

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПРОКАТНОГО ІНСТРУМЕНТУ У ЗАХИСНОМУ СЕРЕДОВИЩІ АРГОНУ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ

*Начальник відділу¹ А.О. Супрун, доц., канд. техн. наук, зав. каф.² Ю.О. Ступак,
інженер-технолог¹ Д.А. Устименко, майстер дільниці¹ А.В. Гончаренко*

*¹ПрАТ «Нікопольський завод технологічного оснащення» (НЗТО),
м. Нікополь Дніпропетровської обл., Україна*

²Кафедра Теорії, технології та автоматизації металургійних процесів

*²Український державний університет науки і технологій (УДУНТ)
м. Дніпро, Україна*

При термічній обробці сталей важливу роль відіграє склад середовища, в якому знаходиться метал. Наявність у газовому середовищі кисню призводить до адсорбції його молекул на поверхні та подальших взаємодій, що можуть призводити до втрати вуглецю з поверхневих шарів металу та утворення оксидних плівок. Для довговічності та якості інструментальних сталей зневуглецювання є більш небезпечним, ніж окислення, тому що вміст вуглецю в поверхневому шарі стає значно нижчим [1]. Зневуглецювання поверхневого шару може призвести до втрати необхідних механічних властивостей та твердості матеріалу і, як наслідок, браку при функціонуванні та експлуатації виробів.

Як показав досвід ПрАТ НЗТО, невідповідний склад пічної атмосфери при термообробці окремих категорій виробів, зокрема калібрів для холодної прокатки труб (ХПТ) зі сталі марки EN ISO 1.2344 (4X5MФ1С), може негативно позначатися не тільки на їх якості, але й спонукає до вимушеного збільшення маси початкової заготовки, для забезпечення подальшого механічного видалення ушкоджених поверхневих шарів металу, що збільшує його втрати і негативно позначається на собівартості кінцевих виробів. Вказані обставини стали передумовою для пошуку найбільш раціонального та ефективного в умовах підприємства способу термічної обробки заготовок з легованих сталей.

Відомо, що в практиці термообробки для захисту поверхні металу від окиснення або зневуглецювання застосовують безокиснювальне нагрівання:

- в атмосферах, склад яких є контрольованим (чисті інертні гази або суміші газів) або у вакуумі;
- із застосуванням сипучих захисних матеріалів;
- у розплавах солей, стекол або металевих;
- із захисними покриттями зі склоемалевих композиційних матеріалів.

Застосування контрольованої (регульованої) атмосфери має на меті створення газового середовища, яке є відносно нейтральним по відношенню до металу. В залежності від типу (конструкції) печі газове середовище потрібного складу отримують шляхом організації контрольованого горіння палива (рідкого, газоподібного) безпосередньо в печі, або використовують

різноманітні генератори, що формують атмосферу, в якій здійснюється термічна обробка [2, 3]. Загальновідомо, що умовою «нейтральності» пічної атмосфери по відношенню до металу є певні, заздалегідь визначені й такі, що піддаються контролю/регулюванню співвідношення CO_2/CO ; $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$; CH_4/H_2 . Створення та підтримання вказаних співвідношень на практиці є не складним завданням, але ж універсального газового середовища, яке може бути використане у всіх випадках, не існує - склад газової суміші, що знаходиться в рівновазі зі сталлю, змінюється в залежності від температури. Крім того, для сталей, легованих Ni, Co, Mo, W, елементом, що окислюватиметься першим є залізо, в той час як для сталей, що містять Mn, Cr, Al, Si, V склад газового середовища слід обирати з огляду на можливість окиснення цих елементів [4]. Таким чином, для кожної температури та певної марки сталі необхідно використовувати різні захисні середовища.

Більш-менш задовільні результати можна отримати, здійснюючи термічну обробку в атмосфері чистого азоту або у вакуумі. В разі використання азоту важливо забезпечити його чистоту, а саме – відсутність у складі шкідливих домішок (O_2 , H_2O), тому що, наприклад, кисень, навіть при парціальному тиску, що дорівнює $2,66 \cdot 10^{-4}$ Па, може продовжувати окислювати залізо [1]. Це має значення і при обробці у вакуумі. У пристроях термічної обробки у вакуумі з простору, що оточує деталь, шляхом зменшення тиску видаляють гази, здатні вступати в реакцію з поверхнею деталі. Таким чином можна отримати чисту, гладку, не знеуглецьовану і неокислену поверхню, і після термічної обробки у вакуумі операції з остаточної обробки можуть стати непотрібними.

Гарні результати можуть бути досягнені при використанні для захисту металу інертних газів, зокрема – аргону. Відомий спосіб термічної безокислювальної обробки [2], за яким термічну обробку проводять у середовищі інертного газу. Суть способу полягає в тому, що вироби укладають у контейнер і забезпечують його герметизацію одним зі способів, що показані на рис. 1. Потім продувають його інертним газом до повного видалення повітря, завантажують в розігріту камерну піч, нагрівають до технологічної температури, витримують при цій температурі, вивантажують контейнер з виробами з печі та здійснюють охолодження.

Відомі також способи захисту за допомогою сипучих захисних середовищ, таких як металеві стружка або порошок (наприклад, чавуну), подрібнене деревне вугілля або кокс. Загальним недоліком вказаних середовищ є наявність у їхньому складі значної кількості вуглецю, який за підвищених температур може проявляти активність, насичуючи собою поверхню металу. Можливе також використання нейтральних сипучих матеріалів, таких як пісок, зола тощо, які можуть захищати метал від впливу газового середовища. Але подібний захист може помітно впливати на тривалість термічної обробки через перешкоджання теплообміну між металом та пічною атмосферою, що теж є певним недоліком.

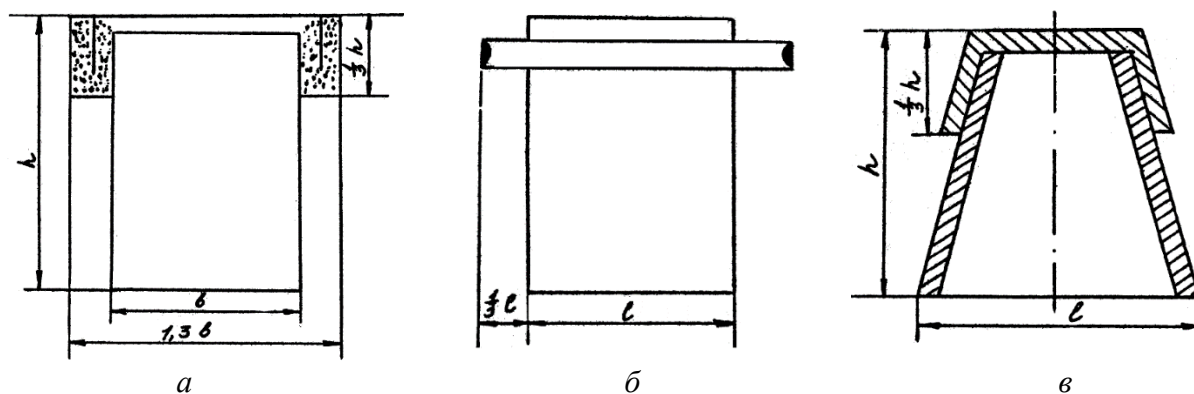


Рис. 1. Схеми затворів контейнерів для створення захисної атмосфери інертного газу [2]:

a - із затвором з піску; *б* - з привареною кришкою; *в* - з конічним затвором.

Ще один варіант захисту металу від впливу газової атмосфери при термічній обробці - використання рідких середовищ розплавлених солей лужноземельних металів, сумішей лугів, стекол або металевих ванн. До переваг безокислювального нагріву в розплавах солей відносять високу швидкість і рівномірність нагріву заготовок і деталей, а також повний або частковий захист від знеуглецювання поверхні сталі. Соляні ванни, що використовуються, поділяють на низькотемпературні (до 700 °С), середньотемпературні (720-950 °С) і високотемпературні (до 1350 °С). Перші використовують для відпуску легованих сталей; другі - для остаточного нагріву під загартування вуглецевих і низьколегованих сталей; треті - для остаточного нагріву під загартування швидкорізальних і легованих сталей [5, 6].

Крім захисних властивостей, розплави солей повинні мати певні технологічні та фізико-хімічні властивості. До них відносяться здатність розплаву добре змочувати поверхню металу (але не взаємодіяти з ним хімічно), мати плинність, негіроскопічність, високу електропровідність і стійкість до дії електричного струму. Розплав солі повинен мати достатню текучість, щоб не налипати на поверхню деталі товстим шаром, легко видалятися з поверхні металу при травленні в кислотах, содових розчинах та при промиванні гарячою водою. В діапазоні температур від 350 до 950 °С для захисту металу можуть також використовуватися свинцеві ванни [3].

До недоліків термічної обробки з використанням захисних розплавів слід віднести підвищені вимоги безпеки через токсичність деяких компонентів та можливість утворення в окремих випадках вибухонебезпечних сумішей. Нетоксичність, мала леткість і відсутність корозійного впливу на метал є визначальними характеристиками при обранні того чи іншого виду сольових розплавів. З огляду на вказані недоліки більш привабливим є використання захисних ванн з рідкого скла. Відомий, наприклад, досвід використання розплавленої скломаси, отриманої зі звичайного битого скла (віконні шибки, склотара тощо). В газовій печі

барабанного типу заготовки нагрівали у ванні з розплавленим склом, шар якого досягав 100 мм. При обертанні основної камери печі заготовки очищалися від окалини і покривалися шаром розплавленого скла, що забезпечувало швидке і рівномірне нагрівання заготовок. Шар скла захищав їх надалі від окиснення. При достатньо низьких експлуатаційних витратах були досягнуті дуже хороші результати [6].

Високу ефективність має застосування для захисту сплавів, схильних до окиснення, захисних технологічних покриттів на основі різноманітних склоемалевих композиційних матеріалів. Їх особливістю є те, що вони забезпечують можливість отримання після високотемпературних нагрівань такої ж високої якості поверхні металу, як і після обробки різальним інструментом або в середовищі аргону. Крім того, вони можуть виконувати функції «мастила» при штампуванні та інших видах обробки металу, не поступаючи за мастильними характеристиками вискоефективним технологічним мастильним матеріалам і навіть перевершуючи їх, оскільки виявляються працездатними за температур 1200-1500 °С, а в окремих випадках - до 2000 °С, що не під силу традиційним технологічним мастильним матеріалам. Іншою перевагою цих покриттів є можливість їх формування на поверхні металу в процесі його нагрівання безпосередньо перед штампуванням, прокаткою, загартуванням та ін. [7].

Проведений аналіз щодо можливостей застосування того чи іншого способу захисту металу при термообробці дозволив авторам сформулювати певні гіпотези та завдання і перевірити окремі з них експериментально, в умовах виробництва. За основу були взяті до уваги відомі рекомендації [2], в т.ч. способи забезпечення захисного середовища, наведені на рис. 1.

ПрАТ НЗТО має можливості виготовляти заготовки для трубного інструменту (рис. 2) з легованих сталей різних марок шляхом виплавки металу в дугових сталеплавильних печах (ДСП-3А) та подальшої його розливки у форми, виготовлені із застосуванням холодно-твердіючих сумішей (ALPHASET-процес, обладнання фірми OMEGA Великобританія) [8, 9].



Калібр кільцевий ХПТ

Застосовується в процесі холодного прокату труби для стана ХПТ-280.

Обойма матриці

Застосовується в процесі гарячого пресування труби.

Оправка водоохолоджуєма

Застосовується в процесі гарячого пресування труби.

Рис. 2. Окремі види трубного інструменту, що виготовляють на ПрАТ НЗТО [9]

Необхідний комплекс властивостей сталі для виготовлення калібрів станів ХПТ може бути досягнений відповідною технологією виплавки та ступенем їх легування карбидоутворюючими елементами (Cr, V, Mo, W) при вмісті вуглецю 0,4-0,6%. Для формування оптимального рівня механічних показників (σ_B , σ_T , δ , ψ та ін.), а також потрібної мікро- й макроструктури металу, технологією передбачено виконання певних процедур подальшої термічної обробки, яку здійснюють в газових або електричних печах. Суттєвим недоліком обробки у вказаних печах є наявність в газовій фазі кисню й азоту, які за певних температур взаємодіють з металом, призводячи до окислення вуглецю, заліза та окремих легуючих елементів зі складу сталі, насичення азотом поверхневого шару металу тощо. Негативний вплив пічної атмосфери дещо ускладнює подальшу термічну обробку заготовок, змушує збільшувати припуски на їх механічну обробку, виготовляючи заготовки більшого діаметру, що збільшує непродуктивні втрати та собівартість виробів через наявність додаткових операцій.

Враховуючи зазначене, був запропонований та випробуваний в умовах виробництва спосіб нагріву металу з використанням захисної атмосфери інертного газу (аргон). Оскільки електрична гартувальна піч, що використовувалася на той час на НЗТО, не є герметичною (використання захисного середовища не передбачено), для здійснення обробки було виготовлено металевий короб з отвором для завантаження заготовок та дверцята, які щільно зачиняються (рис. 3).

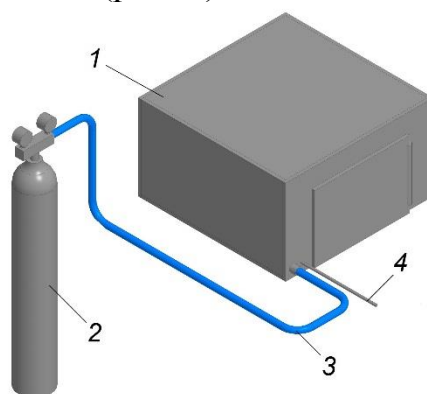


Рис. 3. Схема подачі аргону до внутрішнього простору нагрівальної печі:

1 – короб з дверцятами; 2 – балон з аргоном; 3 – шланг для подачі аргону; 4 – термопара для контролю температури

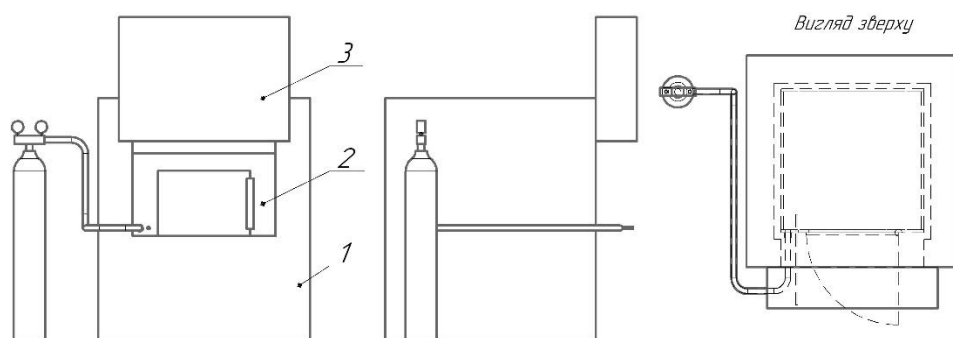


Рис. 4. Схема розташування коробу в нагрівальній електричній печі:

1 – піч; 2 – короб; 3 – кришка печі (у відкритому положенні)

Газоподібний аргон першого сорту*¹ постійно подавався від балона через з'єднувальний трубопровід до короба, розміщеного в печі. Витрата газу складала близько 20 л на годину*². Через недосконалість конструкції короба, що використовувався для розміщення заготовок, їх нагрівання відбувалося в дещо уповільненому темпі, але режими обробки (температури та тривалість окремих стадій) залишалися аналогічними традиційним. Відносно велика витрата газу була зумовлена не достатньо герметичною конструкцією коробу, через що продування вимушені були робити на всьому етапі нагрівання. Але на температурний режим нагрівання заготовок це суттєво не впливало, про що свідчили показання термомпери, яку додатково було встановлено в середину короба.

Після нагрівання та необхідної витримки заготовки були доставлені на гартування, що відбувалося за традиційною технологією. Колір мінливості заготовок після першого відпуску відповідав температурним параметрам, поверхня була чистою, слідів окалини та оксидних плівок не виявлено. Контрольні заміри показали, що базові розміри та форма виробів в цілому не зазнали суттєвих змін внаслідок термічних деформацій. Після перевірки всіх параметрів заготовки були направлені для здійснення відпусків. По закінченні термообробки та остигання заготовок були відібрані зразки металу для вивчення мікроструктури й механічних властивостей. Результати виявилися задовільними.

В подальшому калібри, що були виготовлені за наведеною технологічною схемою, проходили дослідно-промислове випробування. В процесі роботи філь'єра калібрів зазнавала додаткової шліфовки у кількості двох переходів. Калібри були виведені з роботи через знос філь'єри, що перевищив межі допуску за розміром. Середня стійкість калібрів порівняно зі стандартною технологією, зросла орієнтовно на 10-15%. Слід зазначити, що вказане зростання було пов'язане не тільки і не стільки із застосуванням при термообробці захисного середовища на основі аргону, але саме його використання позитивно вплинуло на весь технологічний процес виготовлення калібрів для станів холодної прокатки труб.

Висновки

Результати проведених експериментів дозволили зробити обґрунтовані висновки, що найбільш технологічно прийнятним та економічно доцільним в умовах ПрАТ НЗТО є застосування безокиснювальних (нейтральних) середовищ з використанням чистого аргону, які дозволяють:

- запобігти утворенню окалини та подальших операцій очищення поверхонь (дробострумінна обробка, травлення);

*¹ - ДСТУ ГОСТ 10157:2019 (ГОСТ 10157-2016, IDT). Аргон газоподібний та рідкий. Технічні умови (99,987 % об. Ar, 0,002 O₂; 0,01 % об. N₂)

*² - показники знімали за допомогою газового редуктора Ar/CO₂ HERCULES 514.D051

- запобігти утворенню знеуглецьованого або навуглецьованого шару при термічній обробці сталей та сплавів, з яких виготовляють окремі види трубного інструменту на підприємстві;
- зробити можливою термічну обробку остаточно виготовлених деталей;
- усунути безповоротні втрати дороговартісних металів у вигляді окалини та під час травлення;
- підвищити якість готових виробів та знизити собівартість їхнього виробництва.

В майбутньому заплановано вдосконалити конструкцію короба (контейнера) для заготовок за схемою, що надана на рис. 1, а або подібною, що дозволить забезпечити більш високу якість (чистоту) захисного середовища на весь час перебування заготовок в печі і зменшити витрати аргону.

Посилання

1. Артингер І. Інструментальні сталі та їх термічна обробка. Пер. з угор. – Металургія: 1982. – 312 с.
2. Обробка термічна безокислювальна деталей, складальних одиниць та заготовок з корозійностійких та жароміцних сталей та сплавів. ОСТ 92-1188-78. Офіційне видання. – 1979. – 42 с.
3. Thomas G. Digges, Samuel J. Bosenberg Heat Treatment and Properties of Iron and Steel. Monograph. Washington: National Bureau of Standards, 1960. – 40 p.
4. Окислення і знеуглецювання сталі. Під ред. О.І.Ващенко. – Металургія, 1972. – 370 с.
5. Гуляев О.П. Металознавство. 6-е вид., перероб. та доп. – Металургія, 1986. – 544 с.
6. Солнцев С.С., Туманов А.Т. Захисні покриття металів при нагріві. Довідник. – Машинобудування, 1976. – 240 с.
7. Солнцев С.С. Захисні технологічні покриття і тугоплавкі емалі. – Машинобудування, 1984. – 256 с.
8. Думенко К.А., Есаулова Н.В., Сибелева Т.Н. та ін. Металургично виробництво на європейсько ниво: възгледите на работодателя относно квалификацията (компетенциите) на завършилите висши металургични специалности / В мат-лах XIV Міжнар. конф. "Стратегія якості в промисловості і освіті". Том І. (04 - 07 червня, 2018, Варна, Болгарія). – Дніпро-Варна: Дике поле - ТУ-Варна, 2018. – С. 158-164.
9. Офіційний сайт ПрАТ НЗТО. Постійна адреса в мережі Інтернет: <https://nzto.com.ua/> Дата звернення: 22.12.2023.