

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи № 13
«Дослідження залишкових напружень при зварюванні»
з дисципліни «Теорія процесів зварювання» для студентів
спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання

2017

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 13
«Дослідження залишкових напружень при зварюванні» з дисципліни
«Теорія процесів зварювання» для студентів спеціальності 131
«Прикладна механіка» усіх форм навчання / Укл.: О.Є. Капустян, М.Ю.
Осіпов – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. - 10 с.

Укладачі: О.Є. Капустян, ст. викладач;

М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: Р.А. Куликовський, канд. техн. наук, доцент

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено

на засіданні кафедри ОТЗВ

Протокол № 8 від 27.03.2017

Рекомендовано до видання

НМК ІФФ

Протокол № 8 від 15.04.2017

1 МЕТА РОБОТИ

Визначити експериментально, за допомогою механічного деформометру, деформацію зони термічного впливу і розрахувати залишкові напруження. Зробити теоретичні розрахунки усадочної сили, залишкових деформацій та напружень. Порівняти їх з експериментальними значеннями.

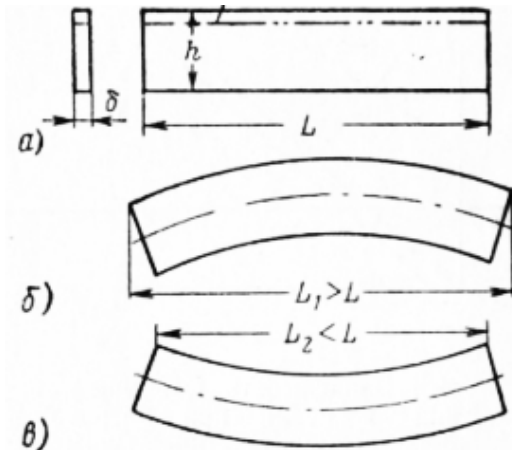
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Лабораторна робота присвячена дослідженням залишкових напружень та методу їх вимірювання. Студенти оволодівають методикою як експериментального дослідження, так і аналітичних розрахунків залишкових напружень та деформацій.

Внутрішні напруги виникають тільки в тому випадку, якщо вільному розширенню і скороченню деталі що-небудь перешкоджає. Такими перешкодами є сусідні ділянки металу, що залишилися холоднішими, внаслідок нерівномірного нагрівання, і тому менш розширилися. Наявність зосередженого джерела теплоти (електрична дуга), що переміщається уздовж шва з певною швидкістю і викликає нерівномірне нагрівання металу при зварюванні, є основною причиною виникнення внутрішніх напружень і деформацій в зварних виробах.

Унаслідок нагрівання (рис. 2.1) та подальшого остигання металу при зварюванні у швах та зоні термічного впливу виникають спочатку деформації подовження, а потім скорочення. Залишкові деформації скорочення при остиганні виникають внаслідок усадки металу.

Усадка наплавленого металу виникає в наступних випадках. При переході наплавленого металу з рідкого стану в тверде обсяг його зменшується, відбувається усадка. Явище усадки пояснюється тим, що при затвердінні металу він стає більш щільним, внаслідок чого обсяг його скорочується. В результаті усадки виникають напруження розтягу в сусідніх частинах деталі, які викликають відповідні їм напруги і деформації.



а - смуга, що нагрівається; б - загальні деформації при нагріванні, в - загальні залишкові деформації

Рисунок 2.1 - Схема деформацій при нерівномірному нагріванні смуги

Напруги, викликані усадкою, зростають до тих пір, поки метал не почне витягуватися. Якщо він недостатньо пластичний, деталь може дати тріщину в найбільш слабкому місці. Цим місцем часто буває колошовна зона термічного впливу. Внаслідок усадки або скорочення обсягу металу утворюються тріщини в процесі зварювання, звані гарячими тріщинами. При зварюванні відбувається поздовжня і поперечна усадка.

Поздовжня усадка викликає скорочення довжини листів при зварюванні поздовжніх швів. Якщо центр ваги поперечного перерізу шва не збігається з центром ваги перерізу елемента, що зварюється, то від поздовжньої усадки неминуче виникає викривлення цих елементів в поздовжньому напрямку. Поперечна усадка дає викривлення листів. Усадка завжди більше там, де більше обсяг наплавленого металу. Тому при поперечній усадці листи будуть жолобитися вгору, в бік посилення шва. Якщо деталь закріпити, не даючи їй деформуватися від усадки, то це викличе напруги в закріплених ділянках виробу.

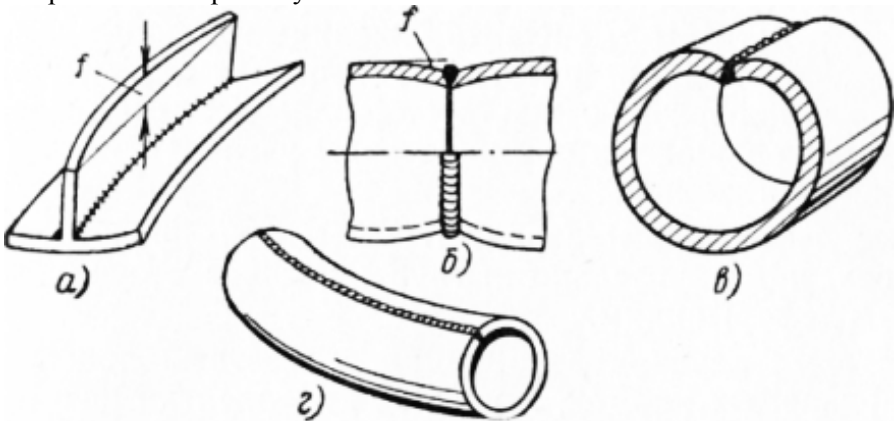
Усадка металу, що відбувається внаслідок зменшення обсягу рідкого металу при затвердінні, є другою за значимістю причиною виникнення внутрішніх напружень.

Величина деформацій і пов'язаних з нею напружень залежить

від величини зони нагріву при зварюванні. Чим більший обсяг металу розігрівається при зварюванні, тим сильніше будуть деформації і викривлення. Тому різні способи зварювання дають різну величину деформацій.

Фазові перетворення при охолодженні нагрітого при зварюванні металу також супроводжуються відносно невеликою зміною його обсягу. У сталей ця зміна становить приблизно 1 % обсягу, що також призводить до утворення внутрішніх напружень.

Наведені на рис. 2.2 приклади ілюструють типові випадки викривлення зварних вузлів.



а - таврової балки, б - кільцевих швів обичайок, в і г - поздовжніх швів обичайок

Рисунок 2.2 - Типові короблення зварних вузлів

При розрахунках сили усадки P_{yc} залишкову пластичну деформацію замінюють фіктивною усадочною силою й у подальшому визначають величину фіктивної усадочної сили:

$$P_{yc} = 1,73q/V_{зв}, \quad (2.1)$$

де q - потужність зварювальної дуги, Вт;

$V_{зв}$ - швидкість зварювання, см/с.

При дуговому зварюванні ширину зони пластичної деформації $2b_{п}$ визначають з формули:

$$2b_{п} = 17q/(\delta \cdot V_{зв} \cdot \sigma_T), \quad (2.2)$$

де δ - товщина пластини, см;

σ_T - границя текучості, МПа.

(Залежності 2.1 та 2.2 справедливі тільки для низьковуглецевих та низьколегованих сталей).

Ширину зони пружно-пластичної деформації 2В у першому наближенні можна прийняти рівною $4b_{\text{п}}$, звідки напруження σ_x від дії усадочної сили P_{yc} у ЗТВ підраховуємо з формули:

$$\sigma_x = -\epsilon_x \cdot E + P_{\text{yc}}/2b \cdot \delta, \quad (2.3)$$

де ϵ_x - відносна деформація по всій довжині пластини;

E - модуль пружності сталі, МПа;

(-) - знак визначає, що у ЗТВ формуються стискуючі напруження (у протилежність розтягуючим напруженням у зварному шві).

Абсолютну деформацію пластини по довжині на осі шву визначають із рівняння:

$$\Delta_{\text{довж}} = (P_{\text{yc}}L)/(2b \cdot \delta \cdot E) \quad (2.4)$$

де L - довжина зварного шва, см.

З КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Які напруження називаються температурними?
2. Які напруження називаються власними?
3. У чому полягає процес утворення температурних зон?
4. Які напруження називаються залишковими?
5. Які причини утворення залишкових напружень при зварюванні?
6. Механізм утворення залишкових напружень при зварюванні.
7. Які деформації виникають при зварюванні?

8. Види переміщень при зварюванні.
9. Заходи зниження переміщень і напружень при зварюванні.
10. Вплив жорсткості зварних конструкцій на деформації і напруження.
11. З яких конструктивних елементів складається механічний деформометр?
12. Поясніть принцип роботи механічного деформометра.
13. Що таке «база вимірювань» і як її обирати?
14. Що називають зміною довжини бази?
15. Що називають відносною деформацією?
16. Як визначити знак приладу?
17. Чим визначається точність вимірювань індикаторного деформометра?
18. Поясніть призначення «контрольної пластинки» під час вимірювань.

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Пластина з підготовленими торцями (рис. 4.1).
2. Деформометр.
3. Індикатор годинникового типу.
4. Пост дугового зварювання.

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

1. До лабораторних робіт допускаються студенти після інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки.
2. Забороняється вмикати електричні прилади та обладнання без дозволу завідуючого лабораторією або викладача.
3. У випадку виявлення неполадок обладнання студент мусить негайно повідомити викладача або завідуючого лабораторією.
4. У випадку виникнення пожежі або ураження електричним

струмом студенти повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці та пожежної безпеки.

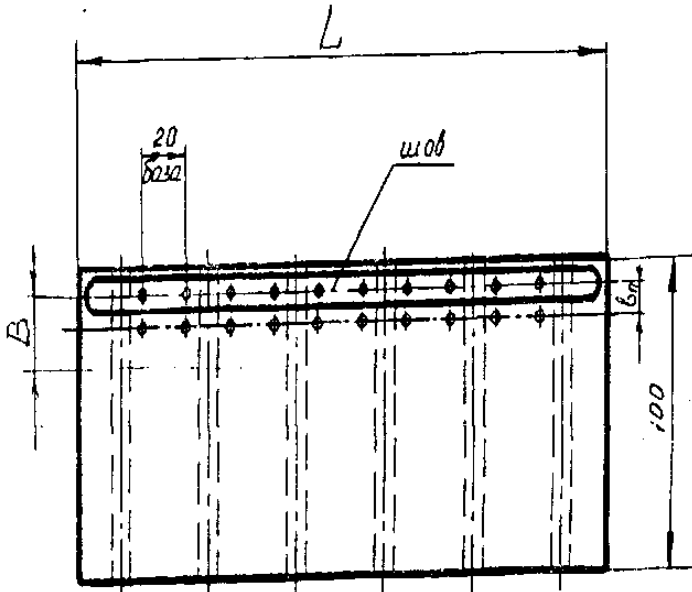


Рисунок 4.1 - Схема нанесення баз для вимірювань та наплавлення зразків.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. За допомогою деформометра провести вимірювання баз (не менш п'яти вимірювань на одну базу) і занести до табл. 6.1.
2. Провести наплавлення шву (як зображено на рис. 4.1) на трьох режимах, змінюючи швидкість наплавлення. Підрахувати погону потужність і занести до табл. 6.2.
3. Розрахувати рівень залишкових напружень та деформацій за формулами 2.3 та 2.4. Результати розрахунків занести до таблиці 6.3.
4. Зробити висновки.
5. Побудувати графік розподілу залишкових напружень по довжині пластини, порівняти.

6. Зробити висновки.

Таблиця 6.1 - Результати вимірювань баз на зразках

№ бази	Початковий розмір бази, мм		Початковий середній розмір бази, мм	Розмір бази після зварювання мм	Середній розмір бази після зварювання мм	Абсолютна деформація бази, мм	Відносна деформація бази, мм
1	1- 2- 3- 4- 5-						
2	1- 2- 3- 4- 5-						
3	1- 2- 3- 4- 5-						

Таблиця 6.2 - Результати зварювання.

№ зразку	Струм зварювання, А	Напруга на дузі, В	Час наплавлення, с	Довжина шву, см	Швидкість зварювання, см/с	Погонна потужність, Вт/см
1						
2						
3						

Таблиця 6.3 - Дослідження залишкових деформацій та напружень

№ зразку	Відносна деформація за експериментом, %	Залишкове напруження, МПа	Відносна деформація за розрахунком, %	Залишкові напруження за розрахунком, МПа
----------	---	---------------------------	---------------------------------------	--

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Методика проведення роботи.
2. Таблиця з даними, графіки, аналіз результатів експериментів.
3. Висновки

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Прохоренко, В.М. Напруження та деформації у зварних з'єднаннях і конструкціях [Текст]: навч. посіб./ В.М. Прохоренко, О.В. Прохоренко. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 268 с.
2. Касаткин, Б. С. Напряжения и деформации при сварке [Текст] : учеб. пособие для вузов / Б.С. Касаткин, В.М. Прохоренко, И.М. Чертов. – К. : Вища шк., 1987. – 246 с.
3. Трочук, И.П. Внутренние усилия и деформации при сварке [Текст] / И.П. Трочук. – М.: Госгортехиздат, 1964. – 247 с.
4. Винокуров, В. А. Сварочные деформации и напряжения [Текст] / В.А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1968. – 236 с.
5. Кузьминов, С.А. Сварочные деформации судовых корпусных конструкций [Текст] / С.А. Кузьминов. – Л.: Судостроение, 1974. – 286 с.
6. Винокуров, В.А. Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений [Текст] / В.А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1973. – 215 с.
7. Теоретические основы сварки. Винокуров В.А., Фролов В.В., Волченко В.А. и др., под ред. В.В. Фролова – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1988. – 592 с.
8. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга - М.: Машиностроение, 1970. - 334 с.
9. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. - К.: Высшая школа, 1976. - 423 с.
10. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. - М.: Высшая школа, 1977. - 487 с.