

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №3
«Визначення температурних меж дифузії (самодифузії) для атомів
металів і вуглецю в фериті та аустеніті»

з дисципліни «Технологічні процеси та комплекси
зміцнення та відновлення деталей машин»

для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка»
освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості
деталей і конструкцій»
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №3 «Визначення температурних меж дифузії (самодифузії) для атомів металів і вуглецю в фериті та аустеніті» з дисципліни «Технологічні процеси та комплекси зміцнення та відновлення деталей машин» для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка» освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укл. М.М. Бриков. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024 – 9 с.

Укладач: М.М. Бриков, професор, докт. техн. наук

Рецензент: М.Ю. Осіпов, доцент, канд. техн. наук

Відповідальний
за випуск: М.М. Бриков, професор, докт. техн. наук

ЗАТВЕРДЖЕНО:
на засіданні кафедри ІТЗ та МК
Протокол №5 від 29.11.2024 р.

Рекомендовано
до видання НМК ІФФ
Протокол №4
від 17.12.2024 р.

ЗМІСТ

1 Мета роботи	4
2 Загальні відомості.....	4
3 Обладнання, прилади та матеріали	7
4 Порядок виконання роботи.....	8
5 Зміст звіту.....	8
6 Контрольні запитання	8
Рекомендована література	9

1 МЕТА РОБОТИ

На підставі теоретичного аналізу і практичного досвіду дістати чіткого уявлення про температурні межі дифузії атомів впровадження і атомів заміщення в залізовуглецевих сплавах.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

У теорії й практиці зміцнення й термічної обробки металевих матеріалів найважливіша роль належить дифузійним процесам.

Наприклад, у процесі охолодження заліза й сплавів на його основі відбувається фазове перетворення $\text{Fe}_\gamma \rightarrow \text{Fe}_\alpha$. При повільному охолодженні перетворення відбувається дифузійним шляхом, за способом «атом за атомом». Для цього необхідно «відірвати» атом від кристалічної ґратки вихідної фази й «приєднати» його до кристалічної ґратки фази, що знову утворюється.

Для ініціювання цього процесу потрібна велика енергія, так звана енергія активації. Так, енергія активації перлітного перетворення у вуглецевій сталі дорівнює 200 кДж/моль. Однак, при приєднанні атома до нової кристалічної ґратки більша частина цієї енергії виділяється. Тому тепловий ефект перлітного перетворення становить лише 0,04 кДж/моль.

Швидкість дифузії характеризується коефіцієнтом дифузії D , який залежить від абсолютної температури T і енергії активації дифузії Q :

$$D = D_0 \exp(-Q/RT),$$

де R – газова стала, 0,008314 кДж/(моль * К);

D_0 – константа рівняння, чисельно рівна коефіцієнту дифузії при $T = \infty$.

Коефіцієнт дифузії D дорівнює квадрату відстані в см , який даний атом проходить за одну секунду, таким чином, середня відстань, яку атом пройде за секунду, складе $\sqrt{D}$.

Нижче приводяться рівняння температурної залежності коефіцієнтів самодифузії заліза.

Температурна залежність коефіцієнта самодифузії заліза Fe_α представляється наступними рівняннями:

для Fe_α :

$$\begin{aligned} D &= 2,3 \cdot 10^3 \exp(-306/RT), \\ D &= 5,3 \cdot 10^2 \exp(-280/RT) \end{aligned} \quad (2.1)$$

для Fe_γ :

$$\begin{aligned} D &= 5,8 \exp(-310/RT), \\ D &= 0,7 \exp(-284/RT), \\ D &= 1,3 \exp(-280/RT). \end{aligned}$$

Технологічні процеси зміцнення й знеміцнення сталі в більшості випадків пов'язані з дифузією вуглецю й впливом легувальних елементів на цей процес. Залежність коефіцієнта дифузії вуглецю в нелегованому аустеніті від концентрації й температури можна виразити так:

$$D = (0,04 + 0,08\%3) \exp(-131/RT) \quad (2.2)$$

Легувальні елементи суттєво впливають на енергію активації дифузії вуглецю в аустеніті. Уведення в сталь марганцю, вольфраму, молібдену й хрому приводить до істотного зростання енергії активації дифузії, нікель і кобальт знижують її, а кремній і алюміній практично не впливають на енергію активації (рис. 1). З цього виходить, що всі карбідоутворюючі елементи сприяють підвищенню енергії активації й тим самим зменшенню коефіцієнта дифузії в аустеніті. Ці висновки мають пряме експериментальне підтвердження.

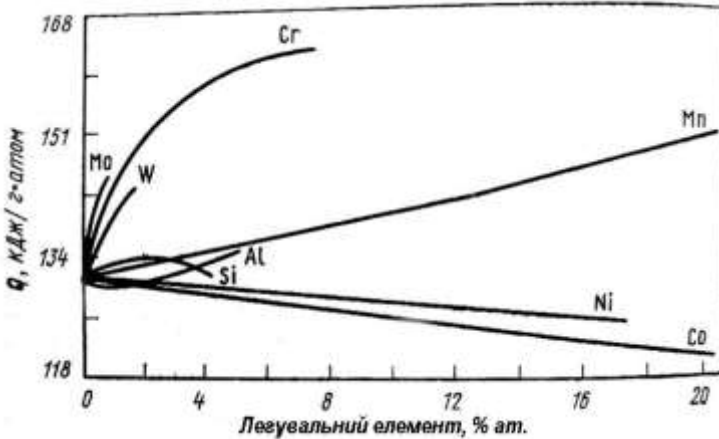


Рисунок 2.1 – Вплив легувальних елементів на енергію активації Q дифузії вуглецю в аустеніті

Дифузія є необхідною умовою деяких процесів термообробки. Наприклад, механічний наклеп приводить до зміцнення, яке можна зняти тільки дифузійним шляхом. Отже, зміцнений стан після механічного наклепу зберігається до температури початку помітної рухливості атомів заліза.

Дифузія атомів вуглецю є необхідною умовою для проходження відпускання загартованої сталі, а також бейнітного перетворення. Тому нижній температурний поріг дифузії вуглецю визначає мінімальну температуру відпускання й мінімальну температуру проходження бейнітного перетворення (із практичної точки зору).

Температурний поріг дифузії умовно може бути визначений як температура, при якій переміщення атома на відстань порядку одного ангстрема відбувається за одну секунду. Обробка залежностей (2.1) і (2.2) дозволяє побудувати діаграму, яка наочно ілюструє температурний поріг дифузії для вуглецю й самодифузії для атомів заліза (рис. 2). Умова «один ангстрем у секунду» дотримується в точці перетинання залежностями осі абсцис.

Згідно із залежністю 2.1 (див. рис. 2.2) при температурі близько 200 °C атом вуглецю проходить відстань в один ангстрем за одну секунду. Зниження температури на 100°C знижує швидкість дифузії в

сто раз, тому на практиці час, необхідний для проходження відповідних технологічних процесів, стає неприйнятним.

Згідно із залежністю 2.2 (див. рис. 2.2) температурний поріг дифузії атомів заліза становить приблизно 600°C. Ця температура відповідає правилу А.А. Бочвара, відповідно до якого температурний поріг рекристалізації (ТПР) для металів становить приблизно $0,4 T_{\text{топ}}$. Таким чином, для заліза ТПР становить $0,4 \cdot 1539 = 615^\circ\text{C}$.

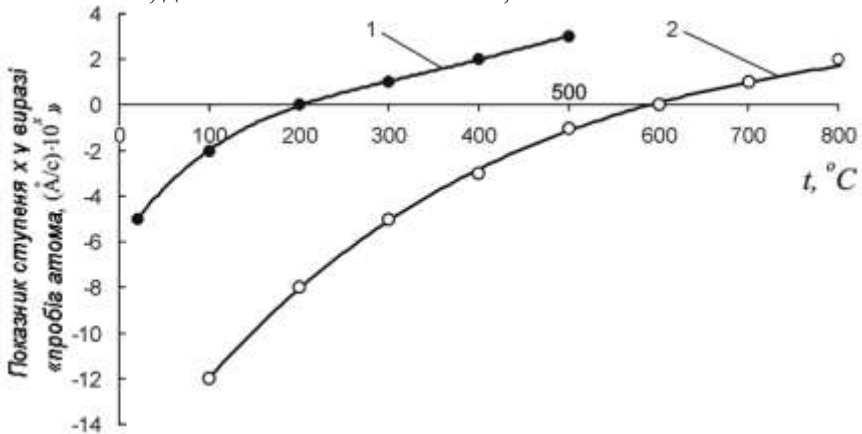


Рисунок 2.2 – Діаграма, що ілюструє температурний поріг дифузії атомів вуглецю (1) і заліза (2)

3 ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ ТА МАТЕРІАЛИ

Зразки сталі У8 у відпаленому стані.

Піч опору лабораторна СУОЛ 0,25.1.1/12МР-НЗ.

Термопара ХА, прилад А-565-003-02.

Твердомір типу Віккерса ТВП-5012.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Користуючись рівняннями для коефіцієнту дифузії в залежності від температури розрахувати температурні межі початку помітної дифузії атомів вуглецю в фериті і аустеніті, а також самодифузії атомів заліза.

Загартувати зразок сталі У8 від 800°C. Виміряти його твердість. Провести витримку загартованого зразка при 100°C впродовж однієї години. Виміряти його твердість після витримки. Витримати той же зразок при 150 °C впродовж однієї години. Виміряти його твердість після витримки. Зробити висновки.

Виміряти твердість відпаленого зразка сталі У8. Провести наклеп зразка в холодному стані. Виміряти твердість після наклепу. Провести витримку наклепаного зразка при 500°C впродовж однієї години. Виміряти його твердість після витримки. Витримати той же зразок при 600°C. Виміряти його твердість після витримки. Зробити висновки.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити рівняння для коефіцієнту дифузії (самодифузії) для атомів вуглецю і заліза, результати розрахунків критичних температур початку дифузії, результати експериментів за п.4., висновки по роботі.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке дифузія?

2. Як підрахувати шлях атому вуглецю (заліза) за одиницю часу за певної температури?
3. За якої температури починається помітна дифузія вуглецю в залізі?
4. За якої температури починається помітна самодифузія атомів заліза?
5. Як забезпечити дифузійне $\text{Fe}_\gamma \rightarrow \text{Fe}_\alpha$ перетворення під час охолодження?
6. Які легувальні елементи найсильніше гальмують дифузію вуглецю в залізі? Наведіть приклад технологічної операції, коли таке гальмування є корисним.

7 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост. – Кіровоград: КОД, 2015.
2. Холявко В.В. Фізичні основи міцності та руйнування / Київ: Вид-во НТУУ КПІ, 2015. – 100 с.