

Тема 2. Залізовуглецеві сплави

Леговані сталі

1. Принципи та мета легування сталей

Легованими називають сталі, які, крім заліза, вуглецю і технологічних домішок, містять спеціальні домішки (легуючі елементи). Легуючі елементи вводять до складу сталі для надання їй або покращання певних фізичних, хімічних, механічних або технологічних властивостей. Сталі можуть містити один або кілька легуючих елементів. Легуючі елементи в тій чи іншій мірі розчиняються в основних фазах сталі (фериті, аустеніті, цементиті) або утворюють спеціальні карбіди.

В конструкційних сталях легування здійснюється з метою поліпшення механічних властивостей (міцності, пластичності). Крім того, змінюються фізичні, хімічні, експлуатаційні властивості.

Легуючі елементи підвищують вартість сталі, тому їх використання повинне бути строго обґрунтоване.

Переваги легованих сталей:

- особливості виявляються в термічно обробленому стані, тому виготовляються деталі, що піддаються термічній обробці;
- поліпшені леговані сталі мають більш високі показники опору пластичним деформаціям (σ_T);
- легуючі елементи стабілізують аустеніт, тому прожарювання легованих сталей вище;
- можливе використання більш “м’яких” охолоджувачів (знижується брак по гартівних тріщинах і викривленнях), оскільки гальмується розпад аустеніту;
- підвищуються запас в’язкості і опір холодоламкості, що призводить до підвищення надійності деталей машин.

Недоліки:

- схильні до оборотної відпускної крихкості II роду;
 - у високолегованих сталях після гартування залишається аустеніт залишковий, який знижує твердість і опір втомі, тому вимагається додаткова обробка;
 - схильні до дендритної ліквіації, оскільки швидкість дифузії легуючих елементів в залізі мала. Дендрити збідняються, а границі – міждендритний матеріал – збагачується легуючим елементом. Утворюється структура стрічки після кування, неоднорідність властивостей вздовж і поперек деформації, тому необхідний дифузійний відпал;
 - схильні до утворення флокенів.
- Флокени – світлі плями в зламі в поперечному перерізі – дрібні тріщини з різною орієнтацією. Причина їх утворення – виділення водню, розчиненого в сталі.

При швидкому охолодженні від 200 °С водень залишається в сталі, виділяючись з твердого розчину, викликає великий внутрішній тиск, що призводить до утворення флокенів.

Засоби захисту: зменшення вмісту водню при виплавці і зниження швидкості охолодження в інтервалі флокеноутворення.

2. Класифікація і маркування легованих сталей

Сталі класифікуються за декількома ознаками.

1. За структурою після охолодження на повітрі виділяються три основні класи сталей:

- перлітний;
- мартенситний;
- аустенітний.

Сталі перлітного класу характеризуються малим вмістом легуючих елементів; мартенситного – вищим вмістом; аустенітного – високим вмістом легуючих елементів.

2. За ступенем легування (за вмістом легуючих елементів):

- низьколеговані – 2,5...5 %;
- середньолеговані – до 10 %;
- високолеговані – більше 10%.

3. За кількістю легуючих елементів:

- трьохкомпонентні (залізо, вуглець, що легує елемент);
- чотирьохкомпонентні (залізо, вуглець, два легуючі елементи) і так далі.

4. За складом:

нікелеві, хромисті, хромонікельмолібденові і так далі (ознака – наявність тих або інших легуючих елементів).

5. За призначенням:

- конструкційні;
- інструментальні (ріжучі, для вимірювальних приладів, штампові);
- сталі і сплави з особливими властивостями (різко виражені властивості –нержавіючі, жароміцні і термостійкі, зносостійкі, з особливими магнітними і електричними властивостями).

Державна система маркування якісної легованої сталі складається зі сполучення літер і цифр, що орієнтовно вказують на її хімічний склад. Легуючі елементи мають такі позначення: азот (А), ніобій (Б), вольфрам (В), марганець (Г), мідь (Д), кобальт (К), берилій (Л), молібден (М), нікель (Н), свинець (П), хром (Х), бор (Р), кремній (С), титан (Т), ванадій (Ф), цирконій (Ц), алюміній (Ю), рідкісноземельні метали (Ч).

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

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

3. Конструкційні та інструментальні легovanі сталі

Інструментальні сталі використовують для виготовлення різального, штампувального і вимірюваного інструменту. Умовно їх поділяють на вуглецеві, легovanі, штамповані, швидкорізальні.

Інструментальні вуглецеві сталі (0,65...1,3 % С). Виготовляють такі марки цих сталей: У7, У8, У8Г, У10, У11, У12 і У13. Цифри вказують на вміст вуглецю у десятих частках процента. Літера А після цифри означає високоякісну сталь. Наприклад, сталь марки У12А розшифровують так: інструментальна вуглецева сталь з вмістом вуглецю 1,2 %, високоякісна.

Інструментальні легovanі сталі, порівняно з вуглецевими, характеризує підвищена прогартованість, значна міцність, більш високі різальні властивості, пластичність у відпаленому стані. Легуючі елементи (W, Мо, Со, Сr) підвищують теплостійкість, Мn - загартованість, N - в'язкість, V - зносостійкість.

Сталі з сумарним вмістом легуючих елементів до 2,5 % відносять до низьколегованих, до 10% - до середньолегованих і більше 10 % - до високолегованих.

У низьколегованих сталях основним легуючим елементом є хром (сталі Х, 11Х, 13Х). При вмісті хрому до 0,4 % прогартованість сталей низька, а з підвищенням вмісту хрому до 1,3...1,6 % при легуванні кількома елементами (Сr, Мn, Si, W) вона значно зростає (сталі 9ХС, 9ХВГ, ХВГ, Х12М та інші). Так, сталь Х прогартовується у маслі на глибину до 25 мм, сталь 9ХС - до 35 мм, сталь ХВГ -до 45 мм, сталь ХВГС - до 80 мм.

Сталь Х з теплостійкістю до 200 °С застосовують для токарних і стругальних різців: сталь 9ХС з теплостійкістю до 260 °С - для виготовлення свердел, розверток, фрез, метчиків, плашок; сталі типу ХВСГ, 9Х5ВФ з теплостійкістю до 450 °С використовують для виготовлення крупних свердел, плашок, протяжок, фрез та іншого різального інструменту.

Високолеговані інструментальні сталі містять у своєму складі W Сr, V, Мо (до 18 % основного легуючого елемента) і мають високу теплостійкість - до 600...650 °С. Такі сталі називають ш в и д к о р і з а л ь н и м и і позначають літерою Р і цифрою, яка вказує на вміст вольфраму у процентах (сталі Р9, Р18, Р6М5, Р9К5, Р18К5Ф2 та інші).

Для вимірювального інструменту використовують сталі Х, ХВГ після гартування і спеціального низького відпуску при 120... 130 °С протягом 15...20 год з наступною обробкою

при температурах нижче нуля (до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$). З цих сталей виготовляють також штампи холодного деформування складної форми перерізом 75... 100 мм. Для виготовлення інструменту з високою твердістю і зносостійкістю, а також і незначною деформацією під час гартування використовують сталі типу X12Ф1. Сталі з меншим вмістом вуглецю і підвищеною в'язкістю використовують для інструмента, що працює за значних ударних навантажень (пневматичні зубила, ножі для холодної різки тощо), наприклад, сталі 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С та інші.

Сталі з вмістом вуглецю (0,5...0,6 %), леговані хромом (який підвищує міцність і прогартованість), а також вольфрамом і молібденом (підвищує твердість, теплостійкість, подрібнюють зерно), нікелем (підвищують в'язкість, прогартованість) і марганцем (заміняє нікель), використовують для виготовлення штампів гарячого деформування - сталі 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ.

Конструкційні сталі призначені для виготовлення деталей машин та інших конструкцій. Від них вимагають високої міцності, в'язкості, пружності. До цієї групи належать також сталі, призначені для роботи в корозієактивних і високотемпературних умовах.

Конструкційні сталі поділяють на такі групи.

Будівельні низьколеговані сталі мають масову частку до 0,2 % С і порівняно невелику кількість легуючих елементів. До них належать, зокрема, сталі 09Г2, 10Г2СІ, 15Г2СФ, 10НДП. Їх використовують у будівництві та машинобудуванні в основному без термічної обробки.

Полішувані сталі призначені для виготовлення деталей машин (вали, шестерні, шатуни тощо), які піддають гартуванню і високому відпусканню (поліпшенню). До них належать низьколеговані сталі з масовою часткою 0,3...0,5 % С, наприклад: 30Х, 40ХН, 30ХГСНА, 38ХНЗМФ.

Сталі з підвищеною оброблюваністю різанням - це так звані автоматні сталі, які можна обробляти з великою швидкістю різанням, забезпечують високу якість оброблюваної поверхні і велику стійкість інструменту. Ці сталі легують елементами, які самі або разом з іншими елементами сприяють утворенню короткої і ламкої стружки. Такими елементами є S, Pb, Ca, Se. Вводять їх у сталь 0,1...0,3 %. До цієї групи належать сталі сірчані А20, А40Г; свинцеві АС30ХМ, АС38ХГМ; кальцієві АЦ20, АЦ45Х; селенові А45Е, А40ХЕ та ін.

Ресорно-пружинні сталі легують Si, Mn, Cr, W, Ni у кількості 1,5...2,8 % та 0,10...0,25 % V. Більш поширені кремєністі сталі: 50С2, 60С2А, 70С3А. Високонанвантажені пружини і ресори виготовляють із сталей 60С2ХФА, 65С2ВА, 60С2Н2А; клапанні пружини - із сталей 50ХФА, 50ХГФА.

Підшипникові сталі застосовують для виготовлення кульок, роликів і кілець підшипників кочення. До них належать сталі ШХ6, ШХ9, ШХ15СГ, які містять близько 1 % С і відповідно 0,6; 0,9 і 1,5 % Cr.

Зносостійкі сталі. Для роботи в умовах ударно-абразивного зношування призначені литі сталі аустенітного класу 110Г13Л і 60Х5Г10Л, а в умовах кавітаційно-ерозійного зношування (деталі відцентрових насосів, лопаті гідротурбін) - сталі 30Х10Г10, 0Х14АГ12, 0Х14Г12М та ін.

Корозієстійкі сталі поділяють на дві групи: хромисті і хромонікелеві.

Хромисті сталі містять 13 % і більше хрому. За структурою вони поділяються на сталі феритного (08Х13, 15Х25Т), феритно-мартенситного (12Х13) і мартенситного (20Х13, 30Х13, 95Х18) класів.

Більшість хромонікелевих сталей належать до аустенітного класу: 12Х18Н9, 12Х18Н12Т, 10Х14Г14Н4Т та ін. Поряд з ними існують сталі аустенітно-феритного (наприклад, 08Х21Н6М2Т) і аустенітно-мартенситного (09Х15Н8Ю) класів.

Жаростійкі сталі призначені для роботи при високих температурах у газових середовищах. Жаростійкість (окалиностійкість) визначається не структурою, а складом сталі і в основному залежить від вмісту хрому. Введення в сталь 5...8 % хрому підвищує її жаростійкість до 700...750 $^{\circ}\text{C}$, а при 25%Cr - до 1100 $^{\circ}\text{C}$. Поряд з хромом ці сталі легують Si, Al, Ni (15Х5, 40Х9С2, 15Х18СЮ, 20Х23Н13 та ін.).

Жароміцні сталі здатні тривало працювати під навантаженням при високих температурах. Їх поділяють на три класи: перлітний, мартенситний і аустенітний.

До сталей перлітного класу, призначених для роботи при температурі 450...580 °С, належать котельні (15К, 18К, 22К) та теплостійкі (12МХ, 25ХІМФ, 20ХЗМВФ та ін.) сталі.

Сталі мартенситного класу (15Х5М, 12Х8ВФ, 40Х10С2М та ін.) здатні працювати при температурі 450...600 °С.

Для роботи при температурі 650...700 °С використовують сталі аустенітного класу (10Х18Н12Т, 08Х15Н24В4ТР, 45Х14Н14В2М).

Характеристика чавунів

За хімічним складом чавуни відрізняються від сталі високим вмістом вуглецю (більше 2,14 %) і постійних домішок (S, P, Si, Mn). Порівняно зі сталями чавуни мають нижчі механічні властивості, але значно кращі технологічні (ливарні, оброблюваність різанням, антифрикційні властивості, зносостійкість). Це зумовлює широке використання чавуну для виготовлення багатьох деталей у різних галузях машинобудування. Чавун, як правило, дешевший за сталь.

У доменному виробництві виплавляють 3 види чавунів — переробний, ливарний і спеціальний (феросплави).

Переробний чавун відповідно до ДСТУ 3133-95 призначений для сталеплавильного виробництва, виготовляють марок ПІ і П2; для ливарного виробництва — марок ПЛІ, ПЛ2, ПЛ3; фосфористий — марок ПФ1, ПФ2, ПФ3; високоякісний — марок ПВК1, ПВК2, ПВК3.

Ливарний чавун використовується для виробництва машинобудівних ливарних чавунів в чавуноливарних виробництвах.

Для самостійного використання з нього одержують ливарні деталі для різноманітних механізмів і машин ливарними методами.

Переваги чавуну полягають у високих ливарних властивостях і невеликій ціні (у порівнянні зі сталлю). Температура розплавлення чавуну на 300—400°С нижча, ніж у сталі, що скорочує процес лиття.

Чавуни за рахунок вмісту графіту добре обробляються різанням, а також утворюється більш чиста поверхня готових виробів, ніж при обробці сталі.

Чавун має високу твердість і низьку пластичність, він крихкий, тому його неможливо піддавати пластичній деформації. Через низьку пластичність і високий вміст вуглецю чавун погано зварюється. Хімічні властивості його низькі, він піддається всім видам іржавіння.

Ливарний чавун менш крихкий, добре обробляється різанням через високий вміст кремнію, який сприяє графітизації, має добрі антифрикційні властивості, великий опір стисненню, достатньо високу міцність при розтягненні, згинанні, різанні, стискуванні.

Використовується в машинобудуванні як найбільш дешевий спосіб виготовлення деталей.

Маркується літерою Л і числами, які показують вміст кремнію. Випускають сім марок ливарного чавуну: Л1; Л2; Л3; Л4; Л5; Л6; Л7. Чим вище число, тим менший вміст кремнію (Л1 — 3,6% Si; Л7 — 0,8% Si).

Залежно від вмісту марганцю, фосфору, сірки ливарний чавун ділиться на чотири групи (I, II, III, IV), п'ять класів (А, Б, В, Г, Д) і чотири категорії (I, II, III, IV).

Залежно від стану вуглецю в чавуні розрізняють:

- білий чавун – вуглець перебуває в зв'язаному стані у вигляді цементиту, в зламі має білий колір і металевий блиск;

- сірий чавун – весь вуглець або велика частина знаходиться у вільному стані у вигляді графіту, а в зв'язаному стані знаходиться не більше 0,8 % вуглецю. Через велику кількість графіту його злам має сірий колір;

- половинчастий – частина вуглецю знаходиться у вільному стані у формі графіту, але не менш 2 % вуглецю знаходиться у формі цементиту. Мало використовується в техніці.

За структурою білі чавуни поділяють на доевтектичні (2,14...4,3 % С), евтектичні (4,3 % С) і заевтектичні (4,3...6,7 % С).

Структуру доевтектичних білих чавунів складають перліт, ледебурит і вторинний цементит. Евтектичний чавун має структуру ледебуриту -рівномірної механічної суміші перліту і цементиту. Заевтектичний чавун характеризує структура, що складається з первинного цементиту і ледебуриту.

Структура сірих, ковких і високоміцних чавунів складається з металевої основи, що пронизана графітовими вкрапленнями. Розрізняють три основні форми графітових вкраплень (фаз): пластинчасту, пластівчасту та кулясту.

Сірим чавунам притаманна пластинчаста форма графіту, який можна розглядати як тріщину чи надріз, що створює концентрацію напружень у металевій матриці та різко знижує характеристики міцності чавуну. Сірий чавун – найдешевший конструкційний матеріал. У виробництво надходить у вигляді виливків, має високі ливарні властивості, добре оброблюється різанням, чинить опір зношуванню, здатен розсіювати коливання при вібраційних і змінних навантаженнях (у 2... 4 рази вище за сталь). Промисловість випускає такі марки сірих чавунів: СЧК), СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45. При маркуванні сірих чавунів літери СЧ означають - чавун сірий, а цифри - мінімальне значення границі міцності при розтязі.

Ковкі чавуни більш пластичного, порівняно з сірим, чавуну. Його ніколи не куять. Одержують його шляхом тривалого високотемпературного відпалювання виливків білого чавуну з перлітно-цементитною структурою. Під час такого графітизуючого відпалювання цементит білого чавуну розпадається, утворюючи графіт пластівчастої форми. Залежно від структури металевої основи розрізняють ковкі феритний і перлітний чавуни. Феритні ковкі чавуни одержують з білих, які мають у своєму складі 2,4...2,8 % С; 0,8... 1,4 % Si; 0,3...0,4 % Mn; 0,08... 0,1 % S; <0,2 % P. Перлітні ковкі чавуни виготовляють з білих, які містять 2,8... 3,4 % С; 0,5...0,8 % Si; 0,4...0,5 % Mn; 0,12 % S; 0,2 % P.

Залежно від показників міцності при розтязі і відносного видовження ковкі чавуни розрізняють за марками: КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12 - це феритні чавуни; КЧ45-6, КЧ50-4, КЧ56-4, КЧ60-3, КЧ63-2 -перлітні. З ковких чавунів виготовляють високоміцні деталі для змінних і ударних навантажень, підвищеного спрацювання, наприклад, шестерні, шатуни, картер заднього мосту, гальмівні колодки, ступиці, гачкові ланцюги, пальці різальних апаратів тощо.

Високоміцні чавуни - це різновид сірого чавуну з феритною або перлітною структурою, модифікованого магнієм або комплексними модифікаторами (магній з добавками силіцію та інші). В результаті модифікування одержують графіт кулястої форми і невеликих розмірів. Такі чавуни мають підвищену міцність і порівняно з сірими чавунами здатні чинити опір крихкому руйнуванню. Вони мають феритну або перлітну структуру металевої основи.

Залежно від границі міцності і відносного видовження високоміцні чавуни поділяють на такі марки: ВЧ38-17, ВЧ42-12, ВЧ45-5, ВЧ50-2, ВЧ60-2, ВЧ70-3, ВЧ80-3, ВЧ100-4, ВЧ120-4. Високі механічні властивості цих чавунів дозволяють використовувати їх для виготовлення деталей машин, що працюють за умов значних навантажень, замість поковок і виливків із сталей. З високоміцного чавуну виготовляють деталі ковальсько-пресового обладнання, прокатних станів, парових турбін, тракторів, автомобілів (колінчасті вали, поршні тощо).