

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра матеріалів та технології виготовлення виробів
транспортного призначення**

Л.А. Тимофєєва, Г.Л. Комарова

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТЕХНОЛОГІЯ
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Конспект лекцій

Розділ « Матеріалознавство»

Частина II

Харків – 2013

Тимофєєва Л.А., Комарова Г.Л. Матеріалознавство та
технологія конструкційних матеріалів: Конспект лекцій. –

Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Ч. 2 – 50 с.

Даний конспект лекцій розкриває тему „Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів” розділ « Матеріалознавство».

Основним завданням конспекту лекцій є формування у студентів комплексу знань, умінь і уявлень, що необхідні при розв’язанні практичних задач при визначенні технологій і виготовлення виробів на залізничному транспорті.

Рекомендовано для студентів спеціальностей Л, В, БКМ усіх форм навчання.

Іл. 15, табл. 1, бібліогр.: 5 назв.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри матеріалів та технології виготовлення виробів транспортного призначення 23 лютого 2012 р., протокол № 27.

Рецензент

проф. Е.С. Геворкян

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Конспект лекцій

Розділ « Матеріалознавство»

Частина II

Відповідальний за випуск Федченко І.І.

Редактор Буранова Н.В.

Підписано до друку 06.04.12 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,75. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра „Матеріали та технологія виготовлення виробів
транспортного призначення”

Л.А. Тимофєєва, Г.Л. Комарова

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни
„Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів”

Розділ « Матеріалознавство»

Частина II

Харків 2013

Тимофеева Л.А., Комарова Г.Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів: конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Ч. 2 - 50 с.

Даний конспект лекцій розкриває тему „Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів” розділ « Матеріалознавство».

Основним завданням конспекту лекцій є формування студентів комплексу знань, умінь і уявлень, що необхідні при розв’язанні практичних задач при визначенні технологій і виготовлення виробів на залізничному транспорті.

Рекомендовано для студентів спеціальностей Л, В, БКМ усіх форм навчання.

Іл. 15, табл. 1, бібліогр.: 5 назв.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри „Матеріали та технологія виготовлення виробів транспортного призначення” 23 лютого 2012 р., протокол № 27.

Рецензент

проф. Е.С. Геворкян

ЗМІСТ

Лекція 8. Основи термічної обробки сталі	4
Лекція 9. Основні види термічної обробки сталі	14
Лекція 10. Методи поверхневого зміцнення сталевих виробів	29
Лекція 11. Конструкційні леговані сталі	38
Список літератури	50

Лекція 8

ОСНОВИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ

- 1 Мета термічної обробки.
- 2 Перетворення у сталі при нагріванні.
- 3 Перетворення у сталі при охолодженні.
- 4 Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту (с-подібна діаграма).

1 Мета термічної обробки

Термічною обробкою (ТО) називають сукупність операцій, пов'язаних з нагріванням до певної температури (залежить від хімічного складу матеріалу), витримкою при цій температурі та наступним охолодженням із заданою швидкістю (рисунок 8.1).

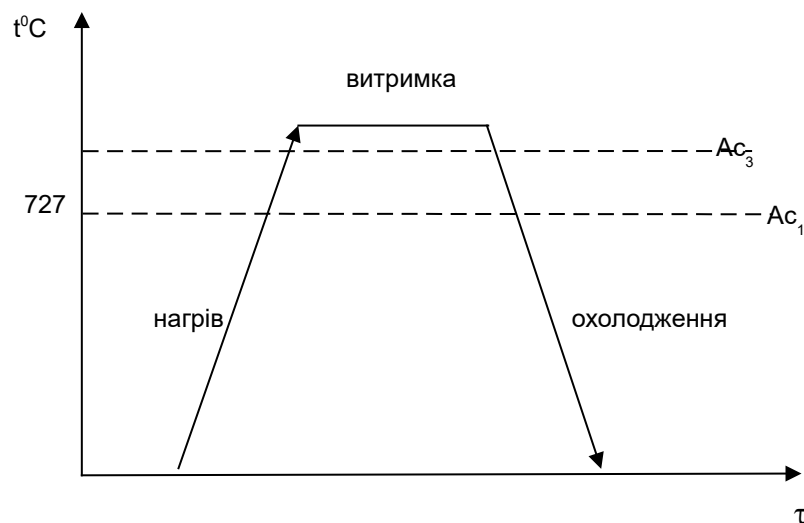


Рисунок 8.1 – Типовий режим ТО

Мета ТО – зміна структури при нагріванні та наступному охолодженні, а отже, зміна властивостей у бажаному напрямі.

Термічно обробляють заготовки, отримані відливанням, куванням, прокатуванням, волочінням або пресуванням, зварні вироби, деталі машин та інструменти різного призначення. Термічну обробку застосовують або як проміжну операцію для поліпшення

технологічних властивостей (оброблюваності тиском чи різанням), або як прикінцеву технологічну операцію для досягнення певних експлуатаційних властивостей матеріалу.

На результат термообробки впливають швидкість (час) нагрівання, температура нагрівання, тривалість (час) витримування при цій температурі та швидкість (час) охолодження, тобто основними факторами є час і температура.

2 Перетворення у сталі при нагріванні

Перетворення, засноване на дифузії вуглецю, супроводжується поліморфним перетворенням $Fe_{\alpha} \rightarrow Fe_{\gamma}$, а також розчиненням цементиту в аустеніті.

Зі збільшенням перегріву й швидкості нагрівання тривалість перетворення скорочується.

Механізм перетворення показано на рисунку 8.2.

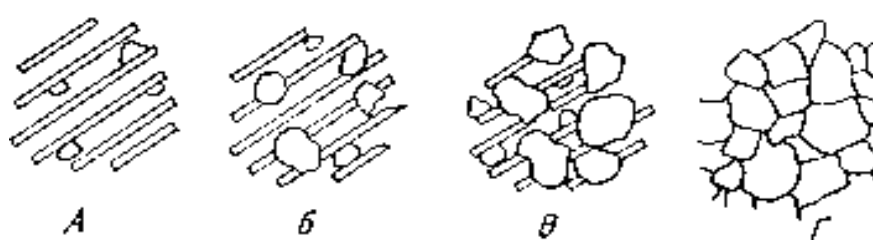


Рисунок 8.2 - Механізм перетворення перліту в аустеніт

Перетворення починаються із зародження центрів аустенітних зерен на поверхні розділу ферит - цементит, кристалічна ґратка Fe_{α} перебудовується в ґратку Fe_{γ} .

Час перетворення залежить від температури, тому що зі збільшенням ступеня перегріву зменшується розмір критичного зародка аустеніту, збільшуються швидкість виникнення зародків і швидкість їхнього росту.

Величина зерна, що утворилося, впливає на властивості сталі.

Ріст зерна аустеніту. Утворені зерна аустеніту виходять дрібними (початкове зерно). При підвищенні температури або витримці відбувається ріст зерна аустеніту. Рушійною силою росту є

різниця вільних енергій дрібнозернистої (більша енергія) і крупнозернистої (менша енергія) структури аустеніту.

Сталі розрізняють за схильністю до росту зерна аустеніту. Якщо зерно аустеніту починає швидко рости навіть при незначному нагріванні вище температури A_{c1} , то сталь спадково крупнозерниста. Якщо зерно росте тільки при великому перегріві, сталь спадково дрібнозерниста.

Ванадій, титан, молібден, вольфрам, алюміній зменшують схильність до росту зерна аустеніту, а марганець і фосфор збільшують її.

Заевтектоїдні сталі менш схильні до росту зерна.

При наступному охолодженні зерна аустеніту не подрібнюються. Це слід враховувати при призначенні режимів термічної обробки, тому що від розміру зерна залежать механічні властивості. Крупне зерно знижує опір відриву, ударну в'язкість, підвищує поріг холодноламкості.

Розрізняють величину *зерна спадкоємного* і *дійсного*.

Для визначення величини спадкоємного зерна, зразки нагрівають до $930\text{ }^{\circ}\text{C}$, а потім визначають розмір зерна.

Дійсна величина зерна - розмір зерна при звичайних температурах, отриманий після тієї або іншої термічної обробки.

Неправильний режим нагрівання може призвести або до *перегріву*, або до *перепалу* сталі.

Перегрів. Нагрівання доевтектоїдної сталі значно вище температури A_1 призводить до інтенсивного зростання зерна аустеніту. При охолодженні ферит виділяється у вигляді пластинчастих або голчастих кристалів. Така структура характеризується зниженими механічними властивостями. Перегрів можна виправити повторним нагріванням до оптимальних температур з наступним повільним охолодженням.

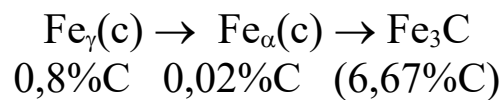
Перепал має місце, коли температура нагрівання наближається до температури плавлення. При цьому спостерігається окислювання границь зерен, що різко знижує міцність сталі. Перепал - непоправний брак.

3 Перетворення у сталі при охолодженні

При нагріванні сталі вище критичної температури (вище 727 °С) утворюється аустеніт, який при цих температурах є стійким.

При охолодженні аустеніту у сталях спостерігається два основних типи перетворень:

Дифузійний – це коли при охолодженні сталі до температури, нижчої від критичної, відбувається розпад аустеніту на феритокарбідну суміш:



Внаслідок такого розпаду утворюється дві фази, які різко відрізняються вмістом вуглецю: ферит, що майже не містить вуглецю, і цементит, який містить 6,67 %С.

Отже, перетворення $A \rightarrow \Phi + \Psi$ супроводжується дифузією, перерозподілом вуглецю.

Залежно від ступеня переохолодження утворюються різні види феритокарбідної суміші.

Бездифузійний процес. При великих швидкостях охолодження дифузійний процес не встигає відбутися. Таким чином, при швидкому охолодженні, коли дифузійне перетворення пригнічується, а поліморфні перетворення (які не потребують затрати часу) встигають відбутися, утворюється структура мартенситу.

Мартенсит - це перенасичений твердий розчин вуглецю у Fe_α .

4 Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту (С-подібна діаграма)

Щоб показати кінетику перетворення аустеніту, користуються експериментально побудованими діаграмами ізотермічного перетворення аустеніту, так званими С-подібними кривими. Будують їх за допомогою спеціального приладу – анізометра. Для цього

сталевий зразок нагрівають до аустенітного стану, після чого швидко переносять до ізотермічної ванни і вмикають магнітне поле. Оскільки аустеніт є парамагнетиком, то протягом всього часу його існування анізомером не фіксуються магнітні властивості. Як тільки почнеться розпад і з'являться перші порції феритокарбідної суміші, яка є феромагнетиком, анізомер відразу ж показує їх наявність. Цей момент відповідає початку розпаду аустеніту. Зі збільшенням кількості феритокарбідної суміші феромагнітні властивості зростають і після повного розпаду аустеніту вони не змінюються. Цей момент відповідає завершенню розпаду аустеніту. Після отримання цих даних для різних ізотермічних витримок будують діаграму в координатах "температура – час". На діаграму наносять критичну температуру A_1 , нижче якої починається розпад аустеніту, температуру початку і кінця мартенситного перетворення M_n і M_k (рисунок 8.3)

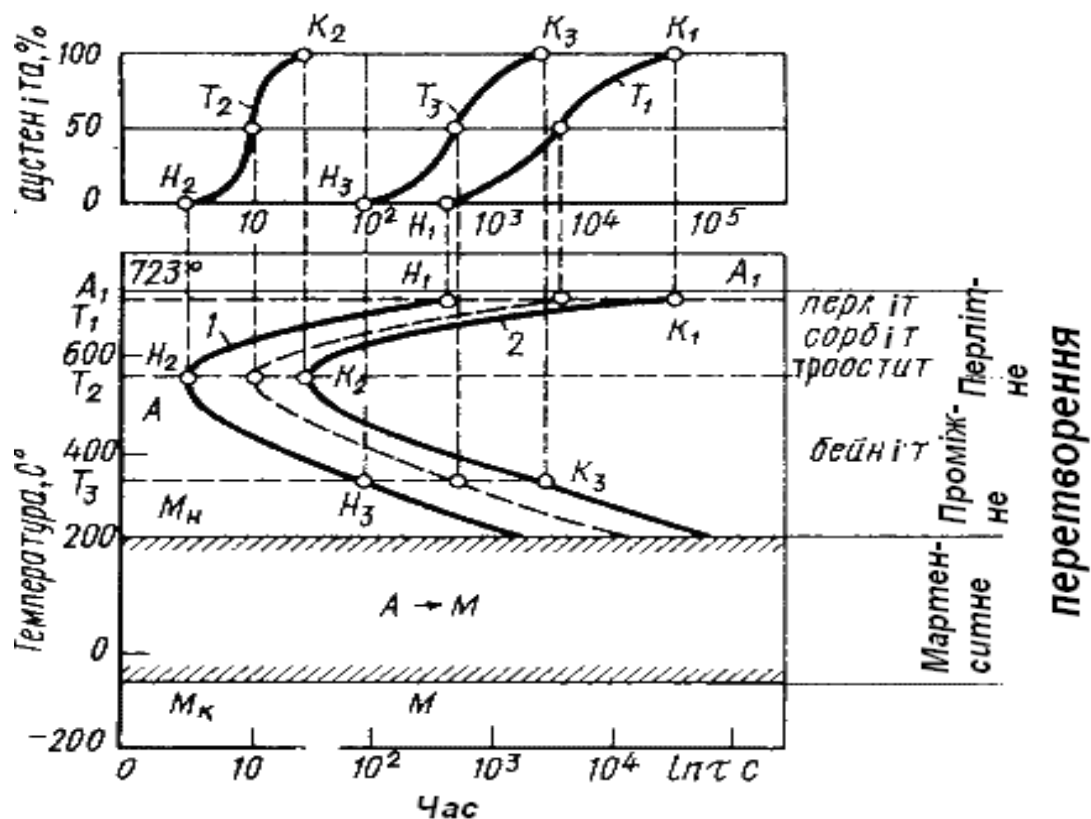


Рисунок 8.3 - Кінетичні криві перетворення аустеніту при охолодженні та діаграма ізотермічного

перетворення аустеніту

Крива 1 – початок розпаду аустеніту на феритокарбідну суміш.

Крива 2 – кінець розпаду аустеніту на феритокарбідну суміш.

Область, яка лежить ліворуч від кривої початку розпаду аустеніту на феритокарбідну суміш, визначає *інкубаційний період*. У цій області знаходиться переохолоджений аустеніт, який має назву “нестійкий” на відміну від “стійкого”, який існує вище критичної температури A_1 .

Тривалість інкубаційного періоду характеризує стійкість переохолодженого аустеніту: зі збільшенням ступеня переохолодження інкубаційний період спочатку зменшується, а потім зростає.

Залежно від ступеня переохолодження (температури витримки), утворюються різні види феритокарбідної суміші. В області між температурою A_1 і температурою найменшої стійкості аустеніту ($\sim 550^\circ\text{C}$) формується три структури приблизно в районі цієї температури:

• **Перліт** - $\Delta_0 \approx (0,5 \dots 0,7) 10^{-3}$ мм.

Утворюється при переохолодженні до температури $T = 650 \dots 700^\circ\text{C}$ або при швидкості охолодження $V_{\text{охол}} = 30 \dots 60^\circ\text{C}/\text{с}$. **Твердість становить 180...250 НВ.**

• **Сорбіт** - $\Delta_0 = 0,25 \cdot 10^{-3}$ мм.

Утворюється при переохолодженні до температури $T = 600 \dots 650^\circ\text{C}$ або при швидкості охолодження $V_{\text{охол}} = 60^\circ\text{C}/\text{с}$. **Твердість становить 250...350 НВ.** Структура характеризується високою межею пружності, достатньою в'язкістю й міцністю.

• **Тростит** - $\Delta_0 = 0,1 \cdot 10^{-3}$ мм.

Утворюється при переохолодженні до температури $T = 550 \dots 600^\circ\text{C}$ або при швидкості охолодження $V_{\text{охол}} = 150^\circ\text{C}/\text{с}$. **Твердість становить 350...450 НВ.** Структура характеризується високою межею пружності, малою в'язкістю й пластичністю.

Продукти цього перетворення мають пластинчасту будову і відрізняються лише ступенем дисперсності (подрібненості) фериту і

цементиту. Чим нижче температура витримки, тим дисперсніше феритоцементитна суміш, тобто тим менша міжпластинчаста відстань Δ_0 (рисунок 8.4).

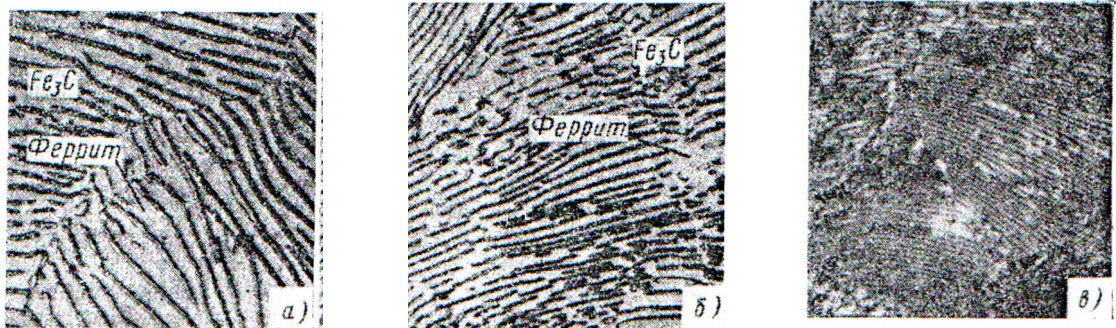


Рисунок 8.4 - Структура феритоцементитної суміші

а – перліт; *б* – сорбіт; *в* – тростит

Нижче температури, яка відповідає мінімальній стійкості переохолодженого аустеніту, відбувається бейнітне перетворення.

Бейніт – голчаста структура, яка складається з суміші фериту і цементиту, але ферит трохи перенасичений вуглецем (рисунок 8.5).

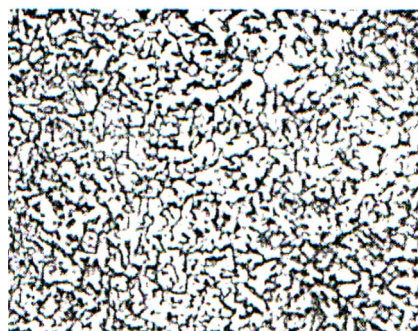


Рисунок 8.5 - Структура бейніту

При охолодженні аустеніту до температури, яка дорівнює M_s або нижче M_n , дифузійні процеси повністю пригнічуються. Має місце бездифузійне перетворення аустеніту в мартенсит, що має назву **мартенситного перетворення**.

M_p - температура початку мартенситного перетворення; M_f -

температура кінця мартенситного перетворення.

Температури M_p і M_k залежать від вмісту вуглецю й не залежать від швидкості охолодження. Для сталей з вмістом вуглецю вище 0,6 % M_k переходить в область негативних температур.

Атоми вуглецю займають октаедричні пори у решітці Fe_α і сильно її спотворюють - гратка ОЦК перетворюється у тетрагональну, в якій одна із сторін c більше іншої a (рисунок 8.6). Чим більше в мартенситі вуглецю, тим більше відношення c/a , тобто тим більше тетрагональність гратки.

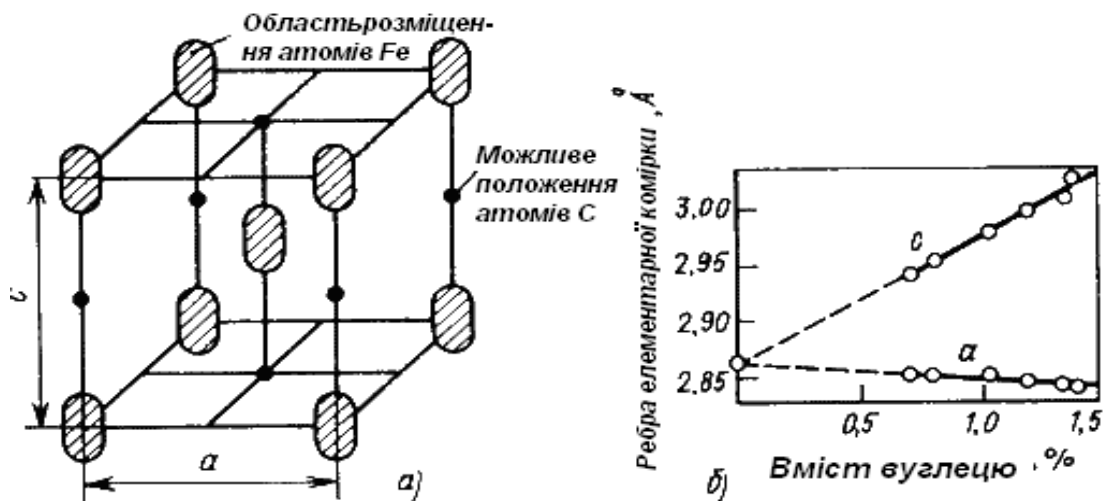


Рисунок 8.6 - Кристалічна гратка мартенситу (а) і її параметри залежно від кількості вуглецю в мартенситі (б).

Щоб мартенситне перетворення розвивалося, необхідно безперервно охолоджувати сталь нижче температури M_p . Мартенсит здатний утворюватися з аустеніту тільки за певних умов охолодження – зі швидкістю критичною і вище.

Критична швидкість охолодження ($V_{кр}$) - найменша швидкість, при охолодженні з якої утворюється суто мартенситна структура. Дотична до лінії, що відповідає початку розпаду аустеніту є графічним зображенням критичної швидкості охолодження.

Мартенсит утворюється з аустеніту в діапазоні температур M_p – M_k (початок і кінець мартенситного перетворення), тому, крім мартенситу, в структурі буде наявним аустеніт залишковий. Нижче M_k – тільки мартенсит.

Механізм мартенситного перетворення має ряд особливостей:

1 Бездифузійний характер.

Перетворення здійснюється за зсувним механізмом. На початку перетворення є безперервний перехід від ґраток аустеніту до ґраток мартенситу (когерентний зв'язок). При перетворенні гранецентрованої кубічної ґратки в об'ємо-центровану кубічну атоми зміщаються на відстань, меншу за міжатомну, тобто немає необхідності в самодифузії атомів заліза.

2 Орієнтованість кристалів мартенситу.

Кристали мають форму пластин, які звужуються до кінця, під мікроскопом така структура має вигляд голчастої. Утворюючись миттєво, пластини ростуть або до границі зерна аустеніту, або до дефекту. Наступні пластини розташовані до перших під кутами 60° або 120° , їхні розміри обмежені ділянками між першими пластинами (рисунок 8.7).



Рисунок 8.7 - Орієнтованість кристалів мартенситу

3 Дуже висока швидкість росту кристала, до 1000 м/с.

4 Мартенситне перетворення відбувається тільки при безперервному охолодженні. Для кожної сталі починається й закінчується при певній температурі, незалежно від швидкості охолодження.

5 Перетворення незворотне. Одержати аустеніт з мартенситу неможливо.

6 Мартенситне перетворення відбувається з великою швидкістю, що дорівнює швидкості звуку.

Властивості мартенситу обумовлені особливостями його утворення. Він характеризується високою твердістю й низькою пластичністю, що спричиняє крихкість.

Твердість становить до 65 HRC. Висока твердість викликана впливом впроваджених атомів вуглецю в гратки α - фази, що викликає її перекручування й виникнення напруг. З підвищенням вмісту вуглецю в сталі зростає схильність до крихкого руйнування.

Таким чином можна зробити висновок, що для конструкційних сталей вміст залишкового аустеніту незначний, що майже не впливає на твердість сталі. А для інструментальних сталей кількість залишкового аустеніту суттєва, що призводить до зниження твердості.

Чим більше в сталі вуглецю, тим вище його твердість: перліт 20 HRC; сорбіт 30 HRC; тростит 40 HRC; бейніт 50 HRC; мартенсит 60 HRC.

Лекція 9

ОСНОВНІ ВИДИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ

- 1 Відпал. Нормалізація.
- 2 Гартування сталі.
- 3 Поверхнєве зміцнення сталевих деталей.
- 4 Відпуск сталі.

До основних видів термічної обробки сталі можна віднести:

- $\left. \begin{array}{l} \text{відпал} \\ \text{нормалізація} \end{array} \right\}$ – попередні види ТО;
- $\left. \begin{array}{l} \text{гартування} \\ \text{відпуск} \end{array} \right\}$ – кінцеві види ТО.

1 Відпал. Нормалізація

Відпал - це термічна обробка, яка полягає в нагріванні, як правило, до температур вище критичних, витримки і охолодженні разом з піччю з метою одержання більш рівноважної структури.

Відпал першого роду. Це відпал, при якому, як правило, не відбувається фазових перетворень (перекристалізації), а якщо вони мають місце, то не впливають на кінцеві результати, передбачені його цільовим призначенням.

Розрізняють такі різновиди відпалу першого роду: дифузійний і рекристалізаційний.

Дифузійний відпал. Це відпал зливків з вуглецевих та легованих сталей при температурі 1100...1300 °С з витримкою 20...50 годин, а зливків алюмінієвих сплавів – при 420...520 °С з витримкою 20...30 годин з метою вирівнювання хімічного складу.

Рекристалізаційний відпал. Це відпал заготовок з наклепаної сталі при температурі, що перевищує температуру початку рекристалізації, з метою усунення наклепу і одержання певної величини зерна. Його проводять після холодного деформування (прокатування, волочіння та ін.). У процесі цього відпалу

зменшуються міцність і твердість та відновлюється пластичність деформованого металу. Для сталей з вмістом вуглецю 0,08...0,20 % температура відпалу становить 680...700°C, для високовуглецевих легованих сталей - 700°C з тривалістю витримки 0,5...1,5 години.

Відпал другого роду. Це відпал, при якому фазові перетворення (перекристалізація) визначають його цільове призначення. Розрізняють такі різновиди відпалу другого роду: повний, неповний, ізотермічний, нормалізаційний (нормалізація) (рисунок 9.1).

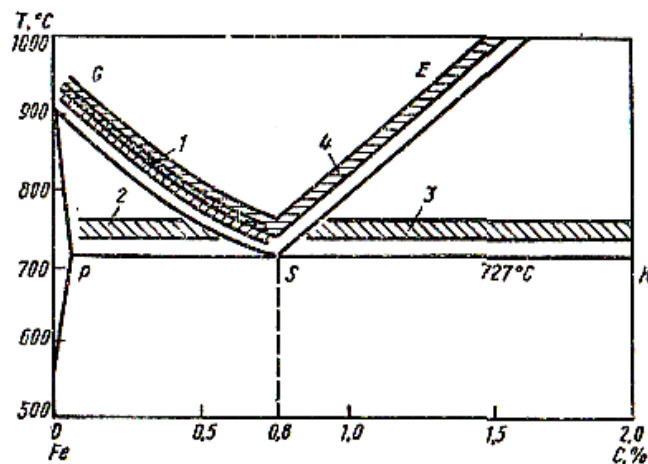


Рисунок 9.1 - Температурні режими відпалів другого роду:

1 – повний відпал; 2, 3 – неповний відпал; 4 – нормалізація

Повний відпал. Цьому виду відпалу піддають доевтектоїдну сталь з метою досягнення дрібнозернистості, зниження твердості і підвищення пластичності, зняття внутрішніх напружень. Сталь нагрівають до температури на 20...30 °C вище точки A_{c3} .

При нагріванні крупна початкова феритно-перлітна структура перетворюється в дрібну структуру аустеніту. При цьому відпалі відбувається повна фазова перекристалізація сталі. Забезпечуються висока в'язкість і пластичність, а також можливість досягнення високих властивостей після остаточної термічної обробки. Повному відпалу зазвичай піддають сортовий прокат, поковки та фасонні відливки.

Неповний відпал. Цьому відпалу піддають заевтектоїдну і евтектоїдну сталь з метою перетворення пластинчастого перліту в зернистий. Для одержання зернистого перліту заевтектоїдну сталь

нагрівають до температури трохи вище точки A_{c1} (до 740-780 °С). При нагріванні відбувається перетворення перліту в аустеніт без розпаду цементиту. Після охолодження сталь має зернисту феритно-цементитну структуру.

Нормалізаційний відпал (нормалізація). Нормалізацією називають процес термічної обробки – нагріванні до температури вище точки A_{c3} для евтектоїдної або A_{cm} на 30...50 °С для заевтектоїдної сталі з наступною витримкою та охолодженням на повітрі.

Мета нормалізації – виправлення структури сталі, подрібнення зерна, пом'якшення сталі перед обробкою різанням, загальне покращення структури перед гартуванням, вилучення сітки вторинного цементиту в заевтектоїдній сталі. Нормалізація, в порівнянні з відпалом, більш економічна операція, тому що не вимагає охолодження разом з піччю, але твердість після нормалізації вища ніж після відпалу.

Нормалізацію частіше застосовують як проміжну операцію, що поліпшує структуру. Іноді проводять як остаточну обробку, наприклад, при виготовленні сортового прокату.

Для низьковуглецевих сталей нормалізацію застосовують замість відпалу.

Для середньовуглецевих сталей нормалізацію або нормалізацію з високим відпуском застосовують замість гартування з високим відпуском. У цьому випадку механічні властивості трохи нижчі, але виріб піддається меншій деформації, виключаються тріщини.

2 Гартування сталі

Гартуванням називають процес термічної обробки, що складається з нагрівання сталі до певної температури, витримки і подальшого швидкого охолодження з метою отримання нерівноважної структури. Внаслідок гартування підвищується міцність і твердість та знижується пластичність сталі. Основні параметри при гартуванні – температура нагрівання і швидкість охолодження.

Температура гартування. Для вуглецевих сталей температуру

гартування можна визначити за лівою нижньою частиною діаграми стану залізо-цементит.

При гартуванні доевтектоїдні сталі нагрівають до температури на 30...50 °С вище точки A_{c3} . При гартуванні заевтектоїдні сталі нагрівають до температури на 30-50 ° вище точки A_{c1} . Сталі, леговані кремнієм, вольфрамом, молібденом і титаном, гартують при більш високих температурах, щоб розчинились в аустеніті важкорозчинні карбіди. Швидкорізальні сталі гартують при 1200...1300 °С, а штампові, наприклад 3Х2В8Ф, при 1050...1100 °С.

Час нагрівання. Тривалість витримки при температурі нагрівання визначають за розмірами деталей, складом сталі і середовищем, у якому відбувається нагрівання (газове середовище, соляні ванни, розплавлений метал). Загальну тривалість витримки, необхідну для прогрівання маси металу і завершення фазових перетворень, визначають головним чином дослідним шляхом. Співвідношення витримки у різних нагрівальних середовищах приблизно такі: у газових середовищах – 1; у розплавлених солях – 0,5; у розплавлених металах – 0,25.

Практично час нагрівання в електричних печах прийнято 1,5...2 хвилини на 1 мм перерізу.

Охолодження при гартуванні має вирішальний вплив на результат гартування.

У процесі гартування сталь слід охолоджувати зі швидкістю, яка перевищує критичну, для одержання структури мартенситу. *Критична швидкість гартування визначається хімічним складом сталі.* Швидкість охолодження при гартуванні залежить від розмірів деталі і виду охолоджувача.

Найбільш розповсюджені середовища для гартування – вода, водяні розчини солей ($KNO_2 + NaNO_3$) і лугів ($NaOH + KOH$), масло, повітря, розплавлені солі.

Вода охолоджує значно швидше, ніж масло: в 6 разів швидше при 550...650 °С і в 28 разів швидше при 200 °С. Тому воду використовують для охолодження сталей з великою критичною швидкістю гартування (вуглецеві сталі), а в маслі охолоджують сталі з малою критичною швидкістю гартування (леговані сталі). Основний недолік води, як охолоджувача – висока швидкість охолодження при занижених температурах в області утворення мартенситу, що призводить до виникнення великих структурних

напружень і створює небезпеку виникнення тріщин. Додавання до води солей та лугів підвищує її гартувальну здатність.

Масло охолоджує значно повільніше, ніж вода. Але перевага масла як охолоджувача полягає в тому, що воно має невелику швидкість охолодження в області температур мартенситного перетворення, тому при охолодженні в маслі небезпека утворення тріщин значно зменшується. Недолік масла – його вогнебезпечність, пригорання до поверхні деталі.

Легуючі елементи зменшують критичну швидкість охолодження, тому леговані сталі охолоджують у мінеральних маслах, що відводять тепло з меншою швидкістю, ніж вода (рисунок 9.2).

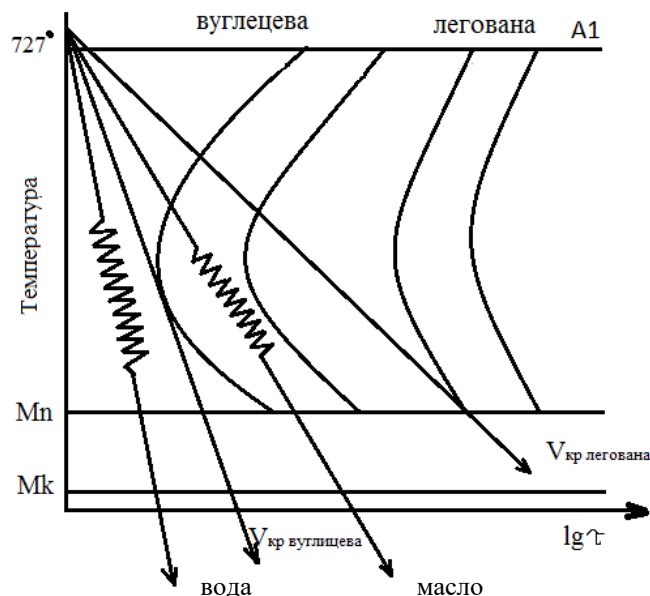


Рисунок 9.2 - Швидкості охолодження у воді і маслі, нанесені на діаграму ізотермічного розпаду аустеніту

При виборі охолоджуючого середовища необхідно враховувати *загартовуваність* і *прогартовуваність* сталі.

Під **прогартовуваністю** розуміють здатність сталі гартуватися на певну глибину. Глибину загартованої зони можна визначити на зламі зразка. Загартована зона має блискучу дрібнозернисту поверхню. Прогартовуваність не слід плутати із *загартовуваністю*, яка характеризується максимальним значенням твердості, яку набула

сталь внаслідок гартування. Вона залежить від вмісту вуглецю. Якщо вміст вуглецю не перевищує 0,2 %, то такі сталі практично не гартуються.

Чим менше критична швидкість загартовування, тим вище прогартовуваність. Укрупнення зерен підвищує прогартовуваність.

Якщо швидкість охолодження в серцевині виробу перевищує критичну, то сталь має наскрізну прогартовуваність.

Характеристикою прогартовуваності є *критичний діаметр*.

Критичний діаметр – максимальний переріз, що прожарюється в даному охолоджувачі на глибину, рівну радіусу виробу.

Із введенням у сталь легуючих елементів загартовуваність і прогартовуваність збільшуються (особливо молібден і бор, кобальт - навпаки).

Спеціальні види гартування

При гартуванні виникають два види напружень: термічні і структурні.

Термічні напруження – це напруження, які виникають внаслідок перепаду температур по перерізу: поверхня – швидко охолоджується, а серцевина – повільно.

Структурні напруження пов'язані з мартенситним перетворенням; тим, що об'єм мартенситу більш об'єму аустеніту, а також з природою мартенситу, що являє собою перенасичений твердий розчин вуглецю у Fe_{α} . Чим більше в сталі вуглецю, тим більш перенасичений твердий розчин С у Fe_{α} , тим більше структурні напруження.

Для того щоб зменшити структурні напруження, необхідно зменшити перепад температур по перерізу і охолоджувати повільніше, але з швидкістю вище критичної.

З метою зменшення або повного усунення термічних і структурних напружень проводять спеціальні види гартування (рисунок 9.3).

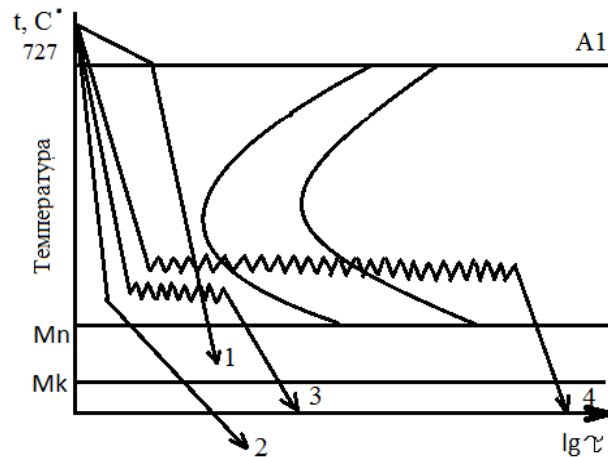


Рисунок 9.3 - Спеціальні види гартування

1 – гартування одному охолоджувачі; 2 – переривчасте гартування; 3 – ступінчасте гартування; 4 – ізотермічне гартування

1 Гартування в одному охолоджувачі (1).

Нагріту до потрібної температури деталь переносять в охолоджувач і повністю проохолоджують. Як охолодне середовище використовують:

- воду - для великих виробів з вуглецевих сталей;
- масло - для невеликих деталей простої форми з вуглецевих сталей і виробів з легованих сталей.

Основний недолік - значні гартівні напруги.

2 Гартування у двох сферах або переривчасте (2).

Нагрітий виріб попередньо проохолоджують у більш різкому охолоджувачі (вода) до температури $\sim 300^{\circ}C$ і потім переносять у більш м'який охолоджувач (масло).

Переривчасте гартування забезпечує максимальне наближення до оптимального режиму охолодження.

Застосовується в основному для загартовування інструментів.

Недолік: складність визначення моменту переносу виробу з одного середовища в інше.

3 Ступінчасте гартування (3).

Нагрітий до необхідної температури виріб поміщають в охолодне середовище, температура якого на $30 - 50^{\circ}\text{C}$ вище точки M_H і витримують протягом часу, необхідного для вирівнювання температури по всьому перерізу. Час ізотермічної витримки не перевищує період стійкості аустеніту при заданій температурі.

Як охолодне середовище використовують розплавлені солі або метали. Після ізотермічної витримки деталь прохолоджують із невисокою швидкістю.

Спосіб використовується для дрібних і середніх виробів.

4 Ізотермічне гартування (4).

Відрізняється від ступінчастого гартування тривалістю витримки при температурі вище M_H , в області проміжного перетворення. Ізотермічна витримка забезпечує повне перетворення переохолодженого аустеніту в бейніт. При проміжному перетворенні легованих сталей, крім бейніту, в структурі зберігається аустеніт залишковий. Утворена структура характеризується сполученням високої міцності, пластичності й в'язкості. Разом із цим знижується деформація через гартівні напруги, зменшуються й фазові напруги.

Як охолодне середовище використовують розплавлені солі й луги. Застосовуються для легованих сталей.

5 Гартування із підстуджуванням.

Нагріті вироби поміщають в охолодне середовище й витримують до неповного охолодження. Після витягу виробу його поверхневі шари повторно нагріваються за рахунок внутрішньої теплоти до необхідної температури, тобто здійснюється самовідпуск. Застосовується для виробів, які повинні мати високу твердість на поверхні й високу в'язкість у серцевині (інструменти ударної дії: молотки, зубила).

3 Поверхнєве зміцнення сталевих деталей

Конструкційна міцність часто залежить від стану матеріалу в поверхневих шарах деталі. Одним із способів поверхневого зміцнення сталевих деталей є *поверхнєве гартування*.

У результаті поверхневого гартування збільшується твердість поверхневих шарів виробу з одночасним підвищенням опору стиранню й границі витривалості.

Загальним для всіх видів поверхневого гартування є нагрівання поверхневого шару деталі до температури гартування з наступним швидким охолодженням. Ці способи розрізняються методами нагрівання деталей. Товщина загартованого шару при поверхневому гартуванні визначається глибиною нагрівання.

Найбільше поширені електротермічне гартування з нагріванням виробів струмами високої частоти (СВЧ) і газополуменеве гартування з нагріванням газокисневим або керосинокисневим полум'ям.

Гартування струмами високої частоти

Метод побудований на тому, що якщо в змінне магнітне поле, створюване провідником-індуктором, помістити металеву деталь, то в ній будуть індукціонуватися вихрові струми, що викликають нагрівання металу. Чим більше частота струму, тим тонше виходить загартований шар.

Звичайно використовуються машинні генератори із частотою 50...15000 Гц і лампові генератори із частотою більше 10^6 Гц. Глибина загартованого шару - до 2 мм.

Індуктори виготовляються з мідних трубок, усередині яких циркулює вода, завдяки чому вони не нагріваються. Форма індуктора відповідає зовнішній формі виробу, при цьому необхідна сталість зазору між індуктором і поверхнею виробу.

Схема технологічного процесу гартування СВЧ подана на рисунку 9.4.

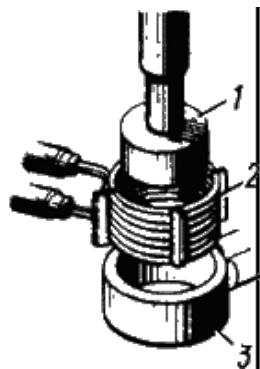


Рисунок 9.4 - Схема технологічного процесу гартування СВЧ

Після нагрівання протягом 3...5 хв. з індуктора 2 деталь 1 швидко переміщається в спеціальний охолоджений пристрій - спреєр 3, через отвори якого на нагріту поверхню розприскується гартівна рідина.

Висока швидкість нагрівання зміщує фазові перетворення в область більш високих температур. Температура гартування при нагріванні струмами високої частоти має бути вище, ніж при звичайному нагріванні.

При правильних режимах нагрівання після охолодження виходить структура дрібногочастого мартенситу. Твердість підвищується на 2...4 HRC у порівнянні з звичайним гартуванням, зростає зносостійкість і границя витривалості.

Перед гартуванням СВЧ виріб піддають нормалізації, а після гартування - низькому відпуску при температурі 150...200 °C (самовідпуск).

Найбільше доцільно використовувати цей метод для виробів зі сталей з вмістом вуглецю більше 0,4 %.

Переваги методу:

- більша економічність, немає необхідності нагрівати весь виріб;
- більш високі механічні властивості;
- відсутність позбавлення вуглецю й окислювання поверхні деталі;
- зниження браку через жолоблення й утворення гартівних тріщин;
- можливість автоматизації процесу;
- використання гартування СВЧ дозволяє замінити леговані сталі на більш дешеві вуглецеві;
- дозволяє проводити гартування окремих ділянок деталі.

Основний недолік методу – висока вартість індукційних установок й індукторів.

Доцільно використовувати в серійному й масовому виробництві.

Газополуменеве гартування

Нагрівання здійснюється ацетиленокисневим, газокисневим або керосинокисневим полум'ям з температурою 3000...3200 °С.

Структура поверхневого шару після гартування складається з мартенситу й фериту. Товщина загартованого шару 2...4 мм, твердість 50...56 HRC.

Метод застосовується для гартування великих виробів, що мають складну поверхню (косозубі шестерні, черв'яки), для гартування сталевих і чавунних прокатних валків. Використовується в масовому й індивідуальному виробництві, а також при ремонтних роботах.

Недоліки методу:

- невисока продуктивність;
- складність регулювання глибини загартованого шару й температури нагрівання (можливість перегріву).

Обробка сталі холодом

Високовуглецеві та багато легованих сталей мають температуру кінця мартенситного перетворення (M_k) нижче 0 °С. Тому в структурі сталі після гартування спостерігається значна кількість залишкового аустеніту, що знижує твердість виробу, а також погіршує магнітні характеристики. Для усунення аустеніту залишкового проводять додаткове охолодження деталі в області негативних температур, до температури нижче т. M_k (-0 °С). Звичайно для цього використовують сухий лід.

Така обробка називається *обробкою сталі холодом*.

Обробку холодом необхідно проводити відразу після гартування, щоб не допустити стабілізації аустеніту. Збільшення твердості після обробки холодом звичайно становить 1...4 HRC.

Після обробки холодом сталь піддають низькому відпуску, оскільки обробка холодом не знижує внутрішніх напружень.

Обробці холодом піддають деталі шарикопідшипників, точних механізмів, вимірювальні інструменти.

4 Відпуск сталі

Відпуск – це заключна термічна обробка, яка проводиться після гартування, іноді – після нормалізації.

Відпуск полягає в нагріванні до температури нижче критичної A_{c1} , витримці при цій температурі і охолодженні, як правило, на повітрі.

Мета відпуску:

- зняти або зменшити внутрішні напруження після гартування;
- отримати потрібний комплекс властивостей.

Температура нагрівання при відпуску залежить від того, які властивості необхідно одержати для тих чи інших виробів.

Види відпуску

Розрізняють три види відпуску:

- низький ($t=150\div 200\text{ C}^0$);
- середній ($t=300\div 450\text{ C}^0$);
- високий ($t=500\div 650\text{ C}^0$).

Низькотемпературний відпуск знижує внутрішні напруження в сталі при збереженні високої твердості (58-63 HRC). Він використовується переважно для інструментів з вуглецевих і низьколегованих сталей, а також для деталей, які підлягають поверхневому гартуванню, цементації і нітроцементації, до яких висувають високі вимоги щодо твердості і зностостійкості. При охолодженні одержують структуру мартенситу відпуску.

При **середньотемпературному відпуску** мартенсит гартування розпадається на феритоцементитну суміш, яка називається троститом відпуску, що дає зернисту будову (рисунок 9.4,а), в результаті отримуємо високу твердість 40...45 HRC з гарною пружністю й в'язкістю.

Використовується для виробів типу пружин, ресор.

При *високотемпературному відпуску* продовжується розпад мартенситу гартування на феритоцементитну суміш і розвивається процес коалесценції, що полягає у збільшенні і сфероїдизації карбідних часток. Формується структура – *сорбіт відпуску* (рисунок 9.4,б).



Рисунок 9.4 - Схематичне зображення троститу відпуску (а) і сорбіту відпуску (б)

В процесі високого відпуску повністю знімаються внутрішні напруження, характеристики міцності знижуються, але такі показники, як $\sigma_{0,2}$ і σ_{-1} , залишаються на достатньому рівні. Пластичність і особливо ударна в'язкість значно зростають.

Використовується для деталей машин, що сприймають ударні навантаження.

Сукупність гартування і високого відпуску називається **поліпшенням**.

Поліпшена сталь, у порівнянні з відпаленою або нормалізованою, має більш високі показники міцності, пластичності і в'язкості. Це пов'язано з тим, що після відпалу або нормалізації (при охолодженні з аустенітного стану) сорбіт і тростит мають пластинчасту будову (рисунок 9.6), а після відпуску тростит відпуску і сорбіт відпуску мають зернисту будову (рисунок 9.6).

Поліпшенню піддають вироби з конструкційних сталей марок 40, 45, 40Х, 40ХНМ, 40ХМФ тощо (напівосі, колінчасті вали, шатуни, поворотні кулаки, важелі, балки передніх осей вантажних автомобілів, а також болти, гайки, гвинти тощо), які сприймають значні ударні та знакозмінні навантаження.

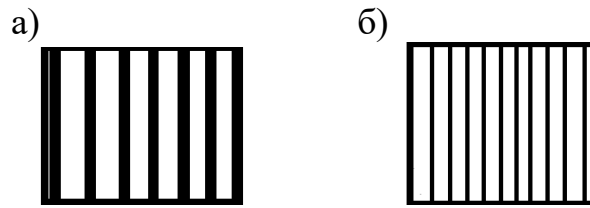


Рисунок 9.6 - Схематичне зображення сорбіту (а) і троститу (б), що утворюються при охолодженні з аустенітного стану

Вплив легуючих елементів на процеси, що проходять при відпуску, полягає в тому, що вони затримують розпад мартенситу на ферит і карбіди і гальмують ріст карбідів при підвищенні температури відпуску. Внаслідок цього леговані сталі можуть зберігати твердість до високих температур, що сприяє підвищенню теплостійкості.

Більшість легуючих елементів сприяють подрібненню аустенітного зерна.

Легуючі елементи зміщують поріг холодноламкості в область більш високих температур, за виключенням хрому (до 2 %) і нікелю.

Найменше окрихчування має місце при одночасному легуванні декількома елементами. Найкращий варіант – це поєднання карбідоутворюючих і некарбідоутворюючих елементів. Це правило є основою перспективного комплексного легування.

Відпуск після гартування застосовується для сплавів, у яких є поліморфні перетворення у твердому стані.

До матеріалів, які піддаються гартуванню без поліморфного перетворення, застосовується **старіння** (маловуглецеві сталі, кольорові метали).

Гартування без поліморфного перетворення - термічна обробка, що фіксує при більш низькій температурі стан, властивий сплаву при більш високих температурах (пересичений твердий розчин).

Старіння – термічна обробка, при якій головним процесом є розпад пересиченого твердого розчину.

У результаті старіння відбувається зміна властивостей загартованих сплавів. *На відміну від відпуску, після старіння збільшуються міцність і твердість і зменшується пластичність.*

Старіння сплавів пов'язане зі змінною розчинністю надлишкової фази, а зміцнення при старінні відбувається в результаті дисперсійних виділень при розпаді пересиченого твердого розчину й виникаючих при цьому внутрішніх напружень.

Основне призначення старіння - підвищення міцності й стабілізація властивостей.

Розрізняють старіння природне, штучне і після пластичної деформації.

Природним старінням називається мимовільне підвищення міцності й зменшення пластичності загартованого сплаву, що відбувається в процесі його витримки при нормальній температурі.

Нагрівання сплаву збільшує рухливість атомів, що прискорює процес.

Підвищення міцності в процесі витримки при підвищених температурах називається *штучним старінням*.

Межа міцності, границя текучості й твердість сплаву зі збільшенням тривалості старіння зростають, досягають максимуму і потім знижуються (явище перестаріння).

При природному старінні перестаріння не відбувається. З підвищенням температури стадія перестаріння досягається раніше.

Якщо загартований сплав, що має структуру перенасиченого твердого розчину, піддати пластичній деформації, то також прискорюються процеси, що протікають при старінні, – це *деформаційне старіння*.

Для практики велике значення має інкубаційний період - час, протягом якого в загартованому сплаві відбуваються підготовчі процеси, коли зберігається висока пластичність. Це дозволяє проводити холодну деформацію після загартовування.

Якщо при старінні відбуваються тільки процеси виділення, то явище називається *дисперсійним твердінням*.

Після старіння підвищується міцність і знижується пластичність низьковуглецевих сталей у результаті дисперсних виділень у фериті цементиту третинного й нітридів.

Старіння є основним способом зміцнення алюмінієвих і мідних сплавів, а також багатьох жароміцних сплавів.

Лекція 10

МЕТОДИ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ СТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

- 1 Хіміко-термічна обробка сталі.
- 2 Термомеханічна обробка сталі.
- 3 Зміцнення методом пластичної деформації (ППД).

1 Хіміко-термічна обробка сталі

Хіміко-термічною обробкою (ХТО) називають процес, який являє собою поєднання термічного і хімічного впливу з метою зміни хімічного складу, мікроструктури і властивостей поверхневого шару заготовки.

Для зміни хімічного складу заготовку нагрівають у середовищі (твердому, рідкому, газоподібному, плазменному), збагаченому *дифузантом* (елементом, який насичує), витримують протягом певного часу при заданій температурі, а потім охолоджують. Під час цього відбувається дифузійне збагачення поверхневого шару заготовок неметалами або металами з метою поверхневого зміцнення. В результаті утворюється *дифузійний шар*, що відрізняється від основного металу хімічним складом, структурою та властивостями. Товщина дифузійного шару залежить від температури та тривалості процесу, виду утворюваного твердого розчину і концентрації дифузанта на поверхні заготовки. З підвищенням температури та часу витримки товщина дифузійного шару зростає.

ХТО змінює хімічний склад і структуру поверхневого шару, тоді як поверхневе гартування — лише структуру. Тому різниця у властивостях поверхні та серцевини в деталях після хіміко-термічної обробки більша, ніж у поверхнево загартованих деталях. Результати ХТО не залежать від форми деталей. Проте поверхневе гартування продуктивніше.

В основі будь-якого різновиду хіміко-термічної обробки лежать процеси *дисоціації, адсорбції, хемосорбції, дифузії*.

Дисоціація – одержання насичувального елемента в активованому атомарному стані в результаті хімічних реакцій, а також випаровування.

Адсорбція – захоплення поверхнею деталі атомів насичувального елемента.

Адсорбція - завжди екзотермічний процес, що приводить до зменшення вільної енергії.

Хемосорбція – взаємодія насичувального елемента з елементами оброблюваного матеріалу.

Дифузія – переміщення адсорбованих атомів углиб виробу.

Для здійснення процесів адсорбції й дифузії необхідно, щоб насичувальний елемент взаємодіяв з основним металом, утворюючи тверді розчини або хімічні сполуки.

Хіміко-термічна обробка є основним засобом поверхневого зміцнення деталей.

Основними різновидами хіміко-термічної обробки є:

- цементация (насичення поверхневого шару вуглецем);
- азотування (насичення поверхневого шару азотом);
- нітроцементация або ціанування (насичення поверхневого шару одночасно вуглецем й азотом);
- дифузійна металізація (насичення поверхневого шару різними металами);
- алітування, силіціювання та ін.

Цементация – хіміко-термічна обробка, що полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару атомами вуглецю при нагріванні до температури $900...950\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Цементации піддають сталі з низьким вмістом вуглецю (до $0,25\%$).

Нагрівання виробів здійснюють у середовищі, що легко віддає вуглець. Підібравши режими обробки, поверхневий шар насичують вуглецем до необхідної глибини.

Глибина цементации (h) – відстань від поверхні виробу до середини зони, де в структурі є однакові обсяги фериту і перліту ($h = 1...2...2\text{ мм}$).

Ступінь цементации – середній вміст вуглецю в поверхневому шарі (звичайно, не більше $1,2\%$).

Більш високий вміст вуглецю призводить до утворення значних кількостей цементиту вторинного, що надає шару підвищену крихкість.

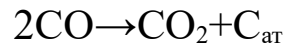
На практиці застосовують цементацію у твердому й газовому карбюризаторі (навуглецьованому середовищі).

Ділянки деталей, які не піддаються цементації, попередньо покриваються міддю (електролітичним засобом) або глиняною сумішшю.

Цементація у твердому карбюризаторі

Майже готові вироби, із припуском під шліфування, укладають у металеві ящики й пересипають твердим карбюризатором. Використовується деревне вугілля з добавками вуглекислих солей $BaCO_3$, Na_2CO_3 у кількості 10...40...40 %. Закриті ящики укладають у піч і витримують при температурі 930...950 °С.

За рахунок кисню повітря відбувається неповне згоряння вугілля з утворенням окису вуглецю (С), що розкладається з утворенням атомарного вуглецю за реакцією:



Утворені атоми вуглецю адсорбуються поверхнею виробів і дифундують углиб металу.

Недоліками даного способу є:

- значні витрати часу (для цементації на глибину 0,1 мм витрачається 1 година);
- низька продуктивність процесу;
- громіздке встаткування;
- складність автоматизації процесу.

Спосіб застосовується в дрібносерійному виробництві.

Газова цементація

Процес здійснюється в печах з герметичною камерою, наповненою газовим карбюризатором.

Атмосфера вуглецевмісних газів включає азот, водень, водяні

пари, які утворюють газ-носій, а також окис вуглецю, метан й інші вуглеводні, які є активними газами.

Глибина цементації визначається температурою нагрівання й часом витримки.

Переваги способу:

- можливість одержання заданої концентрації вуглецю в шарі (можна регулювати вміст вуглецю, змінюючи співвідношення складових газу);
- скорочення тривалості процесу за рахунок спрощення наступної термічної обробки;
- можливість повної механізації й автоматизації процесу.

Спосіб застосовується в серійному й масовому виробництві.

Структуру цементованого шару подано на рисунку 10.1.

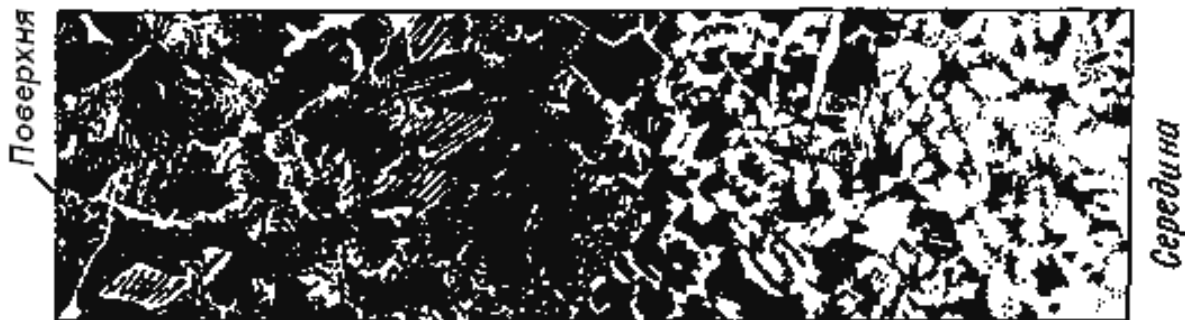


Рисунок 10.1 - Структура цементованого шару

На поверхні виробу утвориться шар заевтектоїдної сталі, що складається з перліту й цементиту. У міру видалення від поверхні, вміст вуглецю знижується й наступна зона складається тільки з перліту. Потім з'являються зерна фериту, їхня кількість, у міру видалення від поверхні збільшується. І, нарешті, структура стає відповідною вихідному складу.

У результаті цементації досягається тільки необхідний розподіл вуглецю по перерізу. Остаточну формує властивості цементованої деталі наступна термообробка. Всі вироби піддають загартовуванню з низьким відпуском. Після загартовування цементований виріб набуває високої твердості і зносостійкості, підвищується межа

контактної витривалості й границя витривалості при вигині, при збереженні в'язкої серцевини.

Комплекс термічної обробки залежить від матеріалу й призначення виробу.

Цементациї піддають зубчасті колеса, поршневі кільця, черв'яки, осі, ролики.

Азотування – хіміко-термічна обробка, при якій поверхневі шари насичуються азотом.

При азотуванні збільшуються не тільки твердість і зносостійкість, але також підвищується корозійна стійкість.

При азотуванні виробу завантажують у герметичні печі, куди надходить аміак NH_3 з певною швидкістю. При нагріванні аміак дисоціює за реакцією: $2NH_3 > 2N + 3H_2$. Атомарний азот поглинається поверхнею й дифундує вглиб виробу.

Фази, що виходять в азотованому шарі вуглецевих сталей, не забезпечують високої твердості, і шар, що утвориться, крихкий.

Для азотування використовують сталі, що містять алюміній, молібден, хром, титан. Нітриди цих елементів дисперсні й мають високу твердість і термічну стійкість.

Типові азотуючі сталі: *38ХМЮА, 35ХМЮА, 30ХТ2НЗЮ.*

Глибина й поверхнева твердість азотованого шару залежать від ряду факторів, з яких основні: температура азотування, тривалість азотування й склад азотуючої сталі.

Залежно від умов роботи деталей розрізняють азотування:

- для підвищення поверхневої твердості й зносостійкості;
- для поліпшення корозійної стійкості (антикорозійне азотування).

Антикорозійне азотування проводять і для легованих, і для вуглецевих сталей. Температура проведення азотування – 650... 700 °С, тривалість процесу – 10 годин.

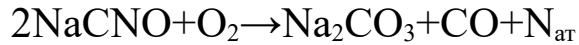
Азотування проводять на готових виробках, що пройшли остаточну механічну й термічну обробку (гартування з високим відпуском).

Після азотування в серцевині виробу зберігається структура сорбіту, що забезпечує підвищену міцність і в'язкість.

Ціанування – хіміко-термічна обробка, при якій поверхня

насичується одночасно вуглецем й азотом.

Здійснюється у ваннах з розплавленими ціанистими солями, наприклад $NaCN$ з добавками солей $NaCl$, $BaCl$ й ін. При окислюванні ціанистого натрію утворюється атомарний азот й окис вуглецю:



Глибина шару й концентрація в ньому вуглецю й азоту залежать від температури процесу і його тривалості.

Ціанований шар має високу твердість 58...62...62 HRC і добре опирається зношуванню. Підвищуються втомна міцність і корозійна стійкість.

Тривалість процесу 0,5...2 години.

Основним недоліком ціанування є отруйність ціанистих солей.

Нітроцементация – газове ціанування, здійснюється в газових сумішах із цементуючого газу і дисоційованого аміаку.

Склад газу, температура процесу визначають співвідношення вуглецю й азоту в ціанованому шарі. Глибина шару залежить від температури й тривалості витримки.

Високотемпературна нітроцементация проводиться при температурі 830...950 °C, для машинобудівних деталей з вуглецевих і швидколегованих сталей при підвищеному вмісті аміаку. Завершальною термічною обробкою є гартування з низьким відпуском. Твердість досягає 56...62...62 HRC

На ВАЗі 95 % деталей піддаються нітроцементации.

Низькотемпературній нітроцементации піддають інструмент з швидкорізальної сталі після термічної обробки (гартування й відпуску). Процес проводять при температурі 530...570 °C, протягом 1,5...3 годин. Утворюється поверхневий шар товщиною 0,02...0,004 мм з твердістю 900...1200 HV.

Нітроцементация характеризується безпекою в роботі, низькою вартістю.

Дифузійна металізація — дифузійне насичення поверхневих шарів переважно сталевих виробів різними металами (алюмінієм, хромом) і металоїдами (кремній, бор) при високій температурі. Дифузійна металізація зумовлює підвищення корозійної тривкості, жаро- і зносостійкості.

Дифузійне насичення виробів алюмінієм з метою підвищення жаростійкості називають **алітуванням**. Алітують сталі з 0,1...0,2 % С. За наявності кисню на поверхні алітованого виробу формується щільна плівка оксиду алюмінію Al_2O_3 , яка захищає виріб від взаємодії із середовищем до температури 900 °С.

Хромування — дифузійне насичення хромом поверхонь переважно сталевих виробів з метою підвищення до 800 °С жаростійкості, корозійної тривкості (у воді, морській воді та азотній кислоті) та поверхневої твердості. Глибина дифузійного шару 0,2...0,25 мм. Підвищенню поверхневої твердості до 1200...1300 НV сприяє вуглець у сталі в кількості понад 0,3 %, який утворює карбіди заліза і хрому.

Хромують вироби, що працюють в агресивних середовищах в умовах спрацювання.

Силіціювання — насичення сталі кремнієм. При цьому підвищується корозійна стійкість виробів, однак цей вид хіміко-термічної обробки не отримав широкого використання в техніці.

2 Термомеханічна обробка сталі

Одним з технологічних процесів зміцнювальної обробки є *термомеханічна обробка (ТМО)*.

Термомеханічна обробка належить до комбінованих способів зміни будови й властивостей матеріалів.

При термомеханічній обробці використовується пластична деформація й термічна обробка (гартування попередньо деформованої сталі в аустенітному стані).

Перевагою термомеханічної обробки є те, що при істотному збільшенні міцності характеристики пластичності знижуються незначно, а ударна в'язкість вище в 1,5...2 рази в порівнянні з ударною в'язкістю для тієї ж сталі після гартування з низьким відпуском.

Залежно від температури, при якій проводять деформацію, розрізняють високотемпературну термомеханічну обробку (ВТМО) і

низькотемпературну термомеханічну обробку (НТМО).

Підвищення міцності при термомеханічній обробці пояснюють тим, що в результаті деформації аустеніту відбувається дроблення його зерен (блоків). Розміри блоків зменшуються у два - чотири рази в порівнянні зі звичайним гартуванням. Також збільшується щільність дислокацій. При наступному гартуванні такого аустеніту утворюються більш дрібні пластинки мартенситу, знижуються напруги.

Термомеханічну обробку застосовують і для інших сплавів.

3 Зміцнення методом пластичної деформації (ППД)

Основне призначення методів механічного зміцнення поверхні - підвищення втомної міцності.

Методи механічного зміцнення - наклепування поверхневого шару на глибину 0,2...0,4 мм.

Різновидами є дробоструминна обробка й обробка роликками.

Дробеструминна обробка – обробка дробом поверхні готових деталей.

Здійснюється за допомогою спеціальних дробоструминних установок, що викидають сталевий або чавунний дріб на поверхню оброблюваних деталей. Діаметр дробу - 0,2...4 мм. Удари дробу викликають пластичну деформацію на глибину 0,2...0,4 мм.

Застосовують для зміцнення деталей у канавках, на виступах. Піддають вироби типу пружин, ресор, ланки ланцюгів, гусениць, гільзи, поршні, зубчасті колеса.

При *обробці роликками* деформація здійснюється тиском ролика із твердого металу на поверхню оброблюваного виробу.

При зусиллях на ролик, що перевищують границю текучості оброблюваного матеріалу, відбувається наклеп на потрібну глибину. Обробка поліпшує мікрогеометрію. Створення залишкових напруг стиску підвищує межу втоми й довговічність виробу.

Обкатування роликками застосовується при обробці шийок валів, дроту, при калібруванні труб, прутків.

Не потрібне спеціальне встаткування, можна використовувати токарські або стругальні верстати.

В таблиці 10.1 наведені дані для сталі 38ХС після поліпшення для двох варіантів: з використанням ППД і без ППД.

Таблиця 10.1 – Порівняльні характеристики міцності з використанням ППД і без ППД

σ_b , МПа	σ_{-1} , МПа	
	без ППД	після ППД
1100	560	680
1500	640	800

Лекція 11
КОНСТРУКЦІЙНІ ЛЕГОВАНІ СТАЛІ

- 1 Конструкційні леговані сталі
- 2 Класифікація легованих сталей
- 3 Спеціальні сталі
- 4 Сплави на основі міді і алюмінію

1 Конструкційні леговані сталі

До конструкційних сталей, застосовуваних для виготовлення різноманітних деталей машин, висувають такі вимоги:

- сполучення високої міцності й достатньої в'язкості;
- гарні технологічні властивості;
- економічність;
- не дефіцитність.

Висока конструкційна міцність сталі досягається шляхом раціонального вибору хімічного складу, режимів термічної обробки, методів поверхневого зміцнення, поліпшенням металургійної якості. Металургійна якість впливає на конструкційну міцність. Чиста сталь при тих самих властивостях міцності має підвищені характеристики надійності.

Вирішальна роль у складі конструкційних сталей приділяється вуглецю. Він збільшує міцність сталі, але знижує пластичність і в'язкість, підвищує поріг холодноламкості. Тому його вміст регламентований і рідко перевищує 0,6 %.

Елементи, які вводять спеціально в сталь у певних концентраціях з метою зміни її будови й властивостей, називаються *легуючими елементами*, а сталі – *легованими*.

Вплив на конструкційну міцність мають легуючі елементи. Склад легованих елементів може змінюватися в дуже широких межах: хром або нікель – 1 % і більше; ванадій, молібден, титан, ніобій - 0,1...0,5 %; також кремній і марганець - більше 1 %. При вмісті легуючих елементів до 0,1 % - мікролегування.

Підвищення конструкційної міцності при легуванні пов'язане із забезпеченням високого прокалювання, зменшенням критичної швидкості загартовування, здрібнюванням зерна.

Застосування зміцнювальної термічної обробки поліпшує комплекс механічних властивостей.

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

Легуючі елементи підвищують вартість сталі, тому їхнє використання має бути строго обґрунтовано.

Переваги легованих сталей:

- особливості виявляються в термічно обробленому стані, тому виготовляються деталі, що піддають термічній обробці;
- поліпшені леговані сталі виявляють більш високі показники опору пластичним деформаціям (σ_T);
- легуючі елементи стабілізують аустеніт, тому прокалюваність легованих сталей вище;
- можливе використання більш «м'яких» охолоджувачів (знижується брак через гартівні тріщини і жолоблення), оскільки гальмується розпад аустеніту;
- підвищуються запас в'язкості й опір холодноламкості, що сприяє підвищенню надійності деталей машин.

Недоліки:

- піддаються оборотній відпускній крихкості II роду;
- у високолегованих сталях після загартовування залишається аустеніт залишковий, який знижує твердість й опірність втоми, тому потрібна додаткова обробка;
- схильні до дендритної ліквіації, тому що швидкість дифузії легуючих елементів у залізі мала.
- схильні до утворення флокенів.

Флокени - світлі плями в зламі в поперечному перерізі - дрібні тріщини з різною орієнтацією. Причина їхньої появи - виділення водню, розчиненого в сталі.

При швидкому охолодженні від 200 °С водень залишається в сталі, виділяючись із твердого розчину, викликає великий внутрішній

тиск, що приводить до утворення флокенів.

Міри боротьби: зменшення вмісту водню при виплавці й зниження швидкості охолодження в інтервалі флокеноутворенні.

2 Класифікація легованих сталей

Сталі класифікуються за декількома ознаками.

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

- перлітний;
- мартенситний;
- аустенітний.

Сталі перлітного класу характеризуються малим вмістом легуючих елементів; мартенситного - більше значним вмістом; аустенітного - високим вмістом легуючих елементів.

Класифікація пов'язана з кінетикою розпаду аустеніту. Діаграми ізотермічного розпаду аустеніту для сталей різних класів подані на рисунку 11.1.

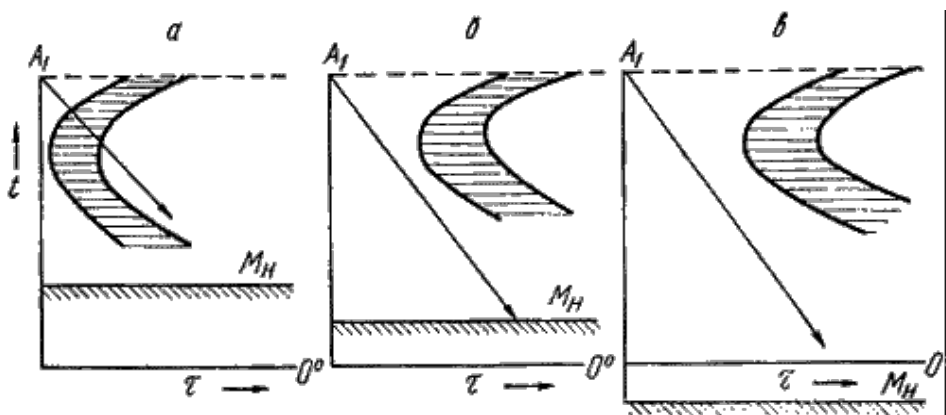


Рисунок 11.1 - Діаграми ізотермічного розпаду аустеніту для сталей перлітного (а), мартенситного (б) і аустенітного (в) класів

У міру збільшення вмісту легуючих елементів стійкість аустеніту в перлітній області зростає, а температурна область мартенситного

перетворення знижується.

2 За ступенем легування (за вмістом легуючих елементів):

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

3 За числом легуючих елементів:

- трикомпонентні (залізо, вуглець, легуючий елемент);
- чотирикомпонентні (залізо, вуглець, два легуючі елементи) і т.д.

4 За складом: нікелеві, хромисті, хромонікелеві, хромонікель-молібденові і т. д. (ознака - наявність тих або інших легуючих елементів).

5 За призначенням:

- конструкційні;
- інструментальні (різальні, мірні, штампові);
- сталі й сплави з особливими властивостями (різко виражені властивості - нержавіючі, жароміцні й термостійкі, зносостійкі, з особливими магнітними й електричними властивостями).

Якісні й високоякісні леговані сталі

Позначення буквено-цифрове. Легуючі елементи мають умовні позначення. Позначаються буквами російського алфавіту.

Позначення легуючих елементів:

Х - хром, Н - нікель, М - молібден, В - вольфрам,
К - кобальт, Т - титан, А - азот (вказується в середині марки),
Г - марганець, Д - мідь, Ф - ванадій, С - кремній,
П - фосфор, Р - бор, Б - ніобій, Ц - цирконій,
Ю - алюміній

Однак є такі букви, які мають подвійне значення – наприклад: буква А, коли ставиться перед маркою, означає, що це автоматна сталь (А12), а після марки (У7А) – що сталь високоякісна. Буква Ш, коли ставиться першою, то це шарикопідшипникова сталь (ШХ6), а

коли наприкінці, то це електрошлаковий переплав.

Буква С – у чорних металах вказує на вміст кремнію, а у кольорових - на вміст інших елементів.

Леговані конструкційні сталі

Сталь 15Х25Н19ВС2.

На початку марки вказується двозначне число, що показує вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Далі перелічуються легуючі елементи. Число за умовною позначкою елемента показує його вміст у відсотках.

Якщо число не стоїть, то вміст елемента не перевищує 1,5 %.

У зазначеній марці сталі міститься 0,15 % вуглецю, 35 % хрому, 19 % нікелю, до 1,5 % вольфраму, до 2 % кремнію.

Для позначення високоякісних легованих сталей в кінці марки вказується символ А.

З таких сталей виготовляють дуже навантажені деталі машин, які працюють при ударних та знакозмінних навантаженнях та в умовах інтенсивного зносу.

12ХНЗА – виготовляють шестерні тягових зубчастих передач тепловозів та електровозів.

45ХН – вінці тягових зубчастих передач локомотивів.

Леговані інструментальні сталі

Інструментальні леговані сталі класифікуються за двома ознаками:

- за хімічним складом;
- призначенням.

За хімічним складом поділяються:

- на вуглецеві;
- леговані;
- високолеговані.

За призначенням поділяються:

- на сталі для різального і мірного інструменту;
- сталі для штампового інструменту.

Основні вимоги, які ставляться до різальних інструментів, – це *зносостійкість і теплостійкість*.

Це сталі підвищеної прогартовуваності, вміщують до 5 % легуючих елементів.

Сталь Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ, ХВЧ і інші.

На початку марки вказується однозначне число, що показує вміст вуглецю в десятих частках відсотка. При вмісті вуглецю більше 1 % число не вказується, далі перелічуються легуючі елементи із вказуванням їх вмісту.

Деякі сталі мають нестандартні позначення.

Такі сталі гартуються в маслі, і інструмент, як правило, прогартовується наскрізь. Гартування і низький відпуск формують у легованих інструментальних сталях структуру відпущеного мартенситу з карбідами, що забезпечує твердість НРС 62-69 і високу зносостійкість. Такі сталі використовують для інструментів, що в процесі роботи нагріваються до температури не вище 250...300 °С. На відміну від вуглецевих сталей, з таких сталей виготовляють інструмент більших розмірів і більш складної форми. Виготовляють свердла, різці, протяжки.

Швидкорізальні інструментальні сталі

Сталь Р18.

Р - індекс даної групи сталей (від rapid - швидкість). Вміст вуглецю більше 1 %. Число показує вміст основного легуючого елемента - вольфраму.

У зазначеній сталі вміст вольфраму – 18 %.

Якщо сталі містять легуючий елемент, то його вміст вказується після позначення відповідного елемента.

Ці сталі призначені для виготовлення різального інструменту, що працює при великих швидкостях різання. Головна їх перевага – це висока теплостійкість, що забезпечується легуванням вольфрамом, хромом, ванадієм, а також кобальтом. Інструмент із швидкорізальної сталі (сталь Р9, Р12, Р6М5, Р6М5К5 і інші) піддають гартуванню і відпуску. Особливість гартування швидкорізальної сталі – висока температура нагрівання (1250...1280 °С),

необхідна для забезпечення теплостійкості, яка досягається отриманням після гартування високолегованого мартенситу внаслідок переходу у твердий розчин спеціальних карбідів.

Після гартування не досягається максимальна твердість, так як в структурі, крім мартенситу і карбідів, є ще 30...40 % залишкового аустеніту, який має знижену твердість. Щоб усунути залишковий аустеніт і тим самим підвищити твердість, проводять дво- або трикратний відпуск при температурі $\sim 550^{\circ}\text{C}$. після кінцевої термічної обробки структура складається з відпущеного мартенситу і карбідів. Швидкорізальні сталі поділяються на дві групи: нормальні і підвищеної продуктивності.

Нормальні швидкорізальні сталі (сталь Р9, Р12, Р6М5) зберігають високу твердість ($\text{HRC} > 58$) до 620°C , а сталі підвищеної продуктивності (сталь Р6М5К5, Р12Ф3 і інші) зберігають високу твердість ($\text{HRC} > 64$) до 640°C .

Для підвищення стійкості інструменту із швидкорізальної сталі використовують азотування, низькотемпературне ціанування, напilenня нітридом титану.

Шарикопідшипникові сталі

Сталь ШХ6, сталь ШХ15ГС

Ш – індекс даної групи сталей. Х – указує на наявність у сталі хрому. Наступне число показує вміст хрому в десятих частках відсотка, у зазначених сталях відповідно 0,6 % і 1,5 %. Також указуються сталі, до складу яких входять легуючі елементи. Вміст вуглецю більше 1 %.

Шарикопідшипникові сталі повинні мати велику твердість, тому вони вміщують підвищену кількість вуглецю. Для того щоб можна було використовувати масло для гартування сталі і тим самим зменшити внутрішні напруження, що виникають при гартуванні, сталь легують хромом. Чим більше хрому, тим більше величина критичного діаметра. В сталі ШХ6 критичний діаметр дорівнює 10 мм, у сталі ШХ9 – 15 мм, у сталі ШХ15 – 25 мм, у сталі ШХ15ГС – 65 мм. Режим термічної обробки складається з гартування і низького відпуску. Структура – мартенсит відпуску.

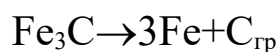
3 Спеціальні сталі

До цієї групи належать сплави, у яких переважають такі властивості, як корозійна стійкість, жароміцність, жаростійкість, зносостійкість, особливі електричні властивості тощо.

Зносостійкі сталі. Високомарганцева лита сталь 110Г13Л (сталь Гадфільда). У цій сталі невелика твердість 180...200 НВ, однак в умовах тертя вона має великий опір зносу. З неї виготовляють хрестовини стрілочних переводів, зубці та передні стінки ковша екскаватора, деталі каменедробарок, траки гусениць на танках і тракторах, хрестовини залізничних стрілок.

Особливістю цієї сталі є те, що аустеніт – це пластична структура, яка добре піддається наклепу.

До зносостійких сталей належить графітізована сталь, яка містить $C=1,5-1,75$ і $Si\sim 1$ %. Кремній сприяє графітізації



Таким чином, певним режимом термічної обробки можна отримати структуру, що складається із сталеві основи і графіту. Графітізована сталь використовується для колінчастих валів, штампів холодного деформування, калібрів тощо.

Нержавіючі сталі. Це сталі з високим опором хімічному та електрохімічному руйнуванню в атмосферних умовах (у морській воді, розчинах солей, кислот та лугів). Основним легуючим елементом усіх марок нержавіючої сталі є хром, не менше ніж 13 %.

Принцип легування нержавіючих сталей полягає в утворенні на поверхні щільної окисної плівки, що затримує проникнення кисню вглиб металу. Така плівка утворюється в сталях, що вміщують більш 12 % хрому.

Нержавіючі сталі за структурою поділяються:

- на феритні (сталь 08X13);
- мартенситні (сталь 40X13, 40X9C2);
- аустенітні (сталь 12X18Н9).

Існують хромисті і хромонікелеві сталі. Хромисті сталі містять 15, 17 і 25 % хрому.

Хромові сталі належать до аустенітного класу. Легування

достатньою кількістю нікелю сприяє отриманню в сталі аустенітної структури, що забезпечує підвищення механічних властивостей і більш високу корозійну стійкість у порівнянні з феритною структурою.

20X13 – для виготовлення лопаток парових турбін;

30X13 – для різального та хірургічного інструменту.

Жаростійкі сталі. Ці сталі спроможні чинити опір газовій корозії вище 550 °С і працюють у ненавантаженому або слабонавантаженому стані.

Для підвищення жаростійкості сталі легують хромом, алюмінієм або кремнієм, які утворюють на поверхні тонку і щільну плівку.

40X9C2, 40X10C2 – застосовують для клапанів, вони мають назву – *сильхром*.

Жароміцні сталі. Не втрачають своїх механічних властивостей при високих температурах (чинять опір окисленню).

Одним з шляхів підвищення жароміцності є легування сталі елементами, що уповільнюють дифузію і підвищують температуру рекристалізації. До таких елементів належать хром, молібден, ванадій. Інший спосіб підвищення жароміцності полягає в утворенні за рахунок легування і термічної обробки оптимальної структури, що менш здатна до зміни при високих температурах.

При температурі до 300 °С використовують звичайні конструкційні матеріали, в діапазоні 300...750 °С – жароміцні сталі перлітного класу (сталь 15X1M1Ф, 20X3MФ).

При робочих температурах 570...800 °С використовують сталі аустенітного класу (12X18H10, 40X14H14B2M).

При температурах вище 800 °С використовують сплави на нікелевій основі (німонік).

40X10C2M, 12X18H10T – деталі вихлопних систем. Максимальна робоча температура 650 °С.

Високоміцні сталі – це сталі, які вміщують мало вуглецю (0,012 %) і багато легуючих елементів (особливо Ni або Ni і Cr).

Це – мартенситостаріючі сталі (H18K9M5T).

Термічна обробка полягає в гартуванні і старінні при $t \sim 550^\circ\text{C}$. При старінні відбувається виділення з мартенситу, який у цьому випадку являє собою перенасичений твердий розчин легуючих елементів у Fe_α , надлишкових фаз у вигляді дрібнодисперсних інтерметалідів NiTi , NiAl .

До сталей з особливими електричними властивостями належать магнітні сталі і сталі з високим електричним опором. Бувають магнітотверді, магнітом'які та парамагнітні сталі.

Магнітотверді сталі і сплави використовують для виготовлення постійних магнітів. Від них вимагають високих значень коерцитивної сили та залишкової індукції, а також їх стабільності у часі. Для невеликих магнітів використовують вуглецеві сталі У10, У12, для магнітів більших розмірів — сталі ЕХЗ, в яких буква "Е" показує, що сталь магнітотверда, букви й числа — назву і вміст легуючого елемента. Вміст вуглецю в них становить 0,9... 1,0 %.

Магнітом'які матеріали, навпаки, повинні мати низьку коерцитивну силу, високу магнітну проникність, малі втрати на перемагнічування. З них виготовляють якорі та полюси електротехнічних машин, магнітопроводи силових трансформаторів, статори і ротори електродвигунів тощо.

Подане вище маркування прийняте тільки у державах СНД. У європейських державах маркування інше, згідно з міжнародними стандартами, наприклад:

$\frac{38\text{XМЮА}}{38\text{CrMoAlA}}$ – міжнародне позначення , або

$\frac{5\text{XНМ}}{5\text{CrNiMo}}$ – міжнародне позначення

Тверді металокерамічні сплави. Отримують шляхом пресування і спікання у вакуумі або в атмосфері водню карбиду вольфраму, карбиду титану, карбиду танталу з кобальтом при температурі 1500...2000 °С. Тверді сплави мають високу твердість і теплостійкість, що дозволяє підвищити швидкість різання в 2... 4 рази в порівнянні з швидкорізальними сталями. Але ці сплави крихкі, тому їх найчастіше використовують у вигляді пластин для

оснащення різальних інструментів (токарні та стругальні різці, зенкери і розвертки, фрези, а також інколи свердла та мітчики). В інструментальному виробництві застосовують вольфрамові (ВК), титановольфрамові (ТК) і титанотанталовольфрамові (ТТК) тверді сплави.

4 Сплави на основі міді і алюмінію

Проста мідь не використовується як конструкційний матеріал. Мідь легують елементами, внаслідок чого отримуємо сплави, які можна поділити на дві групи: латуні і бронзи.

Латунями називають сплави, які легують, головним чином, цинком. Зі збільшенням кількості цинку підвищується міцність і пластичність, а коли $Zn > 40\%$, знижується міцність і пластичність. Тому використовують латуні, що містять не більше 39-40 % Zn.

Бронзи – це сплави міді з різними елементами, але цинк не є основною домішкою.

Всі бронзи поділяють на деформівні і ливарні.

Деформівні сплави містять менше легуючих елементів. Вони забезпечують високу пластичність і оброблюваність тиском у гарячому і холодному стані.

Алюмінієві сплави поділяються на три групи: деформівні, ливарні, спечені.

До першої групи належать сплави, що містять невелику кількість марганцю і магнію. Ці сплави відрізняються високою корозійною стійкістю, мають задовільну пластичність, можуть добре зварюватися.

Зміцнювати їх можна тільки шляхом наклепу.

Деформівний сплав, що підлягає термічній обробці, називають **дюралюміном**. Дюралюміні мають високу питому міцність, високу тепло- і електропровідність, добре деформуються у холодному і гарячому стані, добре оброблюються різанням. Ці властивості забезпечують широке застосування дюралюмінів в авіаційній, автомобільній промисловості.

До складу дуралюмінів, крім алюмінію, входять мідь (2,2...5 %), магній, марганець.

Зміцнювальна термічна обробка дуралюмінів – це гартування з наступним старінням.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Лахтин, Ю.М. Материаловедение [Текст]: учебник для высших

технических учебных заведений / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.

2 Гуляев, А.П. Металловедение [Текст]: учебник для вузов / А.П. Гуляев. - 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.

3 Материаловедение [Текст]: учебник для высших технических учебных заведений / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др.; под. общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.

4 Материаловедение [Текст]: учебник для вузов / под ред. Б.Н. Арзамасова 2-е изд., испр. и доп. М.: Машиностроение, 1986. 384 с.

5 Марочник сталей и сплавов [Текст]: под ред. В.Г. Сорокина - М.: Машиностроение, 1989. - 640 с.