



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та
енергоефективних технологій

6031 Методичні вказівки

до виконання лабораторної роботи
на тему *«Вплив термоциклічного оброблення
на структуру та розмір зерна чорних сплавів
під час проведення цементування»*

з дисципліни **«Наукові основи вибору матеріала
і прогресивних зміцнюючих технологій»**
для здобувачів спеціальності 132 *«Матеріалознавство»*
всіх форм здобуття вищої освіти

Суми
Сумський державний університет
2024

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи на тему «Вплив термоциклічного оброблення на структуру та розмір зерна чорних сплавів під час проведення цементування» із дисципліни «Наукові основи вибору матеріала і прогресивних зміцнюючих технологій» / укладачі: Т. П. Говорун, Х. В. Берладір, О. П. Гапонова. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 22 с.

Кафедра прикладного матеріалознавства
і технології конструкційних матеріалів факультету ТеСЕТ

ВПЛИВ ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА СТРУКТУРУ ТА РОЗМІР ЗЕРНА ЧОРНИХ СПЛАВІВ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЦЕМЕНТУВАННЯ

(Тривалість – 4 години)

МЕТА РОБОТИ – вивчити сутність та дослідити вплив термоциклічного оброблення на структуру та розмір зерна сталей після проведення цементування.

1. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ Й МАТЕРІАЛИ

- 1.1. Набір зразків зі сталей 20 (20X).
- 1.2. Реактиви для виявлення структури.
- 1.3. Мікроскоп МИМ-7.
- 1.4. Печі для проведення термічного оброблення.
- 1.5. Карбюризатор для проведення цементування.
- 1.6. Обладнання для виготовлення мікрошліфів.
- 1.7. Твердомір Роквелла.
- 1.8. Мікротвердомір ПМТ-3.

2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Цементування сталі – різновид хіміко-термічного оброблення (ХТО), що полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару виробів із низьковуглецевої сталі (0,1–0,2 % С) вуглецем під час нагрівання у відповідному середовищі. Мета цементування – підвищення твердості та зносостійкості поверхні, що досягається збагаченням поверхневого шару вуглецем (до 0,8–1,2 %) і подальшим гартуванням із низькою відпусткою, при цьому серцевина виробу, що не насичується вуглецем, зберігає високу в'язкість. Глибина цементованого шару 0,5–1,5 мм (рідше більше), концентрація вуглецю в шарі зменшується від поверхні до серцевини виробу.

Цементування та подальше термічне оброблення (ТО) підвищують межу витривалості металу та знижують чутливість його до концентраторів напруги.

Основними недоліками технології традиційних методів ХТО сталей є велика тривалість процесів дифузійного насичення та необхідність застосування додаткового термічного оброблення з додержанням строго регламентованих технологічних режимів. Крім того, ще одним актуальним завданням технології ХТО є зменшення деформації оброблюваних виробів, оскільки це істотно впливає як на якість і працездатність виробів, що зміцнюються, так і на технологічність їх виготовлення.

Використання термоциклічного оброблення (ТЦО) безпосередньо в процесах (ХТО) під час цементування (ХТЦО) дозволяє за більш короткий час, ніж під час ізотермічної витримки, досягти необхідного дифузійного збагачення поверхневих шарів металами або неметалами із зовнішнього активного середовища.

Фактори, що впливають на кінцеву структуру сталей після процесу ТЦО показані на рисунку 1.



Рисунок 1 – Фактори, що впливають на кінцеву структуру сталей під час ТЦО

Залежність швидкості дифузії домішкових елементів у твердому розчиннику від розміру зерна загальновідома. Чим дрібніше зерно, тим більший коефіцієнт дифузії D , тому з метою прискорення процесу ХТО доцільно металеві матеріали піддавати ТЦО, що робить структуру дрібною.

2.1. Термоцикування до та після ХТО

Використання ТЦО безпосередньо в процесах ХТО під час цементування, азотування, борування (ХТЦО) дозволяє за коротший час, ніж під час ізотермічної витримки, досягти необхідного дифузійного збагачення поверхневих шарів металами або неметалами із зовнішнього активного середовища.

ТЦО застосовують як:

– підготовчу операцію під час азотування й цементування сталей – використаний ефект подрібнення структури в результаті чого збільшується протяжність міжфазних меж і дифузія проходить більш інтенсивно. Це збільшує глибину проникнення вуглецю й скорочує тривалість процесу цементування;

– кінцевої операції під час азотування й цементування сталей – ТЦО призводить до інтенсивного подрібнення структури цементованого шару внаслідок дії вищеописаних механізмів.

Під час вивчення впливу попередньої ТЦО на процес зростання дифузійного шару за насичення сталей 20 і 20Х вуглецем установлено, що в результаті попередньої ТЦО та подальшого цементування за стандартним режимом товщина цементованого шару на 35 % більше, ніж у разі застосування попередньої нормалізації. Отже, показано принципову можливість прискорення ХТО попереднім термоцикуванням сталей для одержання наддрібного зерна.

Існуючі процеси високотемпературної ХТО, наприклад цементування за 920–950 °С або 1 000–1 100 °С, через велику температуру процесу насичення сталі вуглецем і тривалу витримку призводять до крупнозернистої структури та погіршення механічних властивостей виробів. Подрібнення зерен зазвичай досягають нормалізацією або гартуванням і високою відпусткою, а також легуванням сталей, що цементуються, рідкоземельними та сильно карбідотворювальними елементами. Але це малоефективно підвищує пластичність і в'язкість сталей. Для вирішення цієї проблеми було використано ТЦО після цементації. Деталі цементували за 940 °С або 1 080 °С і після цього піддавали ТЦО за таким режимом: 5-кратне нагрівання до 780–800 °С, охолодження на повітрі до 400 °С зі швидкістю 130 °С/хв, з останнього нагрівання – охолодження в маслі (гартування). Після ТЦО робили низьку відпустку за 180 °С. Твердість поверхневого загартованого шару становила 63–65 HRC.

Аналіз впливу такої ТЦО на властивості цементованих конструкційних сталей показав, що вона збільшує ударну в'язкість цементованого шару в 1,5–2 рази. Зносостійкість зразків після цементації, ТЦО та гартування з низькою відпусткою в 1,8–2 рази вища порівняно з контрольними зразками, що не пройшли ТЦО, а були загартованими та відпущеними за стандартним температурним режимом. Експериментально показано також, що запропонований метод остаточної ТЦО цементованих сталей збільшує втомну міцність на 15–20 %, пластичні властивості – на 25–85 %, ударну в'язкість – на 20–60 %, знижує поріг холодноламкості на 20–30 °С і тривалість процесу в 1,5–2 рази.

Застосування ТЦО після цементування дозволяє зменшити жолоблення виробів, підвищити ударну в'язкість

і втомну міцність сталі, істотно скоротити тривалість ТО та інше. У разі використання ТЦО після цементування можна без шкоди для остаточних властивостей збільшити температуру насичення дифузійної сталі вуглецем. Підвищення температури ХТО дозволяє скоротити тривалість оброблення в 1,2–1,7 рази й при цьому якість цементованого шару та перехідної зони покращується.

2.2. Роль ТЦО в процесі цементування

Вивчення впливу прискорених циклічних нагрівів та охолоджень, що супроводжуються фазовими перетвореннями, на процес насичення матеріалів вуглецем проведено на сталях 20Х, 18ХГТ та 12ХНЗА. Навуглецювання здійснювали пастою, що складається з 60 % $K_4Fe(CN)_6$, 20 % деревного вугілля, 10 % $BaCO_3$ і 10 % маршаїту. Режим термоциклічного цементування передбачав два цикли нагрівання зразків до температури вище за точку A_{c1} та охолодження нижче за точку A_{r1} . Ізотермічне насичення сталей проводили за температури, що дорівнює максимальній температурі циклу. В обох випадках насичення тривало 4–5 хвили. З рисунка 2 видно, що термоциклічний спосіб цементування ефективніший (на 15–20 %), ніж ізотермічний, незважаючи на меншу тривалість дифузійного насичення в стані аустеніту (на 30–40 %).

Експериментально було вивчено процес насичення вуглецем сталей 20, 20Х і 20Х11 із різними параметрами температурно-часового режиму ТЦО. За однаковий час насичення товщина науглеродженого шару після термоциклічного цементування у 2–2,5 рази більша, ніж після насичення за постійної температури процесу.

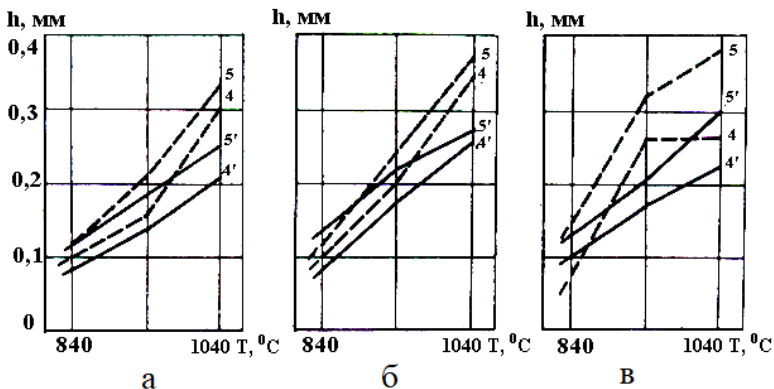


Рисунок 2 – Зміна товщини h цементованого шару під час циклічного (4, 5) та ізотермічного (4', 5') насичення впродовж відповідно 4 та 5 хвилин від температури оброблення T сталей 18ХГТ (а), 12ХН3А (б), 20Х (в)

Навуглецювання за ХТЦО сильніше в перших 5–10 циклах (тривалість 0,5–1 год). За цей час одержували вуглецевий шар товщиною 0,8–1 мм, тоді як такий самий шар при ізотермічних умовах через 3–5 год. Під час вивчення впливу швидкісних циклів на процес цементування визначено, що для сталей 20 і 20Х найкращий результат виходить за швидкості термоциклювання 10 циклів за годину.

Властивості цементованого шару залежать від його структури, а конфігурації та розмір карбідів, що виділяються в цементованому шарі, – від складу сталі та режиму ХТО. Одержання карбідів потрібних форм і розмірів – дуже складне. Оптимальна структура та відповідні властивості цементованого шару були одержані з використанням ТЦО в процесі цементування. Дослідження виконано на зразках зі сталей 12ХН3А, 25ХТМ, 20Х та поршневих пальцях зі сталі 12ХН3А. Цементування проводили у твердому карбюризаторі за

періодичної зміни температури та постійного температурного режиму виробничої технології. Час цементування в обох випадках – 18 год. Після цього зразки та деталі піддавали стандартному гартуванню та відпустці. Дослідження структури виробів, які пройшли термоциклічне цементування, показало, що карбідні включення у всій товщині шару мали округлу форму та малі розміри. У цементованому шарі, одержаному традиційним (ізотермічним) способом оброблення, карбіди розташовувалися переважно по межах зерен у вигляді сітки. Відзначено збільшення швидкості насичення під час термоциклічного цементування в 1,5–1,8 рази порівняно із цементуванням за постійної температури майже вдвічі збільшилася ефективна товщина зміцненого (цементованого) шару. На рисунку 3 показані результати вимірювання мікротвердості після різних режимів цементування сталі 12ХНЗА.

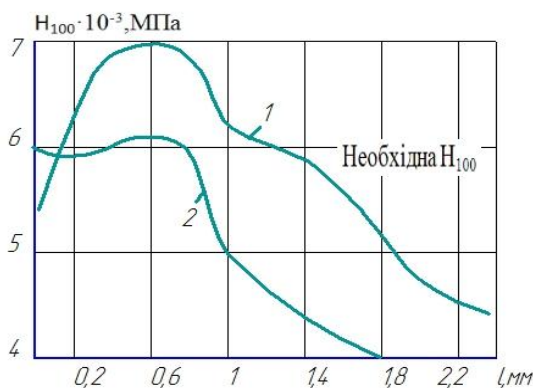


Рисунок 3 – Розподілення мікротвердості в поверхневому шарі сталі 12ХНЗА після цементування способом ХТЦО (1) та ізотермічної ХТО (2)

Випробування на статичну руйнування поршневих пальців показали, що цементовані пальці за ХТЦО режимом набагато міцніші за ті, які були оброблені за традиційним способом ХТО. Аналогічний результат одержано під час випробувань на втомну міцність та під час згинання зразків.

Часто під час ізотермічного цементування сталей 20Х, 18ХГТ і 20ХГНР у разі одержання вуглецю в поверхневому шарі до 1,1–1,3 % утворюються дефекти в структурі у вигляді троститних смуг або карбідної сітки по межах зерен, що призводить до значного зниження міцності деталей. Крім того, у тонкому поверхневому шарі завтовшки 10–20 мкм з'являються дрібні графітові включення. Ці включення утворюються в результаті розпаду карбідів та виділення вуглецю під дією високої температури, кисню та кремнію, що завжди містяться в сталях. Для одержання гарантованого бездефектно науглеродженого шару та скорочення тривалості цементації був випробуваний спосіб термоциклічної цементації названих вище сталей у середовищі з постійним складом (ендогаз із 4 % природного газу). Навуглецювання сталей із газового середовища в ізотермічному режимі проводили за 930 °С упродовж 5 год, а в режимі 5-кратного термоциклювання оброблення проводили впродовж 3 год зі зміною температури 680↔980 °С і витримували при цих температурах по 10–15 хв. На рисунку 4 показано зміну мікротвердості вглиб зразків після різних режимів цементування.

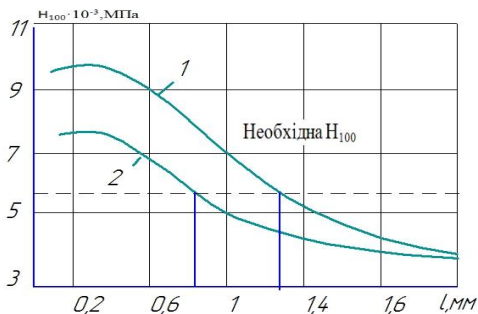


Рисунок 4 – Розподілення мікротвердості за глибиною шару сталі 20ХГНР після ХТЦО (1) та ізотермічної ХТО (2)

У таблиці 1 наведено дані щодо товщини цементованого шару, одержаного на кожній з оброблених сталей.

Таблиця 1 – Вплив режимів цементації на товщину шару

Марка сталі	Тип цементації	Товщина шару, мм	
		з металографічного аналізу	за мікротвердістю
20Х	Ізотермічний	0,7	1,05
	Термоциклічний	1,2	1,45
18ХГТ	Ізотермічний	0,75	–
	Термоциклічний	1,25	1,45
20ХГН Р	Ізотермічний	0,7	–
	Термоциклічний	1,3	1,45

2.3. Обґрунтування використання режимів термоциклювання при ХТЦО сталей

Дифузійні процеси належать до структурно-чутливих фізичних процесів і будь-які порушення кристалічної будови металу та вплив внутрішніх та зовнішніх напруг істотно впливає на кінетику цих процесів, тому видається перспективним використовувати в процесі дифузійного насичення режимів ТЦО.

Ефективність запропонованої технології методу ХТЦО оцінюється на рисунку 5, а порівняння кінетичних кривих науглецювання сталі 20Х за різних способів цементування.

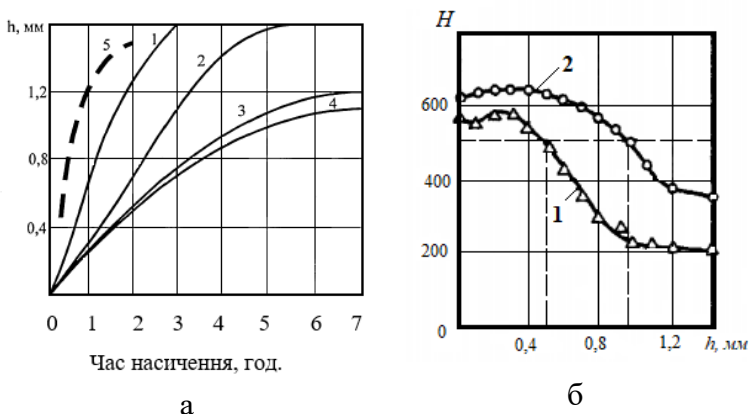


Рисунок 5 – Кінетичні криві науглецювання сталі 20Х за температури 920–940 °С та різних способів цементування: 1 – іонне цементування; 2 – в киплячому шарі; 3 – у шахтній печі; 4 – у камерній печі в атмосфері ендогаз + СН₄; 5 – режим ХТЦО (600↔950 °С) (а);

розподілення мікротвердості по товщині цементованого шару сталі 20Х (штриховою горизонтальною лінією показана твердість, відповідна ефективній товщині шару): 1 – після цементації за 950 °С 2 год (безТЦО); 2 – після цементування в режимі ТЦО за 650↔950°С, N = 5 циклов, τ = 1 год (б)

Тривалість науглецювання при ХТЦО сталі 20 значно менше (рис. 5, б) порівняно з іншими способами цементування, а апроксимація значень коефіцієнта корисного використання вуглецю насичувальної атмосфери в разі насичення в шахтній печі, з урахуванням малої тривалості дифузійного насичення методом ХТЦО не нижче 50 %.

2.4. Вплив хіміко-термоциклічного цементування на структуру та властивості матеріалів

ТЦО має значний вплив на структуру карбідів. Під час термоциклічного оброблення подрібнюються частинки карбідів та їх щільність, що здрибнює мартенситну структуру й вона стає більш однорідною.

Фазові та структурні перетворення під час термоциклічного оброблення часто відбуваються за змінної температури нагрівання – охолодження. Потреба багаторазового повторного оброблення за певних температур, обумовлена бажанням накопичувати зміни, які істотно покращують якість виробів і забезпечують властивості, недоступних під час проведення одноразового термооброблення.

Під час проведення дослідження впливу змінних температурно-часових величин на результат цементування сталі 18ХГТ використовували сажовий пастоподібний карбюризатор наступного складу, % мас.: вуглекислий барій – 15; сажа газова – 70; заліzosиньородистий калій – 15. Клей КМЦ застосовували як рідку складову.

На зразки наносили пасту, висушували та упаковували їх у невеликі контейнери (масою ~ 0,1 кг) для зниження інерційності нагрівання, порожні місця в контейнерах заповнювали подрібненим деревновугільним карбюризатором. Цементацию сталі 18ХГТ проводили за схемою, презентованою на рисунку 6.

У результаті експерименту було встановлено, що термоциклювання під час цементування спричиняє збільшення швидкості насичення поверхні сталі 18ХГТ. Але під час термоциклювання карбідна зона буде формуватися в глибині дифузійного шару, при ізотермічному насиченні карбідна зона – на поверхні. Також дослідження дає зробити висновок, що варіюючи температуру та час насичення поверхні, є можливість прискорити цементування конструкційних низьколегованих сталей.

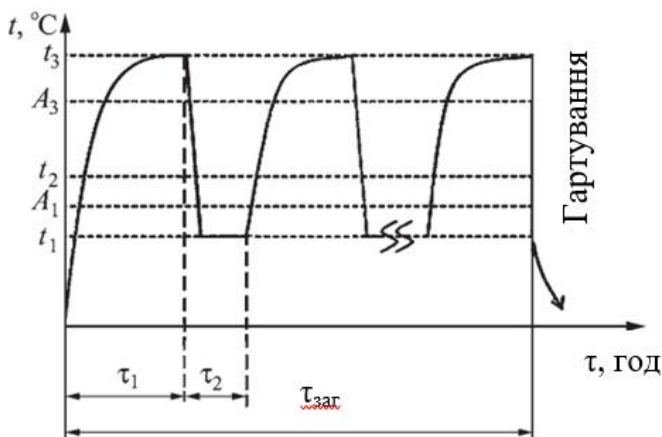


Рисунок 6 – Схема проведення цементування з термоциклюванням

Під час термоциклювання в процесі цементування сталі показана специфічність насичення дифузійних шарів азотом і вуглецем при хіміко-термічному обробленні сталі та як змінюється швидкість насичення сталі вуглецем у різних неізотермічних умовах.

Для дослідження застосовували сталь 18ХГТ, покрити пастою (сажа – 80 %, BaCO_3 – 20 %, пастоутворювач – клей КМЦ). Було проведено чотири

різних режими цементування сталі в природному газі.

У результаті експерименту зафіксована висока швидкість насичення під час термоцикування при зміні температури вище t_{A_3} та нижче t_{A_1} в системі Fe-C.

Під час оброблення сталі в газоподібній атмосфері в неізотермічних умовах (з використанням термоцикування) вуглецевий потенціал може бути збільшений без ризику утворення сажі на насичених поверхнях.

У легованих сталях із карбідоутворювальними елементами (18ХГТ, 25ХГМ, 20Х) цементация газом в ендотермічної атмосфері з добавкою 3 % CH_4 , що проводиться в умовах термоцикування, дозволяє одержати структуру дифузійного шару з надлишком карбідів у вигляді невеликих округлих включень, рівномірно розміщених у металевій матриці.

Дослідження процесу хіміко-термічного оброблення з використанням термоцикування показало, що під час терморегулювання в інтервалі від 900 до 750 °С (та нижче), зі швидкістю нагрівання 30–80 °С/хв. та з такою самою швидкістю охолодження, за тривалості кожного циклу до 2-х годин не відбувається зростання зерна ні в дифузійному шарі, ні в серцевині цементованих сталей.

Це стосується як простих вуглецевих сталей, так і сталей, легованих марганцем та нікелем, які за стаціонарних режимів схильні до зростання аустенітного зерна. Тому термоциклічне оброблення дозволяє поєднати цементування деталей із будь-яких сталей із нагріванням під гартування, що робить таке оброблення дуже економічним, оскільки дозволяє скоротити час оброблення деталей та витрати енергії на їх нагрівання.

Процес хіміко-термічного оброблення сталі з використанням ТЦО дає можливість зменшити тривалість цього процесу, збільшити вміст вуглецю в дифузійному

шарі, здійснювати гартування цементованих деталей безпосередньо із цементаційного нагріву.

Розроблений спосіб оброблення поверхні, що складається із цементування та високотемпературного термоцикування (ВТЦО) дає можливість одержати однорідну структуру, подрібнити структуру сталі, ущільнити карбіди.

Зразки зі сталі 20ГЛ піддавалися цементації у твердому карбюризаторі впродовж 12 годин з охолодженням у коробі. Після цього проводилась ВТЦО з нагріванням до 950 °С ↔ 20 °С (охолодження до кімнатної температури на повітрі), з подальшим гартуванням на останньому циклі в воду з температур 850 °С і 1 000 °С та низьким відпуском за 180 °С. Число циклів становило 5, 11 і 17 (гартування за температури 850 °С) і 2, 8 і 14 циклів (гартування за температури 1 000 °С).

Під час проведення досліджень установлено, що після застосування оптимальних режимів високотемпературного термоциклічного оброблення та подальшого зміцнення цементованої сталі 20ГЛ її зносостійкість може бути значно збільшена. Збільшення зносостійкості йде через оптимальні режими ВТЦО та утворення позитивної мікроструктури подрібненої карбідами, тому ці режими можна застосовувати для відновлення деяких зношених деталей металургійного устаткування.

Використання термоциклічного оброблення безпосередньо в процесах ХТО під час цементування (ХТЦО) дозволяє за більш короткий час, ніж при ізотермічній витримці, досягти необхідного дифузійного збагачення поверхневих шарів металами або неметалами із зовнішнього активного середовища.

Вивчення кінетики росту дифузійних шарів під час ХТЦО показало, що використання маятникової ТЦО при

цементуванні низьковуглецевих сталей призводить не лише до скорочення тривалості ТО, а й до збільшення товщини цементованого шару на 20–25 %. Необхідно зазначити, що ХТЦО усуває частково або повністю зростання зерна, яке відбувається під час нагрівання й витримання в аустенітному стані при традиційній ХТО.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Виконання мети роботи проводять на зразках, виготовлених зі сталі 20 (20Х), які містять біля 0,20 % С і їх традиційно застосовують для проведення цементування.

Після виготовлення зразки піддавалися ТО, ХТО і ХТЦО за режимами, обраними відповідно до марки сталі. Вибрані режими й результати досліджень властивостей заносять до таблиці 2.

Таблиця 2 – Режими ХТЦО (цементування з ТЦО) сталі й результати досліджень

Номер порядковий	Вид оброблення	Температурний режим, °С	Тривалість оброблення, год.	Режим нагрівання та охолодження, град/сек
1				
2				
3				
4				
5				
6				

4. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 4.1. Мета роботи.
- 4.2. Короткі теоретичні положення.
- 4.3. Методика роботи.
- 4.4. Результати досліджень із наведенням графіків проведення різного виду термічного оброблення та рисунків структур.
- 4.5. Висновки.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. У чому полягає хіміко-термічне оброблення сталі?
2. Що таке цементування?
3. Які цілі цементування?
4. Назвіть основні недоліки традиційної ХТО.
5. Охарактеризуйте вплив попередньої ТЦО на властивості сталі.
6. Як впливає ТЦО під час цементування на розмір зерна?
7. Поясніть, як впливає ТЦО на зміну товщини цементованого шару.
8. Як змінюється мікротвердість після різних режимів цементування сталі 12ХН3А?
9. Як впливає ТЦО на товщину цементованого шару при ХТЦО?
10. Як впливає режим із різної кількості циклів ХТЦО на мікроструктуру сталі 20Х?
11. Як впливає хіміко-термоциклічне цементування на структуру матеріалів? Назвіть приклади.
12. Який вплив хіміко-термоциклічного цементування на властивості матеріалів? Назвіть приклади.
13. Назвіть фактори, що впливають на кінцеву структуру сталей при ТЦО.
14. Поясніть вплив ТЦО на мікротвердість зразків зі сталі 20Х.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Cheiliakh A. P. Strengthening Technologies of Materials Treatment: text-book / A. P. Cheiliakh, Ya. A. Cheiliakh, Yu. S. Samotugina. – Mariupol : PSTU, 2015. – 202 p.

2. Говорун Т. П. Методичні вказівки до лабораторної роботи Вплив термоциклічного оброблення на структуру і розмір зерна доевтектоїдних конструкційних сталей : методичні вказівки для студ. спец. 132 «Матеріалознавство» всіх форм навчання / Т. П. Говорун, О. П. Гапонова, Х. В. Берладір. – Суми : СумДУ, 2018. – 28 с.

3. Коровайченко Ю. М. Вплив термоциклічної обробки на основні показники механічних властивостей відновлених деталей / Ю. М. Коровайченко // Системи управління та обробки інформації. – 2015. – № 4. – С. 103–108.

4. Sizov I. G. A study of thermocycling boroaluminizing of carbon steel / I. G. Sizov, U. L. Mishigdorzhyn, D. M. Maharov // Metal Science and Heat Treatment. – 2012. – V. 53. – Iss. 11. – P. 592–597.

5. Патент 41390 України, Кл. C21D1/78. Спосіб контролю оптимального числа циклів термообробки при термоциклічній обробці конструкційних сталей / М. С. Стечишин, А. І. Береговий / Опубл. 25.01.2009.

6. Стечишин М. С. Вплив термоциклічної обробки на фізико-механічні та трибологічні характеристики конструкційних сталей / М. С. Стечишин, А. І. Береговий, І. М. Береговий // Проблеми тертя та зношування. – 2009. – Вип. 51. – С. 52–62.

7. Стечишин М. С. Вплив термоциклічної обробки на структуру і фізико-хімічні властивості конструкційних сталей / М. С. Стечишин, А. І. Береговий, // Вісн. ХНУ.

Технічні науки. – Хмельницький, – 2007. – № 1. – С. 28–34.

8. Патент на корисну модель України, UA 66973. Спосіб комбінованого низькотемпературного іонно-плазмового азотування матеріалів / М. С. Стечишин, А. І. Береговий, Н. М. Стечишина / Корисна модель u201108574, Опубліковано 25.01.2012, Бюл.№ 2, 2012 р.

9. Wu Di. Effect of controlled cooling after hot rolling on mechanical properties of hot rolled TRIP steel / Di Wu, Li Zhuang, Lu Hui-Sheng // J. of Iron and Steel Research Internat. – 2008. – 15, No. 2. – P. 65–70.

10. Береговий А. І. Розробка способу контролю оптимального числа циклів термообробки при термоциклічній обробці конструкційних сталей / А. І. Береговий // Проблеми трибології. – 2010, № 3. – С. 60–65.

11. Дробот О. С. Розробка режиму термоциклічної обробки для сталі 13X / О. С. Дробот, С. Я. Підгайчук, В. І. Гудзь, Г. А. Покришко // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – 2021. – № 3, Ч. 1. – С. 105–109.

12. Levent C. K. Surface Modification of AISI 4140 Steel Using Electrolytic Plasma Thermocyclic Treatment / C. K. Levent, O. Ahmet // Materials and Manufacturing Processes. – 2012. – 25(9). – P. 923–931.

13. Effect of thermocycling and surface treatment on repair bond strength of composite / N. Kiomarsi, P. Saburian, N. Chiniforush, M.-J. Karazifard, and S. -S. Hashemikamangar // J Clin Exp Dent. – 2017. – 9(8). P. 945–951.

14. Чейлях А. П. Вплив високотемпературної термоциклічної обробки на структуру та властивості цементованої сталі 20ГЛ / А. П. Чейлях, Н. Е. Караваева //

Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2015. – Вип. № 50 – С. 238–243.

15. Samoilovich Yu. A. Extending sleeve life in a borehole pipe by thermocyclic treatment / Yu. A. Samoilovich // Steel in Translation. – 2017. – Vol. 47, No. 4. – P. 274–279.

Електронне навчальне видання

Методичні вказівки

до виконання лабораторної роботи
на тему «***Вплив термоциклічного оброблення
на структуру та розмір зерна чорних сплавів
під час проведення цементування***»
з дисципліни «**Наукові основи вибору матеріала
і прогресивних зміцнюючих технологій**»
для здобувачів спеціальності *132 «Матеріалознавство»*
всіх форм здобуття вищої освіти

Відповідальна за випуск О. П. Гапонова
Редакторка О. Ф. Дубровіна
Комп'ютерне верстання Т. П. Говорун

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 1,37. Обл.-вид. арк. 0,93.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Харківська, 116, м. Суми, 40007

Свідоцтво про внесення суб'єкта господарювання до державного реєстру видавців,
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 8193 від 15.10.2024.