ЛАБОРАТОРНО - ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

**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 А3 і А4, що визначають температурну область існування поліморфних модифікацій заліза (додаток А).

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

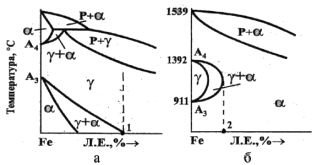
а) *аустенітоутворюючі елементи* – до них належать Ni, Co, Cu, N, Pd, Pt та Мn. Ці елементи, підвищуючи точку А4 і знижуючи точку А3 на діаграмі стану залізо-легуючий елемент (рис. 1.1,а), розширюють область існування α-фази за рахунок γ-фази.

Сплави, що містять легуючий елемент у кількості більше, ніж у точці 1, не зазнають (α↔γ) перетворення і називаються **аустенітними**;

б) *феритоутворюючі елементи* – до них належать Сr, Мо, W, V, Ті, Sі, Аl та інші елементи. Ці елементи підвищуючи точку А3, і знижуючи точку А4, розширюють область існування α-фази (рис. 1.1,б).

Сплави, що містять легуючий елемент у кількості більше, ніж у точці 2, не схильні до (α↔γ) перетворень та називаються **феритними**.

Сплави, що частково зазнають (α↔γ) перетворення називають **напіваустенітними** або **напівферитними**.



**Рис. 1.1.** Схеми діаграм фазової рівноваги залізо-легуючий елемент (л.е.):

а – аустенітоутворювачі; б – феритоутворювачі

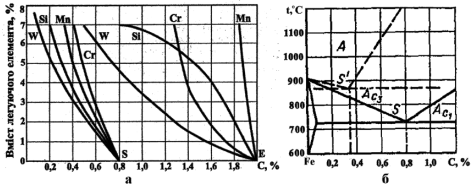
**Вплив легуючих елементів на критичні точки сталі.** В потрійній системі “залізо-вуглець – легуючий елемент” легуючі елементи наступним чином впливають на критичні точки:

– *аустенітоутворюючі елементи* (Ni, Мn, Pd, Pt, Co, Cu, N), розширяючи γ-область, знижують точки А1 i А3;

* *феритоутворюючі елементи* (Сr, Мо, W, V, Ті, Sі та інші), що розширюють α-область, підвищують точки А1 і А3.

Легуючі елементи суттєво впливають на евтектоїдну концентрацію вуглецю (точка S на діаграмі стану Fе-Fе3С) і граничну розчинність вуглецю у γ-фазі (точка Е). Всі легуючі елементи зміщують точки Е 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 АС1 та АС3. Евтектоїдна точка S змістилася в область більш низьких концентрацій вуглецю.

**Розподіл легуючих елементів у сталі.** Як відомо, фазовими складовими залізовуглецевих 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.



**Рис. 1.2.** Вплив легуючих елементів на положення точок Е і S діаграми стану Fе-Fе3С (а), вплив хрому на зміщення ліній діаграми стану Fе-Fе3С (б)

Таким чином, у структурі легованих 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 (FeSі, FeCr, FeV та інші);

– неметалеві з’єднання (SiO2, ТіO2, Аl2O3, Мn5, СrN 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 Со, Ni, Sі, Сu 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 гратках; 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, Сr, Мо, W, V та інші елементи з ОЦК ґратками добре розчиняються в α-залізі, а такі елементи, як Со, Ni, Сu та інші, що мають ГЦК гратку, 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:*

**Fе→Мn→Сr→Мо→W→V→Nb→Ті→Zr.**

*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 (Fе, легуючий елемент)3С, наприклад, (Fе,Сr)3С. При цьому *марганець* може замінити в ґратках цементиту всі атоми заліза (змінюючи формулу цементиту на Мn3С), 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 Сr7С3 може розчинити до 60% Fе. В цьому випадку його позначають як (Сr,Fе)7С3. 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:

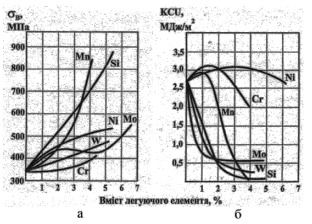
– **прості карбіди**, які є фазами втілення, і що мають прості кристалічні ґратки та просту хімічну формулу типу МС або М2С (де під М мається на увазі сукупність металевих елементів, що входять до складу карбіду). Характерною особливістю цих карбідів є висока температура плавлення (~2000-3000°С) та висока стійкість при нагріванні – вони практично не розчиняються в аустеніті при нагріванні. Ці карбіди часто називають первинними. Прикладом таких карбідів можуть бути: WС, VС, ТіС, NbC, W2С, Мо2С тощо;

**– складні карбіди**, що мають складні кристалічні гратки і складну хімічну формулу типу М3С, М7С3, М23С6 і М6С (М4С). Наприклад, Fе3С, Мn3С, Сr7С3 Сr23С6 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 Sі, Мn, 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°С).



**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*, **X** – *хром,* **Ц** – *цирконій*, **Ч** – *рідкісноземельні метали*, **Ю** – *алюміній*.

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

Для деяких груп легованих 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 ХВСГ – С (0,95...1,05%), Сr (0,6...1,1%), Sі (0,65...1,0%), Мn (0,6...0,9%). Якщо інструментальна сталь має у своєму складі 0,5...0,6% С, 0,6...0,8% Сr, 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 я кою 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 загальному 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°С 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 (Fе, л.е.)3С), 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 змішує точки S і Е діаграми стану Fе-Fе3С у бік менших концентрацій вуглецю (рис. 1.2). Так, наприклад, сталь з 5% Сr при вмісті 0,6% С є *заевтектоїдною*, а при вмісті 1,5% С – *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 (Сr, Мо, W, V, Ті, Sі 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, Мn, Со, N)–рис. 1.1,a. Ці сталі не зазнають (α↔γ) 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 (α↔γ) 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**:

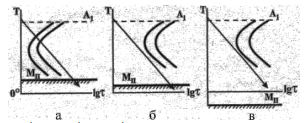
*− феритний;*

*− 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 Мп і Мк), 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 доевтектоїдні, евтектоїдні і заевтектоїдні 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 веденні в сталь, описати вплив л.е. на властивості фериту та аустеніту, на положення точок А1, А3, А4, та лінії SE.

2. Зарисувати у масштабі криві залежності положення точок S і Е діаграми стану Fе-Fе3С 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:

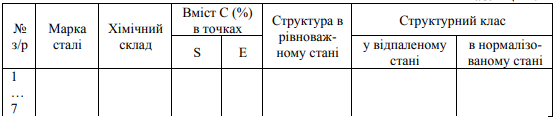
1. Назва і мета роботи.

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



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 Е на діаграмі Fе-Fе3С? 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 12сталі 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% С; 6% Cr і 1,6% С

10% W і 1,5% С; 14% Cr і 0,8% С

2% W і 0,6% С; 2% Cr і 1,95% С

10% W і 0,6% С; 4% Cr і 0,8% С

20. Класифікувати за структурою у нормалізованому стані, виділивши у вибірці окремі структурні класи сталей 20, 40Х, 20ХН3А, 40ХНМА, Р18, 110Г13, Р6М5, 12Х18Н10Т, 40Х14Н14В2М

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка [Текст]: учебник для вузов / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 510 с.
2. 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.
3. Гуляев А.П. Металловедение: [Текст]: учебник для вузов / А.П. Гуляев. – 5-е изд. – М.: Металлургия, 1977. – 643 с.
4. Большаков В.И. Атлас структур металлов и сплавов [Текст]: справ.изд. / В.И. Большаков, Г.Д. Сухомлин, Н.Э. Погребная. – Днепропетровск: GAUDEAMUS, 2001. – 114 c.
5. 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.
6. Геллер Ю.А. Инструментальные стали [Текст]:монография / Ю.А. Геллер. 4-е издание. – М.: Металлургия, 1975. – 584 с.
7. Флоров В.К. Легування та термічна обробка сталевих виробів [Текст]: Навч. посібник / В.К. Флоров. – К.: УМК ВО, 1992. – 176 с.
8. Сухотин, А.М. Химическое сопротивление материалов [Текст]: справочник / А.М. Сухотин, В.С. Зотиков. – Л.: Химия, 1975. – 408 с.
9. 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.

Додаток А

Таблиця А.1

Найпоширеніші легуючі елементи і їхній вплив на структуру й властивості сталі.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Хімічний елемент | Розчинність і вплив на властивості твердих розчинів | | Вплив на температури критичних точок діаграми Fе-С | Вплив на вла**стивост**і сталі |
| фериту | аустеніту |
| Mn | Обмежена. Підвищує твердість, межі міцності й текучості, опір відриву. Знижує пластичність при вмісті більше 3% | Обмежена (50…60%). Збільшує ступінь переохолодження аустеніту. При вмісті вище 15% аустеніт зберігається при 20℃. Сприяє росту зерна при перегріві. | Зміщає на гору точку А4 униз – точки А3 і А1. Зміщає точку перлітного евтектоїдного перетворення вліво. Знижує температуру початку мартенстного перетворення. | Збільшує прокалюваність, підвищує механічні властивості, особливо пружні. Збільшує схильність до крихкості при відпусканні, при вмісті більше 1,5% |
| Ni | Обмежено, але зростає зі зниженням температури. При 700°С –5 %, при 400°С – 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 А4, униз – точки А3 й А1, 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 |
| Co | Досягає 75% при 700°С. Підвищує поріг рекристалізації | Не обмежена. Зменшує стійкість аустеніту й збільшує швидкість його перетворення | Зміщає нагору точку А4, униз – точку А3. Підвищує температуру мартенситного перетворення | Сприяє подрібненню структури перліту. Прискорює зростання і коагуляцію часток цементиту й спеціальних карбідів |
| Cr | Не обмежена. Збільшує стійкість фериту й підвищує його механічні властивості | Обмежена (10%) при 1000°С. Знижує розчинність вуглецю в аустеніті. Підвищує стійкість аустеніту | При вмісті до 7% зміщає вниз точки А4 і А3, більше 7% – зміщає нагору точку А3. Підвищує температуру перлітного перетворення | Підвищує стійкість до відпускання, прокалюваність, зносо- і корозійну стійкість (вище 13%), а також окалиностійкість. Сприяє збільшенню крихкості при відпусканні |
| **Мо** | До 37,6% при 1450°С, 9% при 700°С, 4% при 20°С. Зменшує розчинність вуглецю, підвищує міцність фериту, його стійкість, знижує в'язкість | Обмежена (5%). Підвищує стійкість аустеніту | Зміщає вниз точку А4, нагору – точки А3 і А1. 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. |
| W | 15% при 1500°С, 4,5% при 700°С. Підвищує стійкість фериту, твердість, межі міцності й плинності, 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 А4 і незначно зміщає нагору точки А3 й А1 | Сприяє рівномірному розподілу карбідів, підвищенню твердості й прокалюваності |
| V | Безперервна. Збільшує стійкість фериту, підвищує його міцність, знижує в'язкість | Обмежена (1,5%). Придушує перетворення аустеніту в перлітній області | Зміщає вниз точку А4, нагору – точки А3 й А1. Підвищує вміст вуглецю в перліті | Сильний карбідоутворювач. Підвищує прокалюваність при загартуванні від високих температур і стійкість до відпусканні, межа текучості. Сприяє здрібнюванню зерна. Поліпшує зварюваність сталі |
| Ti | 6,3% при 1298°С, знижується при зниженні температури. Збільшує стійкість фериту | Обмежена (1%) | Зміщає вниз точку А4, нагору – точки А3 й А1 | Сильний карбідоутворювач. Підвищує твердість, стійкість до відпустки, сприяє здрібнюванню зерна |
| Al | До 30%. Підвищує стійкість фериту й температуру рекристалізації | Обмежена (1%). Знижує розчинність вуглецю в аустеніті | Зміщає вниз точку А4. нагору - точку А3, знижує вміст вуглецю в евтектиці. Підвищує температуру мартенситного перетворення | Підсилює схильність до графітоутворення. Подрібнює зерно, знижує крихкість, підвищує ударну в'язкість при низькій температурі |
| Si | До 15% при 1250°С, 5% при 20°С. Підвищує твердість і межа пропорційності, при розчинності від 2% і нижче знижує пластичність, від 1% і нижче – ударну в'язкість при 20°С | Обмежена (2,5%) при 1170°С. Знижує розчинність вуглецю в аустеніті | Зміщає вниз точку А4, нагору – точки А3 й А1. Зрушує точку евтектоїдного перетворення вліво | Сприяє графітизації. Знижує чутливість до загартування й підвищує стійкість до відпускання, зносостійкість, пружність |
| Бор | До 0,15 % при 1381°С | Не розчиняється. Знижує швидкість аустенітного перетворення |  | Підвищує прокалюваність тим сильніше, чим менше вуглецю в сталі при змісті до 0,0012%. При вмісті вище 0,07 % викликає червоноламкість |

Додаток Б

Класифікація сталей за структурою у нормалізованому стані.

Основні структурні класи [7]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Перлітний | Бейнітний | Мартенситний |
|  |  |  |
| ТИПОВІ ПРЕДСТАВНИКИ (МАРКИ) | | |
| 40Х  30ХГС  38ХМА  40ХФА  35ХГСА  18ХГТ  75ХМФ  38Х2МЮА  5ХНВ 9ХС | 14Х2ГМР  08Г2МФБ  15ХГ2СФБ  15ГСХМР  15ХГ2СМФР  12Х2Н4А  18Х2Н4МА | 40Х13  30Х13Н7С2  5ХНВ  20Х13  15Х11МФ  30ХГСН2А  95Х18 |
| Ледебуритний | Феритний | Аустенітний |
|  |  |  |
| ТИПОВІ ПРЕДСТАВНИКИ (МАРКИ) | | |
| Х12М  Р18  Р9  Р6М5  Р9К5  Р12Ф3  Х12Ф1 | 12Х13  08Х18Т  08Х13  15Х25Т  15Х28  Х25Ю5  0Х17Ю5 | 12Х18Н10Т  20Х20Н14С2  10Х14Г14Н4Т  45Х14Н14В2М  17Х1Н9  08Х18Н12Б  10Х17Н13М3Т  12Х18Н9Т  110Г13Л  08Х18Г8Н2Т |

Продовження додатка Б

|  |  |
| --- | --- |
| Феритно-перлітний | Феритно-мартенситний |
|  |  |
| ТИПОВІ ПРЕДСТАВНИКИ (МАРКИ) | |
| 40Х  55С2  10Г2С1  10Х17 | 12Х13  14Х17Н2  12ХМ  15Х6СЮ |
| Аустенітно-феритний | Аустенітно-мартенситний |
|  |  |
| ТИПОВІ ПРЕДСТАВНИКИ (МАРКИ) | |
| 08Х22Н6  20Х20Н14С2  20Х23Н13  08Н20Н14С2 | 09Х17Н7Ю  09Х15Н8Ю  07Х16Н6  08Х17Н5М3 |

Додаток В

**СТАЛІ ДЛЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ТА ЇХ ПРИЗНАЧЕННЯ [6]**

Різці і різцеві головки: фасонні – Р18, Р12ФЗ; 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.

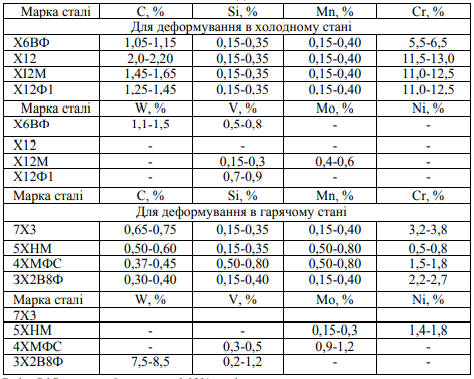
Пили: сегменти до круглих пил і консовочні полотна машинні і ручні – Р6М5; для обробки деревини – Х6ВФ, 9ХФ, У10А.

Напилки: для м’яких металів – X, У13А; для твердих металів – Р6М5, Р8М3.

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

Таблиця В.1

Хімічний склад штампових сталей



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