**Тема № 13**

**Основні термічні обробки металів**

**1. Критичні точки на діаграмі Fe – C**

**Перетворення перліту в аустеніт**(П→А) відбувається за нагрівання сталі, згідно лівої частини діаграми Fе-Fе3С, вище за температуру критичної точки *А1* (727°С, лінія *РSК).* Нагадуємо, що перліт - неоднорідна (гетерогенна) структура, а аустеніт - однорідна (гомогенна). Тому за нагрівання вище 727 °С мають відбуватися процеси дифузії атомів вуглецю для досягнення концентрації 0,8 %. Для цього потрібні час і перегрів вище за температуру *А1.* Швидкість перетворення зростає при підвищенні температури.



0 0,3 2,14 С,%

При нагріванні евтектоїдної сталі (0,8 % С) вище за точку *А1* (740...800 °С) на межі фериту і цементиту починається перетворення α→γ з утворенням низьковуглецевого аустеніту, в якому розчинюється цементит*.* Перетворення α→γ відбувається швидше, ніж розчинення цементиту. Тому, коли вся α-фаза (ферит) перетвориться на γ-фазу (аустеніт), частина цементиту залишиться нерозчиненою, і лише після розчинення всього цементиту перетворення закінчується. Проте аустеніт, що утворився, має досить нерівномірну концентрацію вуглецю, яка зменшується від центру до периферії зерна. Лише після тривалого нагрівання або підвищення температури внаслідок дифузії аустеніт стає однорідним щодо вмісту вуглецю.

Доевтектоїдні сталі за температур вище температури *А1* vають структуру аустеніт + ферит і лише вище за температури *А3* (лінія GS діаграми) набувають однорідної структури аустеніту.

У разі нагрівання заевтектоїдних сталей вище *А1* (подібно до евтектоїдних) перліт спочатку перетворюватиметься на аустеніт, а з підвищенням температури вторинний цементит розчинюватиметься в аустеніті. Вище температури *Аcm,* (крива *SЕ* діаграми) розчинення цементиту закінчується і утворюється однорідний аустеніт. Оскільки аустеніт утворюється на межі фериту і цементиту, то утворювання перліту з дрібною структурою і з більшою протяжністю границь відбувається швидше.

**2. Перетворення перліту в аустеніт при нагріванні сталі. Ріст зерна аустеніту при нагріванні**

Основою всіх перетворень є прагнення системи до мінімуму вільної енергії. Фазові перетворення в сталі відбуваються внаслідок зміни умов (наприклад, температури), коли один стан системи стає менш стабільним за інший.

Розрізняють такі основні структурні стани під час термічної обробки сталі:

* аустеніт (А) - твердий розчин вуглецю (С) в γ-залізі Fеγ;
* мартенсит (М) - перенасичений твердий розчин вуглецю в α-залізі Fеα(С);
* перліт (П) - евтектоїдна суміш фериту (Ф) і цементиту Fеα+ Fе3С.

При нагріванні евтектоїдної сталі (0,8 % С) вище за точку *А1* (740...800 °С) на межі фериту і цементиту починається перетворення α→γ з утворенням низьковуглецевого аустеніту, в якому розчинюється цементит (рис. 12.1, *б, в).* Перетворення α→γ відбувається швидше, ніж розчинення цементиту. Тому, коли вся α-фаза (ферит) перетвориться на γ-фазу (аустеніт), частина цементиту залишиться нерозчиненою (рис. 12.1, *д),* і лише після розчинення всього цементиту перетворення закінчується (рис. 12.1, *є).* Проте аустеніт, що утворився, має досить нерівномірну концентрацію вуглецю, яка зменшується від центру до периферії зерна. Лише після тривалого нагрівання або підвищення температури внаслідок дифузії аустеніт стає однорідним щодо вмісту вуглецю.



Рис. 12.1. Механізм перетворення перліту в аустеніт при нагріванні сталі

Доевтектоїдні сталі за температур вище температури *А1* мають структуру аустеніт + ферит і лише вище за температури *А3* (лінія GS діаграми) набувають однорідної структури аустеніту.

**3. Перетворення в сталі при охолодженні. Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту**

Перетворення аустеніту на перліт (А→П) відбувається в процесі охолодження сталі від температур аустенітного стану до кімнатної температури. Перетворення (розпад) може відбуватися лише за температур, нижчих від критичної точки А1 (727 °С), за умови, що енергія аустеніту вища за вільну енергію продуктів його перетворення. Тобто аустеніт має бути переохолодженим. Від ступеня переохолодження (температури), за якого відбувається перетворення, залежать швидкість перетворення та структурний стан продуктів розпадів аустеніту.

Оскільки розпад аустеніту може здійснюватися від кількох секунд до кількох годин, для зручності побудови діаграми використовують логарифмічну шкалу часу (1п т).

Горизонтальні лінії Мn і Мк показують температуру початку та закінчення бездифузійного мартенситного перетворення. Діаграма, наведена на рис. 12.2, характерна для ізотермічного перетворення евтектоїдної (0,8 % С) сталі. Якщо замінити умовно позначені температури конкретними, то діаграма набуде вигляду, зображеного на рисунку.



Рис. 12.2. Діаграма ізотермічного перетворення

аустеніту в евтектоїдній сталі

На ній, залежно від ступеня переохолодження аустеніту, розрізняють три температурні області перетворення: перліту (від точки А1 приблизно до 550 °С), проміжного перетворення (від 550 °С до точки Мn), бейнітного і мартенситного (нижче точки Мn). Перлітне перетворення аустеніту відбувається у три етапи за дифузійним механізмом; мартенситне перетворення є бездифузійним процесом, а бейнітне (проміжне) поєднує в собі елементи перлітного та мартенситного перетворень.

**4. Класифікація основних видів термообробки**

**Термічна обробка** - це технологічний процес теплової обробки металів і сплавів з метою зміни їхньої структури та властивостей шляхом нагрівання і охолодження. Результатом термічної обробки є зміцнення або знеміцнення сплаву (сталі).

Термообробку в машинобудуванні поділяють на три великих класи:

* термічну (звичайну) обробку (ТО);
* хіміко-термічну обробку (ХТО);
* термомеханічну (ТМО).

Звичайна термічна обробка включає 4 основних види: відпал, гартування, відпускання, старіння.

**Відпалом** називають вид ТО, при якому формується структура сплаву (сталі), що наближена до рівноважної (стабільної).

**Гартування** - це процес, при якому сплав нагрівають до температур, вищих за фазові перетворення, витримують та швидко охолоджують для отримання нестійкого (метастабільного) стану. Залежно від виду діаграми стану сплавів гартування може приводити до збільшення їх твердості, чи навпаки її зменшення.

Гартування сталей та чавунів завжди приводить до значного збільшення їх твердості та зменшення пластичності. Це викликане формуванням в структурі загартованої сталі чи чавуну пересиченого твердого розчину - мартенситу. Гартування деяких сплавів кольорових металів викликає навпаки зменшення їх твердості та підвищення пластичності.

**Відпуск** *-* це процес, який проводять з метою отримання більш стійких структур загартованої сталі чи чавуну. Відпуск, таким чином, виконують лише після гартування. Цей процес полягає у повторному нагріванні загартованої сталі до невисоких температур (140...650 °С) та певної витримки. При цьому сталь набуває більшої пружності, в'язкості менш схильна до крихкого руйнування, тобто стає більш міцною. Твердість загартованої сталі після відпускання зменшується.

**Старінням** називають процес розпаду перенасичених загартованих твердих розчинів, в яких при гартуванні поліморфних перетворень не відбувалось. Такі розчини властиві більшості сплавам кольорових металів, відповідно, старіння частіше проводять для сплавів кольорових металів. Старіння полягає у тривалій витримці загартованих сплавів при звичайних чи підвищених температурах, тобто нагрів) чи з повторним нагріванням до невисоких температур. Відповідно до цього старіння буває природнім (без нагрівання) та штучним (з нагріванням). Після старіння м'які загартовані сплави стають твердішими та більш міцними.

**Хіміко-термічна обробка** поєднує теплову дію з хімічною, в результаті чого в поверхневих шарах змінюється і хімічний склад, і структура сплаву. Найчастіше ХТО застосовують до сталей та чавунів. Хімічна дія полягає у насиченні поверхні сталі, при високих температурах, елементами: С, N, В, Сr, АІ, Sі та ін.

**Термомеханічна обробка** поєднує в собі процеси нагріву та пластичної деформації. Розрізняють високотемпературну термомеханічну обробку (ВTМО) та низькотемпературну (НТМО). При ВТМО сплав нагрівають вище фазових перетворень, проводять деформування і відразу піддають гартуванню. При НТМО сплав нагрівають вище фазових перетворень, різко охолоджують до Т≈<Трeкр та піддають деформуванню і наступному гартуванню/

**5. Гартування сталі**

Гартунання - це операція нагрівання сплавів до температур вище фазових перетворень, витримки та наступного швидкого охолодження для отримання метастабільних структур.

При гартуванні сталей та чавунів утворюється метастабільна структура високої твердості – мартенсит. Мартенсит - це перенасичений твердий розчин карбону у α-залізі Fеα. Мартенсит має тетрагональну кристалічну решітку.

Розрізняють два основних види гартування: повне та неповне. При повному гартуванні нагрів виконують до температур Ас3+20...30 °С, його застосовують для доевтекоїдних сталей. При неповному гартуванні нагрів виконують до температур Ас1+20...30 °С, його застосовують для евтектоїдних та заевтектоїдних сталей.

Для прискореного охолодження, при виконанні гартування, використовують рідинні середовища: вода технічна олива, соляні розчини та розплави.

Основною метою гартування сталей та чавунів є досягнення високої твердості деталей. При цьому важливим параметром є загартованість сталі. **Загартованістю** називають здатність сталі отримувати найвищу твердість після гартування. Більшу загартованість мають сталі з більшим вмістом карбону. Висока твердість загартованих сталей забезпечує високу зносостійкість поверхні деталей, але міцність, в деяких випадках, може бути невисокою внаслідок низької їх в'язкості.

Результати гартування залежать від розмірів деталей та виробів. При великих розмірах, висока твердість характерна лише поверхневим шарам деталі, а серцевина може залишитись незагартованою. Для оцінки цього явища користуються параметром, який називають прогартованістю. **Прогартованість** - це здатність сталі отримувати структуру мартенситу на певну глибину. Прогартованість характеризують критичною швидкістю охолодження, яка визначена для кожної марки сталі. Якщо реальна швидкість охолодження перевищує критичну, то деталь прогартується на всю товщину.

Для підвищення в'язкості та міцності загартованих сталей їх піддають відпусканню.

**6. Види хіміко-термічної обробки металів**

**Хіміко-термічна обробка**об'єднує операції хімічного і термічного впливу з метою цілеспрямованої зміни складу, структури та властивостей поверхневого шару сталі. Здійснюють ХТО дифузійним шляхом, насичуючи поверхню деталі відповідним елементом (С, N. А1, В, Сr, Sі тощо) в атомарному стані з оточуючого середовища при високій температурі.

Види хіміко-термічної обробки класифікують відповідно до певного насичуючого елемента і агрегатного стану насичуючого середовища (карбюризатора). Основними видами ХТО є дифузійне насичення вуглецем -цементація, азотом - азотування, азотом і вуглецем одночасно - ціанування та нітроцементація, дифузійна металізація алюмінієм - алітування, хромом -хромування. Залежно від агрегатного стану насичуючого середовища (твердий; рідкий, газоподібний) розрізняють процеси газової цементації, газового азотування і нітроцементації, цементації у твердому карбюризаторі, рідкого ціанування, борування.

**Цементація**- це поверхневе насичення низьковуглецевої сталі (0,1 ...0,25 %) або легованих сталей (типу 18ХГТ, 15ХФ, 20ХГР, 12ХНЗА, 20ХН та інших) вуглецем з метою одержання високої твердості поверхні та в'язкої серцевини виробів. Насичуючі суміші (карбюризатори), багаті на вуглець, можуть бути у твердому, рідкому і газоподібному стані. Швидкість цементації при 950 °С складає 0,1 мм/год.

Найпоширеніший спосіб газової цементації - з використанням метану СН4, пропану С3Н8, оксиду вуглецю СО тощо - зводиться переважно до двох реакцій.

За глибину цементації умовно приймають відстань від поверхні деталі до половини зони, у структурі якої спостерігається приблизно однакова кількість перліту та фериту (1...2 мм). Рекомендований середній вміст вуглецю в шарі повинен відповідати складу евтектоїдної сталі (0,85 % С), а у зовнішньому шарі -не перевищувати 1,1...1,2%.

Після цементації вироби піддають термічній обробці - гартуванню та низькому відпуску. Цим забезпечується утворення структури дисперсного високовуглецевого мартенситу поверхні, подрібнення зерна серцевини і зняття внутрішніх напружень. Цементація, гартування і низький відпуск надає виробам високої поверхневої твердості та зносостійкості, а також підвищення ударної в'язкості серцевини. Залежно від хімічного складу вихідної сталі твердість поверхні після такої обробки мас становити 58...62 НКС, а серцевини - 20...35 НК.С.

**Азотування**- це процес дифузійного поверхневого насичення і сталевих виробів азотом у газоподібному або рідкому середовищі. Температурний діапазон азотування становить 470...600 °С. Отримані при азотуванні шари складаються з поверхневої нітридної зони та дифузійного підшару (зони внутрішнього азотування), що забезпечують широкий діапазон фізико-механічних властивостей азотованих виробів.

Залежно від умов експлуатації виробів розрізняють азотування для підвищення поверхневої твердості, зносостійкості, втомної міцності та азотування для підвищення корозійної стійкості.

Для підвищення твердості й зносостійкості використовують спеціальні сталі (нітралої), до складу яких входять елементи, що утворюють нітриди (СrN, МоN, АlN), наприклад, сталь 38ХМЮА. Для підвищення втомної міцності звичайні леговані сталі азотують з нітридоутворюючими елементами.

Азотування здійснюють на готових виробах після остаточної термічної обробки. Оптимальною структурою для азотування є сорбіт, який зберігається у серцевині виробів і після ХТО, забезпечуючи її підвищену в'язкість і міцність. Тому деталі перед азотуванням піддають зміцнюючій термічній обробці - гартуванню з високим відпуском.

**Ціанування**і**нітроцементація.**Насичення поверхні виробів одночасно вуглецем і азотом в розплавлених ціанистих солях (NаСМ, КСN) називають **ціануванням***,* а в газовому середовищі – **нітроцементаці’ю***.*

Розрізняють низькотемпературне (540...560 °С), середньотемпературне (820...860 °С) та високотемпературне (920...960 °С) ціанування*.* За підвищених температур поверхня насичується вуглецем більше ніж азотом, тобто процес наближається до цементації. Після такого насичення вироби піддають гартуванню з низьким відпуском. Негативним явищем ціанування є отруйність ціанових солей та висока вартість процесу.

**Нітроцементацію**(газове ціанування) сталей здійснюють в ендотермічній атмосфері (що містить навуглецьовувальний газ), до якої додають аміак. Розрізняють високотемпературну (800...870 °С) та низькотемпературну (560...580°С) нітроцементацію. Глибина насичення залежить від температури та тривалості (2... 15 год) процесу. Порівняно з газовою цементацією нітроцементація має такі переваги:

* низька температура процесу;
* менше зерно;
* менша деформація і короблення;
* підвищена корозійна стійкість;
* стійкість проти спрацювання.

**Дифузійна металізація**- це процес, під час якого відбувається насичення поверхні сталевих виробів різними металами. Процес насичення алюмінієм називають алітуванням, хромом - хромуванням тощо. Розрізняють дифузійну металізацію у твердих, рідких і газоподібних середовищах.

7**. Перлітне і мартенситне перетворення**

Перлітне перетворення переохолодженого аустеніту при температурах Аr1 = 500°С. В процесі перетворення відбуваються поліморфне γ→α перетворення і дифузійний перерозподіл вуглецю в аустеніт, що призводить до утворення ферито-цементитної структури:

А→Ф+Fe3C = П

Аустеніт, практично однорідний за концентрацією вуглецю, розпадається з утворенням фериту і цементиту, який містить 6,67% С, тобто складається з фаз, які мають різну концентрацію вуглецю.

Продукти перлітного перетворення мають пластинчасту будову. Пластинчасті структури автектоїдного типу часто визначають як перліт, сорбіт і тростит, або відповідно грубо-, середньо- і тонко диференційований перліт. Чим більше переохолодження, тим тонша отримується ферито-цементитна структура.

Перетворення аустеніту в мартенсит (А→М) має зовсім відмінну природу, не таку як при формуванні ферито-цементитних сумішей. Характерною особливістю аустенітно-мартенситного перетворення є його бездифузійність. Мартенсит — це пересичений твердий розчин вуглецю в α-залізі. У разі значного переохолодження (коли швидкість охолодження вища від критичної - Vкр) вуглець не встигає виділитися з аустеніту у вигляді цементиту, як це відбувається за утворення перліту, сорбіту і трооститу. Він залишається у кристалічній решітці α-заліза, утворює пересичений твердий розчин і викликає внаслідок цього зміну ОЦК-гратки на тетрагональну з елементарною коміркою у вигляді прямокутного паралелепіпеда. Атоми вуглецю в такій комірці розташовуються у міжвузлях або в центрі основи.

Характерною особливістю мартенситного перетворення є призупинення перетворення у мартенситному інтервалі в разі зупинки безперервного охолодження, що супроводжується також стабілізацією аустеніту. Для мартенситного перетворення характерно також подрібнення блочної структури, утворення мікродвійників, підвищення густоти дислокацій.