

Береговий А.І.Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна**РОЗРОБКА СПОСОБУ КОНТРОЛЮ
ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА ЦИКЛІВ
ТЕРМООБРОБКИ ПРИ ТЕРМОЦИКЛІЧНІЙ
ОБРОБЦІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ****Постановка проблеми**

Термоциклічна обробка (ТЦО) сталей і чавунів дозволяє отримувати дрібнозернисту структуру, що суттєво впливає на їх механічні і фізико-хімічні властивості [1]. Проведені нами дослідження показали, що після ТЦО зменшується швидкість протікання електрохімічних процесів, зменшуються струми корозії [2]. При цьому зменшення струмів корозії термоцикльованих зразків порівняно з нормалізованими тим більше, чим вища корозійна активність розчину вибраного для проведення випробувань.

При терті та кавітації металів в корозійно-активних середовищах-електролітах процеси руйнування їх поверхонь визначаються адсорбційною і корозійною втомою [3]. Зміна втомної витривалості, яка зумовлена адсорбцією є наслідком прояву ефекту Ребіндера [4, 5]. Протікання процесів адсорбції значною мірою обумовлене величиною і характером зміни електродних потенціалів.

Таким чином, поверхнева міцність металу залежить не лише від його фізико-механічних характеристик, але і від електрохімічних параметрів, які визначають термодинамічний стан системи поверхня-корозійне середовище [6]. Оскільки електродний потенціал у значній мірі характеризує термодинамічний стан поверхні металу в досліджуваному середовищі, а отже і поверхневу міцність та опір руйнуванню при дії зовнішнього навантаження, то кінетика зміни потенціалу в середовищі визначає опір дії середовищу і зовнішнім навантаженням.

Слід відмітити, що аналіз літературних даних показує на, в деяких випадках, "схематичне" застосування ТЦО для конкретних випадків підвищення надійності і довговічності деталей, без врахування умов їх роботи: циклічності навантажень, зміни температурних полів, агресивності корозійного середовища, виду зношування, тощо. Разом з тим, для кожного випадку слід застосовувати оптимальні режими і види ТЦО, які визначаються, насамперед, маркою матеріалу, швидкістю нагріву та охолодження, кількістю термоциклів.

Методика проведення досліджень

Авторами вивчався вплив ТЦО на структуру сталей 45 і 40Х з метою подальшого використання термоцикльованих зразків для дослідження закономірностей зміни їх електрохімічних параметрів, характеристик міцності та зносостійкості. Термоциклювання зразків проводили маятниковим способом (рис. 1, а) та способом середньотемпературної ТЦО (рис. 1, б) [1].

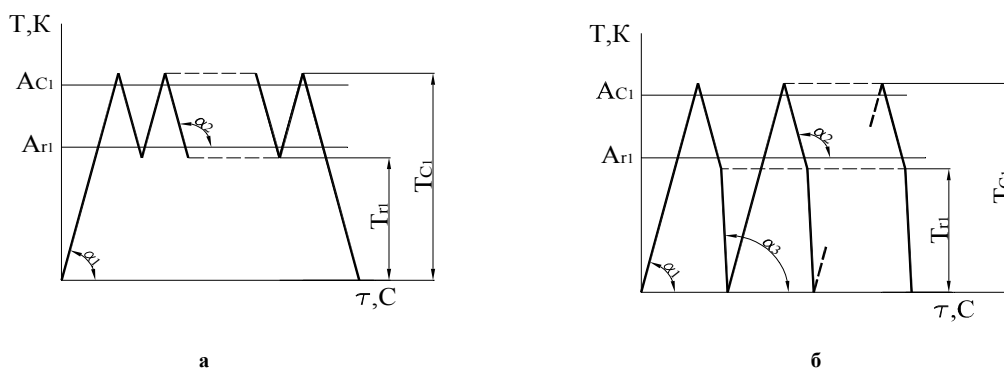


Рис. 1 – Схеми режимів ТЦО:
а – маятниковий режим;
б – середньотемпературний режим

Точки A_{C1} і A_{r1} є критичними точками початку перетворення перліта в аустеніт ($\alpha \rightarrow \gamma$) при нагріванні і початку перетворення аустеніта в перліт ($\gamma \rightarrow \alpha$) при охолодженні. Початок виділення фериту з аустеніту – A_{r3} і кінець розчинення фериту в аустеніт – A_{C3} .

У нашому випадку для сталі 45 вміст вуглецю біля 0,45 %, але не перевищує 0,8 % і маємо вуглецеву сталь перлітного класу.

Згідно [1] для вуглецевих доєвтоктоїдних сталей (сталь 45) температура нагріву повинна перевищувати на 303 ... 323 К температуру точки A_{C1} , яка дорівнює 1003 К [1], а температура охолодження на 323 ... 353 К нижче температури точки A_{r1} .

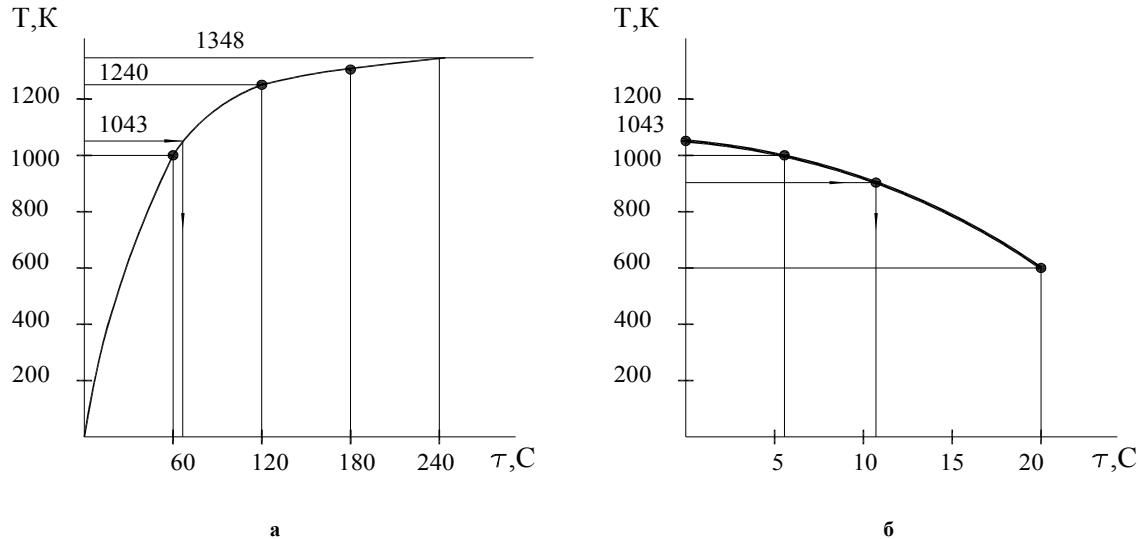


Рис. 2 – Криві нагріву (а) та охолодження (б) зразка сталі 45 в печі

Виходячи з цих міркувань при маятниковому способі ТЦО зразки нагрівали до температури 1043 К з наступним охолодженням на повітрі до 903 К. На рис.2 стрілками на прямих показано знаходження вказаних температур за часом нагрівання (рис.1, а) і охолодження (рис.2, б) відповідно за кривими нагрівання та охолодження зразка (при маятниковому способі ТЦО).

При середньотемпературній ТЦО нагрів вели до 1053 К з наступним охолодженням до 943 К на повітрі, а далі охолоджували у воді (рис. 2, б).

На рис. 1 тангенси кутів α_1 , α_2 і α_3 характеризують відповідно швидкості нагріву, охолодження на повітрі та охолодження у воді. Очевидно, що для створення автоматизованої системи управління та контролю процесу ТЦО необхідно контролювати ці параметри і вносити відповідні корективи залежно від форми, матеріалу та маси деталі. Швидкість нагріву приймали 5,4; 5,8; 6,2 К/с.

Для забезпечення таких швидкостей нагріву зразки поміщалися в попередньо прогріту до температури 1348 К шахтну піч типу СШОЛ з автоматичним регулюванням температури. Експериментальний підбір температури печі для забезпечення необхідної швидкості нагріву проводили шляхом побудови кривої нагріву зразка, знятої за допомогою зачеканеної в ньому хромель-алюмелювої термопари. У подальшому при ТЦО температуру нагріву контролювали за часом перебування зразка в печі.

Для формування структури зернистого перліту необхідно чітко витримувати задану швидкість охолодження. Як відомо, цементит в перліті залежно від швидкості охолодження може мати зернисту (дрібнозернисту) або пластинчасту форму. Формування структури цементиту має дифузійний характер і при повільному охолодженні (недостатній швидкості) обов'язково формується пластинчастий цементит. При охолодженні зі швидкістю більшою за оптимальну, навпаки, цементит не встигає сформуватися і структура, в основному складається з фериту. Останнє призводить до значного зниження механічних характеристик сталі.

Так встановлено, що збільшення швидкості охолодження сталі У8 більше за 6 К/с перешкоджає сфероїдизації цементиту [11].

У роботі [10] вказується на дослідження впливу швидкості охолодження в границях 30 ... 300 °C/хв, але не наводяться конкретні дані про техніку реалізації таких швидкостей та даних про зміну структури залежно від зміни швидкості охолодження. У монографії [1] також більш докладно описано вплив швидкості нагрівання на структуру і властивості сталей і чавунів, але майже відсутні дані про вплив швидкості охолодження. З врахуванням того, що охолодження або підступування до температур нижче точки A_{r1} проводиться на повітрі, то ця швидкість визначається, в основному, температурою навколишнього середовища. В наших дослідях вона становила приблизно 22 К/с.

Крім того, для знаходження оптимального числа циклів n термообробки, кількість циклів приймали від 4 до 8 ($n = 4 \dots 8$). Така кількість термоциклів вибиралася виходячи з того, що при збільшенні процентного вмісту вуглецю і легуючих елементів збільшується енергоємність $\alpha \leftrightarrow \gamma$ перетворень [1, 10]. Кинетику електрохімічних процесів, які протікають у системі зразок-електроліт, вивчали за допомогою потенціостату П-5827 М.

Результати досліджень

Аналіз кінетики зміни потенціалу сталі 45 в 3 %-му розчині хлориду натрію після маятникової (рис. 3) та після середньотемпературної (рис.4) ТЦО підтверджують результати впливу ТЦО на зміни структури і, відповідно, на зміни механічних властивостей, кавітаційно-ерозійної стійкості, характеристики втомної витривалості отримані нами в роботах [2, 7]. І, навпаки, отримані в даній роботі результати дозволяють додатково аргументувати і підкріпити отримані в попередніх роботах [2, 7] результати. Зокрема, для знаходження оптимальної кількості термоциклів попт проводять металографічний аналіз для оцінки ступеня подрібнення зерна [7] або визначають ударну в'язкість [1, 2]. Наші дослідження свідчать про можливість знаходження попт шляхом аналізу характеру зміни кривих потенціал – час випробувань.

З рис. 3 видно, що при оптимальному числі циклів $n_{opt} = 5 \dots 6$ для маятникової ТЦО відповідно даних [1, 7] криві зміни потенціалу практично співпадають, а характер зміни потенціалу найбільш близько наближається до прямої, особливо це характерно для кривої при $n_{opt} = 6$. Для якої після 1 хв. випробувань потенціал практично стабілізується за величиною, а встановлений потенціал знаходиться в межах $\phi_{вст} = -525 \dots -535$ мВ. При числі циклів $n = 5$ встановлений потенціал $\phi_{вст} = -540$ мВ. Останнє вказує на те, що при числі циклів термообробки $n = 6$ отримана більш однорідна структура і, відповідно, більш рівномірний розподіл термодинамічного потенціалу по усій поверхні зразка. При числі циклів $n = 4$ деяка частина зерен перліту не встигла пройти перетворення, на що чітко вказує характер зміни потенціалу поверхні ϕ від часу (крива 2 на рис. 3). Неоднорідність структури і нерівномірність розподілу термодинамічного потенціалу найбільш характерні для нормалізованих зразків сталі 45 (крива 1 на рис. 3). Максимальне відхилення від встановленого потенціалу тут досягає $\Delta \phi = -110 \dots -120$ мВ, а для термоцикльованих зразків $\Delta \phi = -15 \dots -20$ мВ. При цьому із збільшенням числа термоциклів від 4 до 6 ця різниця зменшується і встановлені потенціали практично однакові $\phi_{вст} \approx -540 \dots -580$ мВ.

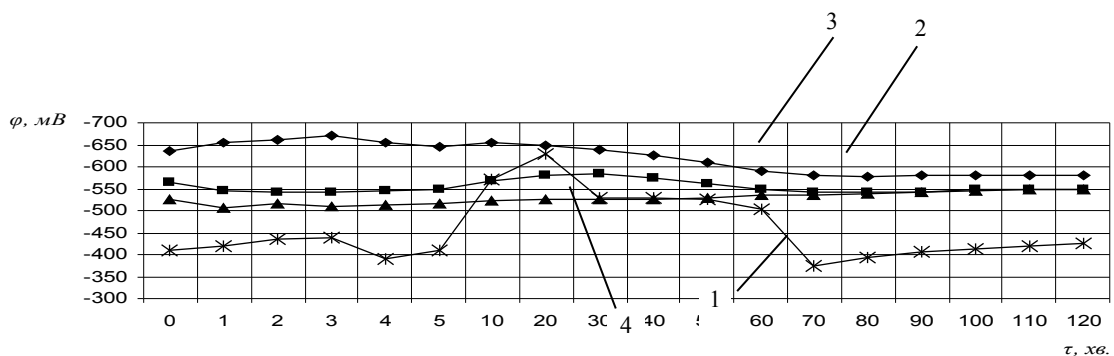


Рис. 3 – Кінетика зміни потенціалу сталі 45 після маятникової ТЦО в 3 %-му розчині NaCl:
1 – нормалізація; 2 – 4 цикли;
3 – 5 циклів; 4 – 6 циклів

Аналогічна картина спостерігається і при середньотемпературній ТЦО сталі 45. При числі циклів термообробки $n_{opt} = 5$ і 6 криві зміни потенціалу співпадають (криві 3 і 4 на рис. 4) і встановлений потенціал для них $\phi_{вст} \approx -490$ мВ, а при $n = 4$ $\phi_{вст} \approx -520$ мВ. Однак, на протязі всього часу випробувань між кривими термоцикльованих зразків спостерігається тенденція до наближення значень потенціалів (криві 2, 3 і 4).

В роботах [2, 7, 8] показано, що кількість термоциклів при середньотемпературній ТЦО сталі 45 становить $n_{opt} = 7 \dots 8$. Така кількість термоциклів знайдена або за результатами металографічного

аналізу, або за результатами випробувань на ударну в'язкість. Наші дослідження (рис. 4, криві 3, 4) показують, що оптимальна кількість циклів становить $n_{opt} = 5 \dots 6$ циклів.

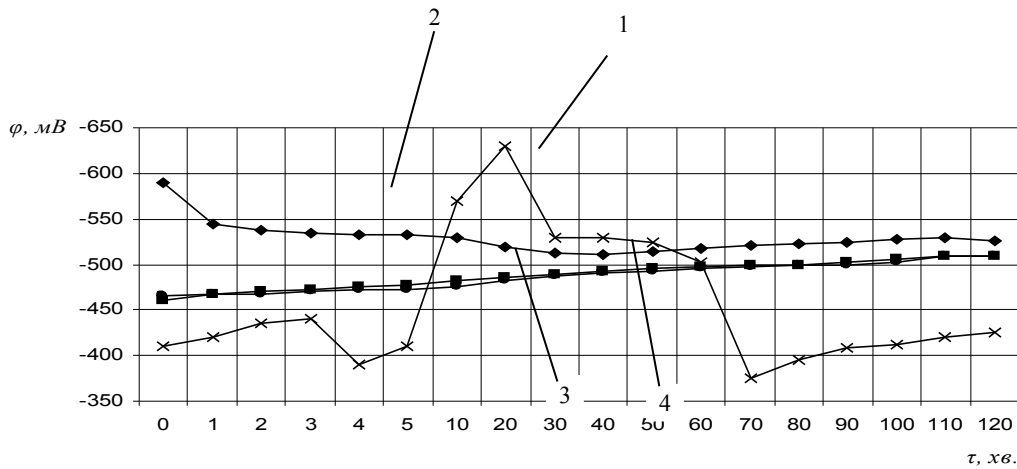


Рис. 4 – Кінетика зміни потенціалу зразків сталі 45 після середньотемпературної ТЦО в 3 %-му розчині NaCl:
1 – нормалізація; 2 – 4 цикли;
3 – 5 циклів; 4 – 6 циклів

В роботі [1] показано дещо іншу кількість оптимального числа термоциклів для сталі 45 при середньотемпературній ТЦО, а саме $n_{opt} = 4 \dots 5$, що майже співпадає з нашими даними ($n_{opt} = 5 \dots 6$). Крім того, аналіз приведеної в роботі графічної залежності ударна в'язкість – число циклів ТЦО для сталі 45 [1, рис. 15, с. 34] також дозволяє стверджувати, що оптимальне число циклів знаходиться в межах $n_{opt} = 5 \dots 6$. Отже, електрохімічні випробування дозволяють доволі швидко, а головне точно визначити оптимальну кількість циклів при ТЦО вуглецевих сталей. Тим більше, що при маятниковому способі ТЦО рекомендоване в літературі [1, 8] оптимальне число циклів повністю співпадає з нашими даними ($n_{opt} = 5 \dots 6$ циклів).

Особливістю термоциклічної обробки легованих сталей перлітного класу порівняно зі звичайними вуглецевими сталями, в нашому випадку сталі 40X і 45, є те, що температурна ($\alpha \leftrightarrow \gamma$) більша, аніж на відповідних по вуглецю нелегованих сталях. Структурні перетворення при ТЦО легованих сталей проходять менш інтенсивно. Тому поряд з підвищенням максимальної температури нагріву вище точки A_{C1} до 50 ... 70 °C збільшується число термоциклів. Так в наших дослідях, для сталей 40X температура нагріву становила 790 ... 810 °C, а число термоциклів $n = 7 \dots 9$. Число термоциклів вибирали виходячи з результатів, отриманих в роботах [1, 2].

Аналіз кінетики зміни потенціалу зразків сталі 40X після маятнкової ТЦО (рис. 5) показує значно більшу різницю потенціалів, особливо на початку випробувань в 3 %-му розчині хлориду натрію, як між нормалізованими і термоцикльованими, так і між термоцикльованими з різним числом термоциклів зразків між собою.

Криві зміни потенціалу в часі нормалізованих і термоцикльованих при $n = 8$ і 9 циклів описуються майже однаковими кривими і потенціал нормалізованих зразків є більш "благородним" порівняно з термоцикльованими зразками. Пояснити це можна тим, що при маятниковому способі ТЦО отримуємо структуру у якій мілкі вкраплення перліту оточені феритом з виділеннями карбідів хрому. Останнє приводить до електрохімічної гетерогенності фазових складових структури і, як наслідок, посилення дії мікрогальванопар. Разом з тим, аналіз кінетики зміни потенціалу і в цьому випадку показує рівномірність розподілу термодинамічного потенціалу поверхні, зв'язаного з повнотою структурних перетворень фазового складу і можливість контролю вибору оптимального числа термоциклів ТЦО.

Так, максимальна різниця потенціалів між нормалізованими і термоцикльованими зразками сталі 40X (5 хв випробувань) становила біля $\Delta\phi \approx -80$ мВ, а в кінці (100 ... 120 хв) – $\Delta\phi \approx -40$ мВ. При $n = 9$ зміна потенціалу в часі найбільше наближається до прямої, що свідчить про рівномірність поверхневої структури (крива 4 на рис. 5). В кінці випробувань (50 хв) потенціали термоцикльованих зразків стабілізуються і в середньому становлять біля $-515 \dots -520$ мВ, а для нормалізованих біля -500 мВ. Незважаючи на більш нижчі від'ємні значення потенціалів нормалізованих зразків сталей 45 і

40X порівняно з термоцикльованими, кінетика зміни їх потенціалу характерна значно вищими швидкостями, що є свідченням проходження активних корозійних процесів при їх контакті з розчином хлориду натрію. Так, потенціал нормалізованих зразків сталі 45 змінюється на протязі 120 хв випробувань на величину $\Delta \phi = -100$ мВ і продовжує зростати в більшу сторону від'ємних значень в подальшому, але вже з меншою швидкістю. Останнє пояснюється менш однорідною структурою порівняно з термоцикльованими зразками сталі 45, а також внаслідок подрібнення зерен утворюється значно більша кількість мікрогальванічних пар, але із значно меншою електрорушійною силою з різнонаправленими електричними полями, що проводить, в багатьох випадках, до їх нейтралізації.

У випадку середньотемпературної ТЦО сталі 40X по всьому перерізу отримували структуру сорбітоподібного перліту з рівномірно розподіленими включеннями карбїду хрому [7]. Аналіз зміни кінетики потенціалу в часі наочно підтверджує результати металографічного аналізу (рис. 5). Тут маємо найменші розходження значень потенціалу, як на початку випробувань $\Delta \phi = -60$ мВ, так і в кінці –

$\Delta \phi = -40$ мВ. З електрохімічних позицій для підвищення корозійної стійкості, вирівнювання термодинамічного потенціалу поверхні середньотемпературна ТЦО легованих хромом конструкційних сталей більш ефективна ніж маятникова ТЦО. Так, для термоцикльованих зразків потенціал більш „благородний” (має менше чисельне значення від'ємного потенціалу за абсолютною величиною) аніж для нормалізованих зразків.

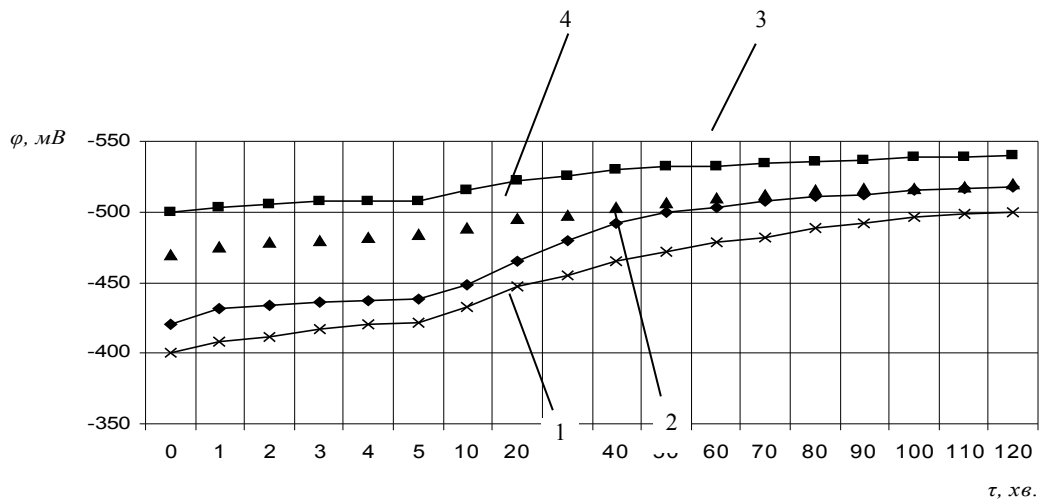


Рис. 5 Кінетика зміни потенціалу зразків сталі 40X після маятничкової ТЦО в 3%-му розчині NaCl:
1 – нормалізація; 2 – 7 циклів;
3 – 8 циклів; 4 – 9 циклів

Описана кінематика зміни потенціалу в часі підтверджується також і результатами знайдених значень струмів корозії, отриманих нами відповідно розробленої методики проведення досліджень та комп'ютерної програми обробки результатів, що описані в роботі [7]. Так, густина струмів корозії термоцикльованих маятничковим способом зразків сталі 45 в 3 %-му розчині хлориду натрію і в жорсткій воді досягає значень (при $n = 5$ циклів) 0,052 і 0,030 мА/см², що відповідно в 1,52 і 1,23 рази менше аніж густина струмів корозії для нормалізованих зразків. Подальші дослідження на зносостійкість при мікроударному навантаженні в 3 %-му розчині хлориду натрію при амплітуді коливань вібратора ($a = 28$ мкм) показали підвищення стійкості термоцикльованих зразків в 1,35 разів порівняно з нормалізованими. Та при амплітуді коливань вібратора $a = 40$ мкм термоцикльовані і нормалізовані зразки в жорсткій воді та в розчині хлориду натрію показали приблизно однакову зносостійкість, а при амплітудах коливань вібратора 28 і 40 мкм в жорсткій воді термоцикльовані і нормалізовані зразки мають практично однакову стійкість [7].

На базі проведених досліджень було поставлене завдання контролю повноти фазових перетворень структури конструкційних сталей при їх ТЦО, яка залежить від кількості термоциклів. Поставлене завдання досягається шляхом зняття кінетичних кривих зміни потенціалу в часі $\phi - \tau$ зразків із конструкційних сталей в 3 %-му розчині хлориду натрію після маятничкової та середньотемпературної ТЦО. Аналіз цих кривих показує, що при оптимальному числі термоциклів $n_{opt} = 5 \dots 6$ для сталі 45

(рис. 4, криві 3, 4), $n_{opt} = 7 \dots 9$ для сталі 40X (рис. 5, криві 2, 3, 4) вони практично співпадають, а характер зміни потенціалу найбільш близько наближається до прямої.

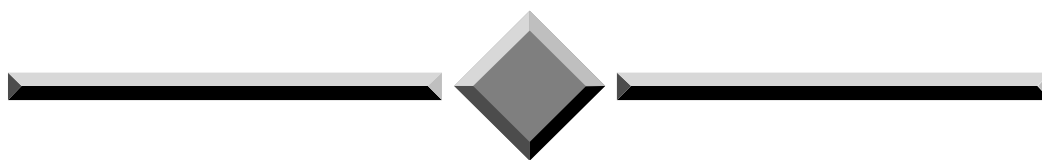
Висновки

Проведені дослідження дозволили розробити спосіб контролю оптимального числа циклів термообробки при маятниковій і середньотемпературній термоциклічній обробці (ТЦО) конструкційних сталей, який виключає виготовлення стандартних шліфів або проведення випробувань по визначенню ударної в'язкості.

Література

1. Федюкін В.К. Термоциклическая обработка сталей и чугунов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. – 144 с.
2. Стечишин М.С., Береговий А.І. Вплив термоциклічної обробки на механічні характеристики та втомну витривалість // Вісник ХНУ. Технічні науки: Хмельницький – 2007. – № 3 – С. 24-28.
3. Прейс Г.А. О природе коррозионно-механического изнашивания металлов / Трение и износ. – 1987. – Т.8. – № 5. – С. 792-797.
4. Карпенко Г.В. Влияние среды на прочность и долговечность материалов. – К.: Наукова думка, 1976. – 125 с.
5. Свойства конструкционных материалов при воздействии рабочих сред. / Сб. научных трудов. – К.: Наукова думка, 1980. – 339 с.
6. Гутман Э.М. Механохимия металлов и защита от коррозии. – М.: Металлургия, 1981. – 270 с.
7. Стечишин М.С., Береговий А.І. Вплив термоциклічної обробки на структуру і фізико-хімічні властивості конструкційних сталей // Вісник ХНУ. Технічні науки: Хмельницький – 2007. – № 1 – С. 28-34.
8. 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. – 2001. – № 3, Ч. 1. – С. 105-109.
9. Стечишин М.С. Довговічність деталей обладнання харчової промисловості при корозійно-механічному зношуванні: Автореф. дис. д-ра техн.наук. – Хмельницький, 1998. – 32 с.
10. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1977. – 647 с.
11. Кряжев В.Г., Гуров К.П., Белоусов О.К. и др. Структурообразование в эвтектоидных сталях при термоциклической обработке // Физика и химия обработки металлов. – 1988. – № 6 – С. 36-38

Надійшла 13.05.2010



ЧИТАЙТЕ
журнал
“Problems of Tribology”
во всемирной сети
INTERNET !

<http://www.tup.km.ua/science/journals/tribology/>