

Основні види термічного оброблення

Основними видами термічного оброблення, що по різному змінюють структуру та властивості сталі, і назначаються в залежності від вимог, які пред'являються до напівфабрикатів (виливки, виковки, прокат тощо) та готовим виробам, є відпал, нормалізація, гартування та відпуск.

1. Відпал I роду

Відпал I роду в залежності від вихідного стану сталі та температури його виконання може включати процеси гомогенізації, рекристалізації і зняття залишкових напружень. Характерна особливість цього виду відпалу в тому, що вказані процеси відбуваються незалежно від того, чи протікають в сплавах при цьому обробленні фазові перетворення чи ні. Тому відпал I роду можна проводити при температурах вище або нижче температур фазових перетворень.

Цей вид оброблення в залежності від температурних умов його виконання зменшує в деякій мірі хімічну та фізичну неоднорідність, яка утворена попередніми обробками.

Гомогенізація (дифузійний відпал). Дифузійний відпал застосовують для злитків легованої сталі з метою зменшення дендритної або внутрішньокристалітної ліквациї, яка підвищує схильність сталі, що оброблюється тиском, до крихкого залому, до анізотропії властивостей і виникнення таких дефектів, як шиферність (шаруватий залом) та флокени (тонкі внутрішні тріщини, що спостерігаються в заломі у вигляді білих овальних плям). Дифузійний відпал сприяє більш сприятливому розподіленню деяких неметалічних включень внаслідок часткового розчинення і коагуляції.

Рекристалізаційний відпал. Під рекристалізаційним відпалом розуміють нагрівання холоднодеформованої сталі вище температури рекристалізації, витримку при цій температурі з наступним охолодженням. Мета відпалу – усунення наклепу і підвищення пластичності. Цей вид відпалу застосовують перед холодною обробкою тиском та як проміжну операцію для зняття наклепу

між операціями холодного деформування. В деяких випадках рекристалізаційний відпал використовують і в якості остаточного термічного оброблення. Температура рекристалізаційного відпалу сталі залежить від її складу і найчастіше знаходиться в інтервалі 650 – 760 °С.

Відпал для зняття залишкових напружень. Цей вид відпалу застосовують для виливків, зварних виробів, деталей після обробки різанням та ін., в яких у процесі попередніх технологічних операцій з-за нерівномірного охолодження, неоднорідної пластичної деформації тощо, виникли залишкові напруження.

Залишкові напруження можуть викликати зміну розмірів, жолоблення і підведення виробів у процесі обробки (наприклад, різанням), експлуатації або зберігання. Відпал сталених виробів для зняття напружень проводять при 160 – 700 °С з послідовним повільним охолодженням.

2. Відпал II роду (фазова перекристалізація)

Відпал II роду заключається у нагріванні сталі до температур вище точок A_{c3} або A_{c1} , витримці і наступному, як правило, повільному охолодженні, в результаті якого протікаючи фазові перетворення наближають сталь до практично рівноважного структурного стану; ферит + перліт у доевтектоїдних сталях; перліт в евтектоїдній сталі, перліт + вторинний цементит в заевтектоїдних сталях. Після відпалу сталь має низьку твердість і міцність при достатній пластичності. Фазова перекристалізація, що відбувається при відпалі, подрібнює зерно і усуває рядковість, яка утворюється при закінченні гарячого деформування нижче A_3 , відманштеттову та інші несприятливі (з точки зору рівня механічних властивостей) структури сталі.

Розрізняють наступні види відпалу: повний, ізотермічний, неповний, сфероїдизуючий та низький.

Повний відпал полягає в нагріванні доевтектоїдної сталі на 30 – 50 °С вище температури, що відповідає точці A_{c3} , витримці при цій температурі для повного прогріву та завершення фазових перетворень в об'ємі металу і наступному охолодженні (рис. 1). При цьому відпалі відбувається повна фазова перекристалізація сталі.

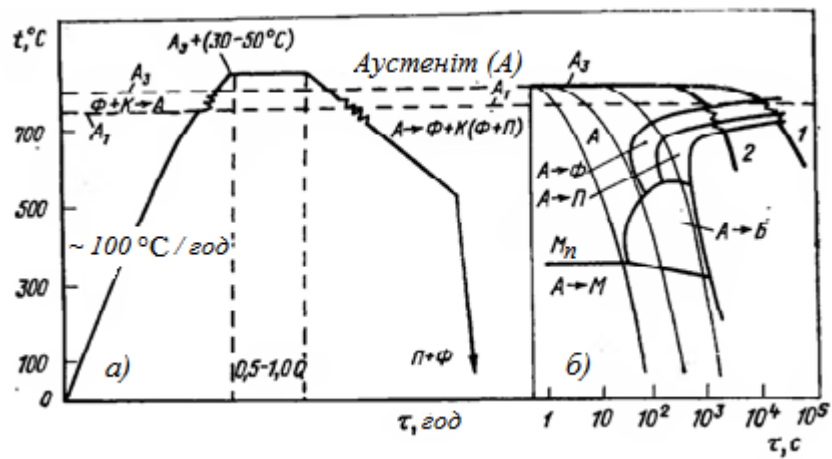


Рис. 1 – Схема відпалу доевтектоїдної сталі: (а) – схема відпалу; (б) – термкінетична діаграма перетворення переохолодженого аустеніту з вказаною швидкістю охолодження при відпалі (1) і нормалізації (2)

При нагріванні вище точки A_{c3} на 30 – 50 °С утворюється аустеніт, що характеризується дрібним зерном, тому при переохолодженні виникає дрібнозерниста структура, яка забезпечує високу в'язкість і пластичність та можливість отримання високих властивостей після кінцевого термічного оброблення (рис. 2).

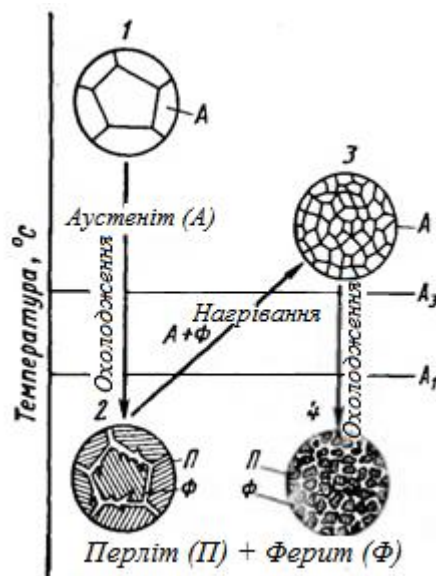


Рис. 2 – Зміна розміру зерна при фазовій перекристалізації доевтектоїдної сталі: 1 – при нагріванні до високих температур зерно крупне; 2 – після охолодження його розмір зберігається; 3 – повторне нагрівання трохи вище A_{c3} дозволяє подрібнити зерно аустеніту; 4 – збереження розміру зерна після охолодження

Надмірне підвищення температури нагрівання вище точки A_{c3} викликає зростання зерна аустеніту, що погіршує властивості сталі.

Повільне охолодження повинне забезпечити розпад аустеніту при малих ступенях переохолодження (рис. 1, б), щоб уникнути утворення надмірної дисперсної ферито-карбідної структури і властивій їй більш високої твердості.

Повному відпалу піддають сортовий прокат, поковки і фасонні виливки.

Ізотермічний відпал (рис. 3). В цьому випадку сталь, зазвичай леговану, нагрівають до точки $A_{c3} + (50 - 70 \text{ }^{\circ}\text{C})$ і порівняно швидко охолоджують до температури, що лежить нижче A_1 на $100 - 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$, в залежності від характеру кривої ізотермічного розпаду аустеніту. При цій температурі призначають ізотермічну витримку, необхідну для повного розпаду аустеніту, після чого проводять охолодження на повітрі.

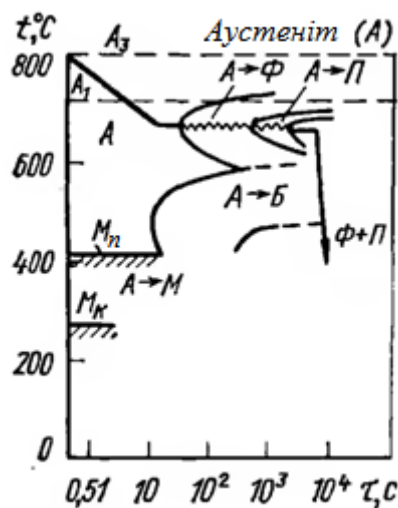


Рис. 3 – Діаграма ізотермічного відпалу легированої доєвтектоїдної сталі

Перевагами ізотермічного відпалу є зменшення тривалості процесу, особливо для легованих сталей, які треба дуже повільно охолоджувати для потрібного зниження твердості, а також отримання більш однорідної структури, так як при ізотермічній витримці температура за перерізом виробу вирівнюється і перетворення по всьому об'єму сталі відбувається при однаковому ступені переохолодження.

Після відпалу при температурі до 930 – 950 °C збільшується зерно аустеніту, покращується оброблюваність різанням і підвищується чистота поверхні.

Неповний відпал. Неповний відпал відрізняється тим, що сталь нагрівають до більш низької температури (не набагато вище точки A_{c1}). При неповному відпалі доєвтектоїдної сталі відбувається часткова перекристалізація сталі, а саме перехід перліту в аустеніт. Надмірний ферит лише частково перетворюється в аустеніт, тому значна його частина не піддається перекристалізації. Для доєвтектоїдної сталі неповний відпал застосовується лише тоді, коли відсутнє перегрівання, феритна рядковість, а потребується тільки зниження твердості. Заєвтектоїдні сталі піддають тільки неповному відпалу. В цих сталях нагрівання декілька вище точки A_{c1} (зазвичай на 10 – 30 °C) викликає практично повну перекристалізацію і дозволяє отримати зернисту структуру перліту замість пластинчатої. Такий відпал називають *сфероїдизацією*.

Відпал нормалізаційний (нормалізація). Нормалізація полягає в нагріванні доєвтектоїдної сталі до температури, що перевищує точку A_{c3} на 50 °C, а євтектоїдної сталі вище A_{cm} також на 50 °C, нетривалій витримці для прогрівання садки і завершення фазових перетворень і охолодженні на повітрі. Нормалізація викликає повну фазову перекристалізацію сталі і усуває крупнозернисту структуру, отриману при литті або прокатуванні, куванні або штампуванні.

Призначення нормалізації різне залежно від складу сталі. Для низьковуглецевих сталей нормалізацію застосовують замість відпалу. При підвищенні твердості нормалізація забезпечує більшу продуктивність при обробці різанням та отримання більш чистої поверхні. Для виливків з середньовуглецевої сталі нормалізацію або нормалізацію з високим відпуском застосовують замість гартування і високого відпуску. Механічні властивості будуть в цьому випадку трохи нижче, але вироби зазнають меншої деформації в

порівнянні з одержуваною при гартуванні, і ймовірність появи тріщин практично виключається.

Нормалізацію з подальшим високим відпуском ($600 - 650\text{ }^{\circ}\text{C}$) часто використовують для виправлення структури легованих сталей замість повного відпалу, так як продуктивність і трудомісткість цих двох операцій вище, ніж одного відпалу.

3. Гартування

Гартування – термічне оброблення, яке полягає в нагріванні сталі до температури вище критичної (A_{c3} для доєвтектоїдної і A_{c1} – для заєвтектоїдної сталей) або температури розчинення надлишкових фаз, витримці і наступному охолодженні зі швидкістю, що перевищує критичну (рис. 4). Гартування не є остаточною операцією термічного оброблення. Щоб зменшити крихкість і напруження, що викликані гартуванням, і отримати необхідні механічні властивості, сталь після гартування обов’язково піддають відпуску.

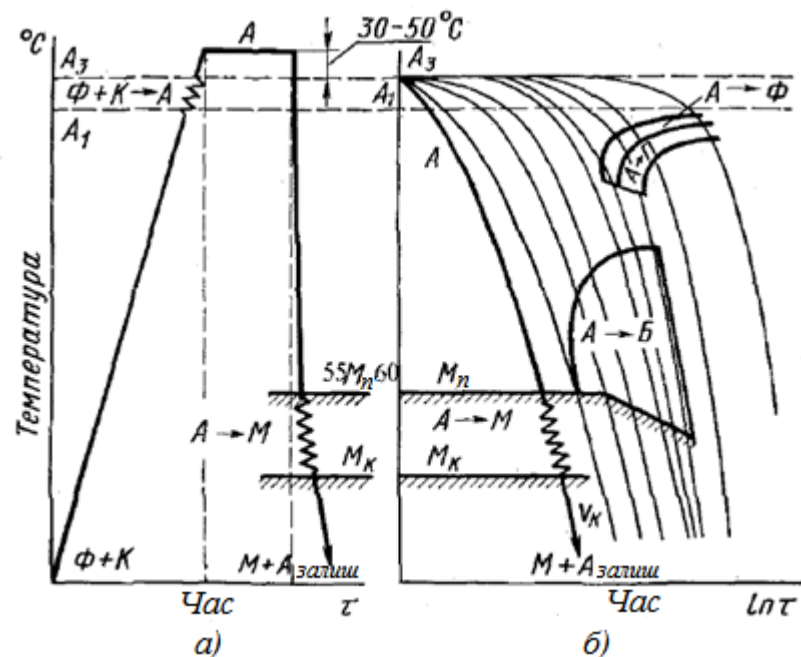


Рис. 4 – Схема гартування доєвтектоїдної сталі: а – графік гартування; б – термокінетична діаграма з вказаною швидкістю охолодження при гартуванні

Інструментальну сталь в основному піддають гартуванню і відпуску для підвищення твердості, зносостійкості і міцності, а конструкційну сталь – для підвищення міцності, твердості, отримання досить високої пластичності і в'язкості, а для ряду деталей також і високої зносостійкості.

Доевтектоїдні сталі нагрівають до температури на 30 – 50 °С вище точки A_{c3} . Заевтектоїдні сталі під гартування нагрівають декілька вище A_{c1} (рис. 5).

Для багатьох сталей температура нагрівання під гартування значно перевищує критичні точки A_{c1} і A_{c3} (на 150 – 250 °С), що необхідно для переводу в твердий розчин спеціальних карбідів і отримання необхідної легованості аустеніту.

Для запобігання виробів від окислення і знеуглецювання в робочий простір печі вводять захисну газову середу (контрольовані атмосфери). В якості таких середовищ застосовуються такі атмосфери: ендотермічна, екзотермічна (багата), екзотермічна (бідна), дисоційований аміак, технічний азот.

Переривчасте гартування. Виріб, що загартовується за цим способом, спочатку швидко охолоджують у воді до температури дещо вище точки M_n , а потім швидко переносять у менш інтенсивний охолоджувач (наприклад, в масло або на повітря), в якому він охолоджується до 20 °С.

Гартування з самовідпуском. У цьому випадку охолодження виробу в гартувальному середовищі переривають, з тим щоб в серцевині виробу збереглася ще деяка кількість теплоти.

Ступінчасте гартування. При виконанні гартування за цим способом сталь після нагрівання до температури гартування охолоджують у середовищі, що має температуру трохи вище точки M_n (зазвичай 180 – 250 °С), і витримують у ньому порівняно короткий час.

Ізотермічне гартування. Гартування за цим способом виконують в основному так само, як і ступінчасту, але в даному випадку передбачається більш тривала витримка вище точки M_n .

Для зменшення кількості залишкового аустеніту в загартованій сталі застосовують *обробку холодом*, яка полягає в охолодженні загартованої сталі до температур нижче нуля.

4. Відпуск

Відпуск полягає в нагріванні загартованої сталі до температур нижче A_{c1} у витримці при заданій температурі і наступному охолодженні з певною швидкістю. Відпуск є остаточною операцією термічного оброблення, в результаті якої сталь отримує необхідні механічні властивості. Крім того, відпуск повністю або частково усуває внутрішні напруження, що виникають при гартування. Ці напруження знімаються тим повніше, чим вище температура відпуску.

Найбільш інтенсивно напруження знижуються в результаті витримки при 550 °C протягом 15 – 30 хв. Після витримки протягом 1,5 год напруження знижуються до мінімальної величини, яка може бути досягнута відпуском при даній температурі.

Низькотемпературний (низький) відпуск проводять з нагріванням до 150 – 200 °C, рідше до 240 – 250 °C. При цьому знижуються внутрішні напруження, мартенсит гартування переходить у відпущений мартенсит, підвищується міцність і поліпшується в'язкість без помітного зниження твердості.

Середньотемпературний (середній) відпуск виконують при 350 – 500 °C і застосовують головним чином для пружин і ресор, а також для штампів. Такий відпуск забезпечує високі границю пружності, границю витривалості і релаксаційну стійкість.

Високотемпературний (високий) відпуск проводять при 500 – 680 °C. Структура сталі після високого відпуску – сорбіт відпуску. Високий відпуск створює найкраще співвідношення міцності і в'язкості сталі.

Гартування з високим відпуском в порівнянні з нормалізованим або відпаленим станом одночасно підвищує границі міцності та текучості, відносно

звуження, і особливо ударну в'язкість. Термічне оброблення, що складається з гартування та високого відпуску, називають *поліпшенням*.

Поліпшенню піддають середньовуглецеві (0,3 – 0,5% C) конструкційні сталі, до яких пред'являються високі вимоги до границі текучості, границі витривалості та ударної в'язкості. Однак зносостійкість поліпшеної сталі внаслідок її зниженої твердості не є високою. Поліпшення значно підвищує конструктивну міцність сталі, зменшуючи чутливість до концентраторів напружень, збільшуючи роботу пластичної деформації при русі тріщини і знижуючи температуру верхнього і нижнього порогу холодноломкості.

Відпуск при 550 – 600 °C протягом 1 – 2 год майже повністю знімає залишкові напруження, що виникли при гартуванні. Найчастіше тривалість високого відпуску становить 1,0 – 6 год в залежності від габаритних розмірів виробу.