**Лекція з теми: «Загартування сталей»**

**1. Загартування сталей**

З метою одержання твердої, міцної, але крихкої мартенситної структури, сталі піддають *гартуванню*. При гартуванні стальні вироби нагрівають до температур, які перевищують на 20-30° С температури на лінії QSK, витримують при цій температурі до завершення перетворення феритоперлітних або перлітних структур в аустеніт, а потім швидко охолоджують у воді або оливі.

**Загартування** здійснюють для отримання нерівноважної структури. Для конструкційних та інструментальних сталей загартування проводять з метою їх зміцнення та підвищення твердості і зносостійкості. Після загартування проводять відпуск або старіння. Загартування може бути об’ємним (нагрів та перетворення в усьому об’ємі виробу) та поверхневим (нагрів і перетворення в поверхневому шарі).

В результаті **загартування** утворюється нерівноважна структура:

* мартенситу після загартування сплавів (сталей) з поліморфним перетворенням;
* перенасиченого твердого розчину після загартування сплавів без поліморфного перетворення.

##### Таблиця 1 – Основні види та різновиди загартування

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вид та різновид | Характеристика | Призначення |
| 1 | 2 | 3 |
| **Загартування з поліморфним перетворенням:**  | Нагрів на 30-50˚С вище АС3 для доевтектоїдної і АС1 для заевтектоїдної сталей (для легованих сталей на 200ºС вище), витримка для завершення фазових перетворень та подальше охолодження зі швидкістю, більшою за критичну у воді, оливі тощо | Мартенситне перетворення аустеніту для підвищення механічних властивостей |
| безперервне | Загартування з без-перервним охолодженням в одному середовищі | Для одержання структури мартенситу |
| переривчасте | Загартування зі швидким охолодженням (у воді) до температур вище МПº і подальшим повільнішим охолодженням (в оливі або на повітрі) в інтервалі МПº- МКº | Для одержання структури мартенситу та зменшення внутрішніх напружень |
| ступінчасте | Загартування з охолодженням у середовищі з температурою трохи вищою МПº, короткочасною витримкою для вирівнювання температури, зі збереженням аустеніту та подальшим його розпадом при охолодженні на повітрі | Для отримання структури мартенситу і зменшення внутрішніх напружень |
| ізотермічне | Загартування з охолодженням у середовищі з температурою трохи вищою МП˚, ізотермічною витримкою до повного або часткового розпаду аустеніту та подальшим охолодженням на повітрі | Для отримання структури бейніту або бейніту з мартенситом і зменшення внутрішніх напружень у легованих сталях |
| із самовідпуском | Загартування з охолодженням лише поверхні або частини виробу короткочасним зануренням в охолоджуюче середовище з подальшим самовідпуском за рахунок залишкового внутрішнього тепла | Для отримання структури мартенситу відпуску або структури продуктів розпаду мартенситу |
| з обробкою холодом | Полягає в охолодженні загартованої сталі до температур нижче 0˚С (нижче МК˚) | Для перетворення залишкового аустеніту в мартенсит |
| **Загартування без поліморфного перетворення:** | Нагрів сплаву (сталі) до температури, яка забезпечує необхідне розчинення вторинних фаз, витримка та охолодження з високою швидкістю (для запобігання розпаду пересиченого твердого розчину, виділенню фаз) | Для отримання перенасиченого нерівноважного твердого розчину. Загартований виріб буде мати нижчу твердість та вищу пластичність |
| За способом охолодження може бути безперервним, ступінчастим або ізотермічним |
| Повернення після старіння | Загартування зістареного сплаву з нагрівом до температури, яка перевищує температуру попереднього старіння, короткочасною вит-римкою та швидким охолодження  | Для відновлення загартованого стану |

Загартуванням називають термообробку, що включає в себе нагрівання сталей до температур вище критичних і швидке, різке охолодження, з метою одержання високої міцності й твердості. Розрізняють загартування об'ємне й поверхневе.

При об'ємному загартуванні нагрівають і охолоджують весь об’єм деталі, при поверхневому - тільки поверхня.

Залежно від температури нагрівання загартування буває повне й неповне. При повному загартуванні сталь нагрівають вище точки А3. Повне загартування застосовується для доевтектоїдної сталі. У цьому випадку при нагріванні вище точки А3 сталь має повністю аустенітну структуру й після різкого охолодження має повністю мартенситну структуру. При неповному загартуванні повне перетворення не відбудеться, і ферит залишиться в структурі, не дасть одержати високої твердості й міцності. Тому в доевтектоїдноій сталі неповне загартування не застосовують. Для заевтектоїдної сталі застосовують тільки неповне загартування. В цьому випадку вторинний цементит, що зберігається в сталі, додатково підвищує твердість загартованих сталей. Якщо ж застосувати повне загартування, то вторинний цементит розчиняється в аустеніті. Це супроводжується різким збільшенням зерна. Після охолодження в такій сталі буде велика кількість залишкового аустеніту. Це додатково зменшить твердість сталі, тому для заевтектоїдної сталі повне загартування ніколи не застосовується. Витримка при загартуванні сталі повинна бути такою, щоб встигли пройти всі структурні й фазові перетворення. Однак вона не повинна бути надмірною, щоб не викликати росту аустенітного зерна. Звичайно орієнтовно витримку деталі приймають з розрахунку 1 хвилину на 1 міліметр товщини для нагрівання й + 1 хвилина на 1 міліметр товщини для вирівнювання температури по перетині й проходження всіх структурних і фазових перетвореннях. Охолодження при загартуванні повинне бути швидким, для того, щоб не допустити утворення перліту, але в той же час - максимально повільним, щоб зменшити рівень внутрішніх напружень, що виникають в деталях при різкому охолодженні. Внутрішні напруження можуть бути термічні й структурні. Термічні виникають через неоднакову швидкість охолодження поверхні й центрів масивних деталей, а також при неоднаковій швидкості охолодження тонких і товстих перетинів деталі. Структурні напруги виникають через об'ємний ефект при переході А- М. Залежно від вмісту вуглецю цей об'ємних ефект досягає 5-6%. Рівень внутрішніх напружень може бути настільки великий, що в результаті відбувається перекручування форми деталі або її розтріскування.

Охолодження при загартуванні може вестися в граничних середовищах (вода, олива технічна, мінеральна, водно-повітряні суміші, повітря). Від швидкості охолодження залежить структура, що утворюється у сталі після загартування. Якщо швидкість недостатня, то одержується перлітна структура. Вони відрізняються одна від іншої різним розміром часток перліту й цементиту. Якщо швидкість охолодження при загартуванні досить велика, для того, щоб не утворився перліт, але занадто мала для утворення мартенситу в сталях, з'явиться проміжна структура - бейніт. Зовні вона має голчасту структуру як мартенсит, але самі голки являють собою ферит, усередині якого виділяються дрібні частинки цементу. Якщо швидкість охолодження сталі перевищує критичну швидкість, то утвориться мартенсит, що забезпечує максимальну твердість загартованої сталі. Найбільш ефективне охолодження забезпечує вода, але її недолік - занадто швидке охолодження в інтервалі мартенситного перетворення. В результаті виникають великі внутрішні напруження. Мінеральна олива навпаки дає малу швидкість охолодження в області мартенситного перетворення, але не досить швидку в області перлітного перетворення.

**2. Способи загартування**

Для того, щоб забезпечити загартування сталей на мартенсит необхідно швидко охолоджувати її в області перлітного перетворення. Але якщо з такою ж швидкістю охолоджувати її й далі в області мартенситного перетворення, то в деталі виникають різкі гартівні напруги. Тому бажано проводити охолодження в області мартенситного перетворення по можливості повільніше, але середовища зі змінною швидкістю охолодження не існує й тому для різних деталей застосовують різні способи охолодження, щоб одержати загартований стан з мінімальним рівнем внутрішніх напружень.

1. Охолодження в одному охолоджувачі (воді, оливі). Недолік - дуже різкі внутрішні напруження. Щоб їх зменшити застосовують другий спосіб загартування.

2. Загартування у двох середовищах (з води в оливу). За цим способом на початку деталь охолоджують у воді, до температури нижче перлітного перетворення, а потім перекладають до остаточного охолодження в оливу. Цей спосіб складний та вимагає високої кваліфікації робітників, від яких потрібно витримувати деталь певну кількість часу у воді. Якщо витримка буде мала, то при подальшому охолодженні попадаємо в перлітне перетворення, і загартування не відбудеться, а якщо витримка занадто більша, то в деталях виникають великі внутрішні напруження.

3. Східчасте загартування. При східчастому загартуванні нагріту деталь охолоджують швидко до заданої температури в спеціально нагрітому середовищі, у якості якого використовуються розплави металів або солей. Час витримки в гарячому середовищі визначають маркою сталі й може бути чітко визначений по секундоміру, після цього йде закінчення охолодження у воді або маслі. Витримка в гарячому середовищі дозволяє вирівняти температуру по всьому перетину деталей, тому при остаточному охолодженні у воді, або оливі перетворення аустеніту в мартенсит іде одночасно по всьому об’ємі деталі, що дозволяє різко знизить рівень внутрішніх напружень. Такий спосіб загартування застосовують для великогабаритних деталей складної форми, щоб до мінімуму знизити перекручування форми.

4. Ізотермічне загартування. Цей спосіб застосовується для великогабаритних деталей, які не можна охолоджувати дуже швидко, через небезпеку руйнування.

При *ізотермічному гартуванні* охолодження здійснюють у соляних ваннах з температурою розчину 220-300°С. Після витримки у соляних ваннах метал охолоджують на повітрі.

При ізотермічному загартуванні нагріті деталі поміщають у гаряче середовище, нагріте до заданої температури 350-400 градусів, у якій витримують до повного проходження перетворення аустеніту в троостит або бейніт. Після повного перетворення деталь звичайно охолоджується на повітрі. Додаткового відпуск після такого загартування не потрібен. Температура навколишнього середовища вибирається термообробкою, що забезпечує задану твердість в деталі структуру.

5. Загартування з обробкою холодом. При загартуванні високовуглецевих сталей, що містять нікель, молібден, вольфрам навіть після повного охолодження до нормальної температури перетворення аустеніту в мартенсит проходить не повністю. Залишковий аустеніт має невисоку твердість і тому твердість деталі після загартування буде недостатньою. Для усунення залишкового аустеніту загартовані деталі додатково охолоджують в області від’ємних температур 70-80 градусів, парами вуглекислоти або рідкого азоту. Додаткове охолодження викликає перехід залишкового аустеніту в мартенсит і твердість загартованої сталі підвищується.

6. Загартування із самовідпуском. Цей спосіб загартування застосовуються для деталей, які повинні мати різну твердість у різних місцях. Щоб одержати змінну твердість, нагріту деталь поміщають в охолоджене середовище тільки робочою поверхнею, залишаючи хвостовик над поверхнею охолоджуючого середовища. Після повного охолодження поверхні деталей витягають із охолоджуючого середовища й за рахунок тепла, що збереглося у хвостовій частині, відбувається розігрів робочої поверхні і її відпуск. Температуру розігріву поверхні контролюють по кольорам мінливості.

загартування сталь охолодження поверхня

**3. Поверхневе загартування**

Цей спосіб застосовується для виробів, у яких повинна бути загартована поверхня й в’язка серцевина (шестірні, вали). При поверхневому загартуванні нагрівання проводиться не всієї деталі, а тільки її поверхні. Після нагрівання відразу проводиться охолодження. Тому структурні зміни зачіпають тільки поверхня. Залежно від способів нагрівання розрізняють кілька видів поверхонь загартування:

1. Загартування зануренням - розігрів поверхні ведеться за рахунок короткочасного занурення деталі в гаряче середовище. Після нагрівання деталі охолоджують у воді або маслі. Товщина загартованого шару визначаються часом витримки в гарячому середовищі. Недолік - неможливість одержання тонкого загартованого шару.

2. Газополум’яне загартування. Розігрів поверхні деталі проводиться за рахунок нагрівання полум'ям газового пальника. Достоїнство способу в його універсальності, недолік - висока температура полум'я викликає перегрів поверхні і як наслідок - крупне зерно, вигоряння вуглецю, легуючих елементів, різкий градієнт температури, можливе відшаровування загартованого шару.

3. Загартування СВЧ - струмами високої частоти (індукційне загартування). Розігрів деталі відбувається за рахунок наведення в ній струмів високої частоти. Деталь міститься усередину індуктора, підключеного до джерел струмів високої частоти.

Достоїнство способу - висока продуктивність недолік - потреба в складному устаткуванні, для кожної деталі необхідний свій індуктор, наявність шкідливих електромагнітних полів.

4. Загартування з нагріванням поверхні лазером. При цьому способі загартування розігрів поверхні здійснюється за рахунок впливу на неї високоенергетичного пучка випромінювання. Інтенсивність енергії настільки велика, що поверхня на протязі декількох часток секунд може бути нагріта до розплавлювання. Охолодження поверхні після нагрівання відбувається за рахунок тепловідводу вглиб деталі. Додаткове охолодження водою не потрібно. Переміщаючи промінь лазера по поверхні можна гартувати як окремі ділянки деталі, так і всю її поверхню. Цим способом можна гартувати внутрішні поверхні деталі, не гартуючи її зовнішню поверхню. Глибина загартованого шару регулюється часом, висвітлюючи її лазером. При такому способі загартування вона може мінятися від декількох мікронів до десятків і сотень мікрон.

Таблиця 2

|  |
| --- |
| Брак при загартуванні сталі |
| Тріщини | Огляд виробу, випробування на дефектоскопі, проба на фарбу, гас | Напруження, які виникають через обיємні зміни при перетворенні аустеніту в мартенсит при температурі нижче 300˚С | Брак невиправний. Для попередження слід: 1) по можливості застосовувати ізотермічне або ступінчасте загартування, а також переривчасте в двох охолоджувачах; 2) для виготовлення деталей з гострими кутами та різкими переходами перерізів застосовувати лише леговані сталі; 3) не допускати попадання води в загартувальний бак з оливою; 4) повільно нагрівати загартовані вироби при перезагартуванні та високому відпуску; 5) виточки, отвори біля країв, різкі переходи заповнювати азбестом, глиною і т.д. |
| ***Низька твердість*** | Вимірювання твердості | Понижена температура загартування, недостатня витримка в печі та низька швидкість охолодження | Виріб нормалізувати або відпалити і знову загартувати із дотриманням режиму |
| ***Підвищена крихкість, крупнозернистий злам*** | Огляд зламу, випробування на удар | Значне підвищення температури загарту-вання або занадто довготривала витримка. Перегрів, перепал | Нормалізувати або відпалити і загарту-вати. При перепалі брак невиправний |
| ***М’які плями*** | Визначення твердості в різних місцях | Повільне охолодження, місцеве зневуглецьовування та утворення окалини, нерівномірність величини зерна, забруднення сталі підвищеним вмістом шлаку, дотикання деталей при охолодженні | Брак невиправний, окрім випадків місцевого зневуглецьовування та забруднення шлаком. Для виправлення вироби нормалізувати та загартувати із застосуванням більш різкого охолодження або ж підвищити температуру загартування на 20…30˚С вище нормальної |
| ***Окислення та зневуглецьовування*** | Окислення – оглядом; зневуглецьовування – вимірюванням твердості | Сполука кисню повітря, який знаходиться в печі, з залізом при окисленні; із вуглецем при зневуглецьовуванні | При глибині більшій, ніж припуск на шліфування, брак невиправний. Для попередження браку нагрів вести в захисній атмосфері, а при відсутності її – в ящиках з чавунною стружкою (50% – свіжою і 50% – обробленої), сумішшю деревного вугілля з 5% соди і т. п. В соляні ванни для запобігання зневуглецьовуванню додають два рази на зміну мелений 75%-ний феросиліцій в кількості 150…200 г за один прийом, буру, борну кислоту, жовту кров’яну сіль або ведуть розкислення деревним вугіллям  |
| ***Деформація*** | Перевірка розмірів | Структурні перетворення в інтервалі температур 650...500°С та нижче 300°С, які викликають деформацію | Брак переважно невиправний. Для попередження браку необхідно понизити температуру загартування, зменшити швидкість охолодження, застосовувати дрібнозернисту леговану сталь |
| ***Короблення***  | Перевірка биття на центрах або щупом на плиті | Невірне занурення в охолоджувальне середовище, внутрішні напруження у виробах перед нагрівом під загартування та ін. | Брак невиправний. Для виправлення браку проводиться правка в холодному або гарячому стані; шліфування, якщо короблення не вище припуску. Для попередження браку необхідне уповільнене охолодження в мартенситному інтервалі, невірне занурення в загартувальне середовище, рівномірний нагрів та відбракування кривих деталей перед загартуванням |
| ***Роз’їдання (точкове або ручаї- стоподібне) поверхні виробу*** | Огляд виробу | Нерівномірне утворення окалини. Дотикання зі свинцем, що розлився по черені печі. Підвищений вміст сірчанокислих солей та хімічна дія хлористих солей в соляних ваннах  | Попередження браку: ретельний контроль солей для нагріву; розкислення соляних ванн засипання дзеркала свинцевої ванни деревним вугіллям; усунення окислюючої атмосфери в печах; спостереження за чистотою черені печі |
| ***Нафталіновий злам (характений для швидкорзальної сталі діамет-ром біл-ше 12 мм)*** | Огляд зламу | Перегартування інструменту без проміжного відпалу | Нагрів до температури 1140...1160°С з витримкою 3...8 хв, охолодження з витримкою при температурі 720-800°Спротягом 15-30хв, після цього охолодження на повітрі; відпал; термічна обробка з дотриманням режиму  |
| **Брак при світлому загартуванні в розплаві лугу** |
| ***Поверхня деталі темна,*** ***з кольорами побіглості*** | 1. прогріти світлу деталь в лужній ванні і замочити її у воді;
2. нагріти деталь в соляній ванні на 150-200°С нижче температури загартування і охолодити у лузі;
3. перевірити хімічний склад соляної ванни;
4. перевірити хімічний склад лужної ванни на відсутність селітри
 | Недостатньо розкислена лужна ваннаНедостатньо розкислена соляна ваннаВанна занадто рідкотекуча Наявність селітри у лужній ванні  | Розкислити лужну ванну жовтою кров’яною сіллюРозкислити соляну ванну Додати сіль, якої не вистачаєСкласти нову ванну |
| ***Наліт******сажі на******деталі*** | За зовнішнім виглядом | Лужна ванна містить надлишкову кількість жовтої кров’яної солі | Прогріти луг при робочій температурі на протязі декількох годин |
| ***Твердість нижча за потрібну*** | Вимірювання твердості | Не змішується лугНедостатньо води в розплаві | Забезпечити перемішування лугу Додати в розплав воду |