

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт
з дисципліни

ОБРОБКА ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

спеціальність 131 – «Прикладна механіка»

освітня програма – «Технології та устаткування зварювання»

для всіх форм навчання

2020

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Обробка зварних з'єднань» для студентів спеціальності 131 – «Прикладна механіка», освітня програма – «Технології та устаткування зварювання» всіх форм навчання / Укл. М.М.Бриков – Запоріжжя : НУ «ЗП», 2020 – 27 с.

Укладач:

М.Бриков, д-р техн. наук, проф.

Рецензент:

О.Г.Биковський, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний за випуск:

М.М.Бриков

Голова методичної комісії

каф. ОТЗВ д. ф. н., проф.

С.М. Попов, д-р філос. наук, проф.

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 3 від 30.09.2020

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 2 від 13.10.2020

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ МЕЖ ДИФУЗІЇ (САМОДИФУЗІЇ) ДЛЯ АТОМІВ ВОДНЮ, ВУГЛЕЦЮ ТА ЗАЛІЗА В ФЕРИТІ ТА АУСТЕНІТІ.....	5
1.1 Мета роботи.....	5
1.2 Загальні відомості.....	5
1.3 Обладнання, прилади та матеріали.....	9
1.4 Порядок виконання роботи.....	9
1.5 Зміст звіту	10
1.6 Контрольні питання.....	10
1.7 Рекомендована література	11
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МІЦНІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ.....	12
2.1 Мета роботи.....	12
2.2 Загальні відомості.....	12
2.3 Обладнання, прилади та матеріали.....	14
2.4 Порядок виконання роботи.....	15
2.5 Зміст звіту.....	15
2.6 Контрольні питання.....	16
2.7 Рекомендована література.....	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ДЕФОРМАЦІЙНА ОБРОБКА ЗВАРНИХ ЗЄДНАНЬ.....	17
3.1 Мета роботи.....	17
3.2 Загальні відомості.....	17
3.3 Обладнання, прилади та матеріали.....	19
3.4 Порядок виконання роботи.....	19
3.5 Зміст звіту.....	19
3.6 Контрольні питання.....	20
3.7 Рекомендована література.....	20
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 ВПЛИВ ПРИСКОРЕНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПІД ЧАС ЗВАРЮВАННЯ НА СТРУКТУРУ ЗОНИ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ ВИСОКОВОГЛЕЦЕВОЇ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ.....	21
4.1 Мета роботи.....	21
4.2 Загальні відомості.....	21

4.3 Обладнання, прилади та матеріали.....	25
4.4 Порядок виконання роботи.....	25
4.5 Зміст звіту.....	25
4.6 Контрольні питання.....	26
4.7 Рекомендована література.....	26
ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ.....	27

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ МЕЖ ДИФУЗІЇ (САМОДИФУЗІЇ) ДЛЯ АТОМІВ ВОДНЮ, ВУГЛЕЦЮ ТА ЗАЛІЗА В ФЕРИТІ ТА АУСТЕНІТІ

1.1 Мета роботи

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

1.2 Загальні відомості

У практиці термічної обробки зварних з'єднань найважливіша роль належить дифузійним процесам.

Наприклад, у процесі перекристалізації заліза і сплавів на його основі відбувається фазове перетворення $Fe_\alpha \rightarrow Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$. При повільному нагріванні/охолодженні перетворення відбувається дифузійним шляхом, "атом за атомом". Для цього необхідно "відірвати" атом від кристалічних ґрат вихідної фази і "приєднати" його до кристалічних ґрат фази, яка утворюється.

Для ініціювання цього процесу потрібна велика кількість енергії, так звана енергія активації. Так, енергія активації перлітного перетворення у вуглецевій сталі дорівнює 200 кДж/моль. Однак під час приєднання атома до нових кристалічних ґрат велика частина цієї енергії виділяється. Тому тепловий ефект перлітного перетворення складає лише 0,04 кДж/моль.

Швидкість дифузії характеризується коефіцієнтом дифузії D , що 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;
 Q – енергія активації дифузії, кДж/(моль*К)

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

Температурну залежність коефіцієнта самодифузії заліза можна виразити такими рівняннями

для Fe_{α} :

$$\begin{aligned} D &= 2,3 \cdot 10^3 \exp(-306/RT), \\ D &= 5,3 \cdot 10^2 \exp(-280/RT) \end{aligned} \quad (1.1)$$

для Fe_{γ} :

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

Залежність коефіцієнта дифузії вуглецю в нелегованому аустеніті від концентрації і температури можна виразити таким рівнянням:

$$D = (0,04 + 0,08 \%C) \exp(-131/RT). \quad (1.2)$$

Легувальні елементи значно впливають на енергію активації дифузії вуглецю в аустеніті. Введення в сталь марганцю, вольфраму, молібдену і хрому приводить до зростання енергії активації дифузії, нікель і кобальт знижують її, а кремній і алюміній практично не впливають на енергію активації (рис. 1). Як видно з цих даних, усі карбідоутворюючі елементи сприяють підвищенню енергії активації і, таким чином, зменшенню коефіцієнта дифузії в аустеніті. Ці висновки мають пряме експериментальне підтвердження.

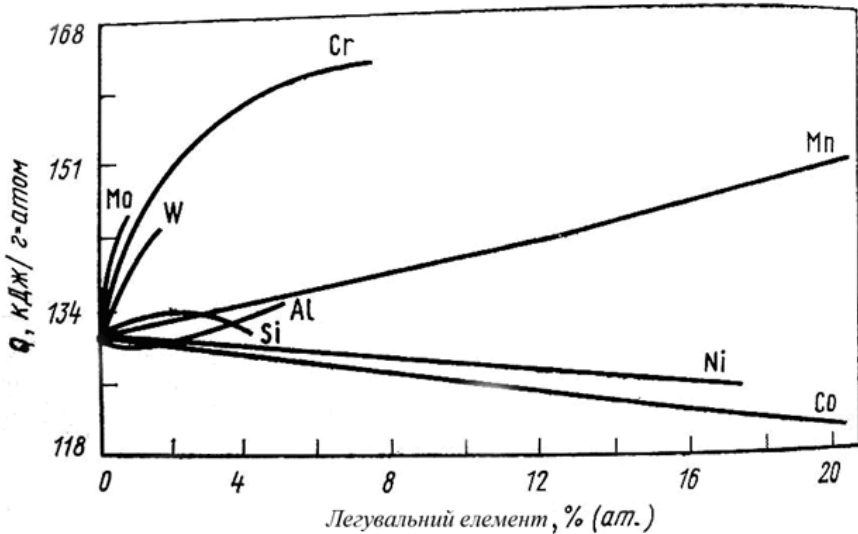


Рисунок 1.1 – Вплив легувальних елементів на енергію активації Q вуглецю в аустеніті

Дифузія є необхідною умовою деяких процесів термообробки зварних з'єднань. Наприклад, механічний наклеп або гартування у зоні термічного впливу приводить до зміцнення, яке можна зняти тільки дифузійним шляхом. Отже, зміцнений стан зберігається до температури початку помітної рухливості атомів заліза.

Дифузія атомів вуглецю є необхідною умовою для проходження відпуску загартованої сталі. Тому нижній температурний поріг дифузії вуглецю визначає мінімальну температуру відпуску або старіння матеріалу зварних конструкцій. Технологічні процеси зміцнення і знеміцнення матеріалу зварного шва в зоні термічного впливу у більшості випадків пов'язані з дифузією вуглецю і впливом легувальних елементів на цей процес.

Дифузія водню в матеріалі навколошовної зони є дуже небезпечним явищем, яке призводить до водневого окрихчення. Через мінімальні розміри атому водню його дифузія відбувається навіть при кімнатній температурі. Необхідно мати чітке уявлення щодо швидкості дифузії водню в сталі за умов кімнатної температури.

Залежність коефіцієнта дифузії водню в α -Fe від температури можна виразити таким рівнянням:

$$D=10^{-3}\exp(-2600/RT). \quad (1.3)$$

Якщо метал шва або навколошовної зони знаходиться у локально напруженому стані або навіть є пластично деформованим, це може прискорити дифузію водню та вуглецю та бути причиною локального підвищення їх концентрації в металі. Це явище відомо як дифузія під напруженням. Підвищена локальна концентрація водню в зоні шва та навколошовної зони може бути причиною руйнування зварних з'єднань через певний час в процесі експлуатації, особливо якщо зварне з'єднання зазнає циклічних навантажень. Підвищена концентрація вуглецю може призвести до старіння, яке також погіршує механічні властивості матеріалу.

Здатність металу до проникнення водню P_H є пов'язаною з коефіцієнтом дифузії D_H і концентрацією водню C_H співвідношенням $P_H \sim D_H \cdot C_H$. Фактичні дані показують, що P_H є практично структурно не чутливою величиною, тому що під впливом структурних недосконалостей її складові міняються по-різному: D_H знижується, а C_H - росте. Механічні напруження розтягу підвищують P_H , а стискаючі її зменшують: у пружній області для напруження розтягу спостерігається лінійна залежність між P_H і напруженням, у пластичній області ця залежність порушується і P_H росте швидше, ніж деформація. При цьому залежність P_H від напруження виявляється тим сильніше, чим у менш пластичному стані знаходиться метал.

Температурний поріг дифузії умовно може бути визначений як температура, при якій переміщення атома на відстань порядку одного ангстрема відбувається за одну секунду. Обробка залежностей (1.1) і (1.2) дозволяє побудувати діаграму, що ілюструє температурний поріг дифузії для вуглецю і самодифузії для атомів заліза (рис. 2). Умова "один ангстрем у секунду" дотримується в точці перетинання залежностей з віссю абсцис.

Згідно із залежністю 1 (див. рис. 1.2) за температури близько 200 °C атом вуглецю проходить відстань в один ангстрем за одну секунду. Зниження температури на 100 °C знижує швидкість дифузії в сто разів, тому на практиці час, який є необхідним для проходження відповідних технологічних процесів, стає неприйнятним.

Відповідно до залежності 2 (див. рис. 1.2) температурний поріг дифузії атомів заліза складає приблизно 600 °С. Ця температура відповідає правилу А.А.Бочвара, згідно з яким температурний поріг рекристалізації (ТПР) для металів складає приблизно $0,4 T_{пл}$. Таким чином, для заліза ТПР складає $0,4 \cdot 1539 = 615$ °С.

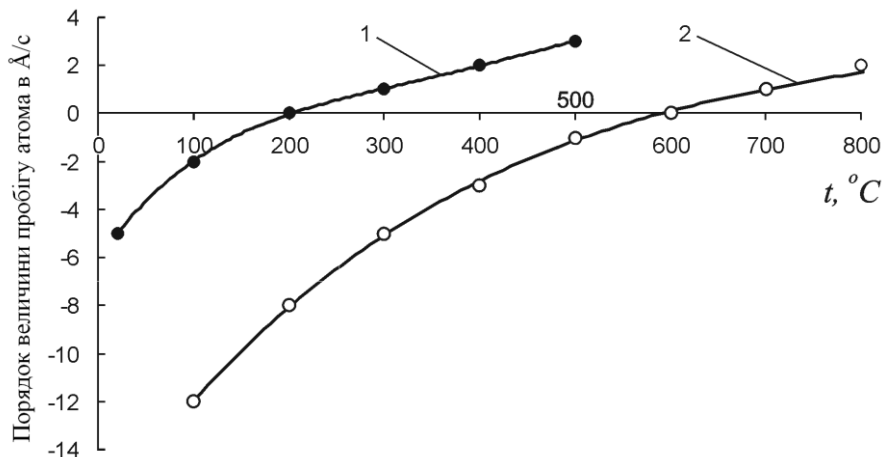


Рисунок 1.2 – Діаграма, що ілюструє температурну межу дифузії атомів вуглецю (1) і заліза (2)

1.3 Обладнання, прилади та матеріали

Зразки сталі У8 або 65Г у відпаленому стані.

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

Термопара ХА, прилад А-565-003-02.

Твердомір.

1.4 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 °С. Виміряти його твердість. Провести витримку загартованого зразка при 100 °С впродовж однієї години. Виміряти його твердість після витримки. Витримати той же зразок при 150 °С 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 °С впродовж однієї години. Виміряти його твердість після витримки. Витримати той же зразок при 600 °С. Виміряти його твердість після витримки. Зробити висновки.

За допомогою рівняння для коефіцієнту дифузії водню у α -Fe визначити коефіцієнт дифузії водню в залізі при кімнатній температурі (293 К), пробіг атому водню за 1 с, а також показник ступеню (див. рис. 2). Порівняти ці значення з аналогічними для вуглецю. Зробити висновки.

1.5 Зміст звіту

У звіті по роботі мають міститись:

- титульний аркуш з найменуванням роботи, прізвищами студента і викладача;
- мета і завдання роботи;
- загальні відомості по роботі;
- рівняння для коефіцієнту дифузії (самодифузії) для атомів водню, вуглецю і заліза;
- результати розрахунків критичних температур початку дифузії;
- результати експериментів за п. 1.4.;
- висновки по роботі.

1.6 Контрольні питання

Що таке дифузія?

Як підрахувати шлях атому водню, вуглецю або заліза за одиницю часу за певної температури?

За якої температури починається помітна дифузія водню в залізі?

За якої температури починається помітна дифузія вуглецю в залізі?

За якої температури починається помітна самодифузія атомів заліза?

Що таке дифузія під напруженням?

Як забезпечити дифузійне $\text{Fe}_\gamma \rightarrow \text{Fe}_\alpha$ перетворення під час охолодження?

Що відбудеться, коли під час прискореного охолодження аустеніту із вмістом вуглецю 0,6% дифузійне $\text{Fe}_\gamma \rightarrow \text{Fe}_\alpha$ перетворення буде загальмовано? Як це вплине на властивості металу зварного з'єднання?

1.7 Рекомендована література

1. Блантер М. Е. Теория термической обработки. – М. : Металлургия, 1984. – 328 с.
2. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. – М. : Металлургия, 1978. – 392 с.
3. Максимов Е.Г., Панкратов О.А. Водород в металлах // Успехи физических наук. – 1975. – Т.116, №3. – С.385-412.
4. Баранов В.П. Определение эффективных коэффициентов диффузии водорода в деформированных высокопрочных сталях // Современные проблемы науки и образования. – 2007. – № 1.
<https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=267>

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МІЦНІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

2.1 Мета роботи

Дослідити вплив післязварювальної термічної обробки на міцність зварних з'єднань сталей з підвищеним вуглецевим еквівалентом.

2.2 Загальні відомості

Термічна обробка зварних з'єднань може бути доцільною у випадку зварювання сталей із підвищеним вуглецевим еквівалентом.

Під час зварювального циклу в зоні термічного впливу (ЗТВ) відбувається нагрівання і охолодження металу. На певній відстані від границі сплавлення температура нагрівання перевищує критичні точки сталі, тому в результаті охолодження можливе утворення гартівних структур. Це призводить до небезпеки утворення тріщин і руйнування зварного з'єднання.

Для усунення гартівних структур і виключення утворення тріщин в ЗТВ можливо проводити термічну обробку зварних з'єднань. Термічна обробка включає витримку зварного з'єднання при певній температурі і подальше охолодження.

В залежності від температури витримки метал ЗТВ зазнає тих чи інших структурних перетворень. Якщо температура нагрівання перевищує температурну межу дифузії вуглецю, але є нижчою за температурну межу дифузії заліза, відбувається відпускання гартівних структур. Якщо температура нагрівання перевищує температурну межу дифузії заліза, відбувається рекристалізація металу. Таке нагрівання у максимальному ступені усуває гартівні структури в ЗТВ, знижує ризик утворення тріщин і підвищує міцність зварного з'єднання.

Для випробування на міцність зварних з'єднань використовують комбіновані таврові зварні зразки і випробувальний стенд для їх навантаження (рис. 2.1). Пластину 1 зі сталі з низьким вуглецевим еквівалентом зварено із пластиною 2 зі сталі з підвищеним вуглецевим еквівалентом кутовим швом 3. Зразок затискується у кронштейні 4

випробувального стенда за допомогою болта 5 і навантажується силою F , величина якої задається грузами змінної кількості і передається на зразок через систему важелів (грузи і важелі на схемі не показано).

Під час навантаження сила F намагається обернути елемент 1 зварного зразка біля центру O . Таким чином, виникає момент FL . Цьому обертанню заважає зварний шов, міцність якого зі сторони елементу 2 (підвищений вуглецевий еквівалент) має бути меншою, ніж зі сторони елементу 1 (низький вуглецевий еквівалент). Отже, руйнування має відбутися через ЗТВ елементу 2.

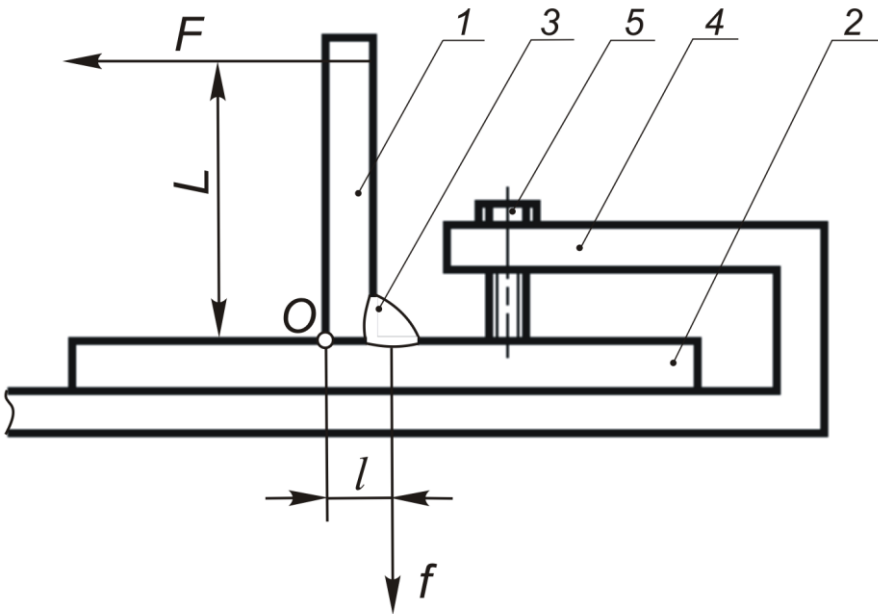


Рисунок 2.1 – Схема зварного зразка, який закріплено на випробувальному стенді

Площу зламу зварного шву, який утвориться на елементі 2 після руйнування зварного зразка, можна вважати за таку, яка чинила опір обертанню елемента 1 біля центру O . Через це можемо вважати, що сила f , яка діє нормально до площі площадки руйнування і проходить через її центр мас, в момент руйнування створює момент fl . Цей момент за модулем дорівнює моменту FL . Отже, силу f , яка діє

нормально до площадки руйнування в момент руйнування, можна визначити як:

$$f = \frac{FL}{l}, \quad (2.1)$$

а нормальні напруження, які діяли на площадці руйнування як:

$$\sigma = \frac{f}{s}, \text{ МПа} \quad (2.2)$$

де $s, \text{ мм}^2$, є фактичною площею руйнування зварного шву.

Фактичну площу руйнування можна визначити за характерним сріблястим виглядом свіжого зламу металу. Необхідно сфотографувати місце зламу поряд з еталонним вимірювальним об'єктом (лінійка або міліметровий папір), відкрити файл зображення у графічному редакторі і за допомогою спеціальних інструментів редактора визначити площу руйнування у пікселях. Потім перевести цю величину у мм^2 . У разі виникнення труднощів у визначенні площі руйнування викладач надає додаткову консультацію.

Зазначений метод визначення фактичної площі руйнування дозволяє отримати значно точніші результати, ніж метод визначення номінальної площі через розміри зварного шва. Фактична площа може зменшитися за рахунок прихованих дефектів зварного шва, а також тріщин. Після руйнування поверхня дефектів і тріщин виявиться темнішою за метал зламу через окислення в процесі зварювання і термічної обробки.

За результатами співставлення напруження руйнування термічно оброблених і необроблених зразків можна зробити висновок про вплив термічної обробки на якість зварних з'єднань сталей з підвищеним вуглецевим еквівалентом.

2.3 Обладнання, прилади та матеріали

Пластини з низьковуглецевої сталі і сталі з підвищеним вуглецевим еквівалентом.

Обладнання для зварювання зразків.
Піч для термічної обробки зразків.
Випробувальний стенд.

2.4 Порядок виконання роботи

Зварити декілька зразків для випробувань. Кількість зразків має бути не менше трьох на один режим термічної обробки. Для виготовлення кожного зразка використовувати одну пластину з низьковуглецевої сталі і одну пластину зі сталі з підвищеним вуглецевим еквівалентом.

Після зварювання провести випробування трьох зразків без термічної обробки і визначити середнє напруження руйнування.

Виконати термічну обробку інших зразків – витримка впродовж однієї години при температурах: 150 °С, 500 °С, 600 °С.

Провести випробування всіх зразків і визначити середнє напруження руйнування після обробки зразків за кожним з режимів.

Зробити висновки про вплив термічної обробки на властивості зварних з'єднань сталей з підвищеним вуглецевим еквівалентом.

Оформити звіт за роботою.

2.5 Зміст звіту

У звіті по роботі мають міститись:

- титульний аркуш з найменуванням роботи, прізвищами студента і викладача;
- мета і завдання роботи;
- загальні відомості по роботі;
- значення навантажень, за яких відбулося руйнування кожного зразка;
- фотографії поверхонь руйнування зразків з відповідними значеннями площ руйнування;
- результати розрахунку напружень, які діяли у площинах руйнування в моменти руйнування зразків;
- відповіді на контрольні питання;
- висновки по роботі.

2.6 Контрольні питання

Зварні з'єднання яких сталей доцільно піддавати післязварювальній термічній обробці? Аргументуйте відповідь.

Які процеси відбуваються у ЗТВ сталей з підвищеним вуглецевим еквівалентом під час термічної обробки?

Чому необхідно розташовувати зварний зразок у випробувальному стенді саме так, як показано на рис. 2.1? Що буде, якщо встановити зразок будь-яким іншим чином?

2.7 Рекомендована література

1. Блантер М. Е. Теория термической обработки. – М. : Металлургия, 1984. – 328 с.
2. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. – М. : Металлургия, 1978. – 392 с.
3. Теоретические основы сварки (Винокуров В.А., Фролов В.В., Волченко В.А. и др.), под ред. В.В.Фролова – (2-е изд.) – М. : Высшая школа, 1988. – 592 с.
4. Багрянский К.В. Теория сварочных процессов / К.В.Багрянский, З.А.Добретина, И.К.Хренов. – К. : Высшая школа, 1976. – 423 с.
5. Петров Г.Л. Теория сварочных процессов / Г.Л.Петров, А.С.Тумарев. – М. : Высшая школа, 1977. – 487 с.
6. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке. – Т. 1. – М. : Металлургия, 1968. – 250 с.
7. Винокуров В.А. Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений/ В.А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1973. – 213 с.
8. Ефименко Л.А. Металловедение и термическая обработка сварных соединений / Л.А. Ефименко, А.К. Прыгаев, О.Ю. Елагина. – М.: Логос, 2007. – 456 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ДЕФОРМАЦІЙНА ОБРОБКА ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

3.1 Мета роботи

Ознайомитись з проковуванням як методом обробки зварних з'єднань. Визначити величину пластичної деформації металу шва, за якої усувається деформація зварного елементу. Порівняти цю величину з гранично припустимим ступенем деформації

3.2 Загальні відомості

Проковування належить до давно відомих методів зменшення поздовжніх і поперечних залишкових напружень. Воно є одним з різновидів поверхневого пластичного деформування наплавленого металу і навколошовних зон зварних з'єднань з метою зміни їх механічних властивостей, форми і регулювання величини залишкових напружень. Проковування можна проводити по гарячому металу відразу після зварювання або після його охолодження. У всіх випадках осадку металу в напрямку товщини виникає розширення металу в перпендикулярному напрямку, що знижує напруження розтягнення в зоні проковки або викликає напруження стиску.

Проковування металу в холодному стані супроводжується його наклепом і поверхневим зміцненням. При цьому замість розтягуючих формуються стискаючі напруження.

При застосуванні проковки з метою зміни напружень особливу увагу слід звертати на можливість погіршення пластичних властивостей металу.

Поверхневий наклеп різних видів зварних з'єднань дробом, одно- і багатоударниковим інструментом використовують для підвищення межі витривалості зварних з'єднань. Поверхневий наклеп істотно збільшує опір втомі з'єднань при різній асиметрії циклу. Поверхневий наклеп призводить до виникнення стискаючих залишкових напружень або, іншими словами, знижує рівень середніх напружень, що розтягують. Через це збільшується гранична амплітуда циклу, яку здатне витримати зварне з'єднання.

Висока ефективність наклепу підтверджена не тільки для з'єднань з низьковуглецевих і низьколегованих сталей, а й для з'єднань

з середньолегованих сталей, а також титанових сплавів.

Наклеп є також ефективним засобом підвищення опору втомі зварних балок з різного типу швами і приєднувальними елементами.

При наявності в швах внутрішніх дефектів зміцнююча обробка може виявитися марною або привести до негативних результатів, так як при наведенні в поверхневому шарі залишкових напружень стискання, внутрішні дефекти виявляються в полі залишкових напружень розтягування. У той же час вирубання і заварювання дефектної ділянки з наступною зміцнювальною обробкою підвищують опір з'єднання втомному руйнуванню до рівня бездефектного.

Поверхневий наклеп багатоударниковим інструментом істотно підвищує опір крихкому руйнуванню зварних елементів в умовах низьких температур (мінус 40 °С) і повторних ударних навантажень.

Поверхневий наклеп багатоударниковим інструментом є базовою технологією післязварювальної обробки рам візків та інших вузлів рухомого складу залізниць. Цю технологію застосовують не тільки при виготовленні продукції, але і при ремонті після певного експлуатаційного пробігу.

При використанні багатоударникового інструменту для кожної конкретної звареної конструкції, виду та форми шва важливе значення має правильний вибір енергії удару, діаметра дроту і їх число в пучку, а також оптимальний режим зміцнення.

Досвід багаторічного промислового використання поверхневого наклепу підтвердив його високу ефективність для підвищення опору втомі різноманітних машин і споруд (зварні кранові і мостові конструкції, зварні рами рухомого складу залізниць, гребні суднові вали з наплавленнями, деталі з ремонтними завареннями і наплавленнями).

Одним з напрямків підвищення корозійної стійкості зварних з'єднань є зниження різними способами залишкових напружень, в тому числі за рахунок поверхневого наклепу. Структура металу, що створена в результаті пластичної поверхневої деформації, характеризується великим опором втомі на повітрі і в корозійному середовищі в порівнянні з об'ємним пластичним деформуванням.

Проковування зварних з'єднань також використовується і для стабілізації геометричних розмірів зварних з'єднань.

3.3 Обладнання, прилади та матеріали

Пластина з низьковуглецевої сталі товщиною до 1 мм.

Зварювальне обладнання.

Ударниковий інструмент.

Твердомір.

3.4 Порядок виконання роботи

Нанести на пластину валик наплавленого металу, який імітує стиковий шов. Сфотографувати zdeформовану пластину з валиком з різних положень. Зафіксувати величину деформації пластини.

Виміряти твердість металу наплавленого валика.

Обробити наплавлений валик ударниковим інструментом до зникнення деформації пластини.

Повторно виміряти твердість зміцненого металу наплавленого валика.

За різницею в твердості визначити ступінь деформації металу валика.

Співставити отриману ступінь деформації з гранично можливою для сталей.

Зробити висновки. Оформити звіт по роботі.

3.5 Зміст звіту

У звіті по роботі мають міститись:

- титульний аркуш з найменуванням роботи, прізвищами студента і викладача;

- мета і завдання роботи;

- загальні відомості по роботі;

- фотографії пластини до і після проковування наплавленого валика;

- значення твердості металу наплавленого валика до і після обробки;

- значення фактичного ступеня деформації металу і гранично можливої деформації для сталей;

- відповіді на контрольні питання;

- висновки по роботі.

3.6 Контрольні питання

Поясніть причини перерозподілу напружень в зварному з'єднанні в результаті його деформаційної обробки.

Чому під час проковування погіршуються пластичні властивості металу?

Коли неможна обробляти зварні з'єднання проковуванням?

Чому пластична деформація зварного з'єднання підвищує його опір втомному руйнуванню?

Що робити у випадку, коли необхідно провести проковування металу шву до такого ступеня деформації, який перевищує його гранично припустиму величину для металу шва? Аргументуйте відповідь.

3.7 Рекомендована література

1. Сагалевич В.М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений / В.М. Сагалевич. – М.: Машиностроение. – 1974. – 248 с.
2. Сагалевич В.М. Стабильность сварных соединений и конструкций / В.М. Сагалевич, В.Ф. Савельев. – М.: Машиностроение, 1986. – 264 с.
3. Хрупкие разрушения сварных конструкций / В. Холл, Х. Кихара, В. Зут, А.А. Уэлс. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4
ВПЛИВ ПРИСКОРЕНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПІД ЧАС
ЗВАРЮВАННЯ НА СТРУКТУРУ ЗОНИ ТЕРМІЧНОГО
ВПЛИВУ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОЇ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ

4.1 Мета роботи

Ознайомитись з теоретичним підґрунтям обробки зварних з'єднань з високовуглецевих низьколегованих сталей. Дослідити структуру зони термічного впливу (ЗТВ) сталі 120Г3С2 після зварювання з прискореним охолодженням у воді.

4.2 Загальні відомості

Знос вважають однією з важливих проблем сучасної промисловості. Будь-які деталі, що знаходяться в рухливому контакті під навантаженням, схильні до зносу - поступової втрати матеріалу з контактуючих поверхонь. Цей процес призводить до зміни геометрії деталей і, у результаті, виходу їх з ладу. Залежно від виду зношування його швидкість змінюється в дуже широких межах; найбільш агресивним є абразивне зношування, коли знос робочої поверхні на рівні одиниць або навіть десятків міліметрів досягається за час порядку декількох діб. У режимі абразивного зношування працюють практично усі елементи деталей машин, що контактують з твердими частинками при обробці ґрунту, а також в процесі пресування, перемішування або подрібнення різних природних або штучних мінералів.

Для захисту від абразивного зношування необхідно використовувати матеріали підвищеної і високої твердості, яка досягається за рахунок твердих структурних складових (напр. карбіди) або значного зміцнення металевої основи в процесі пластичної деформації під дією абразиву. У будь-якому випадку зносостійкий матеріал, зокрема сталь, повинен містити підвищену кількість вуглецю для забезпечення можливості оптимальної термічної обробки відповідно до режиму зношування. За наявності ефективних способів кріплення захисні елементи з термічно оброблених високовуглецевих зносостійких сталей можуть бути використаними для продовження ресурсу широкої номенклатури деталей машин.

Зварювання - оптимальний варіант кріплення зносостійких захисних елементів, проте тут можуть виникнути ускладнення. Зварювання високовуглецевих сталей, як правило, вимагає значного попереднього підігрівання деталей і уповільненого тепловідводу, що неприйнятно для термічно оброблених (загартованих) зносостійких елементів.

У роботі [1] показано, що у разі зварювання термічно обробленої заєвтектоїдної високовуглецевої низьколегованої сталі потрібне не уповільнене, а прискорене охолодження зварного з'єднання, оскільки при прискореному охолодженні в ЗТВ фіксується залишковий аустеніт безпосередньо за зоною сплавлення. Максимальна швидкість охолодження ЗТВ може бути отримана при зануренні у воду зварюваних деталей (окрім зварюваних кромок). В даному випадку гарантується достатня для загартування швидкість охолодження ЗТВ і збереження незміненої структури термічно обробленого зносостійкого елементу. В роботі [2] наведено результати експерименту зі зварювання загартованої на мартенсит сталі 120Г3С2 з примусовим охолодженням у воді.

На рис. 4.1 показано загартований зразок сталі 120Г3С2 (1) після зварювання двома кутовими швами із зразками сталі 09Г2С (2). Зварювання проводили на змінному струмі електродами RIK99 (99 %Ni, 1 %C) діаметром 3 мм на режимі: $I_{зв} = 190$ А; $U_{зв} = 25$ В. Зварювані зразки були затиснуті струбциною і занурені у воду до рівня пунктирної лінії. Місце вирізки зразка для дослідження структури ЗТВ (3) показане стрілкою.

На рис. 4.2 показано панораму зварного з'єднання сталей 120Г3С2 і 09Г2С. Метал шва 1 відокремлений від незміненої структури сталі 120Г3С2 6 границею сплавлення 2, зонами загартування на аустеніт 3 і мартенсит 4, а також зоною відпуску початкової загартованої структури 5.

Рис. 4.3 ілюструє зміну твердості від шва до основного металу через границю сплавлення і ЗТВ. Залежність 2 на рис. 4.3 відповідає вимірюванням твердості в середній частині елементу із сталі 120Г3С2 (див. рис. 4.2, ланцюжок відбитків в середній частині 120Г3С2).

Ширина аустенітної (200-300 HV0.5) і мартенситної (700-800 HV0.5) зон однакова і складає близько 0,7 мм. Ці зони розділені областю аустенито-мартенсито-карбідної структури змінної твердості, що відповідає гартуванню з двофазної області з різним перегріванням

вище A_{c1} . За областю мартенситу твердість різко знижується до 550 HV0.5, що відповідає високому відпуску початково загартованого матеріалу. При збільшенні відстані від шва твердість монотонно зростає, і на відстані близько 7 мм досягає рівня близько 800 HV0.5 (загартована на мартенсит сталь 120Г3С2).

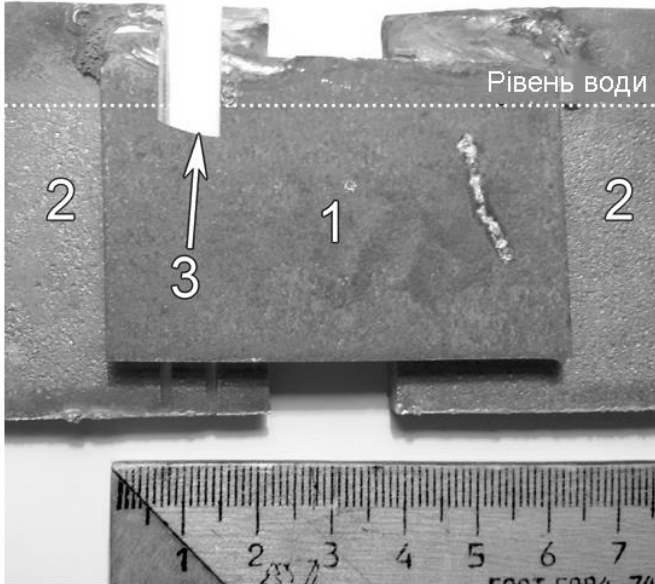
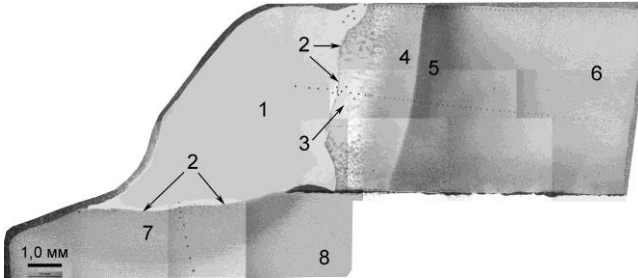


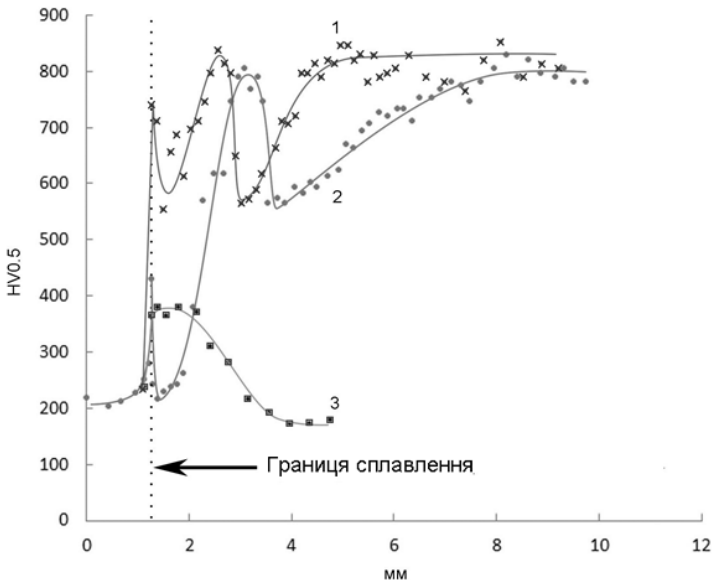
Рисунок 4.1 – Зварні з'єднання загартованої сталі 120Г3С2 (1) і сталі 09Г2С (2). 3 - місце відбору зразка для дослідження структури ЗТВ

Необхідно відзначити відсутність мікротріщин на границі сплавлення і в структурі ЗТВ як з боку сталі 09Г2С, так і сталі 120Г3С2. У зв'язку з цим високою є вірогідність отримання якісних зварних з'єднань реальних деталей із загартованої сталі 120Г3С2 і сталі 09Г2С з охолодженням у воді під час зварювання.



1 - метал шва; 2 - границі сплавлення; 3-6 - 120ГЗС2: 3 - зона повторного загартування на аустеніт; 4 - зона повторного загартування на мартенсит; 5 - зона відпуску; 6 - зона незміненої структури загартованої сталі; 7 - зона термічного впливу в сталі 09Г2С; зона незміненої структури сталі 09Г2С

Рисунок 4.2 – Панорама зварного з'єднання, х50



1 - верхній край 120ГЗС2; 2 - середня частина 120ГЗС2;
3 - 09Г2С

Рисунок 4.3 – Твердість металу ЗТВ на різних ділянках

4.3 Обладнання, прилади та матеріали

Пластини зі сталей 120Г3С2 і 09Г2С.

Піч для термічної обробки.

Зварювальне обладнання, електроди.

Струбцини, бак для води.

Обладнання для металографічної пробопідготовки.

Оптичний мікроскоп.

Твердомір.

4.4 Порядок виконання роботи

Загартувати пластину зі сталі 120Г3С2 від 900 °С. Виміряти твердість загартованої сталі.

Закріпити пластини сталей 120Г3С2 і 09Г2С струбцинами і занурити у воду, залишаючи на повітрі зварювані крайки.

Зварити пластини кутовим швом.

Вирізати зразок зі зварного з'єднання (подібно до рис. 2.1).

Виготовити шліф для дослідження мікроструктури ЗТВ зварного з'єднання.

За допомогою оптичного мікроскопу дослідити ЗТВ. Визначити характерні ділянки. Зробити ескіз макроструктури із зазначенням характерних ділянок.

Зробити висновки по роботі.

4.5 Зміст звіту

У звіті по роботі мають міститись:

- титульний аркуш з найменуванням роботи, прізвищами студента і викладача;

- мета і завдання роботи;

- загальні відомості по роботі;

- значення твердості сталі 120Г3С2 після гартування;

- ескіз макроструктури із зазначенням характерних ділянок;

- відповіді на контрольні питання;

- висновки по роботі.

4.6 Контрольні питання

Чому високовуглецеві низьколеговані сталі (наприклад 120Г3С2) можна зварювати з прискореним охолодженням у воді? Чи можна застосовувати таке охолодження під час зварювання сталей з підвищеним, але меншим за 120Г3С2, вмістом вуглецю (наприклад 60Г)?

Чи утворюється мартенсит в ЗТВ сталі 120Г3С2 при зварюванні з прискореним охолодженням у воді?

Чи потрібна післязварювальна термічна обробка зварного з'єднання сталі 120Г3С2?

4.7 Рекомендована література

1. Structure of high-carbon steel after welding with rapid cooling / [Kalinin Yu., Brykov M., Petryshynets I. et al.] // Acta Metallurgica Slovaca. – 2019. – V. 25. - № 2. - P.114-122.

2. Калинин Ю. А., Шумилов А. А., Петришинец И. , и др. Структура околошовной зоны закалённой высокоуглеродистой стали после сварки с ускоренным охлаждением // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2019. – № 1. – С. 31-36.

3. Блантер М. Е. Теория термической обработки. – М. : Металлургия, 1984. – 328 с.

4. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. – М. : Металлургия, 1978. – 392 с.

5. Теоретические основы сварки (Винокуров В.А., Фролов В.В., Волченко В.А. и др.), под ред. В.В.Фролова – (2-е изд.) – М. : Высшая школа, 1988. – 592 с.

7. Петров Г.Л. Теория сварочных процессов / Г.Л.Петров, А.С.Тумарев. – М. : Высшая школа, 1977. – 487 с.

8. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке. – Т. 1. –М. : Металлургия, 1968. – 250 с.

9. Винокуров В.А. Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений/ В.А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1973. – 213 с.

10. Ефименко Л.А. Металловедение и термическая обработка сварных соединений / Л.А. Ефименко, А.К. Прыгаев, О.Ю. Елагина. – М.: Логос, 2007. – 456 с.

ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Використовувані при виконанні роботи прилади підключаються до мережі змінного струму напругою 220 В. Тому існує небезпека враження електричним струмом, а також травмування рухомими елементами випробувальних установок. Щоб попередити виникнення подібних нещасних випадків, а також пошкодження апаратного забезпечення обладнання, необхідно виконувати певні вимоги безпеки:

1. Приступати до роботи після інструктажу з техніки безпеки у керівника роботи і засвоєння матеріалу цих методичних вказівок.
2. Включати пристрої, або стенди за дозволом викладача або лаборанта.
3. Виконувати тільки ту роботу, яка передбачена завданням.
4. Переконатися в надійності заземлення стендів, електроізоляції кабелю і проводів.
5. Виявляти особливу уважність і акуратність при роботі.
6. Не торкатися рухомих і струмоведучих частин обладнання.
7. Працювати в спецодязі із застібнутими манжетами.
8. Повідомляти викладачеві або лаборанту про виниклі несправності обладнання, не намагатися усунути їх самостійно.
9. Виконувати роботу при наявності в лабораторії не менше двох осіб.
10. Після закінчення роботи вимкнути обладнання, привести в порядок робоче місце.