

Основи термічної і хіміко-термічної обробки сталі

План

1. Перетворення при нагріванні та охолодженні сталі
2. Призначення і види термічної обробки сталі
3. Особливості термічної обробки легованих сталей і чавунів
4. Дефекти при термічній обробці.

Майстри ще задовго до нашого часу застосовували найрізноманітніші методи гартування: занурювали нагріту металеву смужку у вино, олію, в просту чи підсолону воду.

Згадується і такий спосіб: коваль нагрівав булатний кинджал, а потім сідав на коня і швидко мчався, охолоджуючи виріб у повітрі.

У першій половині XIX ст. твердий і крихкий чавун клали в закриту посудину, пересипали його шарами цукру. Після цього нагрівали посудину протягом 20 год і чавун перетворювався на м'яке і ковке залізо.

Колишні рецепти доповнюються новими, удосконаленими на основі наукових досліджень термічної обробки. Наприклад, бельгійські спеціалісти запропонували гартувати заготовки інструментів вакуумом.

Термічною обробкою називають сукупність операцій нагрівання, витримування і наступного охолодження заготовок або готових виробів за певними режимами для зміни їхньої структури і надання їм потрібних механічних, фізичних або хімічних властивостей. Основою термічної обробки сталей є структурні перетворення при нагріванні й охолодженні.

Щоб правильно зрозуміти всі видозміни термічної обробки, потрібно добре уявляти собі, які процеси відбуваються в сталі при нагріванні й охолодженні.

1. Перетворення при нагріванні та охолодженні сталі

Нагрівання сталі до температури, яка нижча за температури лінії PSK (див. діаграма), точки A_{c1} (рис. 2.32), не супроводжується якими-небудь фазовими перетвореннями. Вони починаються лише при переході через точку A_{c1} , тобто коли перліт перетворюється на аустеніт. Це перетворення є процесом кристалізаційного типу. Зародження зерен аустеніту починається по краях феритних і цементитних часточок перліту.

У наступні моменти ростуть раніше сформовані і зароджуються нові зерна аустеніту. Тому структура евтектоїдної сталі при нагріванні вище від точки A_{c1} складається тільки з аустеніту. У структурі доевтектоїдної сталі за цієї температури крім аустеніту буде ще й надлишковий ферит, а в структурі заевтектоїдної сталі — цементит. При нагріванні до вищих температур ферит і цементит розчинятимуться в аустеніті.

Дрібні зерна аустеніту, що утворилися при перлітно-аустенітному перетворенні з підвищенням температури зростають, особливо за температур вище від точок A_{c3} і A_{cm} . Явище надмірного укрупнення зерен сталі при нагріванні називають

перегрівом. Нагрівання сталі до температур близьких до лінії солідуса супроводжується оплавленням і окисненням меж зерен, настає так званий перепал-непоправний дефект сталі. Така сталь має дуже низьку ударну в'язкість, тому її не використовують як конструкційний матеріал, а переплавляють.

Якщо охолоджувати сталь дуже повільно, то в ній утворюються рівноважні структури відповідно до діаграми залізо — вуглець. Аустенітно-перлітне перетворення відбувається за температури 727°C .

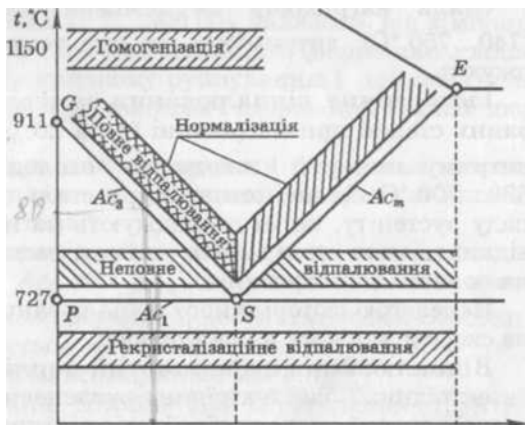
При повільному охолодженні аустеніт зберігається до температури 727°C (точка A_{T1} ; рис. 2.35). Збільшення швидкості охолодження спричинює зниження критичної точки A_{r1} , тобто переохолодження аустеніту до температур, нижчих за 727°C , які позначають точкою A_r .

При охолодженні сталі зі швидкістю близько $1^{\circ}\text{C}/\text{с}$ аустеніт переохолоджується мало і розпадається з утворенням рівноважної перлітної структури твердістю 180...250 НВ.

Збільшення швидкості охолодження до $10^{\circ}\text{C}/\text{с}$ зумовлює більше переохолодження аустеніту. За цих умов він розпадається з утворенням також феритно-цементитної суміші, проте більш дисперсної, ніж перліт. Таку структуру називають *сорбітом* (С). Середня вуглецева сталь з такою структурою має твердість 250-300 НВ.

Коли швидкість охолодження наближається до $100^{\circ}\text{C}/\text{с}$, аустеніт розпадається при глибшому переохолодженні з утворенням дуже дрібних невидимих в оптичний мікроскоп часточок фериту і цементиту. Таку структуру називають *трооститом* (Т), твердість її досягає 350...400 НВ.

2. Призначення і види термічної обробки сталі



Термічна обробка сталі (ТО) є дуже важливою заключною операцією при виготовленні деталей та інструментів. Вона надає їм потрібних механічних властивостей і забезпечує нормальну роботу.

Основними чинниками, які впливають на результати термічної обробки, є швидкість і температура нагрівання, час витримування в нагрітому стані і швидкість охолодження.

Залежно від температури нагрівання і швидкості охолодження розрізняють такі основні види термічної обробки: відпалювання, нормалізація, гартування і відпускання.

Відпалювання сталі. Для зниження твердості і підвищення в'язкості сталі, досягнення хімічної і структурної однорідності, зняття внутрішніх напружень проводять відпалювання.

Процес відпалювання складається з нагрівання сталі вище від критичних

точок (за винятком рекристалізаційного відпалювання) і відповідно витримування за температури нагрівання з наступним повільним (переважно разом із піччю) охолодженням.

Залежно від призначення розрізняють такі види відпалювання: дифузійне, повне, неповне, ізотермічне, відпалювання на зернистий перліт, рекристалізаційне.

Дифузійне відпалювання (гомогенізацію) застосовують для великих сталевих виливків з метою зменшення хімічної неоднорідності (ліквації). Їх нагрівають до температури 1050... 1150 °С, витримують протягом 10... 15 год і потім повільно охолоджують.

Повне відпалювання застосовують для утворення дрібнозернистої структури сталевих виробів, виготовлених гарячим штампуванням, куванням і виливанням.

Після повного відпалювання сталь буде пластичною, м'якою, без внутрішніх напружень; структура її стає однорідною і складається з фериту і перліту; сталь стає дрібнозернистою.

Повним відпалюванням сталь підготовляють для обробки різанням і до наступного гартування. Так обробляють переважно доевтектоїдні сталі.

Для повного відпалювання сталь нагрівають до температури на 30-50°С вище від критичної точки A_{c3} (див. рис. 1) з наступним повільним охолодженням. Охолодження до температури 500-550 °С відбувається зі швидкістю: для вуглецевих сталей 150-200 °С, для легованих — 50...75 °С за годину.

Неповне відпалювання застосовують для доевтектоїдних і заев- тектоїдних сталей з метою зниження твердості, зняття внутрішніх напружень і одержання однорідної структури. Неповного відпалювання зазнають поковки і штамповки, оброблені за температур, що не спричиняють значного росту зерен.

Сталь нагрівають за температури, вищої від точки A_{c1} (740...750 °С), витримують за цієї температури і повільно охолоджують.

Ізотермічне відпалювання застосовують для виробів із легованих сталей при нагріванні їх на 20...30 °С вище від точки A_{c3} , витримування і швидкого охолодження до температури 630-700°С. За цієї температури сталь витримують до повного розпаду аустеніту, потім охолоджують на повітрі. Після ізотермічного відпалювання сталі мають такі самі механічні властивості, як і після повного відпалювання.

Перевагою ізотермічного відпалювання легованих сталей є значне скорочення часу на цей процес.

Відпалювання на зернистий перліт застосовують для обробки евтектоїдних і заевтектоїдних вуглецевих і легованих інструментальних сталей перед обробкою різанням. Сталь нагрівають на 25-30 °С вище від критичної точки A_{c1} ; витримують за цієї температури. До температури 600 °С охолоджують дуже повільно (25...30 °С за годину) разом з піччю, а потім охолоджують на повітрі.

У результаті такого відпалювання карбіди набирають зернистої (заокругленої) форми, а твердість знижується.

Рекристалізаційне відпалювання (низьке відпалювання) застосовують для зняття наклепу і внутрішніх напружень у виробах, виготовлених методом холодного прокатування, холодного штампування, волочіння і калібрування (листів, прутків, трубок, дроту). При цьому сталь нагрівають до температури рекристалізації на 50-100 °С нижче від точки A_{c1} (630...680 °С), витримують за цієї температури з наступним повільним охолодженням на повітрі.

Після рекристалізаційного відпалювання утворюється однорідна дрібнозерниста структура з невеликою твердістю.

Нормалізація полягає в нагріванні сталі на 30...50 °С вище від точок A_{c3} або A_{cm} (див. рис. 1), витримуванні за цієї температури і наступному охолодженні на спокійному повітрі.

Процес нормалізації застосовують для утворення дрібнозернистої структури, підвищення міцності і в'язкості, а також для зменшення твердості перед обробкою різанням і вирівнювання структури перед наступною термообробкою.

Структура нормалізованої сталі може бути феритно-перлітною (низьковуглецеві сталі) і сорбітоподібною за наявності структурно- вільного фериту (середньовуглецеві і низьколеговані сталі). Твердість перліту залежить від того, має він тонку або грубу будову. При нормалізації, коли охолодження проходить швидше, перліт має тоншу будову, ніж при відпалюванні, і вищу твердість. Тому нормалізована сталь твердіша, ніж відпалена (150...300 НВ, залежить від хімічного складу сталі). Нормалізація гарячекатаної сталі (порівняно з відпалюванням) підвищує її опір крихкому руйнуванню і забезпечує високу продуктивність при обробці різанням і одержання меншої шорсткості обробленої поверхні.

Гартування застосовують для підвищення твердості і міцності сталі. Тому гартування називають заключною операцією виготовлення сталевих виробів і деталей.

Гартування — це операція, при якій сталь нагрівають на 30-50 °С вище від точки A_{c1} або A_{cm} , витримують за цієї температури, а потім швидко охолоджують. У результаті такої обробки в сталі, як правило, формується мартенситна структура, тому твердість і міцність її досягають максимального значення.

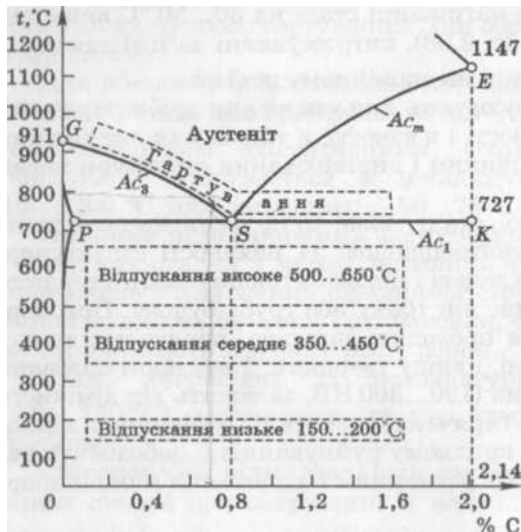
Нагрівання при гартуванні потрібне для переведення структури сталі в стан аустеніту, а швидке охолодження для запобігання розпаданню аустеніту на феритно-цементитні суміші (троостит, сорбіт) і для переохолодження його до температури аустенітно- мартенситного перетворення.

Чим більші розміри виробів, складніші їхні форма і хімічний склад, тим повільніше треба їх нагрівати. Інакше у виробі можуть виникнути великі внутрішні напруження і внаслідок цього — короблення і навіть розтріскування.)

Вирішальним чинником у процесі гартування є швидкість охолодження, оскільки вона визначає характер структури сталі, яка формується при цьому.

Швидкість охолодження сталі при гартуванні визначається охолодною здатністю гартівного середовища (найчастіше — води або мінеральної оливи).

Вода кімнатної температури охолоджує сталь в інтервалі 650-550 °С зі швидкістю близько 600 °С/с, а 10%-й водний розчин кухонної солі 1100-1200, мінеральна олива — 150, повітря — 30, піч — 1 °С/с.



При гартуванні доєвтектоїдних (сталі з вмістом вуглецю до 0,25 % не гартуються) сталей треба нагрівати їх до температури на 30-50 °С вище від точки Ac_3 (рис. 2), бо сталі за таких температур мають структуру однорідного аустеніту, який при наступному досить швидкому охолодженні переходить у мартенсит. Оптимальна температура нагрівання цих сталей, °С:

$$t_{\text{гарт}} = Ac_3 + 30 \dots 50.$$

Для заєвтектоїдних сталей найбільш доцільною є температура гартування на 30...50 °С вище від точки Ac_1 , тобто температура, за якої буде ефективне гартування (див. рис. 2).

У цьому разі при нагріванні й охолодженні зберігається частина цементиту, що сприяє підвищенню твердості загартованої сталі, оскільки цементит твердіший за мартенсит.

Залежно від хімічного складу, механічних властивостей сталей і розмірів виробів, що гартуються, застосовують різні способи гартування.

Гартування в одному охолоднику застосовують для досягнення високої твердості. Охолоджують виріб у воді або мінеральній оливі. Виріб із вуглецевої сталі охолоджують переважно у воді, а з легованої — в мінеральній оливі.

Гартування виконують зануренням виробу (що гартується) в охолодне середовище, де він і залишається до повного остигання. Завдяки своїй простоті цей вид гартування застосовують найширше. Проте він має істотні недоліки — виникнення великих внутрішніх напружень.

Гартування в двох охолодниках до певної міри усуває недоліки гартування в одному середовищі і полягає в тому, що нагрітий під час гартування виріб спочатку охолоджують з великою швидкістю (зазвичай у воді до 300-200 °С), щоб запобігти передчасному розпаданню аустеніту. Потім виріб переносять до іншого середовища, наприклад у мінеральну оливу, для уповільненого охолодження з метою аустенітно-мартенситного перетворення. Такий спосіб сприяє значному зменшенню внутрішніх напружень у виробі і запобігає його коробленню.

Проте і він не позбавлений недоліків, оскільки технічно важко визначити потрібний момент перенесення виробу з одного охолодника до іншого. Внаслідок цього гартування у двох охолодниках не дає стабільних результатів термічної обробки партії виробів.

Цей спосіб використовують при гартуванні великих виробів із вуглецевої

конструкційної і низьколегованої сталі.

Ступінчасте гартування застосовують для зниження внутрішніх напружень виробу. Нагрітий виріб занурюють у охолодник (в розплавлені солі) з температурою, трохи вищою за точку початку мартенситного перетворення (M_p) сталі певного складу, витримують за цієї температури, а потім остаточно охолоджують у мінеральній оліві або на повітрі. Ступінчастого гартування зазнають невеликі за розміром виробу змінного перерізу, виготовлені з вуглецевої сталі.

Ізотермічне гартування — це охолодження сталі до температури, вищої за точку M_p , і витримування за цієї температури протягом часу, потрібного для завершення ізотермічного перетворення аустеніту. Оскільки температура гартівного охолодника при цьому перевищує температуру мартенситного перетворення (M_p), то аустеніт при ізотермічному гартуванні розпадається з утворенням проміжної структури — голчастого трооститу (ГТ), за твердістю подібного до мартенситу, але в'язкішого. Для вуглецевих сталей цей вид гартування застосовують рідше.

Гартування з самовідпусканням застосовують переважно при термічній обробці ударних інструментів (молотків, кувалд, зубил, кернерів), які потребують високої твердості різальних кромek (робочих поверхонь) і водночас повинні мати в'язке осердя.

Світло-жовтий	220 °C
Жовтий	230 °C
Темно-жовтий	240 °C
Коричневий	255 °C
Коричнево-червоний	265 °C
Фіолетовий	285 °C
Темно-синій	295...310 °C
Світло-синій	315...325 °C
Сірий	330 °C

Нагрітий інструмент охолоджують у воді лише з робочого боку протягом часу (1...2 с), потрібного для гартування. Потім охолодження переривають, напилком зачищають поверхню кромek, щоб було чітко видно мінливий колір, і витримують на повітрі доти, доки охолоджена гартована частина прогріється від внутрішнього тепла до потрібної температури відпускання. Після цього деталі швидко охолоджують остаточно в рідині

Момент початку повторного охолодження визначають за появою мінливих кольорів, які виникають на поверхні сталевих виробу. При цьому кожен колір відповідає певній температурі нагрівання. Щоб забезпечити якісне гартування із самовідпусканням, треба мати великий досвід, оскільки час витримування і температуру визначають «на око».

Щоб уникнути короблення, потрібно правильно занурювати деталь у рідину.

Найпростішим способом нагрівання деталей для гартування, який застосовують у невеликих майстернях, є нагрівання в ковальських горнах. При цьому температуру нагрівання визначають «око» за кольорами розжарення (жару) сталі.

Поверхнєве гартування сталі забезпечує високу твердість і стійкість до

спрацювання поверхневого шару, одночасно збільшує загальну міцність деталей машин за рахунок збереження в'язкості осердя.

Поверхнєве гартування широко застосовують у технології сучасного машинобудування для термічної обробки деталей, які працюють на удар і водночас повинні мати високу твердість поверхневого шару (шийки колінчастих валів, гільз двигунів внутрішнього згоряння, поршневі пальці, пальці ресор та ін.).

Під час гартування деталей треба нагрівати не на всю товщину, а лише поверхневий шар її і потім швидко охолодити водою. При цьому деталь загартовується лише на глибину 2... 10 мм (при використанні машинних генераторів).

Відпускання сталі застосовують з метою зменшення внутрішніх напружень і твердості, а також для підвищення ударної в'язкості загартованих виробів.

Залежно від температури нагрівання розрізняють три види відпускання: низьке, середнє і високе..

Низьке відпускання характеризується нагріванням в інтервалі температур 150...250 °С, витримуванням за цієї температури і наступним охолодженням на повітрі.

При цьому утворюється структура відпущеного мартенситу. Тому внутрішні напруження у виробі зменшуються, дещо підвищується в'язкість і зникає гартівна крихкість, а твердість практично не змінюється. Низьке відпускання застосовують для різальних, а також вимірювальних інструментів, які повинні бути твердими і не крихкими, мати високу зносостійкість, у тому числі для цементованих виробів.

Середнє відпускання проводять за температури 350...450 °С, витримують за цієї температури і далі охолоджують на повітрі. При такому відпусканні мартенсит перетворюється на троостит, твердість сталі зменшується приблизно до 400 НВ, а в'язкість значно підвищується.

Це відпускання застосовують (після гартування) для обробки пружин, ресор, штампів та інших виробів, які працюють при помірних ударних навантаженнях.

Високе відпускання здійснюють за температури 500...650 °С з наступним охолодженням на повітрі. При цьому сталь набуває структури сорбіту, а це забезпечує повне усунення внутрішніх напружень. Після високого відпускання сталь має досить велику міцність, пластичність і в'язкість при достатній її твердості. Високого відпускання зазнають конструкційні, вуглецеві і леговані сталі з яких виготовляють вали, шестерні.

Характерною особливістю феритно-цементитних структур відпускання (трооститу і сорбіту) є їхня зерниста будова на відміну від пластинчастої, яку вони мають при розпаданні аустеніту. Утворення зернистої будови зумовлює комплекс високих механічних властивостей у відпущеній сталі. Гартування з наступним високим відпусканням називають поліпшенням сталі.

Старіння буває природним і штучним. Природне старіння відбувається за температур повітря протягом тривалого часу (до двох років). Штучне старіння здійснюють за температури 150...200 °С у масляних ваннах протягом 8... 16 год із

наступним повільним охолодженням разом із ванною. У процесі старіння закінчується перетворення залишкового аустеніту на мартенсит. При цьому внаслідок зміни структури відбуваються зміни механічних властивостей.

Обробку холодом застосовують для загартованих деталей (вимірювальних інструментів, підшипників та ін.), виготовлених із високовуглецевих і легованих сталей. Вона прискорює перетворення залишкового аустеніту на мартенсит, унаслідок чого деталі та інструменти мають більшу твердість. Під час обробки холодом розміри деталі не змінюються, що має істотне значення при виготовленні точних вимірювальних інструментів. Обробку холодом слід проводити відразу після гартування. Деталі, які підлягають обробці, охолоджують до температури близько мінус 80 °С і нижче. В промисловості застосовують охолодники — рідкий кисень (-183 °С), рідкий азот (—195 °С).

3. Особливості термічної обробки легованих сталей і чавунів

Низьколеговані сталі при гартуванні охолоджують у воді так само, як і вуглецеві. Збільшення вмісту легувальних елементів у сталі зумовлює зниження теплопровідності, тому час нагрівання заготовок збільшується. Леговані сталі потрібно нагрівати і охолоджувати рівномірно і повільно, щоб не утворилися значні внутрішні напруження, тріщини. Легування знижує критичну швидкість гартування, тому охолодження проводять в мінеральній оліві, а хромовольфрамowych і хромонікельмолібденових сталей — на повітрі.

Відпускання потребує тривалого витримування за вищих температур, оскільки легування сповільнює процеси перетворення в сталі. При відпусканні деяких легованих сталей, наприклад хромонікелевих і хромоманганових, різко знижується ударна в'язкість.

Термічну обробку сірих, високоміцних і легованих чавунів проводять або для збільшення міцності і зносостійкості, або для зняття внутрішніх напружень, які утворились у відливках, і зменшення твердості.

Для одержання загартованих структур чавун нагрівають до 850-880 °С і охолоджують у мінеральній оліві. Щоб зняти внутрішні напруження, отримані внаслідок охолодження, проводять низьке відпускання.

Відпускання за температури 200...220 °С зменшує внутрішні напруження, зберігаючи твердість і стійкість до спрацювання, а за температури 350...450 °С забезпечує високу ударну в'язкість і стійкість до динамічних навантажень при достатній твердості і стійкості до спрацювання.

Гартування і відпускання застосовують для чавунних зубчастих коліс, гальмових барабанів, штампів, дисків муфт зчеплення, кулачків та ін.

Поверхнєве гартування СВЧ застосовують для гільз циліндрів, зірочок, шестерень сільськогосподарських машин, напрямних станин металорізальних верстатів.

Доцільність застосування термічної обробки обґрунтовується тим, що структура і механічні властивості потрібної поверхні деталі на певну глибину

змінюються дуже швидко, без застосування складного обладнання і додаткового введення легувальних елементів у сплав.

4. Дефекти при термічній обробці.

Під час виконання операцій термічної обробки слід дотримуватися правильного температурного режиму нагрівання й охолодження. При порушенні цих вимог можуть виникнути різні дефекти: недостатня твердість, підвищена крихкість, утворення тріщин короблення та ін.

Загартовані вироби можуть мати недостатню твердість через неправильний температурний режим при нагріванні або недостатню швидкість охолодження при гартуванні.

Підвищена крихкість після гартування спостерігається у сталях, нагрітих до вищих температур, ніж рекомендується.

Окиснення виникає в сталі при її нагріванні в печах зі звичайною атмосферою. Щоб запобігти цьому дефекту, потрібно застосовувати захисну атмосферу.

Короблення, деформація й утворення тріщин при гартуванні пов'язані зі структурною неоднорідністю в різних частинах виробу і виникненням внутрішніх напружень. Для зменшення внутрішніх напружень у сталі при гартуванні пропонується проводити охолодження у мінеральній оліві.

Хіміко-термічна обробка полягає у дифузійному насиченні поверхневих шарів сталевих виробів різними елементами для зміни структури і властивостей. Цей вид обробки ґрунтується на дифузії (проникненні) в атомнокристалічну ґратку заліза атомів інших хімічних елементів при нагріванні сталевих виробів у середовищі, багатому на ці елементи.

Основними видами хіміко-термічної обробки є *цементация*, *азотування*, *ціанування* і *дифузійна металізація*. Крім цих видів застосовують *хромування*, *алітування* (насичення алюмінієм), *силіціювання* (насичення силіцієм) та ін.

Цементация сталі — це процес насичення поверхневого шару сталевих виробів вуглецем. Мета цементації — одержати вироби з твердою поверхнею і в'язким осердям. Такі вироби добре витримують навантаження і мало спрацьовуються навіть при великих навантаженнях. Твердість поверхневого цементованого шару досягає

750 НВ. Цементування зазнають вироби з маловуглецевої і легованої сталі з вмістом вуглецю 0,15...0,35 %. Це такі деталі, як поршневі пальці, зубчасті колеса, кулачки розподільних валів.

Розрізняють цементацію в твердому, рідинному і газоподібному карбюризаторах (вуглецевмісних сумішах).

Як *твердий карбюризатор* застосовують суміш деревного (березового) вугілля (75 %) з вуглекислими солями BaCO_3 , CaCO_3 (25 %). Вироби, що цементуються, разом із карбюризатором вміщують у металеві ящики (засипають

карбюризатором так, щоб деталі не доторкалися між собою, дна і стінок ящика), закривають кришками, ретельно обмазують глиною і в такому вигляді витримують у печі за температури 910...930 °С протягом 5...25 год. Для отримання цементованого шару завглибшки 0,1 мм потрібне витримання виробів у печі впродовж 1 год. Атомарний вуглець що виділяється, проникає в поверхневі шари сталевих виробів за зазначений час на глибину 0,5...2,5 мм.

Цементацію в твердому карбюризаторі застосовують в умовах ремонтного виробництва.

Газову цементацію здійснюють у спеціальних камерах, де містяться нагріті до температури 930... 1000 °С деталі, крізь які безперервно з певною швидкістю пропускають цементуючий газ. Для цього використовують природний газ, основною частиною якого є метан CH_4 .

Рідинну цементацію здійснюють зануренням деталей у розплавлені солі і витримують їх за температури 840...900 °С протягом інтервалу 0,5...2 год. Глибина цементації становить 0,2...0,65 мм. Таку обробку застосовують для дрібних деталей, якщо потрібна невелика глибина цементованого шару.

Азотування – це процес насичення поверхневих шарів сталей азотом для підвищення твердості (1100...1200), стійкості до спрацювання і корозії. застосовують при виготовленні точних деталей дизельної апаратури, вимірювальних інструментів. Процес азотування проводять у спеціальних герметичних печах за температури 500...650 °С. через піч пропускають аміак NH_3 . Азотована поверхня(1200НВ) твердіша за цементовану(900НВ) і крім того має підвищену корозійну стійкість. Азотуванню піддають сталі, які містять хром, молібден, титан(35ХМА). Недолік азотування тривалість операції (90 год.). за цей час утворюється зміцнений шар , глибина якого досягає 0,9 мм.

Ціанування це процес одночасного насичення поверхневого шару сталі вуглецем і азотом, для підвищення твердості, стійкості до спрацювання і корозії. Є два види ціанування: рідке і газове. *Рідке ціанування* проводять у ваннах з розплавлених ціанистих солей за температури 820...850 °С. Витримання впродовж 0,5... 1,0 год. забезпечує глибину ціанування 0,15...0,30 мм.

Переваги рідкого ціанування: мала витрата часу, дуже висока твердість і стійкість до спрацювання; недоліками є висока вартість і отруйність ціанистих солей.

Газове ціанування полягає в тому, що деталі нагрівають у суміші газів, до складу яких входить вуглець і азот (СОчадний газ+ NH_3 аміак). Температура нагрівання

800...950 °С, час витримання 0,5-3 год. Газове ціанування часто називають *нітроцементацією*. Перевагами газового ціанування є безпечність роботи, можливість точно регулювати глибину ціанування і автоматизації процесу.

Дифузійна металізація це процес насичення поверхневого шару сталі алюмінієм (алітування), хромом (хромування) силіцієм (силіціювання) та іншими металами.

Алітування — це поверхнєве насичення сталевих і чавунних виробів алюмінієм з утворенням твердого розчину алюмінію в залізі і підвищення жаростійкості. Його застосовують переважно для деталей які працюють в умовах високих температур.

Для алітування деталі укладають в ящик і пересипають сумішшю порошків. Закриті і обмазані глиною ящики витримують у полумєневих печах за температури 900...1100°C протягом 5...10 год.

Хромування — насичення поверхневих шарів виробів хромом з метою підвищення твердості, стійкості до спрацювання і корозії. Хромування може відбуватися в твердому, рідкому і газоподібному середовищі.

Температура хромування 1000... 1150 °C; час витримування 7...12год., глибина шару хромування 0,10... 0,25 мм.

Силіціювання — насичення поверхневого шару сталевих виробів силіцієм для підвищення стійкості до корозії і розчинення в кислотах. Застосовують для деталей, які використовуються в хімічній промисловості.