

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”

Методичні вказівки

з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів
і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму
з розділу “Вивчення структури, властивостей та призначення
конструкційних легованих сталей, частина І”
для студентів усіх форм навчання

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства.
Протокол № 12 від 13.06.2014.

Методичні вказівки з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Вивчення структури, властивостей та призначення конструкційних легованих сталей, частина І” для студентів усіх форм навчання / Укл.: В.В. Трофименко, В.І. Овчаренко. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2015. – 31 с.

Укладачі: В.В. Трофименко, канд. техн. наук
В.І. Овчаренко, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск О.Б. Гірін, д-р техн. наук

Навчальне видання

Методичні вказівки з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Вивчення структури, властивостей та призначення конструкційних легованих сталей, частина І” для студентів усіх форм навчання.

Укладачі: ТРОФИМЕНКО Віталій Васильович
ОВЧАРЕНКО Володимир Іванович

Редактор Л.М. Тонкошкур
Коректор В.П. Синицька

Підписано до друку 10.07.14. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф. Ум.-друк. акр. 1,52. Обл.-вид. акр. 1,57. Тираж 100 прим. Зам. № 155. Свідоцтво ДК № 303 від 27.12.2000.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, м. Дніпропетровськ-5, просп. Гагаріна, 8.

Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

ВСТУП

Значна більшість матеріалів для деталей машин та інструментів повинна мати властивості, яким повною мірою не відповідають вуглецеві сталі, тому широке використання набули леговані сталі та спеціальні сплави.

ЛЕГОВАНИМИ називають сталі, які крім заліза, вуглецю і технологічних домішок, містять легуючі елементи, які вводять до складу сталі для зміни її структури і властивостей при певних способах виробництва та обробки.

Найчастіше використовують такі легуючі елементи як Mn(>0,8%), Si(>0,5%), Cr, Ni, Mo, Co, V, W, Ti, Al, Nb, Zr, B, Cu. В деяких сталях легуючими елементами можуть бути також H, S, N, Se, Te, Pb, La тощо. Легуючи не одним а кількома елементами, наприклад, Cr і Ni, отримують хромонікелеву сталь, Cr і Mn – хромоманганову сталь, Cr, Ni, Mo, V – хромонікельмолібденванадієву сталь. Концентрація деяких легуючих елементів може бути дуже малою. В кількості до 0,1% вводять Ni, Ti, а вміст B звичайно не перевищує 0,003%. Легування сталі, коли концентрація елемента складає менше 0,1%, називають *мікролегуванням*.

Залежно від загального вмісту легуючих елементів (без урахування вуглецю) сталі поділяють на:

- **низьколеговані** – л.е. <2,5%;
- **середньолеговані** – л.е. від 2,5% до 10%;
- **високолеговані** – л.е. >10%, але при вмісті в них заліза не менше 45%.

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

Вміст кисню, сірки та азоту в залізовуглецевих сплавах коливається від тисячних до сотих часток відсотка [1], 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.

Необхідний комплекс властивостей сталей найкраще забезпечується не тільки легуванням, але і термічною обробкою, яка дозволяє отримувати найбільш оптимальну структуру металу. Леговані сталі дорожчі за вуглецеві, і тому їх застосовують без термічної обробки недоцільно.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВПЛИВ ЛЕГУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА КРИТИЧНІ ТА КОНЦЕНТРАЦІЙНІ ТОЧКИ. КЛАСИФІКАЦІЯ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ЗА СТРУКТУРОЮ У ВІДПАЛЕНОМУ ТА НОРМАЛІЗОВАНОМУ СТАНАХ

Мета роботи: вивчити вплив легуючих елементів на перетворення у сплавах на основі заліза та механічні властивості фериту і аустеніту; навчитися в залежності від хімічного складу визначати структурний клас сталі, принципи класифікації легованих сталей у відпаленому і нормалізованому станах.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

Вплив легуючих елементів на поліморфізм заліза. Всі елементи, які, розчиняючись в залізі, утворюють з ним тверді розчини заміщення, впливають на положення точок A_3 і A_4 , що визначають температурну область існування поліморфних модифікацій заліза (додаток А).

За впливом на поліморфізм заліза всі легуючі елементи ділять на дві групи:

а) *аустенітоутворюючі елементи* – до них належать Ni, Co, Cu, N, Pd, Pt та Mn. Ці елементи, підвищуючи точку A_4 і знижуючи точку A_3 на діаграмі стану залізо-легуючий елемент (рис. 1.1,а), розширюють область існування α -фази за рахунок γ -фази. Сплави, що містять легуючий елемент у кількості більше, ніж у точці 1, не зазнають ($\alpha \leftrightarrow \gamma$) перетворення і називаються **аустенітними**;

б) *феритоутворюючі елементи* – до них належать Cr, Mo, W, V, Ti, Si, Al та інші елементи. Ці елементи підвищуючи точку A_3 , і знижуючи точку A_4 , розширюють область існування α -фази (рис. 1.1,б).

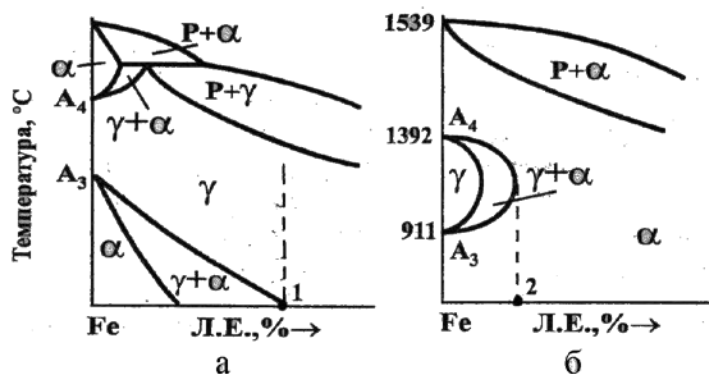


Рис. 1.1. Схеми діаграм фазової рівноваги залізо-легуючий елемент (л.е.):
а – аустенітоутворювачі; б – феритоутворювачі

Сплави, що містять легуючий елемент у кількості більше, ніж у точці 2, не схильні до ($\alpha \leftrightarrow \gamma$) перетворень та називаються **феритними**.

Сплави, що частково зазнають ($\alpha \leftrightarrow \gamma$) перетворення називають напіваустенітними або напівферитними.

Вплив легуючих елементів на критичні точки сталі. В потрійній системі “залізо-вуглець – легуючий елемент” легуючі елементи наступним чином впливають на критичні точки:

- *аустенітоутворюючі елементи* (Ni, Mn, Pd, Pt, Co, Cu, N), розширюючи γ -область, знижують точки A_1 і A_3 ;

- *феритоутворюючі елементи* (Cr, Mo, W, V, Ti, Si та інші), що розширюють α -область, підвищують точки A_1 і A_3 .

Легуючі елементи суттєво впливають на евтектоїдну концентрацію вуглецю (точка S на діаграмі стану Fe-Fe₃C) і граничну розчинність вуглецю у γ -фазі (точка E). Всі легуючі елементи зміщують точки E і S вліво, тобто у бік менших концентрацій вуглецю (рис. 1.2,а). Наприклад, на рис. 1.2,б показано звуження аустенітної γ -області при легуванні 12% хромом. Як результат високих критичних точок A_{C1} та A_{C3} . Евтектоїдна точка S змістилася в область більш низьких концентрацій вуглецю.

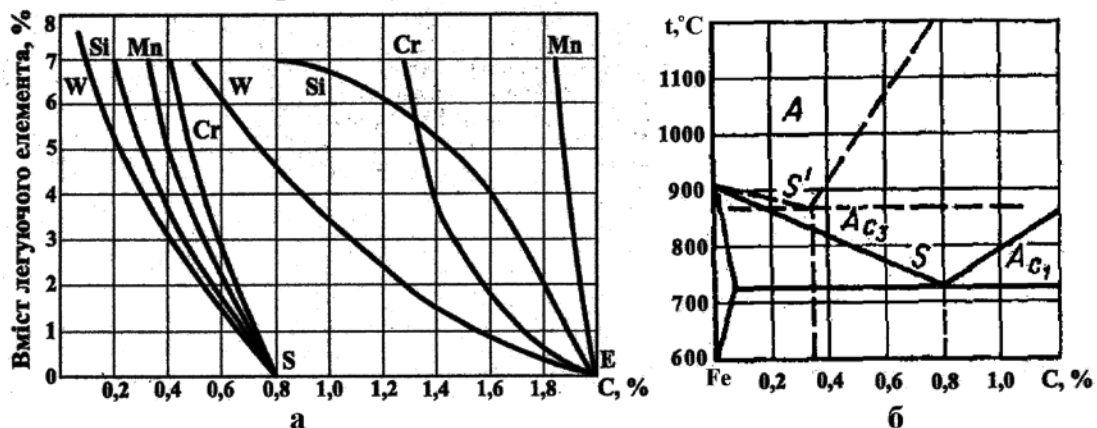


Рис. 1.2. Вплив легуючих елементів на положення точок E і S діаграми стану Fe-Fe₃C (а), вплив хрому на зміщення ліній діаграми стану Fe-Fe₃C (б)

Розподіл легуючих елементів у сталі. Як відомо, фазовими складовими залізобуглецевих сталей є тверді розчини вуглецю в α - і γ -залізі (ферит і аустеніт) та цементит. Саме між цими фазами відбувається основний розподіл легуючих елементів, що вводяться у сталь. Крім того, легуючі елементи можуть і самостійно утворювати спеціальні карбіди, відмінні від цементиту за складом і будовою, а також інші з'єднання.

Таким чином, у структурі легуваних сталей, залежно від їх хімічного складу, можуть бути присутніми:

- *тверді розчини легуючих елементів і вуглецю в α - і γ -залізі* (легований ферит і аустеніт);

- *карбіди* (легований цементит або спеціальні карбіди легуючих елементів);

- *інтерметалідні з'єднання заліза з легуючими елементами* (FeSi, FeCr, FeV та інші);

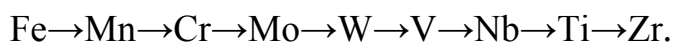
- *неметалеві з'єднання* (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Mn₅, CrN та інші).

Інтерметалідні з'єднання зустрічаються тільки у структурі високолегованих (що містять >20% легуючих елементів) і відносно обмеженої кількості марок сталей, що мають практичне застосування. А що стосується неметалевих з'єднань з постійними домішками сталі, то при вмісті останніх у межах марочного складу, вплив цих включень на властивості сталі невеликий.

Для переважної більшості легованих марок сталей основними фазовими складовими, що визначають властивості сталі, є тверді розчини (ферит і аустеніт) у якості основи сталі, та карбіди. Характер розподілу легуючих елементів між цими фазами залежить від багатьох чинників і, у першу чергу, від ступеня спорідненості їх та заліза до вуглецю. За цією ознакою легуючі елементи поділяють на дві групи:

Некарбідоутворюючі елементи. До них належать *Co, Ni, Si, Cu та інші, тобто елементи, які у Періодичній системі елементів розташовані правіше заліза. Маючи меншу, ніж залізо, спорідненість до вуглецю, вони не утворюють (у залізовуглецевих сталях) карбідів. Всі вони розчиняються у фериті або аустеніті, утворюючи тверді розчини заміщення (атоми легуючих елементів заміщають атоми заліза в ОЦК і ГЦК ґратках; у цих же ґратках за “варіантом втілення” знаходяться і атоми вуглецю). Слід відзначити, що розчинність легуючих елементів у залізі багато в чому залежить від різниці їх атомних діаметрів і типу кристалічних ґраток. Так, наприклад, Cr, Mo, W, V та інші елементи з ОЦК ґратками добре розчиняються в α -залізі, а такі елементи, як Co, Ni, Cu та інші, що мають ГЦК ґратку, краще розчиняються у γ -залізі.*

Карбідоутворюючі елементи. До них належать металеві елементи, які в Періодичній системі елементів розташовуються лівіше заліза. Ці елементи не тільки розчиняються у фазових складових сталі – фериті, аустеніті та цементиті, але можуть утворювати і спеціальні карбіди. Схильність до карбідоутворення у них тим сильніша, чим більша спорідненість легуючого елемента до вуглецю. За збільшенням ступеня спорідненості до вуглецю карбідоутворюючі елементи можна розташувати у наступному порядку:



Чим далі за відношенням до заліза стоїть елемент у Періодичній системі Менделєєва, тим активніше він з'єднується з вуглецем. Так, наприклад, якщо сталь містить хром і ванадій, то спочатку утворюються карбіди ванадію, потім хрому і лише потім карбіди заліза (цементит). Якщо ж у сталі міститься менша кількість вуглецю, то утворюються тільки карбіди ванадію, а хром знаходитиметься у твердому розчині.

При малому вмісті у сталі карбідоутворюючих елементів (наприклад, хрому до 2%, молібдену до 1%, вольфраму до 0,2% тощо), останні не утворюють спеціальних карбідів, а розчиняються у цементиті, заміщуючи в

ньому атоми заліза. Склад такого легованого цементиту можна виразити формулою $(\text{Fe, легуючий елемент})_3\text{C}$, наприклад, $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$. При цьому *марганець* може замінити в ґратках цементиту всі атоми заліза (змінюючи формулу цементиту на Mn_3C), а *хром, молібден і вольфрам* лише частково. Більш сильніші карбідоутворюючі елементи – *титан, ванадій і цирконій* практично не розчиняються у цементиті, а можуть знаходитися тільки у твердому розчині або утворювати спеціальні карбіди.

У свою чергу спеціальні карбіди легуючих елементів можуть містити залізо та інші елементи – карбідоутворювачі, якщо останні є в сталі. Так, наприклад, хромистий карбід Cr_7C_3 може розчинити до 60% Fe. В цьому випадку його позначають як $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$. Найлегше розчиняє залізо карбід марганцю, потім карбід хрому і зовсім не розчиняє залізо карбід титану.

Всі карбіди у сталі залежно від будови можна розділити умовно на дві групи:

- **прості карбіди**, які є фазами втілення, і що мають прості кристалічні ґратки та просту хімічну формулу типу MC або M_2C (де під M мається на увазі сукупність металевих елементів, що входять до складу карбіду). Характерною особливістю цих карбідів є висока температура плавлення ($\sim 2000\text{--}3000^\circ\text{C}$) та висока стійкість при нагріванні – вони практично не розчиняються в аустеніті при нагріванні. Ці карбіди часто називають первинними. Прикладом таких карбідів можуть бути: WC , VC , TiC , NbC , W_2C , Mo_2C тощо;
- **складні карбіди**, що мають складні кристалічні ґратки і складну хімічну формулу типу M_3C , M_7C_3 , M_{23}C_6 і M_6C (M_4C). Наприклад, Fe_3C , Mn_3C , Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 та інші. Особливістю цих карбідів, порівняно з карбідами попередньої групи, є нижча температура плавлення 1500°C і відносно добра розчинність їх в аустеніті при нагріванні. Ці карбіди часто називають вторинними.

Всі карбіди, особливо першої групи, характеризуються високою твердістю.

Вплив легуючих елементів на механічні властивості фериту та аустеніту. Всі легуючі елементи, розчинені у фериті (α -залізі), різною мірою змінюють властивості фериту, а отже, і властивості сталі, оскільки ферит є основою багатьох структур сталі. Вплив легуючих елементів на властивості фериту показаний на рис. 1.3.

З рисунка видно, що всі легуючі елементи зміцнюють ферит, але різною мірою. Найсильніше зміцнюють ферит Si, Mn, Ni. Всі легуючі елементи, окрім *нікелю* і, в якійсь мірі, *хрому*, одночасно сильно знижують ударну в'язкість. Тому *нікель* з перерахованих шести найпоширеніших легуючих елементів є особливо цінним. При введенні *нікелю* до сталі у кількості до 6% він підвищує міцність і одночасно не знижує ударної в'язкості, зберігаючи її до низьких температур (до -80°C).

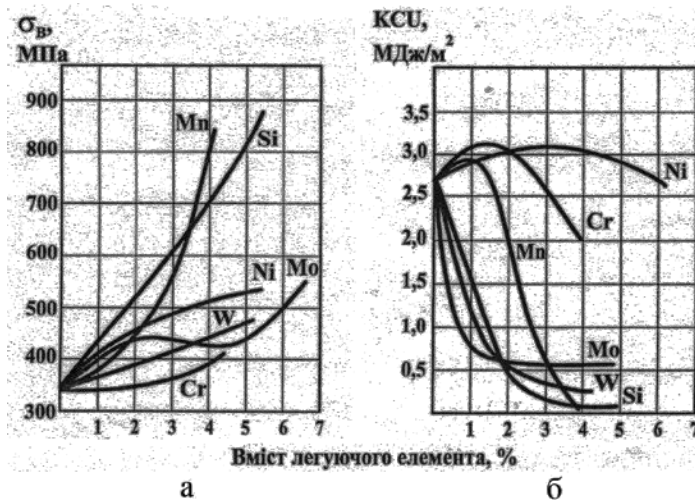


Рис. 1.3. Вплив легуючих елементів на міцність (а) і ударну в'язкість (б) фериту

Легуючі елементи, розчиняючись в аустеніті (γ -залізі), підвищують міцність аустеніту при кімнатній і високих температурах. Легований аустеніт характеризується низькою межею текучості при порівняно високій межі міцності.

1.2. МАРКУВАННЯ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Марка легованої сталі складається з поєднання літер та цифр, що позначають її хімічний склад. Згідно з ГОСТ 4543-71 літери позначають: **А** (на початку марки) – автоматна, **А** (всередині марки) – азот, **А** (наприкінці) – високоякісна, **Б** – ніобій, **В** – вольфрам, **Г** – марганець, **Д** – мідь, **Е** – селен, **К** – кобальт, **Л** (наприкінці) – ливарна сталь, **М** – молібден, **Н** – нікель, **П** – фосфор, **Р** (на початку) – швидкорізальна, **Р** (наприкінці) – бор, **С** – кремній, **Т** – титан, **Ф** – ванадій, **Х** – хром, **Ц** – цирконій, **Ч** – рідкісноземельні метали, **Ю** – алюміній.

Особливо високоякісна сталь позначається додаванням через дефіс в кінці марки літери “Ш”.

Для деяких груп легуваних сталей є й інші літерні позначення. Наприклад: “**Р**” – швидкорізальна, “**ШХ**” – шарикопідшипникова хромова, “**РП**” – регламентованої прокалюваності, “**ПП**” – зниженої прокалюваності тощо.

Цифра, що стоїть після літери, вказує приблизну кількість легуючих елементів у процентах. Якщо цифра відсутня, то концентрація легуючого елемента складає приблизно 1% (може бути в сотих або тисячних частках процента).

Цифра на початку марки легованої сталі вказує на середню концентрацію вуглецю: дві чи три цифри в конструкційних сталях – його концентрацію в сотих частках процента, одна цифра в інструментальних сталях – у десятих частках процента. Якщо кількість вуглецю 1...2%, то цифра на початку марки не ставиться.

Наприклад, марка конструкційної сталі 12ХН3А означає, що сталь містить 0,12%С (0,09...0,16% С), приблизно 1% хрому (0,6...0,9%), 3% нікелю (2,75...3,13%) та є високоякісною. Елемент не позначається, якщо в сталі він присутній як технологічна або випадкова домішка.

У складі інструментальної сталі ХВСТ – С (0,95...1,05%), Cr (0,6...1,1%), Si (0,65...1,0%), Mn (0,6...0,9%). Якщо інструментальна сталь має у своєму складі 0,5...0,6% С, 0,6...0,8% Cr, 1,4...1,8% Ni, 0,4...0,7% W, то її марку слід записати як 5ХНВ.

Нестандартні сталі позначаються буквами ЭИ (завод “Електросталь”, И – дослідницька), ДИ (завод “Дніпроспецсталь”, И – дослідницька) та порядковим номером.

1.3. ПРИНЦИПИ КЛАСИФІКАЦІЇ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Леговані сталі класифікуються по цілому ряду ознак.

Класифікація за якістю. Головною ознакою, за якою проводиться вказана класифікація, є жорсткіша вимога за хімічним складом і, перш за все, за вмістом шкідливих домішок (Р та S). За якістю леговані сталі поділяють на якісні (вміст Р та S < 0,035% кожного елемента), високоякісні (вміст Р та S < 0,025% кожного елемента), особливо високоякісні (Р < 0,025% та S < 0,015%).

Класифікація за хімічним складом. За цією класифікацією леговані сталі залежно від загального вмісту легуючих елементів у них (без урахування вуглецю) поділяють на *низьколеговані* (не більше 2,5%), *середньолеговані* (від 2,5% до 10%), *високолеговані* (більше 10%, але при вмісті в них заліза не менше 45%). Залежно від наявності тих або інших легуючих елементів у сталі, їх називають хромовими, кремнієвими, хромнікельмолібденовими тощо.

Класифікація за призначенням. За цією класифікацією леговані сталі поділяють на:

- *конструкційні* (машинобудівні), використовуються для виготовлення деталей машин, механізмів та конструкцій;
- *інструментальні*, використовуються для виготовлення ріжучого, штампового, вимірювального та іншого інструменту;
- *сталі і сплави з особливими властивостями*. Вони поділяються на теплостійкі, жароміцні, жаростійкі, корозійностійкі, магнітні, немагнітні тощо.

Класифікація за структурою. Існує два види класифікації легованої сталі за структурою:

- *за структурою у відпаленому стані* (після нагрівання до аустенітного стану і повільного охолодження разом з піччю);
- *за структурою у нормалізованому стані* (після нагрівання до температури 900°C і охолодження на повітрі) (додаток Б).

За структурою після відпалу леговані сталі поділяють на наступні структурні класи:

- *доевтектоїдні*, структура яких складається з евтектоїду (перліту) і

- надлишкового легованого фериту;
- *евтектоїдні*, структура яких складається з евтектоїду (перліту);
- *заевтектоїдні*, структура яких складається з евтектоїду (перліту) і надлишкових (вторинних) карбідів (наприклад $(\text{Fe, л.е.})_3\text{C}$), що виділяються з аустеніту при охолодженні;
- *ледебуриті*, структура яких складається з евтектики типу ледебуриту, в якій містяться крупні первинні карбіди.

Необхідно відзначити, що межа між доевтектоїдними та заевтектоїдними, а також між заевтектоїдними і ледебуритними легованими сталями проходить при меншому вмісті вуглецю, ніж у вуглецевих сталях, оскільки більшість легуючих елементів зміщує точки S і E діаграми стану Fe-Fe₃C у бік менших концентрацій вуглецю (рис. 1.2). Так, наприклад, сталь з 5% Cr при вмісті 0,6% C є *заевтектоїдною*, а при вмісті 1,5% C – *ледебуритною*.

Окрім вищевказаних сталей існують також сталі *феритного* і *аустенітного* класів.

Феритні сталі утворюються при низькому вмісті вуглецю і великій кількості легуючих елементів, що обмежують область існування аустеніту (Cr, Mo, W, V, Ti, Si тощо) – рис. 1.1,б. Структура таких сталей при всіх температурах складається з легованого фериту, частіше з деякою кількістю карбідів.

Аустенітні сталі утворюються при високому вмісті легуючих елементів, що розширюють γ -область (Ni, Mn, Co, N)–рис. 1.1,а. Ці сталі не зазнають ($\alpha \leftrightarrow \gamma$) перетворення і при кімнатних температурах мають структуру аустеніту, частіше з карбідами.

При підвищеному вмісті легуючих елементів можуть утворюватися сталі напівферитного і напіваустенітного класів. В цих сталях ($\alpha \leftrightarrow \gamma$) перетворення відбуваються лише частково і їх структура складається з аустеніту та фериту.

За структурою після нормалізації леговані сталі поділяють на три основні класи:

- *перлітний*, структура сталей буде представляти собою ферито-карбідну суміш (перліт, сорбіт або троостит);
- *мартенситний*, структура сталей після нормалізації буде мартенситною;
- *аустенітний*, структура сталей після нормалізації зберігається аустенітною.

Можуть існувати ще три додаткові класи:

- *феритний*;
- *бейнітний*;
- *ледебуритний*.

Класифікація сталей за структурою, отриманою після нормалізації (додаток Б), хоча і досить зручна з практичної точки зору, ще більш умовна, оскільки ґрунтується на вивченні структури зразків невеликого перерізу (~25 мм). Зміна ж перерізу зразків впливатиме на умови охолодження, і таким чином на тип структури.

Встановлений в основу такої класифікації принцип змістовно

обґрунтовується за допомогою діаграм ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту, з нанесеною на них кривою охолодження на повітрі (рис. 1.4).

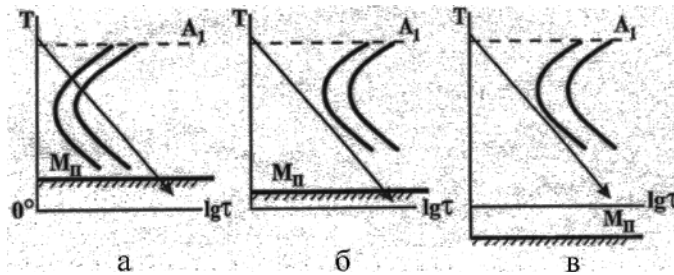


Рис. 1.4. Схеми діаграми ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту для сталей перлітного (а), мартенситного (б), аустенітного (в) класів

Як видно з графіків на рис. 1.4 структура, отримана після нормалізації, може бути прийнятною порівняльною (оцінювальною) характеристикою для сталей з різним хімічним складом. За одержаною структурою в певній мірі можна оцінювати можливості сталі в плані термічної обробки, структури та властивостей. Результати рис. 1.4 дозволяють зробити ще один важливий для практики висновок, який полягає в тому, що змінюючи шляхом відповідного легування стійкість і характер розпаду переохолодженого аустеніту (вигляд і розташування С-подібних кривих, положення мартенситних точок M_p і M_k), можна одержувати сталь різного структурного класу.

Слід також зазначити, що представлені вище два варіанти класифікації легованих сталей за структурою не завжди рівноцінні і в деяких випадках можуть доповнювати один одного. Так, наприклад, при класифікації у нормалізованому стані доєвтектоїдні, евтектоїдні і заєвтектоїдні сталі об'єднані в один загальний перлітний клас, в той час, як ця ж класифікація структур після відпалу є більш диференційованою. З іншого боку класифікація структур у нормалізованому стані дає більше можливостей для виділення сталей з бейнітною структурою в окремий клас

1.4. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Мікроскоп металографічний, мікрошліфи легованих сталей різних структурних класів, атлас мікроструктур, довідники.

1.5. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити основні легуючі елементи (л.е.) та фази, які вони утворюють при введенні в сталь, описати вплив л.е. на властивості фериту та аустеніту, на положення точок A_1 , A_3 , A_4 , та лінії SE.
2. Зарисувати у масштабі криві залежності положення точок S і E діаграми стану Fe-Fe₃C від вмісту легуючих елементів сталі.
3. Отримати протравлені мікрошліф легованих сталей різних структурних класів.
4. Розглянути їх структуру за збільшень у 300...500 разів та схематично її

зарисувати.

5. За атласом та довідником визначити структурні та фазові складові у мікроструктурі кожного зразку.

1.6. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

Звіт про виконану роботу повинен складатися із таких обов'язкових розділів:

1. Назва і мета роботи.
2. Відповіді на теоретичні питання.
3. Оцінка хімічного складу та класифікація за структурою запропонованих сталей.
4. Користуючись довідковими даними для отриманих зразків легованих сталей визначити вміст вуглецю в концентраційних точках S та E; структурні класи в рівноважному та нормалізованому станах. Заповнити табл. 1.1.

Таблиця 1.1

№ з/р	Марка сталі	Хімічний склад	Вміст С (%) в точках		Структура в рівноважному стані	Структурний клас	
			S	E		у відпаленому стані	в нормалізованому стані
1							
...							
7							

5. Висновки.

1.7. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які сталі називають легованими?
2. До складу яких фаз можуть входити легувальні елементи в сталях?
3. Класифікуйте легувальні елементи залежно від їх взаємодії з залізом та впливу на його критичні температури у рівноважному стані.
4. Як поділяють легувальні елементи залежно від взаємодії з вуглецем? Що визначає здатність легувальних елементів утворювати карбіди?
5. Якого типу карбіди можуть утворюватися у легованих сталях?
6. Як впливають легувальні елементи на положення точок S та E на діаграмі Fe-Fe₃C? Яке це має практичне значення?
7. Охарактеризуйте вплив легувальних елементів на кінетику розпаду переохолодженого аустеніту.
8. Назвіть основні структурні класи легованих сталей.
9. Як впливають легувальні елементи на мартенситне перетворення та перетворення під час відпускання?
10. Сформулюйте основні принципи класифікації легованих сталей.
11. Охарактеризуйте основні типи конструкційних, інструментальних та спеціальних легованих сталей.
12. Які переваги та недоліки мають конструкційні та інструментальні леговані

- сталі перед вуглецевими?
13. Як легувальні елементи впливають на прогартовуваність сталі? Які практичні наслідки такого впливу?
 14. Які способи застосовують для підвищення конструкційної міцності сталей?
 15. Від яких чинників залежить вартість легованих сталей?
 16. Перерахуйте структурні класи легованих сталей за класифікацією у відпаленому стані. Як приклад, для кожного з цих класів назвіть марку сталі, яка б до нього належала.
 17. Перерахуйте структурні класи легованих сталей за класифікацією у нормалізованому стані. Як приклад, для кожного з цих класів назвіть марку сталі, яка б до нього належала.
 18. Дайте порівняльну характеристику двом класифікаціям сталей за структурою, вказавши переваги і недоліки кожної з них.
 19. Визначити до якого типу у рівноважному стані (доевектоїдні, евтектоїдні, заевтектоїдні, ледебуритні) належать сталі класу:

8% W і 0,2% C;	6% Cr і 1,6% C
10% W і 1,5% C;	14% Cr і 0,8% C
2% W і 0,6% C;	2% Cr і 1,95% C
10% W і 0,6% C;	4% Cr і 0,8% C
 20. Класифікувати за структурою у нормалізованому стані, виділивши у вибірці окремі структурні класи сталей 20, 40X, 20XН3А, 40XНМА, Р18, 110Г13, Р6М5, 12Х18Н10Т, 40Х14Н14В2М

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ Й ЗАСТОСУВАННЯ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи: Вивчити хімічний склад, принципи класифікації легованих конструкційних та інструментальних сталей за структурою та основи їх вибору для деталей та інструментів.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1. СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Структури, що виникають у сталі залежно від вмісту легуючого елемента і вуглецю при заданій швидкості охолодження, вказуються на спеціальних діаграмах, які називаються структурними діаграмами. За їх відсутності, структуру і, отже, структурний клас сталі, що досліджується, при необхідності визначають експериментально (після відпалу або нормалізації зразків невеликого перерізу).

Класифікація сталей за структурою, особливо у нормалізованому стані, дозволяє оцінювати їх властивості. Наприклад, сталі, що мають перлітну

структуру, характеризуються відносно невеликою твердістю, але підвищеною пластичністю, в той же час сталі мартенситного класу досить тверді та крихкі.

У вигляді прикладу в табл. Б.1 (Додаток Б) наведено склад і клас за структурою деяких основних марок сталі.

Феритний клас. Сталі цього класу характеризуються тим, що до температур плавлення у них відсутні ($\alpha \leftrightarrow \gamma$)-перетворення. Структура таких сталей ферит або ферит з карбідами.

До сталей феритного класу відносяться сталі з низьким вмістом вуглецю і високим вмістом легуючого елементу, що звужує γ -область (Cr, Si, Mo тощо).

Найвідомішими сталями цього класу є сталі, що містять від 13 до 28% Cr при вмісті вуглецю менше як 0,1...0,15% (12X13, 15X25, 15X28). Вони відрізняються високим опором до окислення при нагріві і тому відносяться до окалиностійких.

Сталі з підвищеним вмістом кремнію (близько 4%) та малим вмістом вуглецю ($<0,1\%$) використовуються в електротехнічній промисловості для виготовлення елементів трансформаторів. Вони мають велику магнітну проникливість при малих втратах на гістерезис.

Перлітний клас. До перлітного класу відносяться всі вуглецеві, а також низько- та середньолеговані сталі (що містять до 5...6% легуючих елементів). Структура сталей цього класу в рівноважному (відпаленому) стані при кімнатних температурах складається з фериту і перліту (доевтектоїдні сталі), перліту (евтектоїдні сталі) та перліту з надлишковими (вторинними) карбідами (заевтектоїдні сталі). За класифікацією в нормалізованому стані, коли аустеніт в процесі охолодження на повітрі розпадається з утворенням ферито-карбідної суміші, структурами цього класу можуть бути перліт (квазіперліт), сорбіт або троостит.

До цього класу належить більшість конструкційних та інструментальних сталей.

Конструкційні малолеговані сталі із вмістом 0,3...0,6% C (40X, 30XГС, 38ХМА тощо) знайшли широке застосування при виготовленні деталей машин (осі, вали, шестерні). Легуючі елементи збільшують прокалюваність сталі і тим самим дають можливість отримувати високі механічні властивості у деталях великих перерізів.

З легованих сталей із вмістом 0,4...0,7% C (5ХНТ, 5ХНВ) виготовляють інструмент для гарячої обробки (штампи, матриці, пуансони тощо).

Для виготовлення ріжучого і вимірювального інструменту широко використовують леговані високовуглецеві сталі із вмістом вуглецю 0,8% та більше (ХВГ, 9ХС). Після гартування і низького відпуску ці сталі мають високу твердість і зносостійкість.

Після такої ж обробки подібні властивості мають шарикопідшипникові сталі типу "ШХ" (ШХ9, ШХ15).

Мартенситний клас. Сталі мартенситного класу можуть мати ту ж кількість вуглецю, що і сталі перлітного класу, але обов'язково повинні містити підвищену кількість легуючих елементів (~5...13%). Структура сталі цього

класу після нормалізації (за рахунок аустенітно-мартенситного перетворення при охолодженні на повітрі) – мартенсит.

Найбільшого поширення набули мартенситні неіржавіючі сталі, з яких виготовляють хірургічний інструмент (40X13), кільця і тіла кочення підшипників (95X18) та інші деталі, що працюють в корозійному середовищі.

Аустенітний клас. Сталі аустенітного класу характеризуються відсутністю ($\alpha \leftrightarrow \gamma$)-перетворення. Вони містять високий відсоток (13...30%) легуючих елементів, що розширюють γ -область (Mn, Ni, Cr, Co тощо), при невеликій кількості вуглецю. Структура сталей аустенітного класу у рівноважному (відпаленому) або нормалізованому стані є аустеніт або аустеніт з карбідами.

До цих сталей відносяться хромонікелеві неіржавіючі (12X18H9, 12X18H10T), жароміцні, високомарганцеві зносостійкі (110Г13Л), а також інші сталі з особливими фізичними і хімічними властивостями. Зміцнення цих сталей часто проводять методами холодної обробки (холодна прокатка, наклеп дробом).

Ледебуритний клас. Сталі ледебуритного класу містять високу кількість вуглецю і легуючих елементів, що утворюють стійкі карбіди (Cr, W, V, Mo тощо).

У литому стані первинні карбіди утворюють грубу евтектику типу ледебуриту. З метою поліпшення структури і властивостей сталі даного класу піддають прокатці або куванню з подальшим відпалом (для подрібнення евтектики на окремі дрібніші складові).

Структура сталей у рівноважному стані складається з фериту і карбідів, значна частина яких є первинними (евтектичними). Від вторинних первинні карбіди відрізняються великими розмірами. Внаслідок великої кількості карбідів в структурі сталі ледебуритного класу після відповідної термічної обробки мають високі показники твердості, ріжучих властивостей, зносостійкості і тому їх використовують як інструментальні (P9, P18, X12M, X12Ф1) або особливо зносостійкі.

Бейнітний клас. До даного класу можна віднести цілий ряд сталей, наприклад, групу низьковуглецевих сталей, що піддаються цементації, відповідного призначення, легованих Cr, Ni, Mo, W (12X2H4A, 18X2H4MA тощо). В нормалізованому стані структура сталей цього класу – бейніт.

Розглянута класифікація за структурою в нормалізованому стані має умовний характер, бо сталь одного і того ж хімічного складу може мати різну структуру в залежності від умов охолодження та розмірів виробів.

Знання класифікаційних ознак дозволяє вірно визначити структуру, властивості сталі у вихідному стані та вибирати режими термічної обробки для отримання необхідних фізико-механічних та технологічних властивостей.

За призначенням леговані сталі поділяють на **конструкційні, інструментальні та сталі із особливими властивостями.**

2.1.1. КОНСТРУКЦІЙНІ ЛЕГОВАНІ СТАЛІ

Конструкційні сталі використовуються для виготовлення деталей машин та елементів металевих конструкцій. При виборі сталі для виробів необхідно враховувати вимоги до міцності, пластичності, прогартуваності, циклічної міцності, ударної в'язкості, опору зношуванню тощо. Цьому відповідають низько- і середньолеговані сталі (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

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	$\geq 0,50$
W	0,50-0,60	$\geq 1,00$
V	0,16-0,20	$\geq 0,20$
Al	-	9,0-11,0
Cu	-	0,40-1,00

Марганець, кремній і хром підвищують міцність і твердість сталі. *Нікель* вводять в сталь переважно для підвищення її прогартуваності і ударної в'язкості. *Вольфрам і молібден* використовують як добавки для підвищення міцності і твердості сталі, а *ванадій* – для збільшення пружності за підвищених температур. *Мідь* підвищує опір корозії та покращує рідкотекучість.

Переваги легованих сталей у порівнянні із вуглецевими виявляються після відповідної термічної обробки.

Масова частка вуглецю в конструкційних сталях не перевищує 0,7% і позначається двома цифрами на початку марки (12ХН3А, 40ХН, 60С2).

Основні легуючі елементи конструкційних сталей – *кремній, марганець, хром* (до 2% кожного), *нікель* (до 4,5%). Такі елементи як *вольфрам, молібден, ванадій, титан, ніобій* та деякі інші використовують у невеликих концентраціях (наприклад, 0,09...0,13% Ti; 0,2...0,3% Mo; 0,001...0,005% V) разом із вказаними елементами для поліпшення властивостей сталі. Сума легуючих елементів у конструкційних сталях здебільше не перевищує 6 %.

Конструкційна сталь повинна бути технологічною: добре оброблятися тиском (прокатування, кування, штампування тощо), різанням, не утворювати шліфувальних тріщин, володіти високою прогартуваністю і малою схильністю до знеуглецювання, деформацій і тріщиноутворення під час термічної обробки. Будівельні конструкційні сталі повинні добре зварюватись.

Своєю чергою, машинобудівні низьколеговані сталі поділяються на:

- *цементовані (нітроцементовані);*
- *покращувані;*

- пружинно-ресорні;
- кулькопідшипникові.

2.1.2. МАШИНОБУДІВНІ ЦЕМЕНТОВАНІ (НІТРОЦЕМЕНТОВАНІ) СТАЛІ

Цементацию (нітроцементацию) широко застосовують для поверхневого зміцнення невеликих зубчатих коліс, шестерень, валів коробки передач автомобілів, валів швидкохідних верстатів, шпинделів і багатьох інших деталей машин, що виготовляють із цементованих сталей (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Хімічний склад цементованих (нітроцементованих) сталей [2]

Сталь	Вміст елементів, %				
	C	Mn	Cr	Ni	Інші елементи
20X	0,17-0,23	0,5-0,8	0,7-1,0	-	-
18XГТ	0,70-0,23	0,8-1,1	1,0-1,3	-	0,03-0,09 Ti
25XГМ	0,23-0,29	0,9-1,2	0,9-1,2	-	0,2-0,3 Mo
12ХН3А	0,09-0,16	0,3-0,6	0,6-0,9	2,75-3,15	-

Для виготовлення деталей, які надалі зміцнюють цементациєю, застосовують низьковуглецеві (0,15-0,25% C) сталі. Вміст легувальних елементів у них не повинен бути занадто високим, але має забезпечити необхідну прогартовуваність поверхневого шару і серцевини. Тому сумарна кількість легувальних елементів у них не перевищує 3-5% і за структурою вони належать до сталей перлітного класу. Після цементациї, гартування і низького відпускання цементований шар повинен мати твердість 58-62 HRC, а серцевина 30-42 HRC, що забезпечує її підвищену границю текучості (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Механічні властивості цементованих (нітроцементованих) сталей [2]

Сталь	Механічні властивості				
	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	KCU, МДж/м ²	HB
	МПа		%		
20X	800	650	11	0,6	131-133
18XГТ	1000	900	9	0,8	156-159
25XГМ	1200	1100	11	0,8	205-215
12ХН3А	950	700	11	0,9	156-205

Для подрібнення зерна цементовані сталі можна додатково мікролегувати елементами (V, Ti, Nb, Zr, Al, N), що утворюють дисперсні нітриди VN, TiN, AlN, карбонітриди V(N,C), Ti(N,C), Zr(N,C) чи карбіди TiC, VC, які гальмують ріст зерна аустеніту.

2.1.3. МАШИНОБУДІВНІ ПОКРАЩУВАНІ СТАЛІ

Більшість важконавантажених деталей машин (колінчасті вали, розподільчі вали, осі, штоки, шатуни, відповідальні деталі турбін, компресорних машин) виготовляють із середньовуглецевих (0,3-0,5% С) низьколегованих сталей перлітного класу, які після виготовлення деталей машин та елементів конструкцій піддають повному гартуванню і високотемпературному відпусканню. Такий режим об'ємного термічного оброблення називають *покращанням*, а сталі, відповідно, *покращуваними* (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Хімічний склад покращуваних сталей [1]

Сталь	Вміст елементів, %				
	C	Mn	Cr	Ni	Інші елементи
30X	0,24-0,32	0,5-0,8	0,8-1,1	-	-
30XГС	0,28-0,35	0,8-1,1	0,8-1,1	-	0,9-1,2 Si
40ХН	0,36-0,44	0,5-0,8	0,45-0,75	1,0-1,4	-
30ХН3А	0,27-0,33	0,3-0,6	0,6-0,9	2,75-3,15	-

Гартування деталей здійснюють від 820-880°C (залежно від їхнього хімічного складу) в оливі або у воді, а відпускання при 550-680°C. Після такого оброблення структура сталі – сорбіт відпускання або сорбітизований перліт, що забезпечує високу границю текучості та витривалості, низьку чутливість до концентраторів напружень і достатній запас в'язкості (**KCU**, **KCT**, **K_{1c}**). Необхідно зазначити, що покращувані сталі після стандартного термічного оброблення мають високу прогартуваність та малу чутливість до відпускнуї крихкості (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Механічні властивості сталей після покращання [1]

Сталь	Механічні властивості				
	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	KCU,	HB
	МПа		%	МДж/м ²	
30X	900	700	12	0,7	163
30XГС	1100	850	10	0,4	207-217
40ХН	1000	800	11	0,7	166-170
30ХН3А	1000	800	10	0,8	228-235

2.1.4. ПРУЖИННО-РЕСОРНІ СТАЛІ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Пружинно-ресорні сталі використовують для виготовлення пружин, пружних елементів і ресор різного призначення (табл. 2.6). Сталі надходять у вигляді дроту і стрічки, а також гаряче- і холоднокатаного прокату або катанки, з яких виготовляють пружини. Ці сталі повинні мати високий опір малим пластичним деформаціям ($\sigma_{0,005}$, $\sigma_{0,2}$), високу границю витривалості (σ_{-1}), релаксаційну стійкість за умови збереження достатньої пластичності та в'язкості.

Такі властивості забезпечують після гартування та середньотемпературного відпускання у разі вмісту вуглецю в цих сталях більше за 0,5% С (табл. 2.7).

Таблиця 2.6

Хімічний склад пружинно-ресорних сталей [3]

Сталь	Вміст елементів, %			
	С	Mn	Si	Інші елементи
65	0,62-0,70	0,50-0,80	0,17-0,37	-
50C2	0,47-0,55	0,60-0,90	1,50-2,0	-
70C3A	0,66-0,74	0,60-0,90	2,40-2,80	-
55C2	0,53-0,58	0,60-0,90	1,50-2,00	-
60C2	0,57-0,65	0,60-0,90	1,50-2,00	-
60C2A	0,58-0,63	0,60-0,90	1,60-2,00	-
60C2ХФА	0,56-0,64	0,40-0,70	1,40-1,80	0,90-1,20 Cr 0,10-0,20 V
65C2BA	0,61-0,69	0,70-1,00	1,50-2,00	0,30 Cr 0,80-1,20 W
50ХГА	0,47-0,52	0,80-1,00	-	0,95-1,20 Cr
50ХФА	0,46-0,54	0,50-0,80	-	0,80-1,10 Cr 0,10-0,20 V

Одна із основних вимог, що ставляться до пружинно-ресорних сталей – висока прогартуваність для одержання мартенситної структури по всьому об'єму виробу. Наявність після гартування продуктів розпаду аустеніту (бейніту, ферито-цементитної суміші, фериту), а також залишкового аустеніту погіршує пружні властивості. Чим дрібніше зерно, тим вища протидія сталей малим пластичним деформаціям. Наявність знеуглецьованого шару на готових пружинах різко знижує границю пружності та витривалості.

Таблиця 2.7

Механічні властивості пружинно-ресорних сталей
після гартування та середньотемпературного відпускання [2]

Сталь	Механічні властивості			
	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	HB
	МПа		%	
65	1100	800	10	255
50C2	1200	1100	56	285
70C3A	1800	1600	6	-
55C2	1300	1200	6	241
60C2	1300	1200	6	269
60C2A	1600	1400	6	269
60C2ХФА	1900	1700	5	285
65C2BA	1900	1700	5	585
50ХГА	1300	1200	7	269
50ХФА	1300	1100	6	269

У промисловості частіше використовують сталі, леговані *кремнієм*, марок 55С2, 60С2А, 70С3А. *Кремній* підвищує прогартуваність, гальмує розпад мартенситу при відпусканні, значно зміцнює ферит, що забезпечує оптимальні значення границі текучості і високу пружність. З цих сталей виготовляють пружини вагонів, ресори автомобілів, торсійні вали, пружні елементи приладів. Сталі 60С2ХФА, 65С2ВА застосовують для виготовлення великогабаритних високонавантажених пружин і ресор. Для виготовлення ресор вантажних автомобілів рекомендують сталь 50ХГА, технологічнішу, ніж сталі, леговані *кремнієм*. А клапанні пружини двигунів внутрішнього згоряння виготовляють із сталі 50ХФА, що не схильна до перегрівання і знеуглецювання.

2.1.5. Кулькопідшипникові сталі

Підшипники кочення та ковзання є відповідальними деталями багатьох машин (верстатів, автомобілів, тракторів, вагонів, електродвигунів тощо). Підшипники кочення працюють за умов контакту кульок (чи роликів) по зовнішніх та внутрішніх кільцях. Як правило, причиною відмови підшипників є руйнування тіл кочення та робочих поверхонь кілець, переважно внаслідок втомного викришування поверхонь тертя.

Для виготовлення тіл кочення та підшипникових кілець невеликого перерізу зазвичай використовують високовуглецеву хромисту сталь ШХ15, а великих розмірів – хромомарганцевокремнисту сталь ШХ15СГ із підвищеною прогартуваністю (табл. 2.8, табл. 2.9).

Таблиця 2.8

Хімічний склад кулькопідшипникових сталей [4]

Сталь	Вміст елементів, %			
	С	Mn	Cr	Si
ШХ6	1,05-1,15	0,20-0,40	0,4-0,7	0,17-0,37
ШХ9	1,05-1,10	0,20-0,40	0,9-1,2	0,17-0,37
ШХ15	0,95-1,05	0,20-0,40	1,3-1,65	0,17-0,37
ШХ15СГ	0,95-1,05	0,90-1,20	1,3-1,65	0,40-0,65

Таблиця 2.9

Механічні властивості кулькопідшипникових сталей після гартування та низькотемпературного відпуску [3]

Сталь	Механічні властивості			
	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	HRC
	МПа		%	
ШХ6	1100	900	8	62-64
ШХ9	1150	950	9	63-65
ШХ15	1180	980	9	63-66
ШХ15СГ	1230	985	7	65-66

Ці сталі характеризуються високою твердістю, зносотривкістю та опором контактній втомі. До структури цих сталей ставлять високі вимоги за характером розміщення та розміром неметалевих включень, тому що вони спричиняють передчасне втомне руйнування. З тих самих причин неприпустимою у структурі цих сталей є також карбідна неоднорідність

Для досягнення оптимального співвідношення міцності і контактної витривалості кільця та ролики підшипників повинні мати після гартування і відпускання твердість 61-65 HRC (для сталі ШХ15), 60-64 HRC (для сталі ШХ15СГ). Елементи підшипників кочення, що працюють за умови високих динамічних навантажень, виготовляють із цементованих сталей 20Х2Н4А та 18ХГТ. Після газової цементації на товщину 1,2–3,5 мм, гартування і відпускання при 160-170°C підшипник із сталі 20Х2Н4А має на поверхні твердість 58-62 HRC, а в серцевині 35-45 HRC. Підшипники кочення із сталі 18ХГТ піддають цементації на товщину 0,9-1,8 мм, а їхня твердість після фінішної термічної обробки становить 61-65 HRC. Для роботи підшипників у агресивних середовищах їх виготовляють із корозійнотривких сталей марок 95Х18, 98Х18.

2.1.6. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЛЕГОВАНІ СТАЛІ

Інструментальні сталі застосовуються для виготовлення різальних, вимірювальних інструментів та штампів для холодного або гарячого деформування.

Інструмент під час експлуатації зазнає впливу підвищених температур, зношування, високого тиску. Тому інструментальні сталі повинні мати високу твердість, зносостійкість, стабільність розмірів, теплостійкість, знижену критичну швидкість гартування. У марках інструментальних сталей вміст вуглецю вказується однією цифрою в десятих частках процента (5ХНМ, 9ХС). Цифра відсутня, коли вміст вуглецю не менше, ніж 1% (ХВГ, ХВСГ).

Сталі для різальних інструментів (Додаток В). За рівнем теплостійкості сталі для різальних інструментів поділяють на дві групи:

- малолеговані (сумарна кількість легуючих елементів до 5%), нетеплостійкі: ХВГ, ХВСГ, 9ХС та інші. Основні легуючі елементи: *хром, кремній, марганець, вольфрам, ванадій*. Теплостійкість до 200...250°C;

- багатокологовані (до 25% легуючих елементів) швидкорізальні сталі з теплостійкістю до 600°C: РІ8, Р6М5, Р9К5Ф2 та інші. Для забезпечення теплостійкості вводять *вольфрам, молібден*, що утворюють спеціальні карбіди (MC , M_2C , M_6C), які повільно коагулюють. Карбіди сприяють підвищенню різальних властивостей та опору зношуванню. У зв'язку з цим інструментальні сталі містять не менше ніж 0,7% вуглецю.

За структурою малолеговані сталі належать до заевтектоїдних сталей перлітного класу. Їх піддають неповному гартуванню від температури вище точки A_1 та низькотемпературному відпусканню на структуру мартенсит та надлишкові карбіди, що забезпечує твердість 62...65 HRC та високу зносостійкість. Через низьку теплостійкість вони мають експлуатаційні

властивості практично на рівні із вуглецевими сталями (для інструментів, що працюють при невеликих швидкостях різання і розігріваються не вище 200...250°C), однак на відміну від останніх їх можна використовувати для виготовлення інструментів більших розмірів та складної форми

Сталі 9ХС, ХВГ, ХВСГ (табл. 2.10) використовують для виготовлення інструментів великого перерізу – свердел, розгортки діаметром 60-80 мм.

Таблиця 2.10

Хімічний склад легованих інструментальних сталей

Марка сталі	C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	W, %	V, %
9ХС	0,85–0,95	0,30–0,60	1,2–1,60	0,95–1,25	–	–
ХВГ	0,90–1,05	0,80–1,10	0,15–0,35	0,90–1,20	1,20–1,60	–
ХВСГ	0,95–1,05	0,60–0,90	0,65–1,00	0,60–1,10	0,50–1,20	0,15–0,30
9Х5ВФ	0,85–1,00	0,15–0,40	0,15–0,40	4,50–5,50	0,80–1,20	0,15–0,30

Швидкорізальні сталі позначаються літерою Р (що означає “rapid” – швидкість) цифра після якої вказує на вміст основного легуючого елементу – вольфраму, (Р18, Р6М5, Р12, Р9, Р10К5Ф3 тощо). Вони відносяться у рівноваговому стані до ледебуритного (карбідного) класу. У структурі литої сталі, що складається з евтектики та перліту, можна виділити три типи карбідів: *первинні* (карбіди ледебуриту), *вторинні* (що виділяються з аустеніту при охолодженні) та *евтектоїдні*. Грубі первинні карбіди негативно впливають на працездатність інструменту та збільшують крихкість сталі. Тому інструменти зі швидкорізальних сталей лише інколи виготовляються литвом, як правило, із заготовок, що отримують гарячою пластичною деформацією зливоків невеликої маси. Під час пластичної деформації евтектичні карбіди (К₁) подрібнюються.

Хімічний склад деяких широко вживаних у даний час швидкорізальних сталей, а також гарантовані рівні червоностійкості та твердості (у термообробленому стані) наведено у табл. 2.11.

Таблиця 2.11

Хімічний склад і деякі властивості швидкорізальних сталей

Марка сталі	Вміст основних елементів, % (за масою)						Твердість, HRC, не менше як	Червоностійкість, К ⁴ р58, °С
	C	Cr	W	Mo	V	Co		
P18	0,73-0,83	3,8-4,4	17,0-18,5	<1,0	1,0-1,4	-	62	620
P12	0,8-0,9	3,1-3,6	12,0-13,0	<1,0	1,5-1,9	-	62	620
P9	0,85-0,95	3,8-4,4	8,5-9,5	<1,0	2,3-2,7	-	62	620
P6M5	0,82-0,90	3,8-4,4	5,5-6,5	5,0-5,5	1,7-2,1	-	64	620
P6M5K5	0,84-0,92	3,8-4,3	5,7-6,7	4,8-5,3	1,7-2,1	4,7-5,2	64	630
B11M7K23	0,1	-	11	7	0,5	23	67	680

Сталі помірної (Р18, Р12, Р9, Р6М5 тощо) і підвищеної (Р6М5К5 тощо) теплостійкості містять частіше всього 0,7...1,0% С і мають природу карбідного зміцнення. Основною зміцнюючою фазою в цих сталях є спеціальні карбіди.

Сталі високої теплостійкості (B11M7K23 тощо) містять 0,1...0,25% С і 20...25% Со та мають інтерметалідну природу зміцнення. Основною зміцнюючою фазою тут є інтерметалід типу Co_7W_6 .

Швидкорізальні сталі – червоностійкі, тобто здатні зберігати мартенситну структуру, високу твердість та зносостійкість при нагріванні до температур червоного жару (600...620°C). Ці властивості досягаються після термічної обробки - гартування та відпускання, що мають низьку особливостей (рис. 2.1).

Висока температура гартування 1220...1240°C для сталі Р6М5 (на 400...450°C вище A_1) необхідна для розчинення карбідів *вольфраму, молібдену* та отримання багатолегованих аустеніту (при нагріванні) та мартенситу (після гартування). Через підвищену кількість легуючих елементів сталь має низьку теплопровідність. Тому під час нагрівання використовується подвійне підігрівання (при 450 та 1000°C) з метою запобігання утворенню термічних тріщин та деформації виробів (рис. 2.1).

Після гартування в олії твердість сталі 60...62 HRC, а структура складається з мартенситу, карбідів та 25...30% залишкового аустеніту.

Відпускання проводиться тричі по 1 годині при 560°C. Під час витримки спостерігаються процеси відпускання мартенситу, виділення високодисперсних спеціальних карбідів *вольфраму, молібдену, ванадію* з пересичених α - та γ -твердих розчинів, при охолодженні після витримки збіднений залишковий аустеніт перетворюється у мартенсит.

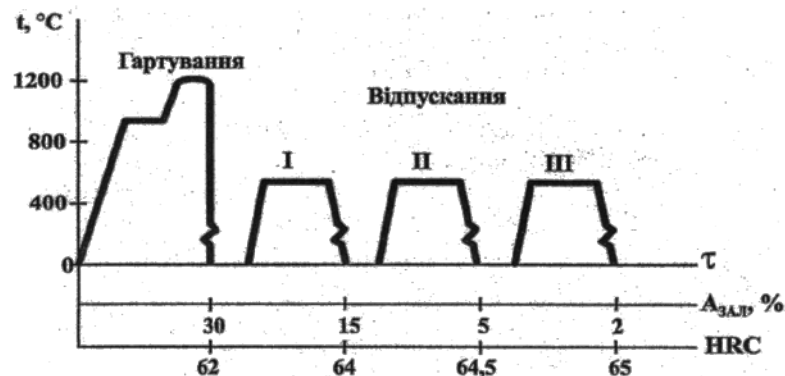


Рис. 2.1. Графік термічної обробки сталі Р6М5

Після відпускання твердість сталі досягає 64...65 HRC, а кількість залишкового аустеніту не перевищує 5%. Висока твердість сталі після відпускання зумовлена збереженням високолегованої мартенситної структури, дисперсійним зміцненням спеціальними карбідами та перетворенням залишкового аустеніту у мартенсит.

Для усунення карбідної неоднорідності, підвищення кількості вуглецю та стійкості інструменту зі швидкорізальних сталей у промисловості виготовляють заготовки методом порошкової металургії, а при термічній обробці інструментів використовують оксидування, азотування, ціанування, нанесення покриттів, наприклад, із TiN.

Сталі для вимірювальних інструментів. Основні вимоги для них – високі зносостійкість, стабільність розмірів та форми протягом тривалого часу

експлуатації.

Найбільш поширеними є заєвтектоїдні низьколеговані сталі з кількістю приблизно 1% вуглецю (X, XГ, ХВГ, 9ХС), що піддаються обробці на високу твердість (60...64 HRC).

Для зменшення кількості залишкового аустеніту гартування виконують з більш низької температури, а відпускання – при 120...140°C протягом 12...24 години. Інструмент високої точності піддають обробці холодом перед відпусканням.

Штампові сталі поділяють на сталі для деформації металу у холодному та гарячому стані (табл. В.1, додаток В).

Сталі першої групи повинні мати високу міцність, твердість і тому містять 0,7...1,5% С та 1...14% легуючих елементів (9ХС, Х12М та інші). Високолеговані сталі Х12М, Х12Ф1 близькі до швидкорізальних (у відпаленому стані – ледебуритний клас, у нормалізованому – мартенситний клас). Висока зносостійкість забезпечується великою кількістю карбідів Cr_7C_3 та MC після гартування. Їх термічну обробку виконують на первинну чи вторинну твердість. У першому випадку температура гартування складає 1030...1070°C, а наступне відпускання 150...160°C дозволяє досягти твердості 61...64 HRC.

Гартування на вторинну твердість проводиться від високих температур (1110...1170°C), що веде до значного легування аустеніту хромом унаслідок розчинення карбідів та значному зниженню температури **Мп**. Після гартування зберігається 60...80% залишкового аустеніту в структурі, тому твердість низька – 42...54 HRC. Після багаторазового відпускання при 500-580°C твердість зростає до 60...62 HRC унаслідок перетворення **A**→**M**.

Сталі для штамів гарячої деформації працюють за температури 600°C в умовах ударного навантаження, тому повинні мати високі показники теплостійкості та в'язкості. Цим вимогам задовольняють сталі зі зменшеним вмістом вуглецю (0,3...0,5%): 5ХНМ, 4Х5В2ФС, 3Х2В8 тощо. Після гартування ці сталі піддають відпусканню при 500...680°C на структуру троостит чи троостосорбіт (35...45 HRC) у залежності від розмірів штампу, марки сталі та умов експлуатації.

2.2. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Металографічні мікроскопи МІМ-7, комплекти мікрофотографій еталонних зразків, мікрошліфи конструкційних та інструментальних легованих сталей у відпаленому і нормалізованому станах.

2.3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1 Переглянути мікроструктуру зразків конструкційних сталей. Використовуючи довідникові дані, визначити структурні класи, кінцеву термічну обробку та структуру після термічної обробки, властивості та призначення конструкційних сталей.

2. Зарисувати (схематично) мікроструктуру конструкційних сталей. Вказати в табл. 2.12 хімічний склад, призначення, структурні класи, режим термічної обробки, структуру та властивості (твердість) після термічної обробки.

Таблиця 2.12

Хімічний склад, структура, призначення та властивості конструкційних сталей

Марка сталі	Хімічний склад	Призначення	Структура до ТО	Структурні класи		режим ТО	Після ТО	
				у відпаленому стані	у нормалізованому стані		структура	твердість, HRC

3. Переглянути мікроструктуру зразків інструментальних сталей. Використовуючи довідники, визначити структурні класи, термічну обробку та структуру після термічної обробки, властивості та призначення інструментальних сталей.

4. Зарисувати схематично мікроструктуру інструментальних сталей. Занести в табл. 2.13 хімічний склад, призначення, структурні класи, термічну обробку, структуру та твердість після термічної обробки.

Таблиця 2.13

Хімічний склад, структура, призначення та властивості інструментальних сталей

Марка сталі	Хімічний склад	Призначення	Структура			ТО	Після ТО	
			у відпаленому стані	у нормалізованому стані	до ТО		структура	твердість, HRC

5. Зарисувати та пояснити графік термічної обробки швидкорізальної сталі.

2.4. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи.
2. Сформулювати мету роботи.
3. Сформулювати основні поняття про будову та принципи класифікації

легованих сталей.

4. Подати схематичні рисунки мікроструктур зразків досліджуваних сталей, табл. 2.12 та табл. 2.13.
5. За допомогою довідкової літератури провести аналіз та встановити зв'язок між складом, структурою і властивостями досліджуваних сталей і вказати області їх практичного використання.

2.5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Мета легування конструкційних та інструментальних сталей.
2. З якою кількістю вуглецю призначені сталі, що підлягають цементації?
3. Які сталі називають покращувальними? Наведіть приклади марок та комплекс їх властивостей в покращеному стані.
4. Які сталі належать до ресорно-пружинних? Наведіть приклади марок сталей. Якій термічній обробці піддають ці сталі?
5. Наведіть декілька марок підшипникової сталі. Які основні вимоги до їх властивостей?
6. Які вимоги висуваються до штамів для холодного деформування?
7. Перерахуйте основні технологічні властивості, якими повинні володіти сталі для штамів гарячого деформування металів.
8. Вкажіть на вимоги, які висуваються до сталей для металорізального інструменту.
9. Дайте коротку порівняльну характеристику (переваги та недоліки) вуглецевих (У10, У12 тощо) і легованих (9ХС, ХВГ тощо) інструментальних сталей.
10. Перерахуйте основні легуючі елементи швидкорізальних сталей. Які з них забезпечують високу теплостійкість сталі?
11. В чому полягає головна перевага швидкорізальних сталей перед вуглецевими і легованими інструментальними сталями?
12. Розшифруйте маркування сталей 9ХС, ХВГ, Р18, Р6М5, Р6М5К5.
13. Укажіть переваги вольфрамолібденової сталі Р6М5 перед високо вольфрамовою Р18.
14. Які особливості термічної обробки інструментів із швидкорізальних сталей?
15. До якого структурного класу слід внести машинобудівну цементовану сталь: 20Х, 18ХГТ, 25ХГМ, 12ХН3А?
16. Класифікуйте машинобудівну покращувальну сталь: 30Х, 30ХГС, 40ХН, 30ХН3А за структурою у нормалізованому і рівноважному стані.
17. До якого структурного класу слід віднести пружинно-ресорну сталь: 50С2, 70С3А, 55С2, 60С2А, 60С2ХФА, 50ХГА, 50ХФА?
18. До якого структурного класу слід віднести кулькопідшипникову сталь: ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ?
19. Класифікуйте за структурою у нормалізованому стані інструментальну леговану сталь для різального інструменту: 9ХС, ХВГ, ХВСГ, 9Х5ВФ, Р18, Р9, Р6М5, Р18Ф4К5, Р12Ф4К5, Р9М4К8Ф, Р8М3К6С.
20. Класифікуйте за структурою у нормалізованому стані інструментальну

- леговану сталь для вимірювального інструменту: Х, ХГ, ХВГ, 15ХФ.
21. Класифікуйте за структурою у нормалізованому стані інструментальну леговану сталь для штампового інструменту: Х6ВФ, Х12, Х12М, Х12Ф1, 7Х3, 5ХНМ, 4ХМФС, 3Х2В8Ф.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вплив хімічного складу і температури на фазовий стан залізовуглецевих сплавів [Текст]: методичні вказівки з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу для студентів усіх форм навчання / В.В. Трофименко, О.П. Клименко, В.І. Овчаренко – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2014. – 46 с.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка [Текст]: учебник для вузов / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 510 с.
3. Марочник сталей и сплавов [Текст]: справочник / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
4. Гуляев А.П. Металловедение: [Текст]: учебник для вузов / А.П. Гуляев. – 5-е изд. – М.: Металлургия, 1977. – 643 с.
5. Большаков В.И. Атлас структур металлов и сплавов [Текст]: справ.изд. / В.И. Большаков, Г.Д. Сухомлин, Н.Э. Погребная. – Днепропетровск: GAUDEAMUS, 2001. – 114 с.
6. Справочник по конструкционным материалам [Текст]: справочник / под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 640 с.
7. Геллер Ю.А. Инструментальные стали [Текст]: монография / Ю.А. Геллер. 4-е издание. – М.: Металлургия, 1975. – 584 с.
8. Флоров В.К. Легування та термічна обробка сталевих виробів [Текст]: Навч. посібник / В.К. Флоров. – К.: УМК ВО, 1992. – 176 с.
9. Сухотин, А.М. Химическое сопротивление материалов [Текст]: справочник / А.М. Сухотин, В.С. Зотиков. – Л.: Химия, 1975. – 408 с.
10. Сухотин, А.М. Коррозионная стойкость оборудования химических производств. Способы защиты оборудования от коррозии [Текст]: справ. изд. / А.М. Сухотин, Б.В. Строкан. – Л.: Химия, 1987. – 280 с.

Таблиця А.1

Найпоширеніші легуючі елементи і їхній вплив на структуру й властивості сталі

Легуючий елемент	Розчинність і вплив на властивості твердих розчинів		Вплив на температури критичних крапок діаграми Fe-C	Вплив на властивості сталі
	фериту	аустеніту		
Марганець	Обмежена. Підвищує твердість, межі міцності й пластичності, опір відриву. Знижує пластичність при змісті більше 3%	Обмежена (50...60%). Збільшує ступінь переохолодження аустеніту. При вмісті вище 15% аустеніт зберігається до 20°C. Сприяє росту зерна при перегріві	Зміщає нагору точку A_4 , униз – точки A_3 й A_1 . Зміщає точку перлітного евтектоїдного перетворення вліво. Знижує температуру початку мартенситного перетворення	Збільшує прокалюваність, підвищує механічні властивості, особливо пружні. Збільшує схильність до крихкості при відпусканні, при вмісті більше 1,5%
Нікель	Обмежено, але зростає зі зниженням температури. При 700°C – 5 %, при 400°C – 10%. Підвищує твердість, міцність, опір відриву. Знижує поріг холодноламкості	Не обмежена. Збільшує стійкість аустеніту й знижує розчинність у ньому вуглецю. Підвищує в'язкість, знижує твердість і міцність	Зміщає нагору точку A_4 , униз – точки A_3 й A_1 , точку перлітного евтектоїдного перетворення зрушує вліво. Знижує температуру мартенситного перетворення	Збільшує прокалюваність, жароміцність і жаростійкість, зменшує крихкість, подрібнює зерно, сприяючи підвищенню міцності, пластичності й в'язкості
Кобальт	Досягає 75% при 700°C. Підвищує поріг рекристалізації	Не обмежена. Зменшує стійкість аустеніту й збільшує швидкість його перетворення	Зміщає нагору точку A_4 , униз – точку A_3 . Підвищує температуру мартенситного перетворення	Сприяє подрібненню структури перліту. Прискорює зростання і коагуляцію часток цементиту й спеціальних карбідів
Хром	Не обмежена. Збільшує стійкість фериту й підвищує його механічні властивості	Обмежена (10%) при 1000°C. Знижує розчинність вуглецю в аустеніті. Підвищує стійкість аустеніту	При вмісті до 7% зміщає вниз точки A_4 і A_3 , більше 7% – зміщає нагору точку A_3 . Підвищує температуру перлітного перетворення	Підвищує стійкість до відпускання, прокалюваність, зносо- і корозійну стійкість (вище 13%), а також окалиностійкість. Сприяє збільшенню крихкості при відпусканні
Молибден	До 37,6% при 1450°C, 9% при 700°C, 4% при 20°C. Зменшує розчинність вуглецю, підвищує міцність фериту, його стійкість, знижує в'язкість	Обмежена (5%). Підвищує стійкість аустеніту	Зміщає вниз точку A_4 , нагору – точки A_3 й A_1 . Підвищує температуру мартенситного перетворення	Сильний карбідоутворювач. Знижує критичну швидкість загартування, підвищуючи прокалюваність навіть при 0,5...0,8%. Подрібнює зерно, збільшує в'язкість, стійкість до відпускання, знижує повзучість і крихкість при відпусканні.
Вольфрам	15% при 1500°C, 4,5% при 700°C. Підвищує стійкість фериту, твердість, межі міцності й пластичності, ударну в'язкість, знижує пластичність	Обмежена (6%). В області твердого розчину відсутні поліморфні перетворення у всьому інтервалі температур (від плавлення до кімнатної). Підвищує стійкість аустеніту. Знижує здатність зерна до росту	Зміщає вниз точку A_4 і незначно зміщає нагору точки A_3 й A_1	Сприяє рівномірному розподілу карбідів, підвищенню твердості й прокалюваності
Ванадій	Безперервна. Збільшує стійкість фериту, підвищує його міцність, знижує в'язкість	Обмежена (1,5%). Придушує перетворення аустеніту в перлітній області	Зміщає вниз точку A_4 , нагору – точки A_3 й A_1 . Підвищує вміст вуглецю в перліті	Сильний карбідоутворювач. Підвищує прокалюваність при загартуванні від високих температур і стійкість до відпускання, межа текучості. Сприяє здрібнюванню зерна. Поліпшує зварюваність сталі
Титан	6,3% при 1298°C, знижується при зниженні температури. Збільшує стійкість фериту	Обмежена (1%)	Зміщає вниз точку A_4 , нагору – точки A_3 й A_1	Сильний карбідоутворювач. Підвищує твердість, стійкість до відпуски, сприяє здрібнюванню зерна
Алюміній	До 30%. Підвищує стійкість фериту й температуру рекристалізації	Обмежена (1%). Знижує розчинність вуглецю в аустеніті	Зміщає вниз точку A_4 , нагору – точку A_3 , знижує вміст вуглецю в евтектиці. Підвищує температуру мартенситного перетворення	Підсилює схильність до графітоутворення. Подрібнює зерно, знижує крихкість, підвищує ударну в'язкість при низькій температурі
Кремній	До 15% при 1250°C, 5% при 20°C. Підвищує твердість і межа пропорційності, при розчинності від 2% і нижче знижує пластичність, від 1% і нижче – ударну в'язкість при 20°C	Обмежена (2,5%) при 1170°C. Знижує розчинність вуглецю в аустеніті	Зміщає вниз точку A_4 , нагору – точки A_3 й A_1 . Зрушує точку евтектоїдного перетворення вліво	Сприяє графітизації. Знижує чутливість до загартування й підвищує стійкість до відпускання, зносо- і пружність
Бор	До 0,15 % при 1381°C	Не розчиняється. Знижує швидкість аустенітного перетворення		Підвищує прокалюваність тим сильніше, чим менше вуглецю в сталі при вмісті до 0,0012%. При вмісті вище 0,07 % викликає черволамкість

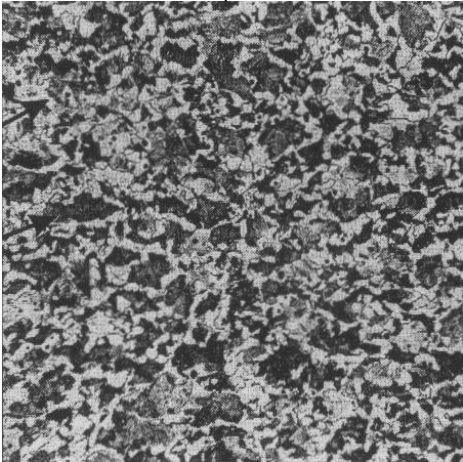
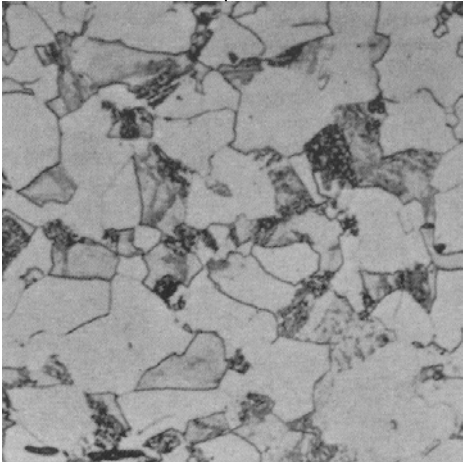
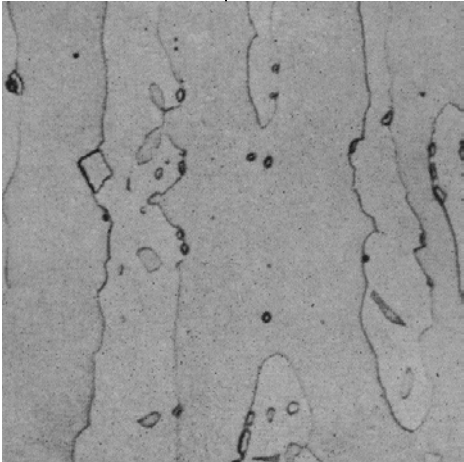
Додаток Б



ТИПОВІ ПРЕДСТАВНИКИ (МАРКИ)

40X 30XГC 38XMA 40XΦA 35XГCА 18XГT 75XMΦ 38X2MЮA 5XHB 9XC	14X2ГMP 08Г2MΦБ 15XГ2CΦБ 15ГCXMP 15XГ2CMΦP 12X2H4A 18X2H4MA	40X13 30X13H7C2 5XHB 20X13 15X11MΦ 30XГCH2A 95X18	X12M P18 P9 P6M5 P9K5 P12Φ3 X12Φ1	12X13 08X18T 08X13 15X25T 15X28 X25Ю5 0X17Ю5	12X18H10T 20X20H14C2 10X14Г14H4T 45X14H14B2M 17X1H9 08X18H12Б 10X17H13M3T 12X18H9T 110Г13Л 08X18Г8H2T
--	---	---	---	--	--

Класифікація сталей за структурою у нормалізованому стані.
Основні структурні класи [8]

Феритно-перлітний	Феритно-мартенситний	Аустенітно-феритний	Аустенітно-мартенситний
			

ТИПОВІ ПРЕДСТАВНИКИ (МАРКИ)

40X 55C2 10Г2С1 10X17	12X13 14X17H2 12XM 15X6CЮ	08X22H6 20X20H14C2 20X23H13 08H20H14C2	09X17H7Ю 09X15H8Ю 07X16H6 08X17H5M3
--------------------------------	------------------------------------	---	--

Додаток В

СТАЛІ ДЛЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ТА ЇХ ПРИЗНАЧЕННЯ [7]

Різці і різцеві головки: фасонні – Р18, Р12Ф3; довбальні, стругальні, відрізні – Р6М5, Р12, Р9.

Свердла: для обробки металів, твердістю до НВ 260 – Р6М5, Р6М3; для обробки металів більшої твердості – Р12Ф3; для металів, що важко обробляються – Р12Ф3, Р12Ф4К5.

Фрези: різьбові – Р6М5, Р12, Р8М3, Р18; черв'ячні – Р6М5, Р12Ф3, Р12, Р8М3; те саме, для різання з підвищеною швидкістю – Р12Ф4К5, Р8М3К6С; для різання важкооброблюваних сплавів – Р12Ф4К5, Р8М3К6С, Р9М4К8Ф, Р12М3Ф2К8, Р6М5, Р12, Р8М3.

Протяжки діаметром, мм: до 80–100 – Р12, Р6М5, Р12Ф3, Р8М3; більше 100 – ХВСГ, Р6М5.

Мітчики: машинні – Р6М5, Р18; ручні – 11ХФ, У11А, У12А.

Плашки круглі: для нарізання м'яких металів – ХВСГ; для нарізання твердих металів – Р6М5, Р8М3.

Розгортки: машинні – Р6М5, Р8М3, Р12Ф3, Р12; для важкооброблюваних сплавів – Р8М3К6С; ручні – ХВСГ, Р6М5, Р8М3.

Зенкери: для обробки м'яких металів – Р6М5, Р12, Р8М3; для обробки твердих металів – Р9М4К8Ф, Р8М3К6С.

Пили: сегменти до круглих пил і консовочні полотна машинні і ручні – Р6М5; для обробки деревини – Х6ВФ, 9ХФ, У10А.

Напилки: для м'яких металів – Х, У13А; для твердих металів – Р6М5, Р8М3.

Стамески, долота, сокири для обробки деревини – 7ХФ, У7А.

Таблиця В.1

Хімічний склад штампових сталей

Марка сталі	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %
Для деформування в холодному стані				
Х6ВФ	1,05-1,15	0,15-0,35	0,15-0,40	5,5-6,5
Х12	2,0-2,20	0,15-0,35	0,15-0,40	11,5-13,0
Х12М	1,45-1,65	0,15-0,35	0,15-0,40	11,0-12,5
Х12Ф1	1,25-1,45	0,15-0,35	0,15-0,40	11,0-12,5
Марка сталі	W, %	V, %	Mo, %	Ni, %
Х6ВФ	1,1-1,5	0,5-0,8	-	-
Х12	-	-	-	-
Х12М	-	0,15-0,3	0,4-0,6	-
Х12Ф1	-	0,7-0,9	-	-
Марка сталі	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %
Для деформування в гарячому стані				
7Х3	0,65-0,75	0,15-0,35	0,15-0,40	3,2-3,8
5ХНМ	0,50-0,60	0,15-0,35	0,50-0,80	0,5-0,8
4ХМФС	0,37-0,45	0,50-0,80	0,50-0,80	1,5-1,8
3Х2В8Ф	0,30-0,40	0,15-0,40	0,15-0,40	2,2-2,7
Марка сталі	W, %	V, %	Mo, %	Ni, %
7Х3	-	-	-	-
5ХНМ	-	-	0,15-0,3	1,4-1,8
4ХМФС	-	0,3-0,5	0,9-1,2	-
3Х2В8Ф	7,5-8,5	0,2-1,2	-	-

Вміст S і P повинен бути менше 0,03% у всіх сталях.

