлітному, а нижній – бейнітному.

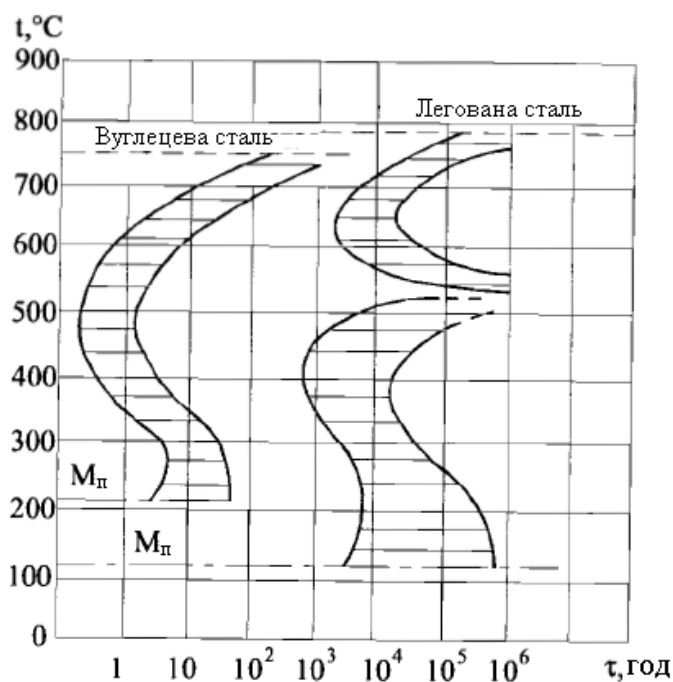


Рис. 6. Вплив легувальних елементів на лінії діаграми ізотермічного перетворення аустеніту сталі.

Найбільш висока прожарюваність досягається при комплексному легуванні сталі. У легованих сталях значно знижуються критична швидкість охолодження. Мартенситну структуру можна отримати гартуванням на повітрі.

Висока прожарюваність є найважливішою властивістю легованих сталей.