

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

До друку дозволяю

Зступник ректора

Гладкий І.П.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт

з дисципліни

«Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань» для студентів напряму підготовки 6.050504 «Зварювання»

Всі цитати, цифровий фактичний матеріал і бібліографічні відомості перевірені, надпис одиниць відповідає стандартам

Затверджено
Методичною Радою
Університета
Протокол №
від

Укладачі

Лалазарова Н.О.
Барташ С.М.

Відповідальний за випуск

Глушкова Д.Б.

Харків ХНАДУ 2016

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт
з дисципліни

«Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань» для студентів напряму підготовки 6.050504 «Зварювання»

Затверджено
Методичною Радою
Університета
Протокол №
від

Укладачі

Лалазарова Н.О.
Барташ С.М.

Відповідальний за випуск

Глушкова Д.Б.

Харків ХНАДУ 2016

Укладачі

Лалазарова Н.О.
Барташ С.М.

Кафедра технології металів і матеріалознавства

Метою лабораторних робіт є поглиблення знань по основним питанням зварювального металознавства сталей. У кожній лабораторній роботі наведені її мета, прилади та матеріали, необхідні для проведення експерименту, зміст роботи, в якому викладені основні теоретичні концепції та пояснення процесів, що відбуваються, порядок виконання роботи, вказівки по складання звіту про лабораторну роботу. Контрольні питання дозволяють студенту сконцентрувати увагу на основних питаннях теми і перевірити свої знання.

Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Мета роботи – дослідження механічних властивостей зварного стикового з'єднання.

Устаткування, прилади, матеріали.

1. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств.
2. Випробувальна універсальна машина UIT STM 50.
3. Штангенциркуль ШЦ-1.
4. Три зразка для випробування на розтяг (один – зварений дуговым зварюванням металевим електродом, другий – цільний із сталі тієї ж марки, третій – зварений точковим швом).

Теоретичні основи роботи

Зварний шов утворюється з електродного та основного металів. Механічні властивості його визначаються хімічним складом і структурою, яка утворюється в результаті протікання певних процесів при кристалізації металу.

Механічні властивості характеризують опір металу деформації і руйнування під дією механічних сил (навантаження).

До основних механічних властивостей відносять:

- міцність
- пластичність
- ударну в'язкість
- твердість

Міцність – це здатність металу не руйнуватися під дією механічних сил (навантаження).

Пластичність – це здатність металу змінювати форму (деформуватися) під дією механічних сил (навантаження) без руйнування.

Ударна в'язкість визначає здатність металу протистояти ударним (динамічним) механічним силам (ударним навантаженням).

Твердість – це здатність металу чинити опір проникненню в нього інших більш твердих тіл – інденторів.

Для визначення механічних властивостей стикових з'єднань використовують такі види випробувань:

- на розтяг;
- на статичний вигин;
- на ударний вигин;
- твердості.

Зварні з'єднання сталевих конструкцій повинні задовольняти основній вимозі – забезпечувати рівну міцність з основним металом. Для цього необхідно, щоб зварні шви мали:

а) границю міцності не менше, ніж нижня границя міцності основного металу;

б) кут згину не менше заданого (характеризує пластичні властивості зварного з'єднання).

Механічні випробування зварних з'єднань на розтяг і згин проводять згідно з ГОСТ 6996-66.

Випробування на розтяг

Випробування проводять, як правило, на зразках, товщина або діаметр яких дорівнюють товщині або діаметру основного металу. При випробуванні зварного з'єднання або листів різної товщини більш товстий лист шляхом механічної обробки повинен бути доведений до товщини більш тонкого листа. Шорсткість поверхні після обробки більш товстого елемента повинна бути не більше 6,3 мкм.

Форма і розмір плоских зразків для випробування стикових з'єднань повинні відповідати рис. 1.1 і табл. 1.1. Допускається застосування циліндричних зразків типів I, II, III, IV і V. Метал шва в цих зразках повинен розташовуватися по середині їх робочої частини.

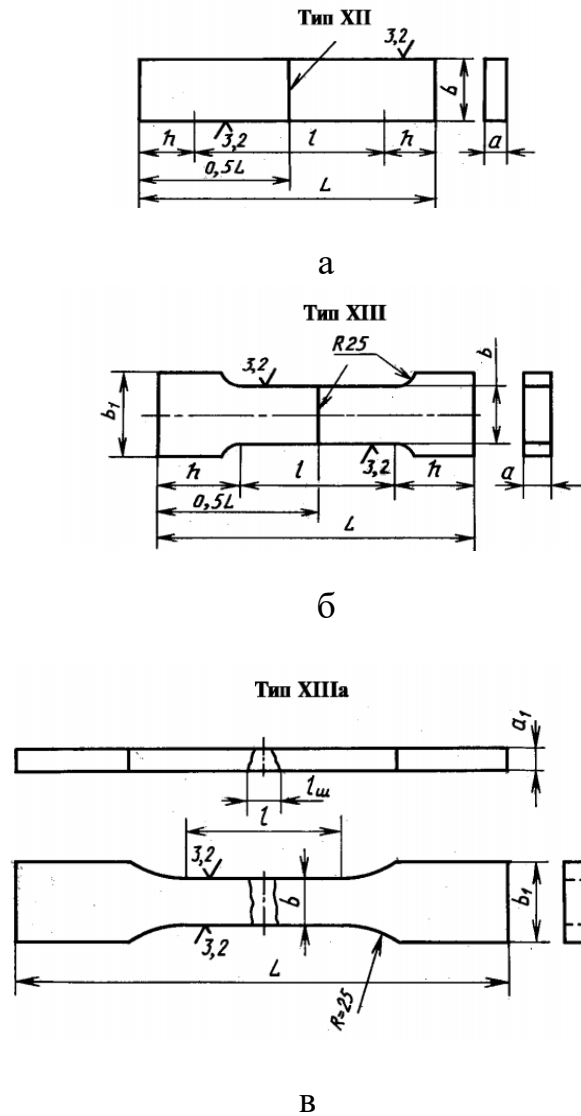


Рисунок 1.1 – Форми плоских зразків для випробувань на розтяг

Таблиця 1.1 – Розміри плоских зразків для іспитів на розтяг в мм (рис. 1.1)

Тип зразка	Товщина основного метала, a	Товщина зразка a_1	Ширина робочої частини зразка, b	Ширина захватної частини зразка, b_1	Довжина робочої частини зразка, l	Загальна довжина зразка, L	Номер креслення
ХІІ, ХІІІ	До 6	Дорівнюється товщині основного метала	$15 \pm 0,5$	25	50	$l + 2h$	Рис. 1,1, а або б
	Св. 6 до 10 включ.		$20 \pm 0,5$	30	60		
	« 10 « 25 «		$25 \pm 0,5$	35	100		

Тип зразка	Товщина основного метала, a	Товщина зразка a_1	Ширина робочої частини зразка, b	Ширина захватної частини зразка, b_1	Довжина робочої частини зразка, l	Загальна довжина зразка, L	Номер креслення
	« 25 « 50 «	ла	$30 \pm 0,5$	40	160		
	« 50 « 75 «		$35 \pm 0,5$	45	200		
ХІІІа	Дорівнюється і менше 20	Дорівнюється товщині метала	Не менше 1, 2 товщини зразка, але не менше 10 і не більше 50	$b + 12$	$l_{III} + 60$	Дорівнюється або більше 200	Рис. 1.1, в
	Св. 20 до 40	Дорівнюється товщині метала або 20					
	Св. 40	20 або 40					

Примітки:

1. l_{III} – максимальна ширина шва.
2. Довжину захватної частини зразка h встановлюють залежно від конструкції випробувальної машини.

Форма і розміри циліндричних зразків для випробування стикових з'єднань стрижнів круглого або багатогранного перетину повинні відповідати зазначеним на рис. 1.2 і в табл. 1.2. Для випробування стикових з'єднань з арматурної сталі застосовують необроблені зразки зі знятим потовщенням.

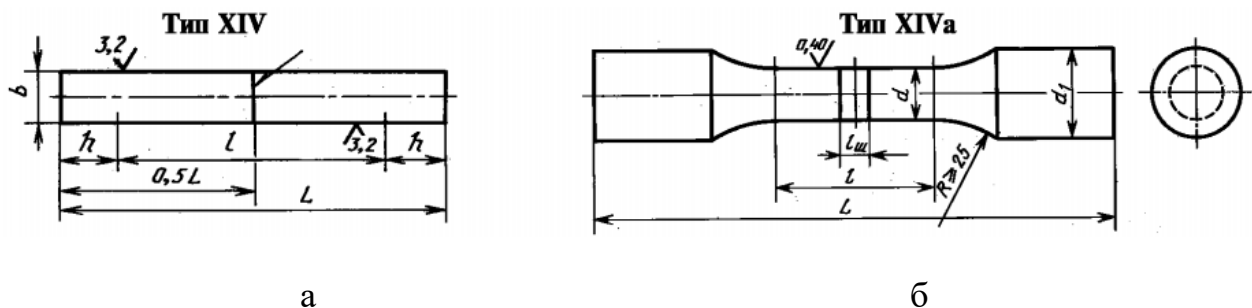


Рисунок 1.2 – Форма циліндричних зразків для випробування стикових з'єднань стрижнів круглого або багатогранного перетину

Потовщення шва повинно бути знято механічним способом до рівня основного металу. При видаленні потовщення дозволяється знімати основний метал по всій поверхні зразка на глибину до 15% від товщини металу або діаметра стрижня, але не більше 4 мм. Основний метал з поверхні зразка видаляють тільки з того боку, з якою знімають потовщення шва або є уступ. Шорсткість поверхні R_v в місцях видалення потовщення повинна бути не більше 6,3 мкм.

Таблиця 1.2 – Розміри циліндричних зразків для іспитів на розтяг в мм (рис. 1.2)

Тип зразка	Діаметр круглого стержня або діаметр кола, вписаного в багатогранний стрижень, B	Діаметр захватної частини зразка, d_1	Діаметр робочої частини зразка, d	Довжина робочої частини зразка, l	Загальна довжина зразка, L	Номер зразка
XIV	До 10	-	D_c або B	60	$l+2A$	а
	Св. 10 до 25			100		
	« 25 « 50			160		
	« 50 « 70			200		
XIVa	Не обмежується	D_c или B , а але не більше 40	$0,8 d_1$	$l_{ш} + 60$	≥ 200	б

Примітки:

1. $l_{ш}$ – максимальна ширина шва.
2. Довжину захватної частини h встановлюють залежно від конструкції випробувальної машини.

Вимірюють штангенциркулем з точністю до 0,1 мм ширину і товщину основного металу зразка і підраховують площу його поперечного перерізу F_0 . Закріплюють зразок в випробувальну машину і випробують на розрив, фіксують при цьому максимальне зусилля розтягу P_m .

Визначають границю міцності в кН/см^2 за формулою

$$\sigma_B = P_B / F_0 \quad (1.1)$$

де P_B – найбільше навантаження, що передує руйнуванню зразка в кН;

F_0 – початкова площа поперечного перерізу в см^2 .

Визначають умовну границю текучості в $\text{кН}/\text{см}^2$ за формулою

$$\sigma_{0,2} = P_{0,2} / F_0 \quad (1.2)$$

Після проведення випробувань зварного зразка встановлюють місце його руйнування: по шву, по зоні термічного впливу, по основному металу, виявляють наявність дефектів шва в зламі. Результати іспитів заносять в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати випробувань зварних з'єднань на розтяг

Матеріал зразка та його марка	Спосіб зварювання	Початкова площа зразка, F_0	Максимальне навантаження, P_B	Границя міцності	Місце руйнування	Дефекти на зламі

Визначення показників міцності цілісних сталевих зразків проводять, наприклад, на циліндричних зразках (рис. 1.3) розмірами: $d_0=5$ мм, $l_0=50$ мм, $D=11$ мм, $h_1=10$ мм, $r=1,5$ мм.

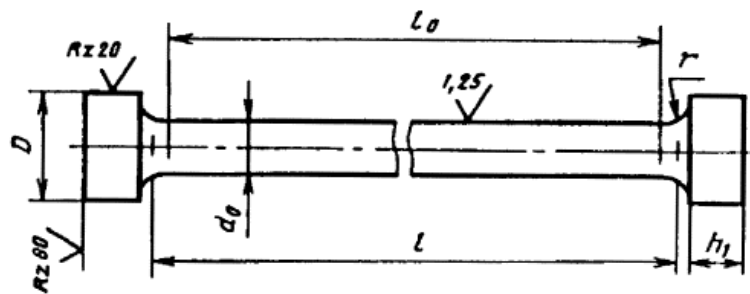


Рисунок 1.3 – Форма зразка для проведення випробувань на розтяг (тип 3 за ГОСТ 1497-84 або ISO 6892-84)

Випробування зварних з'єднань на згин

Випробування на згин проводять для стикових з'єднань. При випробуванні визначають здатність з'єднання приймати заданий за розміром і формою згин. Ця здатність характеризується кутом згину α (рис. 1.4), при якому в розтягнутій зоні зразка утворюється перша тріщина, яка розвивається в процесі випробування. Якщо довжина тріщин, що виникають в процесі випробування в розтягнутій зоні зразка, не перевищує 20% його ширини, але не більше 5 мм, то вони не є бракувальною ознакою. Визначають також місце утворення тріщини або руйнування (по металу шва, металу колошовної зони або основного металу). Залежно від вимог випробування проводять до досягнення нормованого кута згину або кута згину, при якому утворюється перша, яка є бракувальною ознакою тріщина, до паралельності або зіткнення сторін зразка. Кут згину при випробуванні до утворення першої тріщини заміряють в ненапруженому стані з похибкою до $\pm 2^\circ$.

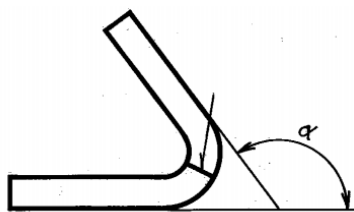


Рисунок 1.4 – Схема випробування зварних з'єднань на згин

Товщина зразків типів а, б, в (рис. 1.5, розміри за табл. 1.4) при товщині основного металу до 50 мм повинна дорівнюватися товщині основного металу. Зразки, товщина яких менше товщини основного металу, допускається вирізати в різних ділянках поперечного перерізу зварного з'єднання. До результатів випробування зразків різних типів встановлюють різні нормативні вимоги.

Опуклість шва по обидва боки зразка знімають механічним способом до рівня основного металу з шорсткістю до 6,3 мкм.

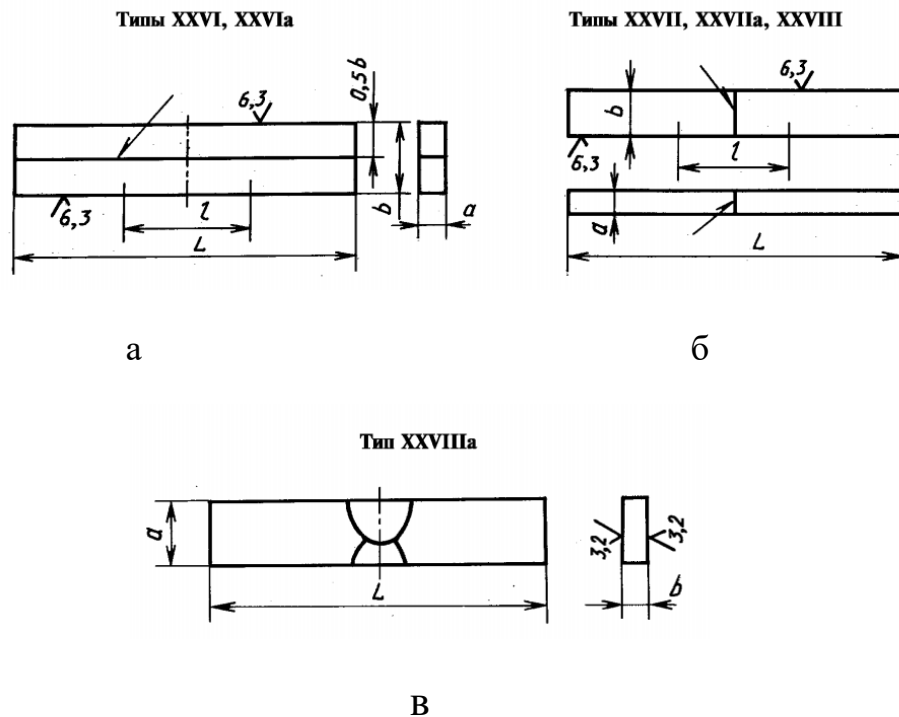


Рисунок 1.5 – Форма зразків для проведення іспитів на згин

Таблиця 1.4 – Розміри зразків для проведення іспитів на згин в мм

Тип зразка	Товщина основного металу і зразка a	Ширина зразка b	Загальна довжина зразка L	Довжина робочої частини зразка l	Номер зразка
XXVI	5	$a + 15$	$2,5 D + 80$	$0,33 L$	Рис. 1.5, а
	Св. 5 до 50	$a + 20$			
XXVIa	До 25	$l_{ш} + 10$, але не менше 20	Не більше 250	Не встановлюється	
XXVII	До 50	$1,5 a$, але не менше 10	$2,5 D + 80$	$0,33 L$	Рис. 1.5, б
XXVIIa	До 25	Не менше $1,5 a$, але не менша 20 і не більше 50	Не більше 250	Не встановлюється	
XXVIII	До 10	20	$3,0 D + 80$	$0,33 L$	
	Св. 10 до 45	30			
XXVIIIa	До 40	$0,7 a$, але не більше 15	Не більше 250	Не встановлюється	Рис. 1.5, в

Примітки:

1. D – діаметр оправки; $l_{ш}$ – максимальна ширина шва.

Испити зразків типів XXVI і XXVIa проводять, як показано на рис. 1.6, а , типів XXVIIa і XXVIII – на рис. 1.6, б, типа XXVIIIa – на рис. 1.6, в. Відстань між опорами K повинна дорівнюватися: для зразків типа XXVII - $2,5a$, для зразків типа XXVIIa - $D + 3a$, для зразків типа XXVIII - $3D$. Відстань для зразків типів XXVI і XXVIa наведена на рис. 1.6, а , а типа XXIIIa – на рис. 1,6, в.

Обов'язковою умовою проведення випробувань є плавність зростання навантаження на зразок. Випробування проводять зі швидкістю не більше 15 мм хв на випробувальних машинах або пресах з використанням опорних роликів.

Діаметр оправки D може змінюватися в залежності від марки сталі, товщини листів, способу термообробки. При відсутності спеціальних вказівок діаметр оправки приймають рівним двом товщинам основного металу.

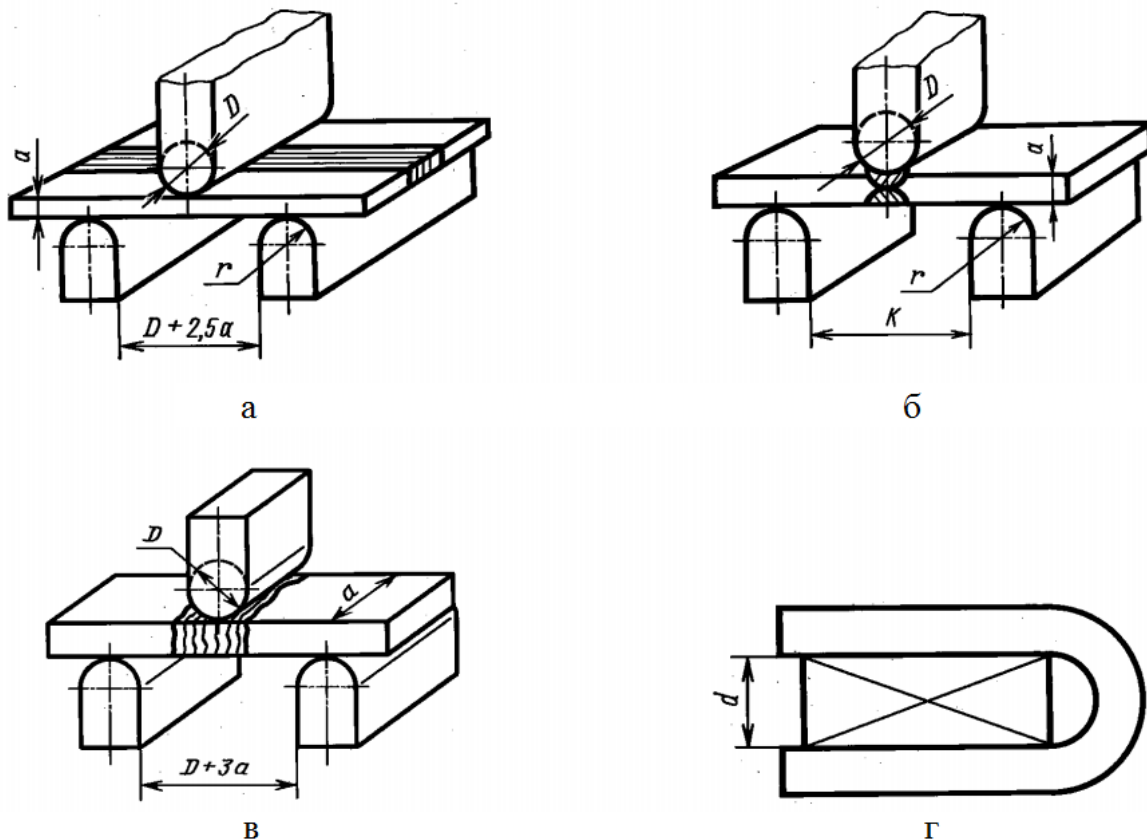


Рисунок 1.6 – Схеми іспитів стикових з'єднань на згин

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з методикою визначення показників міцності при розтягу і згині.

2. Ознайомитися зі стандартом ГОСТ 6996-66 «Сварные соединения. Методы определения механических свойств».

3. Ознайомитися з пристроєм випробувальної машини для проведення випробувань на розтяг.

4. Вибрати умови випробувань, виміряти параметри зразків і провести випробування на розтяг цільного і зварних зразків. Результати вимірювань та розрахунків занести в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Результати іспитів зварних з'єднань на розтяг

№ зразка	Ширина зразка до випробувань, мм	Товщина зразка до випробувань, мм	Ширина зразка після випробувань, мм	Товщина зразка після випробувань, мм	F_0 , мм	F , мм	σ_b , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа

5. Виміряти параметри зразків після проведення випробувань. Результати вимірювань занести в табл. 1.6.

6. Розрахувати за формулами показники тимчасового опору і умовної границя текучості.

7. Проаналізувати характер руйнування зразків, наявність дефектів зварних з'єднань. Результати розрахунків занести в табл. 1.6.

8. Провести іспити стикового з'єднання на згин.

Результати іспитів занести в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Результати іспитів зварного з'єднання на згин

№ зразка	Спосіб зварювання	Кут згина до появи першої тріщини	Дефекти в місцях утворення тріщин

9. Оформити звіт про роботу.

Звіт про роботу

Звіт про роботу повинен включати:

- 1) Мету роботи.
- 2) Короткий виклад теоретичних основ роботи.
- 3) Результати вимірювань і розрахунки показників міцності, характер руйнування, дефекти зварних зразків у вигляді таблиць 1.6.
- 4) Результати іспитів зварного з'єднання на згин у вигляді табл. 1.7.
- 6) Висновки за результатами іспитів.

Контрольні питання

1. Якими показниками визначаються механічні властивості зварного шва?
2. Якій основній вимозі повинні задовольняти зварні з'єднання?
3. Які зразки використовують для випробувань на розтяг зварних з'єднань?
4. Які зразки використовують для випробувань на згин стикових зварних з'єднань?
5. Які схеми використовують для проведення випробувань на згин стикових зварних з'єднань?

Список літератури

1. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств.
2. Сварка и резка в промышленном строительстве / под ред. В.Д. Малышева. – Москва: Стройиздат, 1977 – 400 с.
3. Справочник сварщика. [Текст] / ред. В.В. Степанова. – Москва: Машиностроение, 1975 – 288 с.
4. Зверев В.В. Сварочные работы в строительстве [Текст]: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Сварочные работы в строительстве» / В.В. Зверев, Д.В. Козомазов, Д.П. Попоудин – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 1996. – 28 с.

Лабораторна робота № 2
**ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ПРИЛАДІВ І МЕТОДИКИ
ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА МІКРОТВЕРДОСТІ
ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ**

Мета роботи – ознайомитись з будовою приладів та методикою, що використовується для вивчення структури і мікротвердості зварних з'єднань.

Устаткування, прилади, матеріали

1. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.
2. ГОСТ 21318-75. Измерение микротвёрдости царапанием алмазными наконечниками.
3. Оптичний мікроскоп МІМ-7.
4. Мікротвердомір ПМТ-3.
5. Стикові зварні з'єднання з низьковуглецевої сталі.
6. Травник.
7. Шліфувальний папір.
8. Фільтрувальний папір.
9. Алмазні пасти.
10. Полірувальні верстати.

Теоретичні основи роботи

Мікроструктура – це будова металу, яку вивчають за допомогою мікроскопів.

Металографічний оптичний мікроскоп являє собою систему лінз, що дозволяють одержати збільшене зображення мікроструктури (рис. 2.1). Основні характеристики мікроскопа – дозвільна відстань і корисне збільшення.

Дозвільна відстань мікроскопа – найменша відстань між двома точками, на якій вони видні роздільно, тобто той найменший розмір елемента структури, який можна побачити за допомогою даного приладу:

$$d = \frac{\lambda}{2n \cdot \sin\alpha} \quad (2.1)$$

λ – довжина хвилі випромінювання, в якому ведеться спостереження;

n – показник переломлення середовища між об'єктом і об'єктивом;

α – апертурний кут.

d – дозвільна відстань.

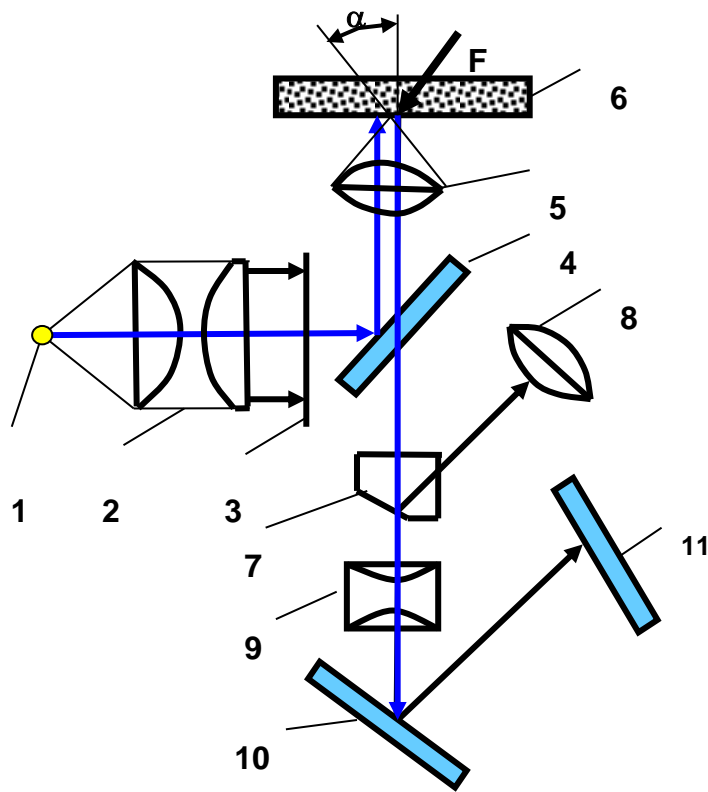


Рисунок 2.1 – Принципова схема оптичного мікроскопа МІМ-7: 1 – джерело світла; 2 – конденсор; 3 – діафрагма; 4 – напівпрозора пластина; 5 – об'єктив; 6 – об'єкт (мікрошліф); 7 – призма; 8 – окуляр; 9 – окуляр; 10 – дзеркало; 11 – фотопластина; F – фокус об'єктива; α – апертурний кут

Мінімальне значення d оцінюють, підставивши в формулу (1) такі значення: $\lambda = 4 \cdot 10^{-4}$ мм; $n = 1$ для повітряного середовища; максимальний кут $\alpha = 90^\circ$. Отримують $d \sim 0,5\lambda = 2 \cdot 10^{-4}$ мм.

Об'єкт стає видимим для людського ока, якщо його збільшений розмір не менше 0,2 мм, тому *корисне збільшення мікроскопа* визначають із співвідношення:

$$V_{\text{кор}} = \frac{0,2}{d} = \frac{0,2}{2 \cdot 10^{-4}} \quad (2.2)$$

Дійсне збільшення мікроскопа дорівнюється добутку збільшень окуляра і об'єктива:

$$V_{\text{дійсн}} = V_{\text{ок}} \cdot V_{\text{об}} \quad (2.3)$$

Загальний виг металографічного оптичного мікроскопа МІМ-7 наведено на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Загальний вид металографічного оптичного мікроскопа МІМ-7

При металографічному дослідженні зразок готують послідовним шліфуванням на наждачному папері різного ступеня зернистості, починаючи з грубого і закінчуючи найдрібнішим (рис. 2.3, а). В результаті такої обробки поверхня зразка покривається дрібними рисками.

Наступна операція – полірування. Воно проводиться на спеціальних верстатах з використанням в якості «абразиву» порошоків окису хрому, окису алюмінію або алмазних паст (рис. 2.3, б).

Після полірування поверхня зразка стає дзеркальною.

Для виявлення структури проводиться травлення полірованих об'єктів. Травителями служать спиртові або водні розчини різних солей, лугів і кислот. Найбільш часто в якості травителя використовують 5 % водний розчин сірчаної кислоти.



а

б

Рисунок 2.3 – Полірувальні верстати

В результаті дії травника на поверхні зразка з'являється рельєф, що відповідає внутрішній будові матеріалу, який вивчають за допомогою мікроскопа. Виготовлений таким чином об'єкт називається металографічним шліфом.

Через різного ступеня травлення границь зерна, тіла зерна і структурних складових на поверхні мікрошліфа утворюється рельєф у вигляді западин і виступів.

Ці нерівності по-різному розсіюють світлові промені, які відбиваються від досліджуваної під мікроскопом поверхні (рис. 2.4). На границях зерен, які інтенсивно розчиняються при травленні, утворюються западини, які сильно розсіюють промені. Тому границі виглядають, як темні лінії.

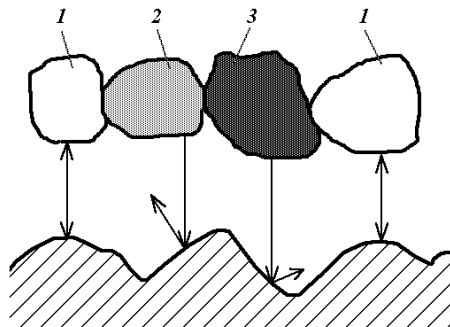


Рисунок 2.4 – Формування зображення структури багатофазного сплаву

Для вимірювання мікротвердості найбільшого поширення набув прилад типу ПМТ-3, розроблений М. М. Хрущовим і Е. С. Берковичем (рис. 2.5), який має штатив 8 вертикального мікроскопа з тубусом, що переміщається вгору і вниз за допомогою макрометричного гвинта 6 і мікрометричного гвинта 5. На верхній кінець тубуса насаджений окулярний мікрометр 7, а в нижньому кінці закріплені штوک 2 з алмазної пірамідою, опакілюмінатор 9 і об'єктив 11. В ілюмінаторі є лампочка напругою 6 в, що живиться від електромережі через трансформатор. За допомогою мікрометричних гвинтів 13 переміщують столик в необхідному напрямку. Ручка 1 служить для повороту столика на 90°. Прилад оснащений двома об'єктивами для перегляду мікрошліфа при збільшеннях у 135 і 478 разів. Окуляр збільшує в 15 разів. Окулярний мікрометр має нерухому сітку, відліковий мікрометричний барабанчик і каретку з рухомою сіткою. На нерухомій сітці довжиною 5 мм нанесені штрихи з цифрами і угольник з прямим кутом, вершина якого збігається з цифрою 0. На рухомій сітці нанесено кутник з прямим кутом і дві риски.

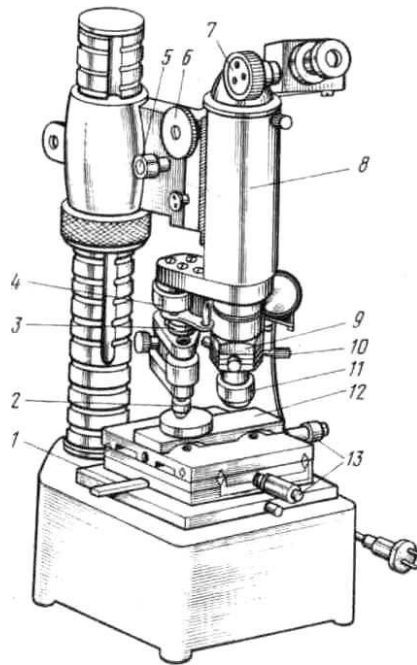


Рисунок 2.5 – Схема мікротвердоміра ПМТ-3

Випробування мікротвердості найчастіше проводять шляхом втискування стандартної 136-градусної алмазної піраміди з квадратною основою і навантаженнями 2, 5, 10, 20, 50, 100 і 200 г (рис. 2.6). Значною

перевагою приладу є пряме навантаження індентора, що забезпечує високу точність і стабільність величин навантажень, що додаються.

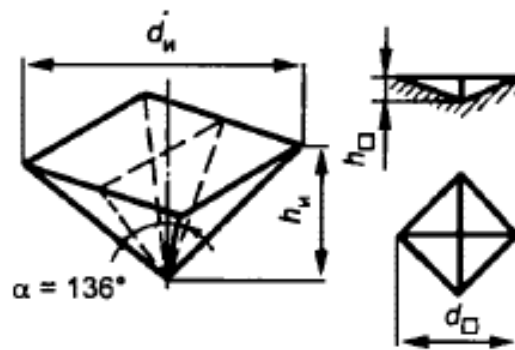


Рисунок 2.6 – Зображення піраміди і відбитка

Загальне збільшення мікроскопа приладу ПМТ-3 при візуальних спостереженнях і вимірах 40-кратним епіоб'єктивом ОЕ-6 з апертурою $A = 0,65$ (фокусна відстань $F = 6,16$) і гвинтовим окулярним 15-кратним мікрометром АМ9-3 дорівнюється 485-487.

Поверхню досліджуваного зразка перед вимірюванням мікротвердості шліфують і полірують, а при необхідності піддають травленню реактивами, що використовують для мікроаналізу відповідних сплавів.

Підготовлений зразок (мікрошліф) встановлюють на столику мікротвердоміра так, щоб досліджувана поверхня була паралельна площині столика і звернена вгору. При випробуванні зразків складної форми це досягається попередньою установкою зразка в пластилін і вирівнюванням положення поверхні зразка, що шліфується, ручним пресом. Встановлений мікрошліф переглядають через окуляр і об'єктиви мікроскопа спочатку зі збільшенням 100 раз, а потім – 400 разів. За допомогою двох гвинтів столик пересувається в двох перпендикулярних напрямках, що дозволяє переміщати мікрошліф і вибрати на ньому ділянку, в якій необхідно виміряти твердість. Цю ділянку слід розмістити в середині поля зору мікроскопа. Потім вибирають навантаження і виконують індентування.

Вимірювання мікротвердості матеріалів здійснюють за методом відновленого і невідновленого відбитків, регламентованих ISO 6507 та ISO 14577 відповідно, а також ГОСТ 9450-76.

*Проведення випробування по вимірюванню мікротвердості
втискуванням чотиригранної алмазної піраміди*

1. При випробуванні матеріалу вироб (зразка) на мікротвердість втискуванням застосовують навантаження 0,049 (0,005); 0,0981 (0,01); 0,1962 (0,02); 0,4905 (0,05); 0,981 (0,1); 1,962 (0,2) или 0,0491 (0,005); 0,0981 (0,01); 0,1962 (0,02); 0,4905 (0,05); 0,981 (0,1); 1,962 (0,2); 4,905 (0,5) Н (кгс).

2. Для отримання найбільш точного результату вимірювання мікротвердості навантаження F повинне бути якомога більшим.

3. На стороні вироб (зразка), протилежній випробуваній, після нанесення відбитка не повинно бути слідів деформації матеріалу помітних неозброєним оком.

4. Відстань від центру відбитка до краю вироб (зразка) має бути не менше подвійного розміру відбитка. Відстань між центрами відбитків, нанесених на одну поверхню, повинна перевищувати розмір відбитка більш ніж в три рази.

5. Навантаження повинно здійснюватися плавно, без поштовхів. Швидкість опускання алмазного індентора не повинна позначатися на об'ємах відбитка. Тривалість витримки повинна складати не менше 3 с.

6. Вимірювання розмірів відбитків виконується на мікроскопі в світлому полі з похибкою відліку $\pm 0,5$ від найменшої поділки шкали при об'єктиві збільшення 30–40 (чисельна апертура $A = 0,65$).

7. Випробування проводять при температурі навколишнього середовища $(20 \pm 5)^\circ \text{C}$.

8. Значення мікротвердості обчислюють за формулами (2.4) – (2.12) або знаходять в таблицях додатка до стандарту.

9. Число мікротвердості визначають діленням прикладеної до алмазного індентора нормального навантаження на умовну площу бічної поверхні отриманого відбитка.

10. Для чотиригранної піраміди з квадратною основою число мікротвердості (HV) обчислюють за формулою:

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{0,102 \cdot 2F \sin d/2}{d^2} = 0,189 \frac{F}{d^2}, \quad (2.4)$$

якщо F виражена в ньютонках

$$(HV = \frac{F}{S} = \frac{2F \cdot \sin d / 2}{d^2} = 1,854 \frac{F}{d^2}, \quad (2.5)$$

якщо F виражена в кілограм-силах.

11. Для тригранної піраміди з основою у вигляді рівностороннього трикутника число мікротвердості (H_V) обчислюють за формулою

$$H_V = \frac{F}{S} = \frac{0,102 \cdot 3F \sin \alpha}{\sqrt{3}l_V^2} = 0,160 \frac{F}{l_V^2}, \quad (2.6)$$

якщо F виражена в ньютонках

$$(H_V = \frac{F}{S} = \frac{3F \cdot \sin \alpha}{\sqrt{3}l_V^2} = 1,570 \frac{F}{l_V^2}, \quad (2.7)$$

якщо F виражена в кілограм-силах.

Проведення випробування по вимірюванню мікротвердості методом дряпання чотиригранною алмазною пірамідою

Мікротвердість зварних швів можна вивчати методом дряпання.

Випробування на мікротвердість дряпанням полягає в нанесенні на випробувану поверхню канавки і вимірюванні її ширини (рис. 2.7).

Мікротвердість дряпанням слід визначати числами мікротвердості, що одержують діленням нормального навантаження на умовну площу контакту піраміди з випробуваної поверхнею за формулою:

- для чотиригранної піраміди, F в кгс:

$$H_{\square P} = \frac{3,708 P}{b^2} \quad (2.8)$$

- для чотиригранної піраміди, F в Н:

$$H_{\square P} = \frac{0,3782 F}{b^2}, \quad (2.9)$$

де b – ширина подряпини.

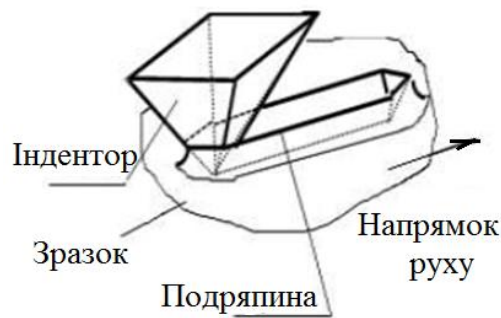


Рисунок 2.7 – Схема вимірювання мікротвердості дряпанням

Числа мікротвердості, обчислені для різних значень F і b , наведені в додатку до стандарту, виражені числами нормального навантаження, необхідного для отримання канавки заданої ширини b , що дорівнює 5, 10 або 20 при дряпанні ребром або гранню. Значення навантаження для заданої ширини канавки b умовно приймають за число твердості по Мартенсу і позначають H_{∇} або H_{\square} з зазначенням в тексті способу дряпання ребром для чотиригранної піраміди, ребром або гранню для тригранної піраміди.

Індекси при числі мікротвердості H відображають форму основи піраміди і дряпання, виконане ребром піраміди.

При випробуванні поверхні дряпання застосовують навантаження: 0,049, 0,098, 0,196, 0,490, 0,981 і 1,962 Н (0,005, 0,010, 0,020, 0,050, 0,100 і 0,200 кгс). Мінімальна товщина матеріалу або шару повинна перевищувати глибину канавки не менше ніж в 10 разів.

Відстань від осі канавки до краю поверхні повинна бути не менше подвійної ширини b канавки.

Відстань між центральними осями декількох суміжних канавок, нанесених на одну поверхню, повинна бути не менше $3b$. Довжина канавки повинна бути не менше 0,25 мм.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити будову оптичного мікроскопа МІМ-7.

2. Ознайомитись з методикою підготовки мікрошліфів зварних з'єднань.

3. Підготувати зразок зварного з'єднання низьковуглецевої сталі і дослідити його структуру за допомогою мікроскопа.

4. Вивчити будову мікротвердоміра ПТМ-3 та його технічні характеристики.

5. Ознайомитись з методикою вимірювання мікротвердості при втискуванні чотиригранної алмазної піраміди.

6. Виміряти мікротвердість зварного з'єднання втискуванням чотиригранної алмазної піраміди.

7. Виміряти мікротвердість дряпанням чотиригранною алмазною пірамідою.

8. Оформити звіт про роботу.

Звіт про роботу

Звіт про роботу повинен включати:

- 1) Мету роботи.
- 2) Короткий виклад теоретичних основ роботи.
- 3) Схему оптичного мікроскопа.
- 4) Схему мікротвердоміра ПМТ-3.
- 5) Фотографію або схему мікроструктури зварного з'єднання.
- 6) Результати вимірювання мікротвердості зварного з'єднання двома методами.
- 7) Фотографію подряпини, що отримана при вимірюванні мікротвердості.
- 8) Висновки.

Контрольні питання

1. Що таке мікроструктура?
2. Які прилади використовують для її вивчення?
3. Що таке дозвільна відстань мікроскопа?
4. Що таке дійсне та корисне збільшення?
5. Які індентори використовують для вимірювання мікротвердості?
6. Як визначають мікротвердість при втискуванні індентора?

7. Як визначають мікротвердість методом дряпання?
8. Наведіть будову мікротвердоміра.
9. Які навантаження використовують при вимірюванні мікротвердості.

Список літератури

1. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.
2. ГОСТ 21318-75. Измерение микротвёрдости царапанием алмазными наконечниками.

Лабораторна робота № 3 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи – вивчити процеси формування зварних з'єднань, структуру зварних з'єднань з вуглецевої сталі.

Обладнання, прилади, матеріали

1. Оптичний мікроскоп.
2. Мікротвердомір ПМТ-3.
3. Стикові зварні з'єднання з вуглецевої сталі.
4. Травник.
5. Шліфувальний папір.
6. Фільтрувальний папір.
7. Алмазні пасти.
8. Полірувальні верстати.

Теоретичні основи роботи

При зварюванні плавленням під впливом джерела теплоти розплавляються кромки основного (зварюваного) металу і електродного металу, що подається в зварювальну ванну, а також покриття або флюсу. Плавлення відбувається в зоні зварювання – плавильному просторі, який переміщається разом з джерелом теплоти. Пласти-

льний простір, або зварювальна ванна, умовно може бути розділена на дві частини: головну і хвостову. У головній частині відбувається плавлення, а в хвостовій - кристалізація металу і формування шва.

На відміну від кристалізації злитка для кристалізації металу зварювальної ванни характерні наступні умови:

- незначний обсяг розплавленого металу;
- швидкий локальний нагрів металу джерелом теплоти і швидке його охолодження;
- наявність рухомого температурного поля, що створюється джерелом теплоти, внаслідок чого середня швидкість кристалізації в першому наближенні дорівнює швидкості зварювання.

У порівнянні з основним металом зварний шов має типову структуру литого металу, швидко затверділого в умовах інтенсивного відводу теплоти. Литий метал, як правило, поступається прокатному або кованому за своїми пластичним і в'язкими властивостями, так як має більше грубозернисту структуру. Однак на відміну від злитків зварної шов зазвичай містить менше N₂, S, P і C, має менші зональну і внутрішньокристалічну ліквідації.

Кристалізацією називається процес утворення твердих частинок (зерен) із розплавленого металу під час його переходу з рідкого стану у твердий. Розрізняють первинну і вторинну кристалізацію. Властивості зварного шва в значній мірі визначаються первинною кристалізацією.

Первинною кристалізацією називається перехід металу з рідкого стану у твердий. При цьому утворюються кристаліти (зерна). Первинна кристалізація проходить при високих швидкостях охолодження окремими тонкими шарами. Після утворення першого шару відбувається затримка в охолодженні через виділення прихованої теплоти. Потім кристалізується другий шар і т. д. до нового затвердіння зварної ванни (рис. 3.1). Товщина шарів становить від десятих часток міліметра до декількох міліметрів. Початком кристалізації є неповністю оплавлені зерна на кромках основного металу.

Залежно від форми і розташування зерен розрізняють зернисту, або стовпчасту, і дендритну структури зварного шва. Зерниста структура не має конкретної орієнтації і нагадує багатогранники. Вона зустрічається в основному металі та металі шва при швидкому

охолодженні. Стовпчаста і дендритна структури мають витягнуті в одному напрямку зерна.

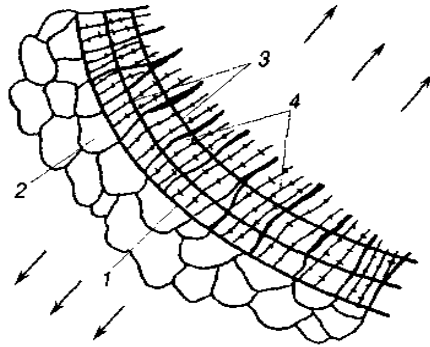


Рисунок 3.1 – Схема росту кристалів: 1 – границя сплавлення; 2 – зерна основного металу; 3 – кристалізаційні шари; 4 – кристаліти

Такі структури властиві швам при зварюванні під флюсом, електрошлаковому зварюванні, де проходить повільне охолодження металу шва. При великому об'ємі зварної ванни і низькій швидкості охолодження збільшується розмір зерен і знижуються механічні властивості шва. Для подрібнення структури в рідкий метал вводять модифікатори (алюміній, титан, ванадій та ін.).

При кристалізації може виникати *ліквація* — нерівномірний розподіл складових сплаву (неоднорідний хімічний склад). У процесі затвердіння зварних швів перед фронтом зростаючих кристалів матковий розчин безперервно збагачується домішками. В останню чергу затвердіває середня частина шва, в якій зосереджується максимальна кількість домішок. Хімічна неоднорідність, названа ліквациєю, знижує механічні властивості металу шва, так як послаблює зв'язок між кристалами і є однією з причин виникнення гарячих (міжкристалізаційних) тріщин. Ліквация залежить від форми шва.

У вузькому шві максимальна кількість домішок концентрується у середній частині (рис. 3.2, а), а в широкому – у верхній частині (рис. 3.2, б). Тому вплив домішок в широкому шві менш небезпечний.

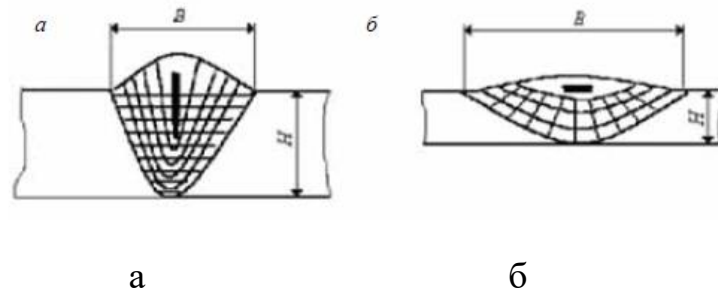


Рисунок 3.2 – Вплив форми шва на хімічну неоднорідність (ліквацію) металу: а – вузький шов; б – широкий шов

Первинна кристалізація ще супроводжується *усадкою* — зменшенням об'єму при затвердінні. При цьому утворюються тріщини, раковини, виникають внутрішні напруження.

При зниженні температури проходить алотропічне перетворення (зміна кристалічної решітки), яке супроводжується зміною будови металу – аустеніт перетворюється у ферит - γ -залізо у α -залізо. Таке явище називається вторинною кристалізацією, або пере-кристалізацією. Вторинна кристалізація починається з розпаду первинної структури і завершується при низьких температурах із утворенням стійких структур.

Зерна металу шва за формою відрізняються від зерен основного металу, які витягнуті у напрямку прокатування.

Зварне з'єднання поділяють на чотири зони (рис. 3.3):
– метал шва (1) — це сплав, утворений переплавленням основного і наплавленого металу або тільки основного металу.

– зона сплавлення (2) — це метал, який знаходиться на межі шва і основного металу;

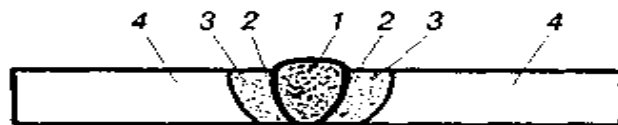


Рисунок 3.3 – Будова зварного з'єднання: 1 – метал шва; 2 – зона сплавлення; 3 – зона термічного впливу; 4 – основний метал

– зона термічного впливу (ЗТВ) (3) — це ділянка основного металу, яка не підлягає розплавленню, її структура і властивості змінюються під впливом нагрівання при зварюванні;

– основний метал (4) — це метал, який підлягає зварюванню.

Міцність зварного з'єднання і його експлуатаційні властивості суттєво залежать від структурних змін, які відбуваються в ЗТВ. Будова і розміри ЗТВ залежать від хімічного складу і теплофізичних властивостей зварюваного металу, потужності джерела теплоти, ступеня його сконцентрованості, швидкості руху і інших факторів.

Ширина зони термічного впливу в залежності від способу та режимів зварювання становить, мм:

- при ручному дуговому зварюванні — 3-6;
- при зварюванні під флюсом — 2-4;
- при зварюванні в захисних газах — 1-3;
- при електрошлаковому зварюванні — 11-14;
- при газовому зварюванні — 8-28.

Термічний цикл будь-якої точки металу зварного з'єднання характеризується максимальною температурою нагріву, тривалістю нагрівання до певної температури і швидкістю охолодження. ЗТВ характеризується нерівномірним розподілом максимальних температур нагрівання (рис. 3.4).

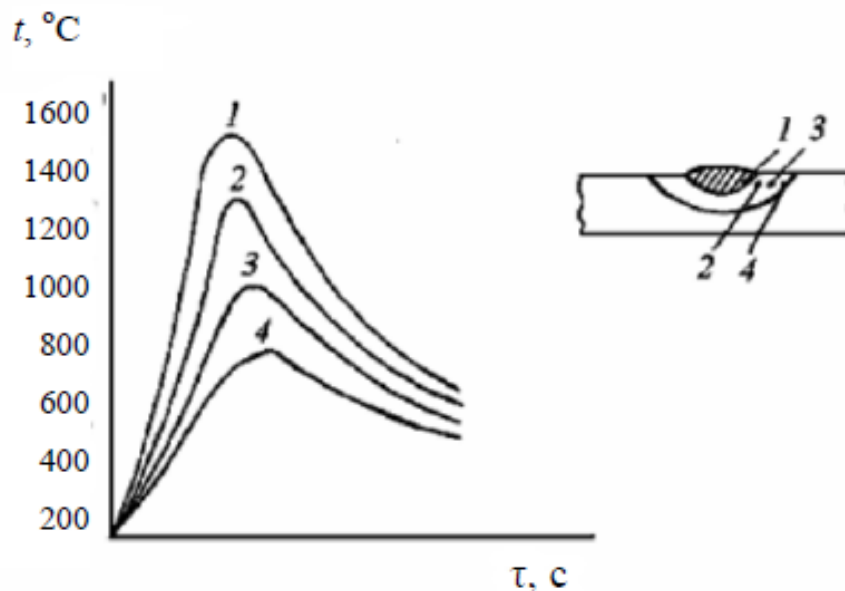


Рисунок 3.4 – Термічний цикл при зварюванні плавленням: 1, 2, 3, 4 – точки, в яких вимірювалась температура

Результат теплового впливу на метал в ЗТВ залежить від його відносин до термообробки. Залежно від способу і погонної енергії зварювання можливі два граничних випадки:

1) гартування – при швидкому охолодженні – з утворенням твердих і крихких структур і виникненням при цьому значних за величиною напружень;

2) перегрів – при повільному охолодженні – характеризується надмірним зростанням зерна і зниженням пластичності і в'язкості металу.

Оцінити загальний характер можливих перетворень, що протікають в ЗТВ при зварюванні низьковуглецевих сталей, можна за діаграмою залізо-цементит, а при різних швидкостях охолодження - користуючись термодинамічними діаграмами розпаду аустеніту, які побудовані для більшості марок вуглецевих і легированих сталей.

Швидкість охолодження зазвичай оцінюється в інтервалі температур (500...550 °С) найменшою стійкістю аустеніту. При малих швидкостях охолодження, що відповідають електрошлаковому і електродуговому зварюванню, перетворення аустеніту призводить до формування структури, що складається з фериту і перліту. При середніх швидкостях охолодження (автоматичне зварювання під флюсом) в залежності від марки сталі утворюються перліт і бейніт або бейніт і мартенсит з невеликою кількістю фериту. При швидкості охолодження вище критичної утворюється тільки мартенсит. Мартенситне перетворення супроводжується збільшенням обсягу сталі і виникненням великих напружень, які можуть викликати руйнування металу. У подібних випадках доводиться вживати спеціальних заходів до поліпшення структури металу ЗТВ і запобігання утворенню мартенситу. Ці заходи зводяться до зміни теплового режиму в процесі зварювання, вибору раціональної форми оброблення крайок під зварювання і подальшій термообробці. На рис. 3.5 показана схема структур, що утворюються при зварюванні стикового з'єднання з маловуглецевої сталі за один прохід.

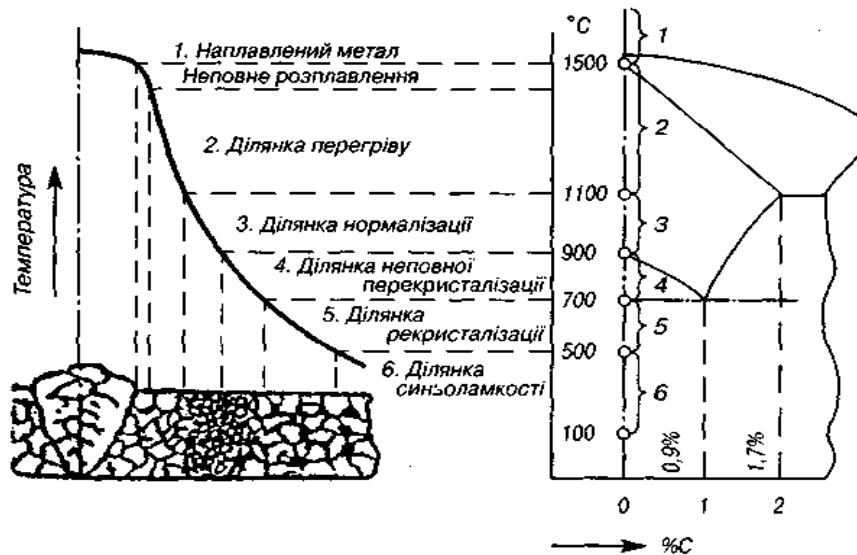


Рисунок 3.5 – Схема структур, що утворюються при зварюванні стикового з'єднання з маловуглецевої сталі за один прохід

Над перетином шва показана крива температур, а поруч – частина діаграми залізо-цементит в тому ж масштабі. Залежно від температури розрізняють такі ділянки зварного шва:

- наплавленого металу,
- неповного розплавлення,
- перегріву;
- нормалізації;
- неповної перекристалізації;
- рекристалізації,
- синьоломкості.

Ділянка *неповного розплавлення* знаходиться в твердо-рідкому стані і визначає якість зварного з'єднання. У цій зоні проходить сплавлення кристалів металу шва із зернами основного металу; температура в ній вища за температуру плавлення металу.

Ділянка *перегріву*. Вона включає метал, нагрітий до температури вище 1100 °С, тобто трохи нижче температури плавлення. Метал на цій ділянці в процесі нагрівання зазнає алотропічних перетворень (γ -заліза в α -залізо), що супроводжується зростанням аустенітного зерна. У тих випадках, коли перегрів поєднується з подальшим швидким охолодженням (гартування), метал на цій ділянці після зварювання характеризується зниженою пластичністю і міцністю в порівнянні з основним металом. Ділянка особливо небезпечна

для сталей, які гартуються, тому вибір раціональної технології зварювання зводиться в першу чергу до забезпечення найменшого погіршення властивостей на цій ділянці ЗТВ.

Ділянка *нормалізації* (перекристалізації). Ця ділянка охоплює метал, нагрітий до температури, що трохи перевищує температуру алотропічних перетворень (900...1050 °С). Процес перекристалізації при нагріванні і охолодженні призводить до значного подрібнення зерна металу. Структура металу стає більш дрібнозернистою в порівнянні з вихідною. Механічні властивості металу цієї ділянки зазвичай кращі, ніж основного металу.

Ділянка *неповної перекристалізації*. Вона включає метал, нагрітий до температур 700...850 °С. При цих температурах відбувається часткова перекристалізація, тобто частина фериту залишається у вихідному стані, інша - утворює аустеніт. При подальшому охолодженні і розпаді аустеніту утворюється дрібнозерниста структура, тому тут, поряд з зернами основного металу, що не змінилися в процесі зварювання, присутні зерна, що утворилися при перекристалізації.

Ділянка *рекристалізації* (старіння). Вона спостерігається при зварюванні сталей, які попередньо зазнали пластичну деформацію (кування, прокатування). Температурний інтервал ділянки 450 ... 650 °С. На цій ділянці ЗТВ відбуваються зрощування (укрупнення) роздроблених при пластичній деформації зерен основного металу і деяке його знеміцнення в порівнянні з вихідним станом. При зварюванні відливок рекристалізація не спостерігається. Для металів і сплавів, схильних до старіння, необхідно враховувати деяке зниження пластичності на цій ділянці.

Ділянка *синьоламкості* — видимих структурних змін немає (200-450 °С), але характеризується зниженням пластичних властивостей.

Про зміну міцності і пластичності в різних ділянках металу шва і ЗТВ можна судити за зміною твердості. Підвищення твердості зазвичай пов'язане з підвищенням міцності і зниженням пластичності. Характер розподілу твердості в ЗТВ може бути різним. Він визначається хімічним складом сталі і режимом зварювання. Зазвичай в зварних виробках не допускається твердість в зоні зварювання більше $HV = 300$ МПа.

Зазвичай, якщо зварюють маловуглецеві сталі, то структурні зміни в зоні термічного впливу майже не знижують механічних властивостей зварних з'єднань.

Порядок виконання роботи

1. Виготовити шліфи стикових зварних з'єднань із вуглецевих сталей з різною кількістю вуглецю.
2. Дослідити дефекти зварних з'єднань, ліквідацію хімічних елементів.
3. Провести травлення шліфів, сфотографувати структуру зварних з'єднань.
4. Виміряти мікротвердість методом втискування алмазної піраміди за перетином зварних з'єднань, побудувати розподіл мікротвердості за перетином.
5. Пояснити отримані результати вимірювання мікротвердості.
8. Оформити звіт про роботу.

Звіт про роботу

Звіт про роботу повинен включати:

- 1) Мету роботи.
- 2) Фотографії шліфів нетравлених та травлених зварних з'єднань.
- 3) Результати вимірювання мікротвердості зварних з'єднань.
- 4) Висновки про вплив на структуру і властивості зварних з'єднань кількості вуглецю в сталі та сили зварного струму.

Контрольні питання

1. Які умови характерні для кристалізації металу зварювальної ванни?
2. Що таке первинна кристалізація?
3. Що таке ліквідація?
4. Яку будову має зварний шов?
5. Чим визначаються міцність зварного з'єднання і його експлуатаційні властивості?

6. Які властивості має зона неповної перекристалізації?
7. Які властивості має зона перегріву?
8. Які властивості має зона нормалізації?

Список літератури

1. Гордиенко, В. Е. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие: лабораторный практикум / В. Е. Гордиенко, Е. Г. Гордиенко, С. А. Степанов, Ю. В. Кнышев, А. П. Орлов, Л. И. Жигарь; СПбГАСУ. – СПб., 2009. – Ч. I. Материаловедение. – 64 с.
2. Металловедение для сварщиков/ Л.С. Лившиц. – М. : Машиностроение, 1979. – 253 с.
3. Гуляев, А.П. Металловедение : учеб. для вузов / А.П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1986. – 544 с.

Лабораторна робота 4

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ НА ФОРМУ, РОЗМІРИ І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Мета роботи – вивчити вплив параметрів режиму зварювання на форму, розміри і механічні властивості зварного з'єднання.

Обладнання, прилади, матеріали

1. Зразки із сталі зі зварними швами, отриманими електродуговим зварюванням в середовищі захисних газів з різною силою струму, для приготування мікрошліфів.
2. Мікротвердомір ПМТ-3.
3. Полірувальний верстат.
4. Алмазні пасти.
5. Травник.
6. Шліфувальний папір.
7. Фільтрувальний папір.
8. Оптичний мікроскоп.

Теоретичні основи роботи

Основні параметри зварювальних режимів дугового зварювання включають: величину, щільність, полярність і рід зварювального струму, напругу дуги, швидкість зварювання, площа перетину (діаметр) проволочки (електрода); додаткові параметри: товщину і склад електродного покриття, виліт зварювального дроту, положення електрода і виробка при зварюванні, розмір зерен зварювального флюсу і його склад. Від цих параметрів залежать форма і розміри шва, його хімічний склад. Розміри шва характеризуються шириною і глибиною. На форму і розміри шва також впливає і техніка зварювання. Основний вплив на розміри і форму шва має кількість тепла, що виділяється дугою, і умови введення цього тепла у виріб. Режим визначає поперечний профіль шва, тобто глибину проплавлення, посилення і ширину шва, частку участі основного і електродного металу в утворенні шва. Форма шва також залежить від марки вживаного флюсу (склад, стан, грануляція), роду струму і полярності, нахилу електрода щодо виробка, вильоту електрода з мундштука, конструктивної форми з'єднання, величини зазору.

Елементи режиму зварювання істотно впливають на форму і склад шва і шляхом зміни їх значення можна досягти бажаного результату при різному їх поєднанні. Основне завдання, що виникає при виборі режиму зварювання, зводиться до визначення такого поєднання елементів режиму, при якому забезпечується необхідна якість зварного з'єднання при максимальній продуктивності і мінімальній вартості процесу. Основними параметрами режиму автоматичного зварювання, що впливають на розміри і форму шва, є сила зварювального струму, напруга на дузі, швидкість зварювання, діаметр електрода (щільність струму в електроді), хімічний склад (марка) і грануляція флюсу, його структура, положення електрода щодо виробка та ін.

Шляхом зміни величини струму в більшості випадків змінюють в бажаному напрямку глибину провару основного металу (рис. 4.1, а), тобто глибину шва. На ширину шва зміна величини струму має незначний вплив, який при вирішенні практичних питань можна не враховувати.

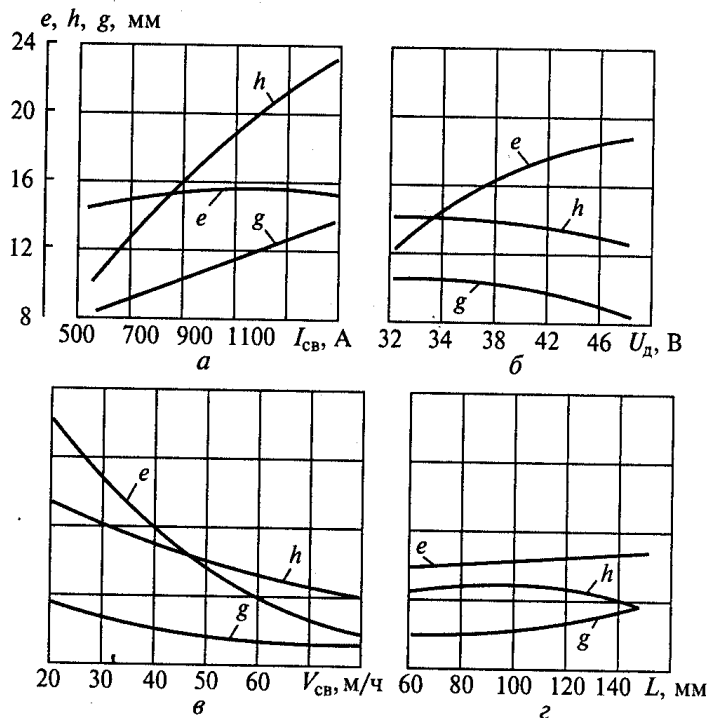


Рисунок 4.1 – Залежність розмірів шва від сили зварювального струму (а), напруги дуги (б), швидкості зварювання (в) і виліта електрода (г): e – ширина шва, h – глибина проплавлення, g – висота посилення

Зі збільшенням напруги дуги ширина шва різко зростає, глибина провару зменшується (рис. 4.2, б).

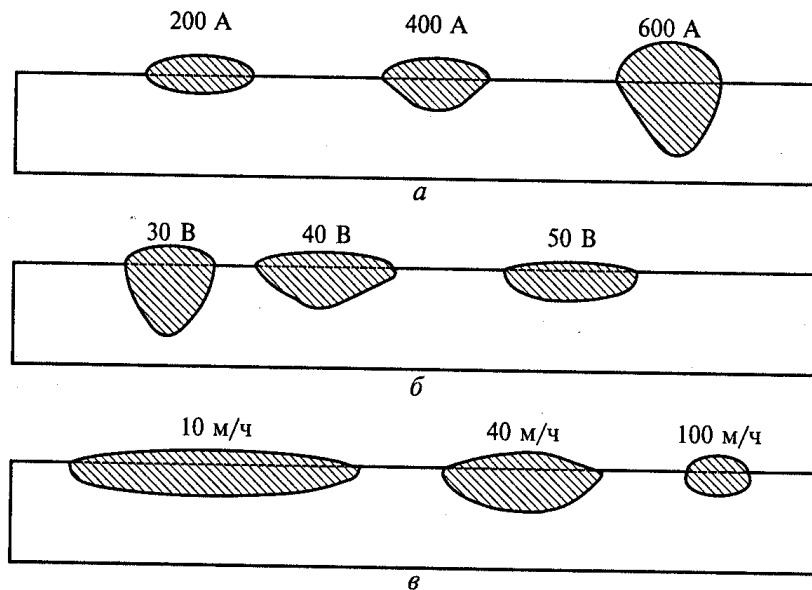


Рисунок 4.2 – Вплив на форму шва параметрів режиму зварювання: а – зварювальний струм, б – напруга дуги, в – швидкість зварювання

Також знижується і опуклість (висота посилення) шва. При зварюванні на постійному струмі (особливо зворотної полярності) ширина шва буде набагато більше, ніж при зварюванні на змінному струмі з таким же значенням напруги.

Із зростанням швидкості зварювання ширина шва зменшується, а глибина провару спочатку збільшується (до швидкості 40-50 м/год), а потім знижується (рис. 4.2, в). При швидкості зварювання понад 70-80 м / ч можливі подрізи по обидва сторона шва через недостатнє прогрівання основного металу.

Зі зменшенням діаметра дроту (за інших рівних умов) зростає щільність струму в електроді, що призводить до зростання глибини провару і опуклості шва, але при цьому знижується ширина шва. Таким чином, при зменшенні діаметра дроту можна отримати більш глибокий провар при незмінній силі струму або такий же провар при меншій силі струму.

При зростанні вильоту дроту діаметром не більше 3 мм з струмопідвідного мундштука знижується глибина провару, що може привести до виникнення крайових напливів в шві. Підвищення вильоту дроту діаметром 5 мм з 60 до 150 мм не впливає на форму зварного шва.

Механічні властивості зварного з'єднання в цілому є властивостями комплексними, тому що вони залежать від співвідношення механічних властивостей металу шва, металу зони термічного впливу і основного металу. Якщо виходити з властивостей основного металу, то очевидно, що зварне з'єднання на конструкційних сталях можна вважати доброякісним, якщо воно забезпечує величини границі міцності і границі текучості не нижче, ніж у основного металу, при достатньому запасі пластичності. Механічні властивості металу шва залежать від наступних факторів:

- 1) вибору зварювальних матеріалів (електродів, дроту, флюсу);
- 2) хімічного складу основного металу;
- 3) режиму зварювання і технології зварювання;

4) розмірів (особливо товщини) виробу і швидкості охолодження;

5) величини пластичних деформацій в металі шва.

Згідно ГОСТ 9467-60 кожен тип електрода забезпечує певні механічні властивості металу шва стосовно певної марки стали (наприклад, для типів E42-E55 на Ст 3). Перехід до зварювання більш легваної сталі призводить до необхідності додаткового легування металу шва і отримання більш високих механічних властивостей. Таке ж становище і при зварюванні під флюсом.

У разі ручного зварювання режим його змінюється в порівняно вузьких межах, тому, як показали окремі дослідження, впливом режиму зварювання на механічні властивості можна знехтувати. При автоматичному і напівавтоматичному зварюванні всі параметри режиму зварювання змінюються в значно ширшому діапазоні і це необхідно враховувати.

Товщина виробу, особливо при товщині більше 25-30 мм, може різко змінити швидкість охолодження металу шва і вплинути на його механічні властивості.

Механічні властивості металу ЗТВ в значній мірі залежать від хімічного складу основного металу і схильності його до гартування.

Режим зварювання і технології зварювання мають неоднаковий вплив на механічні властивості зварних з'єднань з різних сталей. На властивості низьковуглецевої сталі режим зварювання має менш істотний вплив, ніж на властивості термічно зміцнених сталей, чутливих до швидкості охолодження. Це в значній мірі позначається на властивостях зварних з'єднань і вимагає подальшої термічної обробки.

Швидко протікаючі процеси в зварювальній ванні створюють нерівноважні умови кристалізації, а незакінченість процесів дифузії хімічну і структурну неоднорідність зварного з'єднання. Це знижує експлуатаційні властивості виробів і в більшості випадків призводить до передчасного руйнування. Найбільшу небезпеку має зона сплавлення наплавленого металу з основним, де спостерігається підвищена хімічна і структурна неоднорідність, а також пік кон-

центрації внутрішніх зварювальних напружень. Для оцінки якості зварних з'єднань часто використовують дослідження твердості.

Твердість зварного з'єднання пов'язана з усіма механічними характеристиками, і її вимірювання дозволяє оцінити однорідність його міцності. Визначальним є вимірювання твердості не тільки в металі шва або ЗТВ, а по всьому перерізу зварного зразка, тому що перепад значень твердості на 20% свідчить про пікові зміни твердості і необхідність подальшої термообробки.

Встановлено, що величина зварювального струму має значний вплив на механічні властивості зварних з'єднань з легованої сталі. Особливо істотний вплив відмічається при багат шаровому зварюванні. Спостерігається зміна твердості як за шириною, так і за глибиною зварного з'єднання.

Різні значення твердості по глибині зварного з'єднання пояснюються тим, що при багат шаровому зварюванні структура кореневого і проміжних шарів може додатково змінюватися після кристалізації, а саме піддаватися повторному нагріванню при накладенні наступних шарів шва, що викликає структурні зміни в металі шва і колошовної зони (ОШЗ).

Характерно, що чим більше тепловкладення, тим більший ефект зниження твердості, що забезпечується наростанням сили зварювального струму. Збільшення сили зварювального струму призводить до зниження твердості не тільки металу шва, а й зварного з'єднання в цілому, тобто має позитивний вплив на працездатність багат шарових зварних з'єднань.

Це можна пояснити циклічною зміною температури автотермообробки шарів зварного шва, яка відбувається при накладенні наступних шарів шва. Однак значне збільшення сили зварювального струму (> 200 А) не рекомендоване через збільшення градієнта температур, що викликає наростання зварювальних напружень в з'єднанні, які в свою чергу забезпечують умови для зародження і розвитку холодних тріщин. Встановлено, що при збільшенні сили струму зварювання відбувається зниження твердості наплавленого металу шва і деяке збільшення її в зоні термічного впливу.

Таким чином, змінюючи параметри режиму зварювання, можна впливати на форму і розміри зварного шва, на його структуру і властивості.

При зварюванні під флюсом зі збільшенням сили зварювального струму зростає тиск дуги, внаслідок чого рідкий метал зварювальної ванни більш інтенсивно витісняється з-під електрода і дуга занурюється вглиб основного металу. Глибина проплавлення основного металу при цьому збільшується, дуга коротшає і стає менш рухливою. Внаслідок цього ширина шва при збільшенні сили струму залишається незмінною, незважаючи на збільшення обсягу зварювальної ванни (рис. 4.3). Шви стають глибокими, але не широкими. Величина посилення такого шва велика, так як зростає кількість електродного металу, розплавленого в одиницю часу. Такі шви менш стійкі до утворення тріщин і погано працюють при вібраційних навантаженнях. З ростом сили струму при незмінних умовах зменшується кількість розплавленого флюсу.

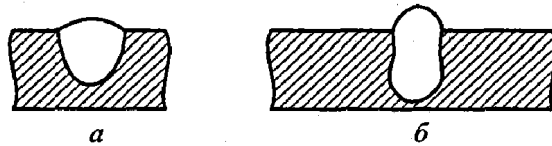


Рисунок 4.3 – Вплив сили струма на форму шва: а – нормальна сила струма, б – висока сила струма

Порядок виконання роботи

1. Виготовити зварні шви дуговим зварюванням в середовищі захисних газів при різній силі струму.
2. Виготовити шліфи зварних з'єднань.
3. Вивчити макроструктуру зварних з'єднань і виміряти ширину і глибину швів.
4. Вивчити мікроструктуру зварних з'єднань і зробити фотографії.
5. Виміряти мікротвердість по перетину зварних з'єднань.
6. Оформити звіт про роботу.

Звіт про роботу

Звіт про роботу повинен включати:

- 1) Мету роботи.
- 2) Короткий виклад теоретичних основ роботи.
- 3) Фотографії макроструктури зварних з'єднань.
- 4) Результати вимірювань розмірів зварних з'єднань.
- 5) Результати вимірювань мікротвердості зварних з'єднань.
- 6) Висновки про вплив сили струму на параметри зварних з'єднань, їх мікроструктуру і мікротвердість.

Контрольні питання

1. Чим визначаються параметри зварного шва?
2. Якими параметрами характеризується режим зварювання?
3. Який вплив на розміри шва мають параметри режиму зварювання?
4. Як впливає режим зварювання на механічні властивості зварного шва?
5. Як впливає сила струму на твердість наплавленого металу і ЗТВ?

Література

1. Гудков А.А. Трещиностойкость стали. – М.: Металлургия, 1989.
2. <http://mash-xxl.info/info/92293/> (графики и картинки)
3. <http://specural.com/articles/category/9/message/448/>

Лабораторная работа № 5 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТЕПЛОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи – вивчити особливості процесів формування зварних з'єднань з теплостійкої сталі.

Обладнання, прилади, матеріали

1. Оптичний мікроскоп.
2. Мікротвердомір ПМТ-3.
3. Стикові зварні з'єднання з теплостійкої сталі.
4. Травник.
5. Шліфувальний папір.
6. Фільтрувальний папір.
7. Алмазні пасти.
8. Полірувальні верстати.

Теоретические основы работы

Теплостійкі сталі призначені для тривалої роботи при температурах до 600 °С. До теплостійких сталей відносять сталі, які використовують в енергетичному машинобудуванні для виготовлення котлів, посудин, паронагрівачів, паропроводів та ін. Робочі температури теплостійких сталей досягають 600-650 °С, а тиск газових або рідких середовищ 20-30 МПа. Так, робочі температури в паросилових установках складають 585 °С при тиску у ванні 25,5 МПа, а в найбільш потужних установках досягають 650 °С і 31,5 МПа, відповідно. Деталі таких установок повинні працювати тривалий час без заміни (до 100000-200000 г), тому основною вимогою є задане значення тривалої міцності і опір повзучості за весь ресурс експлуатації.

Залежно від умов роботи деталей в якості теплостійких використовують вуглецеві, низьколеговані і хромисті сталі.

Низько- і середньолеговані, хромомолібденові і хромомолібденованадієві сталі здатні зберігати механічні властивості в умовах експлуатації при підвищених температурах (550-570 °С). Теплостійкість цих сталей обумовлена тим, що легування хромом і молібденом в кількостях вище критичного відношення Me / C (а сталі ці, як правило, низьковуглецеві) призводить до збільшення частки цих елементів в твердому розчині. Таке легування фериту викликає його зміцнення і ускладнює процеси дифузії і самодифузії при підвищених температурах, що визначає стійкість властивостей при нагріванні. З іншого боку, при легуванні хромом, а особливо молібденом і ванадієм, утворюються спеці-

альні карбідні цих елементів або комплексні карбідні на основі цих елементів. Такі карбідні мають підвищену стійкість проти коагуляції при нагріванні. Цей фактор також впливає на збереження властивостей низьковуглецевих хромомолібденових і хромомолібденованадієвих сталей при підвищених робочих температурах до 570 °С (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Склад і властивості низько- і середньолегованих теплостійких сталей

Марка сталі	Содержание* в % легирующих элементов					A _{c1}	A _{c3}	A _{r3}	A _{r1}	σ _B	σ ₀₂	δ	ψ	σ _H , кгс/см ²	Термообработка
	C	Cr	Mo	V	W	°C				кгс/мм ²		%			
12ХМ	≤0,16	0,8–4,1	0,4–0,55	–	–	785	870	–	–	45	24	19	35	5–6	Горячекатаная
12Х1МФ	0,08–0,15	0,9–1,2	0,25–0,35	0,15–0,3	–	740–780	880–900	820–830	720–740	48	26	21	55	10	нормализация с
15Х1М1Ф	0,1–0,16	1,1–1,4	0,9–1,1	0,2–0,35	–	770–800	875–920	–	–	58	35	18	50	5	высоким отпуском
34ХМ	0,3–0,4	0,9–1,3	0,2–0,3	–	–	755	800	750	700	80	60	–	40	6	Закалка с
15Х5М	≤0,15	4,5–6	0,45–0,6	–	–	815	848	775	718	40	22	22	50	12	Отжиг
15Х5МФ	≤0,15	4,5–6	0,45–0,6	0,4–0,6	–	–	–	–	–	60	42	16	65	10	Нормализация с
15Х5ВФ	≤0,15	4,5–6	–	0,4–0,6	0,4–0,7	830	910	845	775	40	22	22	50	12	Отжиг
12Х2МФСР	0,08–0,15	1,6–1,9	0,5–0,7	0,2–0,35	0,4–0,7	775–825	865–925	770–820	715–765	48	26	21	–	–	Нормализация с
															высоким отпуском

* Содержание Si, Mn, S, P в пределах, допустимых для качественных сталей.

У табл. 5.2 наведені границі відношення Me / C для деяких теплостійких сталей, відповідних границь вмісту в сталі вуглецю і карбідотворюючих елементів, і властивості цих сталей при підвищених температурах. Зі збільшенням відношення Me / C понад критичного значення підвищується міцність сталі при високих температурах. Особливо це помітно за показниками короточасних випробувань. Для тривалих випробувань крім величини відношення має значення індивідуальна роль легуючого елемента. Для цієї характеристики властивостей вплив ванадію на розчин і карбідні більш ефективно, ніж хрому і навіть молібдену.

Таблиця 5.2 – Границі відношень Me/C для теплостійких сталей і властивості цих сталей при підвищених температурах. Середня величина критичного відношення Me/C при 550 °C – 10,4, при 700 °C – 5,6

Марка сталей	Me/C	Кратковременные испытания		Длительные испытания*		Термообработка**
		$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	°C	$\sigma_{10}^4 / \sigma_{10}^5$, кгс/мм ²	°C	
12ХМ	10–23,5	27	500	16,5/12	510	Н – 900–920° О – 630–650°
		25	550	11/7,3	540	
		23	600	–	–	
12Х1МФ	11,3–31,8	33	500	19/16	520	Н – 960–1030° О – 680–760°
		32	550	14/10,5	560	
		27	600	–	–	
15Х1М1Ф	16,2–35,5	34,4	500	/17	525	Н – 1020–1050° О – 740–760°
		30,7	550	/13	550	
		28,7	595	–	–	
15Х5М	35,6–73	47	500	21/18	500	Н – 1000° О – 700°
		40	550	11/7,5	550	
		30,7	600	6,2/4,2	600	

*Довга міцність – чисельник при 104 год, знаменник при 106 год.

**Н – нормалізація, О – відпуск

Помилково вважати, що збільшення відношення Me/C понад критичного буде безперервно збільшувати показники жароміцності. Мабуть, вплив відношення Me / C на короткочасні властивості при високій температурі, тривалу міцність і опір повзучості може бути різним. При тривалому впливі нагріву та напружень підвищення легування фериту понад визначеної величини може чинити негативний вплив у зв'язку з погіршенням пластичних властивостей і підвищенням крихкості. Цей поріг переходу від позитивного впливу на жароміцність до негативного для короткочасних і тривалих випробувань може проходити при різній величині закритичного відношення Me/C.

Низько- і середньолеговані теплостійкі сталі, як правило, низьковуглецеві. Тільки сталі типу 34ХМ мають середній вміст вуглецю. Низький вміст вуглецю в основних теплостійких сталях дуже впливає на їх зварюваність і властивості ЗТВ. У той же час у цих сталей відношення Me/C є закритичним, і ферит містить значну кількість легуючих елементів. Це призводить до того, що при швидко протікаючому зварювальному нагріванні, аустеніт, що утворюється, може бути негомогенним за вмістом вуглецю, але він не має різкої неоднорідності за вмістом легу-

ючих елементів, хоча в місцях, де до нагрівання були карбіди, вміст ле-
гуючих елементів може бути дещо вищим, ніж в колишніх феритних ді-
лянках. Легований аустеніт в зоні термічного впливу (ЗТВ) має підви-
щену стійкість навіть в зонах, збіднених вуглецем, і при охолодженні
після зварювання може зазнавати перетворення при знижених темпера-
турах, утворюючи або змішані продукти високотемпературного і низь-
котемпературного розпаду, або тільки продукти розпаду при знижених
температурах. Ця обставина і те, що в сталях міститься невелика кіль-
кість вуглецю, визначає напівочікувані властивості ЗТВ. Як правило, у
низьковуглецевих сталей в ЗТВ зберігається висока в'язкість і відносно
невисока твердість, рівень яких залежить від ступеня легування. У ста-
лей типу 34ХМ в'язкість ЗТВ, природно, значно нижче, а твердість ви-
ще, ніж у низьковуглецевих сталей. Різна температура перетворення і
різні продукти розпаду аустеніту визначають схильність теплостійких
сталей до утворення холодних тріщин при зварюванні і необхідність
прийняття технологічних заходів щодо їх попередження. Як правило,
всі ці сталі зварюються без обмеження усіма видами зварювання. Об-
меження пов'язані з температурою зовнішнього повітря, при якій може
виконуватися зварювання, необхідністю підігріву і умовами проведення
термообробки (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Умови зварювання основних теплостійких сталей, термообробка зварних з'єднань і властивості ЗТВ

Марка сталі	Температура воздуха при сварке, °С	Подогрев, °С	Свойства ЗТВ после сварки			Термообработка	Свойства ЗТВ после термообработки	
			НВ	$\sigma_{н'}$ кгс/мм ²	Основные составляющие микроструктуры		НВ	$\sigma_{н'}$ кгс/мм ²
12ХМ	-20	150–250	200	8	Сорбит	При толщине до 20 мм не проводится. Свыше 20 мм – отпуск при 680–700 °С 2 ч	200	10
12Х1МФ (15Х1М1Ф)	-10	300–350	230	5	Сорбит + мартенсит	Отпуск 710–740 °С 2–3 ч	240	8
15Х5М (12Х5ВФ)	0	300–350	380	6	Мартенсит	Отпуск 740–760 °С 3–5 ч	240	8
34ХМ	0	300–350	440	3	То же	Отпуск** 630–650 °С 2–3 ч	200	6

* Термообработка указана для сварки с получением металла шва, близкого по составу к свариваемой стали.

** Проводится сразу после сварки.

Порядок виконання роботи

1. Виготовити шліфи стикових зварних з'єднань із теплостійких сталей.
2. Дослідити дефекти зварних з'єднань, ліквідацію хімічних елементів.
3. Провести травлення шліфів, сфотографувати структуру зварних з'єднань.
4. Виміряти мікротвердість за перетином зварних з'єднань, побудувати розподіл твердості по довжині перетину.
8. Оформити звіт про роботу.

Звіт про роботу

Звіт про роботу повинен включати:

- 1) Мету роботи.
- 2) Фотографії нетравлених та травлених зварних з'єднань із теплостійких сталей.
- 3) Результати вимірювання мікротвердості зварних з'єднань із теплостійких сталей двома методами – втискуванням алмазної піраміди та дряпанням.
- 4) Висновки про вплив на структуру і властивості зварних з'єднань кількості вуглецю в сталі.

Контрольні питання

1. При яких температурах працюють теплостійкі сталі?
2. Що виготовляють з теплостійких сталей.
3. Які сталі використовують в якості теплостійких?
4. Які низьколеговані теплостійкі сталі Ви знаєте?
5. Які середньолеговані теплостійкі сталі Ви знаєте?
6. Які обмеження існують при зварюванні теплостійких сталей?

Список літератури

1. Гордиенко, В. Е. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие: лабораторный практикум / В. Е. Гордиенко, Е. Г. Гордиенко, С. А. Степанов, Ю. В. Кнышев, А. П. Орлов, Л. И. Жигарь; СПбГАСУ. – СПб., 2009. – Ч. I. Материаловедение. – 64 с.
2. Металловедение для сварщиков/ Л.С. Лившиц. – М. : Машиностроение, 1979. – 253 с.
3. Гуляев, А.П. Металловедение : учеб. для вузов / А.П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1986. – 544 с.

Лабораторна робота 6

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА І МІКРОСТРУКТУРА ЗВАРНИХ ШВІВ ВУГЛЕЦЕВИХ І ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи – вивчити мікроструктуру і мікротвердість зварних швів вуглецевих і леггованих сталей до і після термічної обробки.

Обладнання, прилади, матеріали

1. Термічна електропіч.
2. Металографічний мікроскоп.
3. Набір шліфів, вирізаних із зварних швів вуглецевої і легговоної сталей.
4. Набір зразків зварного шва для термічної обробки.
5. Набір шліфів, вирізаних із зварних з'єднань, з подальшою термічною обробкою.
6. Мікротвердомір ПМТ-3.

Теоретичні основи роботи

Кристалізація зварювальної ванни за своїм механізмом подібна до первинної кристалізації сталевого зливка. Різниця тільки у тому, що замість стінок виливниці основний метал зварюваного виробу, що не розплавився, і час кристалізації обчислюється не годинами, а хвилинами. Кристалізація металу зварювальної ванни відбувається протягом часу, обумовленого нерівномірністю відведення тепла із зони розплаву і виділення прихованої теплоти кристалізації.

Наплавлений метал утворюється у результаті розплавлення присадного і частково основного металів. Властивості металу в зоні шва визначаються умовами плавлення, металургійної обробки основного і присадного металів і кристалізацією металу шва при охолодженні. Властивості зварного з'єднання визначаються характером теплової дії на метал в пришовних зонах.

Кристалізація зварювальної ванни приводить до шаруватої будови металу шва, до появи *ліквації*, як *зональної*, так і *дендритної*.

Регулюючи умови охолодження розплаву зварювальної ванни, а тим самим керуючи процесами дифузії як в рідкому металі, так і в металі, що вже закристалізувався, можна значно понизити і зональну, і дендритну ліквідацію та покращити властивості зварного шва. Наприклад, збільшення швидкості охолодження металу веде до скорочення тривалості існування двофазного стану металу зварювальної ванни, збільшує число центрів кристалізації, чим зменшує ступінь хімічної неоднорідності зварного шва.

Збільшення швидкості кристалізації спричиняє до виникнення структурних напружень, і відповідно з'являється можливість виникнення тріщин в зварному шві.

Велике значення має температурний інтервал початку і кінця кристалізації сплаву, який залежить від хімічного складу зварюваних виробів і електрода. Чим менше температурний інтервал кристалізації, тим нижчий рівень ліквідації. Наприклад, у низьковуглецевих сталях, що мають температурний інтервал кристалізації 25-35 °С, ліквідація незначна. Із збільшенням вмісту вуглецю в сталі температурний інтервал кристалізації збільшується (що добре видно на діаграмі Fe-Fe₃C), і тому ступінь ліквідації підвищується.

Виходячи із будови зварного шва, видно, що теплота, яка виділяється дугою при зварюванні, поширюється і на основний метал. При цьому у міру видалення від межі сплаву швидкість і максимальна температура нагріву металу знижуються, внаслідок чого в зоні основного металу залежно від температури нагріву відбуваються фазові перетворення і відповідно структурні зміни, які впливають на міцність зварного з'єднання.

Слід зазначити, що на механічні властивості низьковуглецевої сталі зварювання впливає не суттєво. При зварюванні ж конструкційних сталей з більшим вмістом вуглецю в зоні термічного впливу можуть відбуватися значні фазові зміни. В цьому випадку механічні властивості металу зони термічного впливу відрізнятимуться від властивостей основного металу.

У металі шва і прилеглих до нього ділянках можуть виникати гартівні напруження і навіть тріщини. Значно знизити термічний вплив процесу зварювання на метал шва і пришовної зони і одержати якісне з'єднання можна правильним вибором режиму і техніки зварювання, а також хорошою підготовкою виконання шва.

Зварні вироби в сучасному машинобудуванні набули значного поширення. Зварювання все більше і більше впроваджується у всі галузі промисловості і будівництва. Раціональне використання зварних конструкцій припускає забезпечення необхідної якості при мінімальній трудомісткості і вартості їх виготовлення. В області зварювання особливо широке застосування одержують зварно-литі і зварно-ковані конструкції. Зварно-литі конструкції складаються з декількох виливків, зварюваних між собою або із заготовками з прокату і поковок, особливо доцільно застосовувати при неможливості відлити вироби цілком з яких-небудь технічних причин. Зварно-литі конструкції мають великі переваги в порівнянні з суцільно-литими, а саме:

- суттєво спрощують технологію лиття окремих елементів зварно-ливої конструкції;
- покращують якість окремих виливків в порівнянні з якістю суцільноливої деталі за рахунок технології лиття і подальшої термічної обробки;
- мають нагоду зменшити вагу всієї конструкції за рахунок поліпшеної технологічності отримання відливків меншої товщини стінки.

При створенні зварного виробу можуть бути два випадки:

а) зварюється конструкція з частин, виготовлених з однієї і тієї ж марки сплаву;

б) конструкція виготовлена з частин із різних марок сталей.

У обох випадках необхідно звертати увагу на термічну обробку зварюваних частин конструкції, чітко визначитися, який технологічний процес термічної обробки повинен бути виконаний, щоб якість зварного виробу задовольняла експлуатаційним вимогам. Для цього необхідно знати, яка структура утворюється в зоні зварювання і прилеглих до неї ділянках основного металу, оскільки у зв'язку з неоднорідністю структури будуть неоднорідні і механічні властивості.

Ділянка перегріву має знижені механічні властивості, а ділянка нормалізації, навпаки, підвищені, іноді навіть такі, що перевищують властивості основного металу; ділянка синьолоамкості, не відрізняючись за структурою металу, має знижену ударну в'язкість і вищий поріг холодноламкості. Все вказане вище свідчить про те, що пода-

льша, після зварювання, термічна обробка має велике значення для отримання якісного зварного з'єднання і впливає на експлуатаційні характеристики всієї конструкції в цілому.

Термічна обробка зварних конструкцій з низьковуглецевих сталей

Термічна обробка сталі, і як окремий випадок термічна обробка зварних з'єднань, включає різні операції теплової дії на метал, при якому відбуваються зміни будови, фазового стану, рівня вільної енергії фаз, величини і розподілу мікро- і макронапружень і відповідно механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей.

При з'єднанні виробів зварюванням у результаті зосередженої місцевої теплової дії в основному металі відбувається зміна структури, властивостей і з'являються залишкові деформації і напруження. Усунення внутрішніх напружень, що виникають при зварюванні, і зміна структури і властивостей наплавленого і основного металів в зоні термічного впливу досягаються подальшою, після зварювання, термічною обробкою. Зняття внутрішніх напружень досягається загальним або місцевим *високотемпературним відпуском* (низьким відпалом) при 600-650°C. Загальний відпуск зварних виробів проводиться в печі. При зварюванні трубопроводів або інших довгомірних конструкцій виконують так званий *місцевий відпуск*, коли нагрівання зони зварювання і пришовної зони проводиться спеціальними індукторами струмами низької (50 Гц) або високої (1000-10000 Гц) частот. Значне спрощення процесу термічної обробки великих зварних з'єднань досягається застосуванням низькотемпературного відпуску, коли метал нагрівається по обидва боки від шва двома газовими пальниками до температури 150-300°C. Низькотемпературна термічна обробка забезпечує зняття напружень в зварному шві, але не виправляє мікроструктуру зони термічного впливу основного металу.

У більшості випадків у зварних конструкціях з низьковуглецевих сталей внутрішні напруження знімати не потрібно, оскільки практика експлуатації показала, що вони суттєво не впливають на міцність конструкцій.

При зварюванні під флюсом наплавлений метал утворюється найчистішим, без забруднень. Для зміни дендритної структури

вирівнювання напружень після автоматичного зварювання під шаром флюсу проводять *високотемпературний відпал* 950-1000°C, який, покращуючи мікроструктуру, змінює механічні характеристики, знижуючи міцність і підвищуючи пластичність і в'язкість. *Нормалізація при температурі 920-950 °С* - найпростіший і дешевий процес термообробки конструкцій, виготовлених з низьковуглецевих сталей.

Зварні конструкції невеликої товщини, наплавлені автоматичним зварюванням під шаром флюсу (ємності, казани, труби великого діаметра та ін.), піддаються *високому відпуску* (низькому відпалу) для зняття внутрішніх напружень при 600-650 °С. Високий відпуск не підвищує межі витривалості, а іноді навіть знижує.

При зварюванні електродами без обмазки відбувається значне насичення наплавленого металу азотом. На рис. 6.1 наведені графіки, з яких видно, як впливає термічна обробка на механічні властивості.

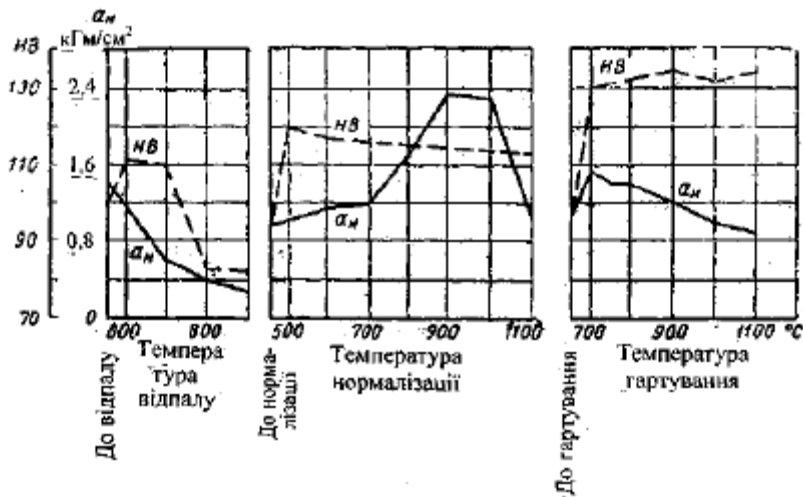


Рисунок 6.1 – Діаграми залежності механічних властивостей металу, наплавленого електродом без обмазки, від температури і виду термообробки

Високотемпературний відпал так само, як і після автоматичного зварювання, не тільки не покращує, але навіть погіршує механічні властивості металу, наплавленого електродом без обмазки; наплавлений метал складається з великих зерен фериту, нітридних голочок і глобулей, розміщених у вигляді сотки навколо зерен фериту і азотного евтектоїда.

Найкраще впливає на наплавлений метал *нормалізація*, після якої для будь-якого виду зварювання мікроструктура складається з

дрібних зерен фериту, пронизаних невеликою кількістю нітридів, і евтектоїда. Механічні властивості наплавленого металу підвищуються.

За необхідності зварні конструкції можна піддавати зміцнюючій термічній обробці – *гартуванню*. Після гартування наплавлений метал має мікроструктуру азотного мартенситу. Виділення нітридів і карбідів, як це буває при відпалі, при швидкому охолодженні не відбувається.

Збільшення міцності при підвищених навантаженнях зварних з'єднань з низьковуглецевих сталей досягається поверхневою механічною обробкою – *обкаткою роликками*, кульками або *обдуванням дробом*. Після такої обробки в поверхневих шарах металу в результаті пластичної деформації виникає наклеп і з поверхні напруження стиснення.

Термічна обробка зварних з'єднань з легованих сталей

Зварювання легованих сталей супроводжується такими ж структурними змінами в зоні термічного впливу, як і у вуглецевих (а саме в більшості випадків відбувається утворення мартенситу), в результаті яких різко знижується пластичність, виникають значні внутрішні напруження, у зв'язку з чим, як в зварному шві, так і в основному металі можуть виникнути тріщини. Тому при зварюванні легованих сталей застосовуються попередня термічна обробка зварюваних виробів, термічна обробка в процесі зварювання (супутня зварюванню) і подальша після зварювання (остаточна) термічна обробка.

Попередня термічна обробка полягає у *відпалі* (повному, ізотермічному або низькотемпературному – пом'якшувальному) і застосовується, якщо зварюється метал неоднорідний за мікроструктурою, що має внутрішні напруження – в литому стані або після штампування, кування і т.п.

Супутня зварюванню термічна обробка полягає в підігріві, здійснюваному до зварювання або під час зварювання, або після зварювання (вирівнюючий нагрів), з подальшим сповільненим охолодженням. Сам нагрів – передача тепла зварюваним виробам,

зварному шву або пришовній зоні, що здійснюється або струмами високої, низької або промислової частоти, контактним нагрівом в печі або газовим полум'ям.

Подальша після зварювання (остаточна) термічна обробка проводиться з метою поліпшення структури зварного шва і зони термічного впливу і отримання необхідних механічних властивостей. Якнайповніше це досягається *гартуванням з відпуском* за звичним для даної сталі режимом. Наприклад, після термічної обробки зварного з'єднання із сталі 30ХГСА за режимом: гартування від температури 880°C в маслі і відпуск при 550°C – механічні властивості шва і пришовної зони зрівнюються із властивостями основного металу.

Мікроструктура шва і основного металу однакова - троостсорбіт. Якщо вироби перед зварюванням були термічно оброблені (загартовані і відпущені), то після зварювання доцільно проводити їх відпуск при температурі відпуску попередньої термічної обробки. Для зниження твердості і можливості виконувати механічну обробку зварного шва проводиться високотемпературний відпуск при 550-600 °C.

Зварні вироби, до яких не ставлять вимог до підвищених механічних властивостей, можна піддавати після зварювання нормалізації.

Порядок виконання роботи

1. Дослідити під мікроскопом мікрошліфи зварних зразків вуглецевої і легованої сталей, зробити фотографії.
2. Дослідити мікротвердість і побудувати графік зміни мікротвердості по перетину, перпендикулярному до шва.
3. Вибрати вид термічної обробки, режими нагріву і провести термообробку зварних зразків.
4. Дослідити підготовлені мікрошліфи зварних зразків, термічно оброблених за вибраним режимом, описати мікроструктуру і зробити фотографії.
5. Заміряти мікротвердість термічно обробленого мікрошліфа по перетину, перпендикулярному до зварного шва, і побудувати графік.

6. Порівняти результати досліджень і зробити висновки.

Звіт про роботу

Звіт про роботу повинен включати:

- 1) Мету роботи.
- 2) Фотографії шліфів зварних з'єднань до термічної обробки та після неї.
- 3) Результати вимірювання мікротвердості зварних з'єднань до термічної обробки та після неї.
- 7) Висновки про вплив на структуру і властивості зварних з'єднань наявності легуючих елементів та режимів термічної обробки.

Контрольні питання

1. Чим визначаються властивості зварного з'єднання?
2. Від яких факторів залежить ширина зони термічного впливу?
3. Що таке рекристалізація?
4. Яка ділянка зони зварного шва має підвищені механічні властивості, знижені властивості і чому?
5. Які види термічної обробки виробів застосовують після зварювання?
6. Які переваги і призначення нормалізації?
7. Які переваги і призначення відпалу?
8. Які переваги виробів, що одержані зварюванням, перед литими?

Список літератури

1. Гладин В.Т., Гринбеог Б.Г., Никонов В.Я. Технология металлов и других конструкционных материалов. -М.: Высшая школа, 1970. -704 с.
2. Солнцев Ю.П. Металловедение и технология металлов / Ю.П. Солнцев, В.А. Веселов и др. – М.: Metallurgiya, 1988. – 510 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ЧАВУНІВ

Мета роботи – вивчити основні різновиди чавунів, їх будову, властивості і маркування, ознайомитись із зварюваністю чавунів, особливостями будови зварних з'єднань.

Устаткування, прилади, матеріали

1. Металографічні шліфи чавунів.
2. Металографічний мікроскоп.
3. Мікротвердомір ПМТ-3.
4. ГОСТ 1412-87. Пластинчатый графит для отливок.
5. ГОСТ 1215-79. Отливки из ковкого чугуна.
6. ДСТУ 3926-99. Чавун з кулястим графітом для виливків.

Теоретичні основи роботи

Чавун – це залізовуглецевий сплав з вмістом вуглецю від 2,14 до 6%. Крім цих елементів, в чавуні міститься ще ряд домішок (кремній, марганець, сірка, фосфор та ін.). З метою поліпшення властивостей в чавуни можуть вводитися легуючі елементи, такі як хром, нікель, мідь та ін.

Чавун, в порівнянні зі сталлю, має як переваги, так і недоліки. Переваги: хороші ливарні властивості (нижча, ніж у сталі, температура плавлення, менша усадка, хороша рідкотекучість), добре обробляється різанням (крім одного різновиду - білого чавуну), досить висока працездатність в умовах тертя, здатність гасити вібрації, невелика вартість.

Недоліком чавуну є його низькі пластичні властивості і ударна в'язкість, що перешкоджає використанню чавуну для виготовлення деталей, які працюють при значних динамічних, ударних навантаженнях, і унеможлиблює в більшості випадків використання оброб-

ки тиском (кування, штампування, прокатки і т. д.) для виготовлення чавунних виробів.

За структурою розрізняють чавуни, в яких вуглець перебуває у вигляді хімічної сполуки з залізом Fe_3C – цементиту, такі чавуни мають назву білих. Чавуни, в яких вуглець, в основному, знаходиться у вільному стані, у вигляді графіту, мають назву графітізовані.

Структура білих чавунів описується чавунною частиною діаграми залізо-вуглець (рис. 7.1).

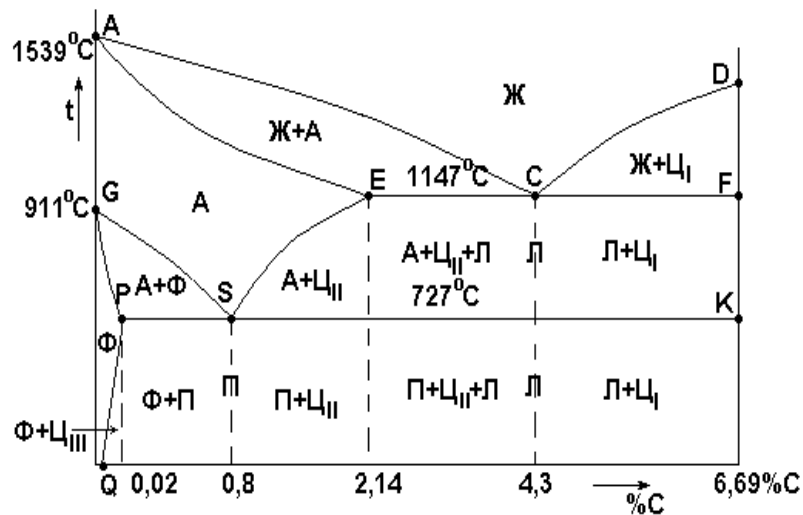


Рисунок 7.1 – Діаграма залізо-вуглець: Ж – рідкий розчин; А – аустеніт (твердий розчин вуглецю в γ -Fe); Ц – цементит (Fe_3C); Ф – ферит (твердий розчин вуглецю в α -Fe); П – перліт (евтектоїдна суміш фериту і цементиту); Л – ледебурит (евтектичних суміш аустеніту і цементиту, нижче лінії PSK – суміш перліту і цементиту)

Згідно діаграмі, існує три різновиди білих чавунів: доевтектичний зі структурою перліт, ледебурит і вторинний цементит, евтектичний зі структурою ледебурит і заевтектичний зі структурою ледебурит і первинний цементит (рис. 7.2).

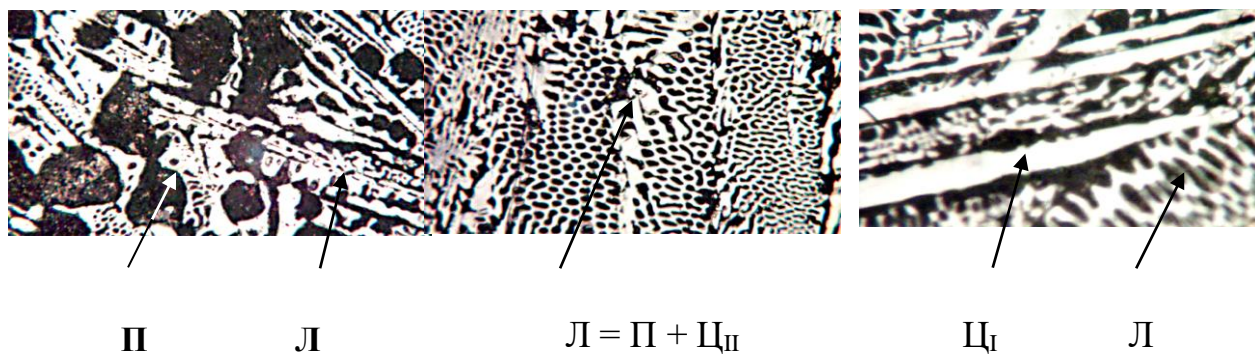


Рисунок 7.2 – Структура білих чавунів

Отримують білий чавун при прискореному охолодженні в процесі відливання деталей, заготовок. Сприяє також отримання цього різновиду чавуну підвищений вміст в ньому хрому, марганцю. Структура білого чавуну визначає його механічні властивості: це твердий крихкий матеріал, який має межу міцності при розтягуванні $\sigma_b = 100-400$ МПа ($10-40$ кг / мм²), твердість НВ 300-700 і відносне подовження $\delta = 0,1-0,2$ %. Внаслідок низької пластичності білий чавун застосовується дуже рідко, в основному, для виробів, що працюють в умовах абразивного і гідроабразивного зносу, коли його підвищена крихкість не грає вирішальної ролі.

У ряді випадків виготовляють деталі з так званої відбіленою поверхнею. Їх поверхневий шар являє собою білий чавун і має підвищену твердість і зносостійкість, а серцевина має структуру іншого різновиду чавуну (з наявністю графіту), що забезпечує необхідний комплекс механічних властивостей. Прикладами таких виробів з відбіленою поверхнею є валки для холодного прокатування металу, кулі для кульових млинів.

Чавуни, в яких вуглець перебуває у вільному стані, класифікують за формою графітових включень:

1. Сірий чавун містить графіт у вигляді пластинчастих включень.
2. Ковкий чавун з пластівчастими включеннями графіту.
3. Високоміцний чавун має графіт кулястої форми.

Металева основа цих чавунів може бути перлітною, феритною або ферито-перлітною. Схематичні структури розглянутих чавунів показані на рис. 7.3.

Оскільки графітові включення негативно позначаються на механічні властивості металу, особливо на пластичності, то чим менше розгалужену форму вони мають, тим менше їх негативний вплив. Найбільш невдала, з точки зору механічних властивостей, форма графіту – пластинчаста (пластичність при цьому найнижча), а найбільш сприятлива – куляста форма включень, що забезпечує максимальну пластичність (рис. 7.3). Це пов'язано з тим, що графітові включення грають роль тріщин, пустот в чавуні і є концентраторами напружень. Чим більш компактну форму мають ці включення, тим більше «м'який» виходить концентратор напружень і тим менше зниження механічних властивостей металу за рахунок графіту.

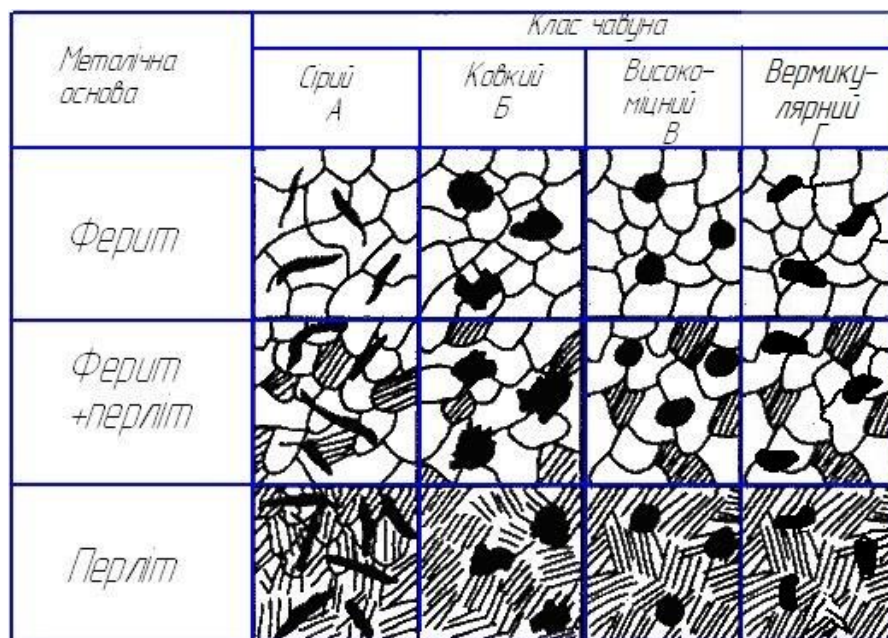


Рисунок 7.3 – Структура графітизованих чавунів

Сірий чавун отримують при повільному охолодженні металу при литті виробів, а також при підвищеному вмісті кремнію, вуглецю. Позначається він буквами СЧ, після яких ставиться цифра, що показує границю міцності при розтягуванні σ_B в кг/мм² (ГОСТ

1412-85). Наприклад, СЧ12 ($\sigma_B = 12 \text{ кг/мм}^2$). Застосовується сірий чавун для виготовлення слабонавантажених деталей, що працюють в легких умовах. Наприклад, корпуса редукторів, насосів, електродвигунів, різні кришки, радіатори тощо.

Ковкий чавун отримують з білого чавуну шляхом спеціального відпалу. Це тривала термічна обробка, при якій білий чавун повільно нагрівається до температур 950-1000 °С і після певної витримки повільно охолоджується. При такому відпалі відбувається графітизація цементиту білого чавуну з утворенням хлопьевидний включень графіту. Позначається ковкий чавун літерами КЧ, після яких слідує цифри, що показують границю міцності при розтягуванні σ_B в кг/мм^2 – перша цифра, і відносне подовження δ в % – друга цифра. Наприклад, КЧ30-6 ($\sigma_B = 30 \text{ кг / мм}^2$, $\delta = \%$). Застосовується цей чавун для виготовлення деталей, що працюють в більш важких умовах в порівнянні з деталями з сірого чавуну при підвищених навантаженнях, при знакозмінних і невеликих ударних навантаженнях. Наприклад, картери редукторів, коробок передач автомобілів, кронштейни ресор, різні гаки, фланці і т.п.

Високоміцний чавун отримують шляхом модифікування його при виплавленні магнієм або церієм у кількості 0,05 %. Модифікатори сприяють формуванню кулястих включень графіту. Механічні властивості такого чавуну значно краще: границя міцності сягає 1000 МПа, відносне подовження знаходиться в межах 2-22%. Такий чавун в ряді випадків є повноцінним замінником стали. Маркується високоміцний чавун так: ВЧ350-22, ВЧ400-15...ВЧ1000-2 (ДСТУ 3925-99). Букви позначають належність до високоміцному чавуну, перші числа (до дефіса) вказують на границю міцності σ_B в МПа, а число через дефіс – відносне подовження δ у відсотках. Наприклад, чавун марки ВЧ 350-22: $\sigma_B = 350 \text{ МПа}$, $\delta = 22 \%$ (ДСТУ 3925-99).

Застосовується високоміцний чавун для виготовлення відповідальних деталей, що працюють в досить складних умовах при підвищеному навантаженні. Наприклад, колінчасті і розподільні вали легкових автомобілів, прокатні валки, корпуса турбін, деталі ковальсько-пресового устаткування та ін.

Чавун має погану зварюваність. Труднощі при зварюванні чавунів пояснюються наступними їхніми властивостями.

1. Відсутність площадки текучості чавуна і низька пластичність приводять до появи тріщин при напруженнях, що досягають, величини тимчасового опору розриву. Тріщини можуть утворитися як в основному металі, так і в металі шва в процесі зварювання і при охолодженні звареного виробу.

2. Схильність чавуна при високих швидкостях охолодження гартуватися з утворенням крихких структур. У загартованих ділянках чавун стає твердим (800 НВ) і не піддається механічній обробці. Гартівні структури шкідливі ще й тому, що їх утворення супроводжується появою внутрішніх напружень і утворенням далі тріщин.

Для оцінки впливу термічного циклу зварювання на структуру і властивості різних зон зварного з'єднання чавуну використовували діаграму стану Fe – C – Si, зв'язавши її з розподілом температур в шві і біля шовної зони (рис. 7.4). Шов являє собою метал, повністю розплавляється. Залежно від швидкості охолодження структура його буде являти собою білий або сірий чавун, з різною кількістю структурно-вільного вуглецю.

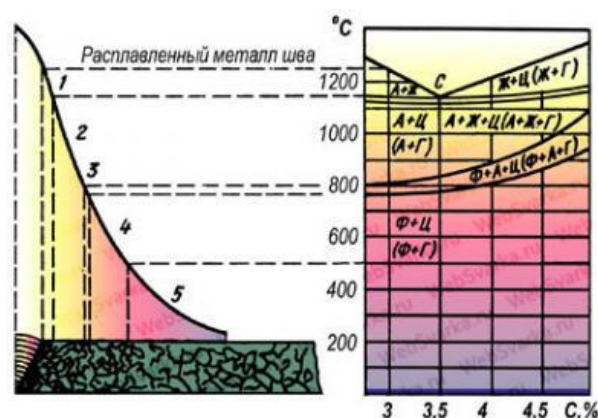


Рисунок 7.4 – Зв'язок діаграми стану Fe–C–Si з розподілом температур в шві і біляшовної зони

Ділянка 1 (неповного розплавлення) характеризується наявністю в ньому одночасно рідкої і твердої фаз. Тверда фаза являє собою аустенит з граничним вмістом вуглецю (до 2,14%). Після швидкого охолодження рідка фаза утворює білий чавун, в аустенітних ділянках можливе утворення мартенситу.

Ділянка 2 обмежена евтектичною і евтектоїдною температурами. Структура її в значній мірі залежить від вихідної структури чавуну і може складатися з аустеніту і цементиту або аустеніту і графіту (в залежності від швидкості охолодження і складу чавуну). При швидкому охолодженні металева основа набуває структуру гартування.

Ділянка 3 (неповної перекристалізації) внаслідок швидкого нагріву і короткочасного перебування металу в цьому інтервалі температур феррит – основа структурної складової чавуну при кімнатній температурі – не встигає повністю розчинитися. Після охолодження в цій ділянці може спостерігатися деяке подрібнення зерна. При швидкому охолодженні металева основа може бути частково загартована.

Ділянка 4 представляє собою ту частину колошовної зони, яка нагрівалася від 500 °С до температури A_{c1} . При тривалому перебуванні в цьому інтервалі температур може відбуватися графітизація за рахунок часткового розпаду цементиту і сфероїдизації карбідів. Однак в умовах зварювального нагрівання в цій області помітних структурних змін не спостерігається.

Ділянка 5 характеризується вихідною структурою зварюваного чавуну.

У разі низьких швидкостей охолодження в чавунному шві і ділянці колошовної зони може бути забезпечено збереження структури сірого чавуну при певному його складі.

При великій швидкості охолодження практично при будь-якому складі чавуну в шві і ділянці 2 колошовної зони матиме місце відбіл. Зварювання чавуну з підігрівом (300-400 °С) зменшує швидкість охолодження. При такій температурі підігріву в шві і на

ділянці 2 колошовної зони в залежності від кількості графітізаторів може бути отриманий або білий, або сірий чавун.

При високому підігріві (600-650 °С) швидкість охолодження при евтектичній температурі стає дуже низькою, відбілювання не відбувається. Уповільнення охолодження призводить до розпаду аустеніту з утворенням феритної або перлітно-феритної металевої основи.

Таким чином, найбільш ефективний засіб запобігання відбілювання металу шва і високотемпературної ділянки колошовної зони, а також різкого гартування на ділянці колошовної зони – високий попередній або супутній підігрів чавуну до температури 600-650 °С. Зварювання з таким підігрівом називають гарячим зварюванням чавуну. Високий підігрів і уповільнене охолодження сприяють також запобігання утворення тріщин і пористості за рахунок збільшення часу існування рідкої ванни і кращої дегазації її, а також зменшення температурного градієнта, термічних напружень.

Зварювання з підігрівом до температур 300-400 °С називають напівгарячим, а без попереднього підігріву – холодним зварюванням чавуну. При напівгарячому і холодному зварюванні чавуну широко використовують металургійні та технологічні засоби впливу на метал з метою підвищення якості зварних з'єднань. До їх числа відносяться:

- легування наплавленого металу елементами – графітізаторами, з тим щоб при даній швидкості охолодження отримати в шві структуру сірого чавуну;

- легування наплавленого металу такими елементами, які дозволяють отримати в шві перлітно-феритну структуру, характерну для низьковуглецевої сталі, шляхом зв'язування надлишкового вуглецю в карбіди, міцніші, ніж цементит, і рівномірно розподілені в металі;

- введення до складу зварювальних матеріалів кисневовмисних компонентів з метою максимального окислення вуглецю (випалювання його) и отримання в металі шва низьковуглецевої сталі;

– застосування зварювальних матеріалів, що забезпечують в наплавленому металі отримання різних сплавів кольорових металів: мідно-нікелевих, мідно-залізних, залізонікелевих та ін., що мають високу пластичність і температуру плавлення, близьку до температури плавлення чавуну.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з класифікацією, структурами, маркуванням та областями використання чавунів.
2. Вивчіть чавунну частину діаграми залізо-цементит.
3. Дослідити структуру зварних з'єднань чавунів з різною формою графіту.
4. Виміряти мікротвердість зварних швів по перетину.

9. Оформити звіт про роботу.

Звіт про роботу

Звіт про роботу повинен включати:

- 1) Мету роботи.
- 2) Короткий виклад теоретичних основ роботи.
- 3) Результати досліджень мікроструктури зварних швів чавунів.
- 4) Результати вимірювань мікротвердості зварних швів по перетину.
- 5) Висновки за результатами досліджень.

Контрольні питання

1. Що таке чавун?
2. Наведіть класифікацію чавунів.
3. Яку форму графіту мають сірі, ковкі та високоміцні чавуни?
4. Наведіть маркування графітизованих чавунів.
5. Чим пояснюється погана зварюваність чавунів?
6. Яку структуру має ЗТВ зварного з'єднання чавуну?
7. Як впливає швидкість охолодження на ЗТВ зварного з'єднання чавуну?

8. Як можна запобігти утворення гартівних структур при зварюванні чавуну?

Список літератури

1. ГОСТ 1412-87. Пластинчатый графит для отливок.
2. ГОСТ 1215-79. Отливки из ковкого чугуна.
3. ДСТУ 3926-99. Чавун з кулястим графітом для виливків.
4. Металловедение для сварщиков/ Л.С. Лившиц. – М. : Машиностроение, 1979. – 253 с.
5. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков. – Х. : Вид-во ХНАДУ, 2007. – 440 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки до лабораторних робіт
з дисципліни «Металознавство і термічна обробка зварних
з'єднань» для студентів напряму підготовки 6.050504

Составители: Лалазарова Наталия Алексеевна
Барташ Світланаа Миколаївна

Відповідальний за випуск Глушкова Д.Б.

Редактор

Технічний редактор
Комп'ютерна верстка

План 2016р. Поз.

Підписано до друку . Формат 60×84 1/16

Бумага газетна. Гарнітура Times New Roman Cyr.

Друк RISO. умовн. друк лист. 2,1. обл.-вид. лист.3,0
Зам. № Тираж 50 шт. Цена договірна.

Видавництво
Харківського національного автомобільно-дорожнього
університету