

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра “Експлуатація та ремонт машин”

ВИПРОБОВУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА МАШИН

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт для студентів
напряму 6.050504 «Зварювання»

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра “Експлуатація та ремонт машин”

ВИПРОБОВУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА МАШИН

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт для студентів
напряму 6.050504 «Зварювання»

Затверджено
на засіданні кафедри
«Експлуатація та ремонт машин»
Протокол № 16 від 14.06.2017р.

2017

О.Ю. Жулай

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Випробовування деталей та машин». - Кіровоград: КНТУ, 2017. - 40с.

Рецензент: д.т.н., проф. кафедри “Експлуатація та ремонт машин”
Аулін В.В.

Методичні вказівки призначені для виконання лабораторних робіт з
дисципліни «Автоматичне керування зварюванням» для студентів напряму
6.050504 “Зварювання” всіх форм навчання.

Упорядники: О.Ю. Жулай – к.т.н., ст. викл. кафедри “ЕРМ”
- к.т.н., доцент кафедри “ЕРМ”

Загальна редакція О.Ю. Жулай

Відповідальний за випуск О.Ю. Жулай

Комп’ютерний набір та верстка О.Ю. Жулай

З М І С Т

	стор
Лабораторна робота №1. Визначення характеристик матеріалу при випробування на статичний розтяг	6
Лабораторна робота №2. Визначення механічних напружень руйнівним механічним методом ...	13
Лабораторна робота №3. Визначення механічних напружень неруйнівним магнітним методом..	18
Лабораторна робота №4. Опірність зварних з'єднань з високоміцних сталей уповільненому руйнуванню	24
Лабораторна робота №5. Оцінювання корозійної стійкості зварних з'єднань	29
Лабораторна робота №6. Оцінювання здатності зварних товстостінних пластин деформуватись	33
ЛІТЕРАТУРА	39

Загальні вказівки до виконання лабораторних робіт

Практичні заняття з дисципліни “Випробування деталей та машин” є обов’язковими для студентів V-го курсу напряму підготовки “Зварювання” денної та заочної форм навчання.

Метою даних практичних робіт є закріплення теоретичних знань одержаних на лекційних заняттях при вивченні курсу «Випробування деталей та машин».

Після виконання практичних робіт проводиться оформлення звіту та їх захист. Звіт оформлюється згідно встановлених вимог до кожної практичної роботи.

У межах кожної практичної роботи уміння та навички студентів оцінюються за наступними критеріями:

- якісна і своєчасна самостійна підготовка до виконання практичної роботи – до 0,5 бала;
- якісне і своєчасне виконання практичної роботи – до 0,22 бала;
- своєчасний захист практичної роботи – до 0,5 бала;
- оцінка знань, уміння та навичок студентів у межах практичної роботи, що виконувалась – до 3,5 бала.

Загальна екзаменаційна оцінка враховує частковий рейтинг, набраний студентом за наступними видами занять: лекціям та практичним заняттям.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Визначення характеристик матеріалу при випробування на статичний розтяг

Мета роботи: вивчити конструкцію випробувальної машини, визначити характеристики міцності та пластичності, засвоїти методику побудови та обробки діаграм розтягу.

Обладнання та матеріали

Для проведення роботи необхідні: випробувальна машина з зусиллям 100кН, затискні пристосування (губки) для закріплення плоских та циліндричних зразків, екстезометри для вимірювання та реєстрації величини деформації, ділильна машина для нанесення розмірних точок при вимірюванні подовження, мікрометр, штангенциркуль з ціною поділки 0,05мм.

Загальні відомості

Для випробування на розтяг використовують машини різних конструкцій, які мають гідравлічні або механічні пристрої для навантаження досліджуваного зразка, пристрої для вимірювання прикладеного до зразка навантаження та пристрої для запису діаграми розтягу.

Форма і розміри зразків як компактних так і пористих матеріалів повинні відповідати вимогам ГОСТ 1822-72 та ГОСТ 1497-73. Основні геометричні характеристики зразків представлені на рис.1.

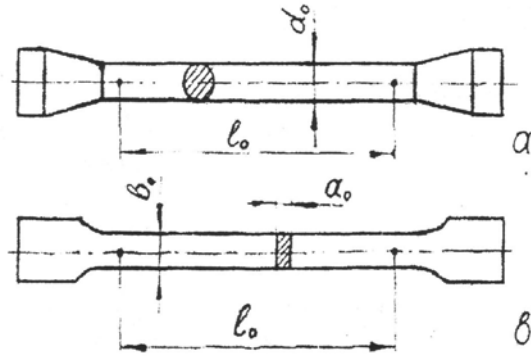


Рис. 1 – Зразки для випробування на розтяг: а) круглий; в) плоский.

За співвідношенням між розрахунковою початковою довжиною та поперечними розмірами розрізняють короткі та довгі зразки.

Зразки з розрахунковою довжиною $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$ називають короткими, а зразки з $l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$ – довгими.

Зразки з крихких матеріалів допускається виготовляти з $l_0 = 2,82\sqrt{F_0}$.

Робоча довжина зразків повинна складати:

- для циліндричних $l_0 + 0,5d_0 \leq l \leq l_0 + 2d_0$;

- для плоских товщиною 4мм та більше $l_0 + 1,5\sqrt{F_0} \leq l \leq l_0 + 2,5\sqrt{F_0}$;

- для плоских товщиною менше 4мм $l = l_0 + b_0 / 2$.

При випробуванні на розтяг визначають міцності та пластичності властивості.

Міцнісні властивості – це характеристики опору матеріалу зразка деформації або руйнуванню. Основні міцнісні характеристики визначають за діаграмою розтягу, яка в процесі розтягування зразка

автоматично записується на діаграмну стрічку випробувальної машини. На рис. 2 зображені найбільш характерні діаграми розтягу в координатах “навантаження (P) - абсолютна деформація (Δl)” з площадкою (а) та без площадки (б) текучості.

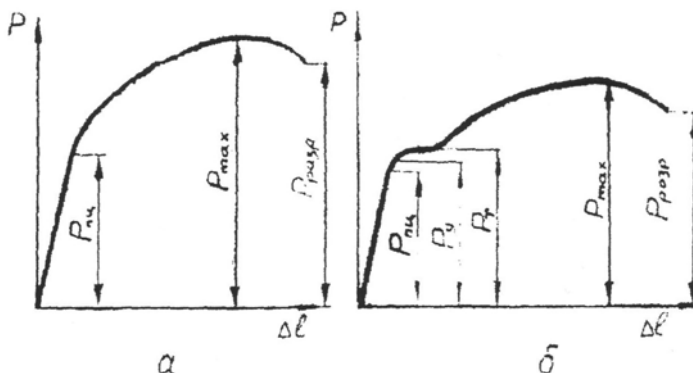


Рис. 2 – Діаграма розтягу: а) без площадки текучості; б) з площадкою текучості.

Порошкові матеріали, в більшості випадків, мають діаграми без площадки текучості, характерні для крихкого руйнування або руйнування після рівномірної деформації.

На діаграмі розтягу навантаження $P_{пц}$, до якого зберігається прямо пропорційна залежність між опором метала та його деформацією, називають навантаженням межі пропорційності. Напруження що відповідає цій силі $\sigma_{пц}$ межею пропорційності:

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0}, \text{ Па}$$

Межа пропорційності $\sigma_{пц}$ - умовне напруження, що відповідає відхиленням від лінійного ходу кривої деформації, заданим визначеним

допуском, наприклад зменшенням тангенса кута нахилу кривої деформації на 10,25 та 50% при переході від прямолінійної ділянки до криволінійної. Величину межі пропорційності можна визначити графічно за діаграмою розтягу. Для цього на довільній висоті в межах пружної області проводять перпендикуляр АВ до вісі навантажень відкладають вздовж нього відрізок $BC=1/2AB$ та проводять лінію ОС і ордината точки дотику Р визначає навантаження $P_{пц}$.

Навантаження $P_{0,05}$ називають навантаженням межі пружності, а напруження $\sigma_{0,05}$ - межею пружності:

$$\sigma_{0,05} = \frac{P_{0,05}}{F_0}, \text{ Па}$$

Межа пропорційності $\sigma_{0,05}$ - умовне напруження, яке відповідає появі залишкових деформацій заданої величини, за звичай 0,05%. Іноді залишкове навантаження складає 0,01...0,005%.

При випробуваннях деяких матеріалів з високими пластичними властивостями на діаграмі розтягу утворюється горизонтальна ділянка, так названа “площадка текучості” (рис. 2б), тобто у цих матеріалів спостерігається видима пластична деформація при постійному навантаженні. Навантаження P_T , яке відповідає цій площадці, називають навантаженням межі текучості, а напруження σ_T - напруження, при якому зразок деформується під дією практично незмінного розтягуючого зусилля. У багатьох матеріалів на діаграмі розтягу відсутня чітко виражена ділянка текучості. В цьому випадку визначають умовну межу текучості, $\sigma_{0,2}$:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \text{ Па}$$

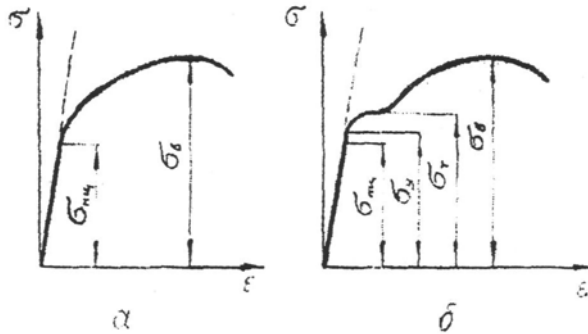


Рис.3 – Умовні діаграми розтягу: а) без площадки текучості;
б) з площадкою текучості.

Умовна межа текучості – напруження, при якому залишкове подовження досягає 0,2% від початкової розрахункової довжини. Величину умовної межі текучості визначають графічно по діаграмі розтягу. Для цього по вісі подовження від початку координат відкладають відрізок $OD=0,2l_0/100$ і через точку Д проводять пряму, паралельну прямолінійній ділянці діаграми. Ордината точки перетину прямої з діаграмою відповідає величині навантаження $P_{0,2}$, яка визначає умовну межу текучості.

Навантаження $P_{\max}$ є найбільшим навантаженням, яке зразок витримує до руйнування. Напруження, що відповідає максимальному навантаженню, називається межею міцності або тимчасовим опором:

$$\sigma_b = \frac{P_{\max}}{F_0}, \text{ Па}$$

Якщо руйнування відбувається в частині кривої, що знижується, то можливо визначити умовний опір розриву при розтягу:

$$\sigma_k = \frac{P_k}{F_0}, \text{ Па}$$

При випробуванні на розтяг визначають не лише міцнісні, але й пластичності властивості. Основними характеристиками пластичності при випробуванні на розтяг є відносне подовження δ та відносне звуження Ψ .

Відносне подовження після розриву – відношення приросту розрахункової довжини зразка після руйнування до початкової розрахункової довжини:

$$\delta = \frac{l_k - l_o}{l_o} 100\% = \frac{\Delta l}{l_o} 100\%.$$

Крім визначення δ за результатами вимірювання кінцевої розрахункової довжини l_k розірваного зразка, відносне подовження можливо розрахувати за діаграмою розтягу. Для цього визначають відносне подовження Δl_k до моменту руйнування в точці К, і, знаючи початкову розрахункову довжину l_o , отримують величину δ .

Відносне звуження після розриву – відношення зменшення площини поперечного перерізу в місці розриву до початкової площини:

$$\psi = \frac{F_k - F_o}{F_o} 100\% .$$

Порядок виконання роботи.

1. Ознайомитись з будовою та принципом роботи машини для випробування зразків на розтяг.
2. Позначити розрахункову довжину l_o на перетині зразка за допомогою керна та виміряти її.

3. Виміряти мікрометром діаметр зразків і обчислити їх початкову площину поперечного перерізу. Результати занести в таблицю 1.

4. провести випробування зразків на розтяг. Для цього: закріпити зразок у випробувальній машині у верхньому та нижньому захватах, включити двигун для навантаження зразка і після руйнування двигун вимкнути. Результати представити у вигляді діаграми розтягу в координатах “навантаження - деформація”.

Випробування на розтяг

Матеріал зразка	Розміри зразків до випробувань			Розміри зразків після випробувань			Характеристики міцності, Па				Характеристики пластичності	
	l_0 , мм	d_0 , мм	F_0 , мм	l_k , мм	d_k , мм	F_k , мм	σ_{nc}	$\sigma_{0,05}$	σ_T , або $\sigma_{0,2}$	σ_b	δ , %	Ψ , %
Сталь ст.3	120	10										
Сталь 45	120	10										

5. Після випробування зразків штангенциркулем виміряти кінцеву довжину l_k зразка і діаметр шийки d_k , обчислити площину перерізу після руйнування F_k і результати записати в таблицю 1.

6. По діаграмам розтягу визначити $P_{ПЦ}$, $P_{0,05}$, P_T або $P_{0,2}$, $P_{\max}$.

Результати занести в таблицю 1.

7. Розрахувати наступні характеристики механічних властивостей $\sigma_{ПЦ}$, $\sigma_{0,05}$, σ_T або $\sigma_{0,2}$, σ_b , δ , ψ . Результати записати в таблицю 1.

Зміст звіту

1. Загальні відомості про випробування на розтяг та методику їх проведення.
2. Основні показники механічних властивостей при розтягові та їх визначення.
3. Таблиця 1 з результатами механічних випробувань.
4. Висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Визначення механічних напружень руйнівним механічним методом

Мета роботи: визначення методики вимірювань механічних напружень руйнівним механічним методом; визначення величини та характеру розподілу механічних напружень у металі, що піддається двоосьовому розтягненню.

Короткі теоретичні відомості

Механічні методи вимірювань напружень ґрунтуються на вимірюванні деформації металу при звільненні його від залишкових (механічних) напружень. Зварювальні напруження визначають, наприклад, для аналізу напруженого стану під час дослідження витривалості з'єднання, опору руйнуванню при наявності тріщини, корозійної стійкості, а також для встановлення ефективності використаних методів зниження власних напружень при зварюванні,

після зварювання або термічної обробки та для визначення усадки та переміщень, що при цьому виникають. Як вимірювальні перетворювачі переміщень часто використовують механічні прилади й тензорезистори, значно рідше – індуктивні та пневматичні перетворювачі.

Розглядаємо приклад визначення одноосьових залишкових напружень σ_x у зварній пластині (рис. 4,а)

До розрізування пластини на смуги (рис. 4, б) на ній роблять спеціальні отвори на відстані Б для встановлювання на них механічних вимірювальних приладів або наклеюють на них тензорезистори

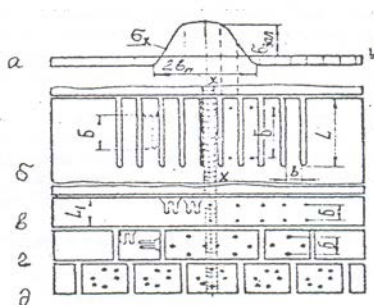


Рис. 4 – Визначення одноосьових залишкових напружень σ_x у зварній пластині.

Розмір баз Б неістотний (звичайно 10...100мм), оскільки припускають, що напруження в цьому випадку досить мало змінюється за довжиною. Для того щоб врахувати можливий згин, змінюють покази приладів з обох боків пластин. Далі пластину розрізають на смуги шириною б. Проводять подальші вимірювання й за різницею показів приладів визначають деформацію ϵ_x та залишкові напруження:

$$\sigma_x = - \epsilon_x E$$

Можна вирізати поперечну смужку розміром L_1 (рис. 4, в), який не повинен бути більшим за v_n , тобто половини ширини зони пластичних деформацій $2 v_n$. При цьому одноосьові напруження також змінюються досить повно.

Для визначення двоосьових напружень бази Б і квадратики при розрізуванні потрібно брати якомога менших розмірів. (рис. 4г) і в зональному випадку мати в кожному квадратику не по 2, а по 3 бази (рис. 4, д) для визначення σ_x , σ_y , τ_{xy} . Якщо є впевненість, що дотична напруження τ_{xy} малі, то для обчислення залишкових напружень достатньо виміряти деформації ϵ_x та σ_y , що виникають внаслідок, по двох головних напрямках:

$$\sigma_x = -E(\epsilon_x + \mu \epsilon_y) / (1 - \mu^2); \sigma_y = -E(\epsilon_y + \mu \epsilon_x) / (1 - \mu^2).$$

Де E - модуль пружності; ϵ_x і ϵ_y - деформації по головних напрямках; μ - коефіцієнт Пуассона.

Для визначення двоосьових напружень на поверхні масивних тіл використовують схеми розміщення баз (рис. 5): а – за допомогою дротяних тензорезисторів; б – за допомогою механічного тензометра; в – за допомогою розрізування металу порожнистими свердлами; г – за допомогою розсвердлювання.

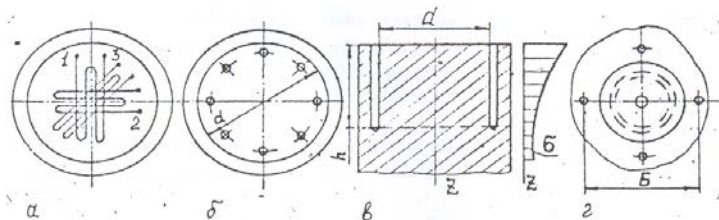


Рис. 5 – Схеми розміщення баз

Розрізування металу з метою вивільнення його від напружень можна робити порожнистими свердлами. Звичайно метал прорізають на глибину $h = 0.6\alpha$, де α - відстань між крайками розрізу. Ступінь повноти зняття напружень залежить від характеру їх змінювання у напрямку товщини – уздовж осі z . Механічний знімний тензометр дозволяє визначити асиметричні напруження в точковому зварному з'єднанні. Деформації вимірюють з обох боків листа й для надійності у двох напрямках на деякій довільно вибраній, але симетрично розміщеній

відносно зварювальній точці бази Б. Послідовним розсвердлюванням центрального отвору та використанням залежностей теорії пружності визначають розподіл залишкових напружень σ_z і σ_r в зварювальній точці.

Устаткування, прилади та матеріали

Пристрій для утворення двоосьового напруженого стану в металі, деформометр ДП-25, еталонний та навантажуваний зразки.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити приклади виконання роботи.
2. Вибрати метод навантаження зразка (треточковий або чотирьохточковий згин).
3. Зробити навантаження гвинтами (рис. 6, а) та створити в зразку двоосьовий напружений стан невідомого характеру, розподілу і величини.
4. Установити за еталонним зразком базу вимірювання $\alpha = 25$ мм. На деформометрі ДП-25 (мала стрілка деформометра в положенні «І», а велика – у положенні «О»).
5. Виміряти деформометром відстань між базовими отворами у центрі (розетці) зразка по осях Х-Х, X_1-X_1 , У-У, Y_1-Y_1 (рис.6, б) , позначити їх відповідно a_x, a_{x1}, a_y, a_{y1} .
6. Розвантажити хрестоподібний зразок.

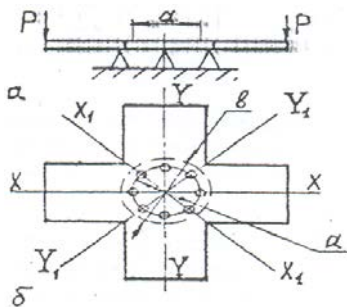


Рис. 6 - Еталонний зразок бази вимірювання.

7. Виміряти деформометром відстань між базовими отворами по

осях $X-X$, X_1-X_1 , $Y-Y$, Y_1-Y_1 , позначивши їх відповідно V_x, V_{x1}, V_y, V_{y1} .

8. Визначити відносну деформацію по осях $\epsilon_x = V_x - a_x/\alpha$; $\epsilon_y = V_y - a_y/\alpha$; $\epsilon_{x1} = V_{x1} - a_{x1}/\alpha$; $\epsilon_{y1} = V_{y1} - a_{y1}/\alpha$; де α – база вимірювання деформометра; $\alpha = 25\text{мм}$.

9. За формулою для плосконапруженого стану металу розрахувати напруження за вказаними напрямками та побудувати епюру напружень у розетці.(рис. 7).

10. Зробити висновок по роботі.

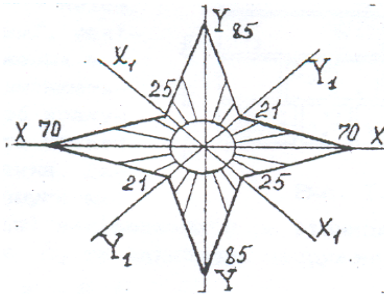


Рис. 7 - Епюра напружень у розетці

Рекомендована література

Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А., Сварные конструкции. – М.: Высш. шк., 1982.

Контрольні запитання.

1. Мета вивчення зварювального напруження.
2. Які ставляться вимоги до розміру вирізованих зразків під час визначення залишкових напружень.
3. Чому перед формулами визначення компонент напруженого стану металу стоїть знак «-»?
4. Які деформації стануться по осі $Y-Y$, якщо навантажити зразок лише по осі $X-X$?
5. Які додаткові вимірювання деформацій необхідно було б проводити, якщо дослідження зразків проводилися б за триточковою схемою?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Визначення механічних напружень неруйнівним магнітним методом

Мета роботи - вивчення призначення, конструкції і принципу роботи приладу й визначення величини та характеру розподілу залишкових поздовжніх напружень у зварних стикових зразках після зварювання і термічної обробки.

Короткі теоретичні відомості

Під дією механічних напружень значно змінюються магнітні властивості феромагнітних матеріалів. Це пояснюється тим, що при наявності напружень деформуються кристалічні решітки й атоми змінюються зі своїх нормальних положень. Внаслідок зміщення атомів змінюється характер магнітної взаємодії у кристалі. На кристалографічну анізотропію накладається магнітопружна, що викликана додатковою взаємодією атомів через викривлення кристалічної решітки при деформації.

Внаслідок дії механічних напружень при заданій напруженості магнітного поля H змінюється магнітна індукція B , а разом з нею й магнітна проникність M , тому що $\hat{A} = \mu \cdot \hat{I}$. Виходячи із закону збереження енергії при намагнічуванні, можна отримати залежність відносної зміни магнітної проникності від механічних напружень.

Якщо на феромагнітне тіло діє механічне напруження σ , то дії цього напруження відповідає деформація, що в області пружних напружень визначається законом Гука. При цьому магнітна проникність μ змінюється. Для феромагнетиків з малою коерцитивною силою H_c

і великою початковою магнітною проникністю μ_0 вважатимемо, що

$$B = 4\pi I, \mu = 4\pi\chi, \text{ де } \chi - \text{магнітна сприйнятливість.}$$

Магнітна енергія при намагнічуванні феромагнітного тіла до

$$\text{індукції } B \text{ при напруженості } H_0 \text{ дорівнює } \int_0^B \frac{H}{8\pi} dB.$$

Якщо на феромагнітне тіло діє напруження σ , котре деформує

$$\text{його на величину } \lambda = \frac{\Delta l}{l} \text{ то, щоб його намагнітити до індукції}$$

σ , необхідне поле напруженості H , у той час як без деформації це поле мало напруженість H_0 . За законом збереження енергії, припускаючи,

що H є однозначна функція для щільності енергії, можна записати:

$$\sigma\lambda = \int_0^B \frac{H_0 dB}{8\pi} - \int_0^B \frac{H dB}{8\pi}.$$

Залежність магнітострикції λ від інтенсивності намагнічування може бути виражена формулою:

$$\lambda = \lambda_0 (I^2 - I_0^2)$$

де λ_0 - коефіцієнт магнітострикції, який виражає здатність ферромагнетика до магнітострикції; I_0 - інтенсивність намагнічування, за якої магнітострикція ще дорівнює нулю.

Враховуючи формулу залежності магнітострикції від інтенсивності намагнічування й беручи до уваги залежність $B = 4\pi I$, можна записати;

$$\int_0^B \frac{H_0 dB}{8\pi} - \int_0^B \frac{H dB}{8\pi} = \frac{\sigma \lambda_0}{16\pi^2} (B^2 - B_0^2).$$

Диференціюючи й підставляючи $\mu = \frac{B}{H}$, одержуємо

$$\frac{H_0 dB}{8\pi} - \frac{H dB}{8\pi} = \frac{\sigma \lambda}{16\pi^2} 2B dB.$$

Розділивши обидві частини рівняння на $\frac{B dB}{8\pi}$ дістанемо:

$$\frac{H_0}{B} - \frac{Y}{B} = \frac{1}{\pi} \sigma \lambda.$$

Оскільки $\mu = \frac{B}{H}$ та $\mu_0 = \frac{B}{H_0}$, то

$$\frac{1}{\mu_0} - \frac{1}{\mu} = \frac{\mu - \mu_0}{\mu \mu_0} = \frac{\Delta \mu}{\mu \mu_0} = \frac{1}{\pi} \sigma \lambda \text{ і остаточно}$$

$$\frac{\Delta \mu}{\mu} = \frac{1}{\pi} \lambda_0 \mu_0 \sigma.$$

Таким чином, виходить, що зміна магнітної проникності пропорційна напруженню σ й добутку з початкової проникності μ_0 та коефіцієнта магнітострикції λ_0 .

У роботі використовується вимірювач напружень ВНІ-ІЦ, в основу роботи якого закладений взаємозв'язок магнітних характеристик металу з механічними напруженнями, виведений вище. Прилад розроблений на кафедрі зварювального виробництва КПП та застосовується в промисловості для вимірювання й неруйнівного контролю механічних напружень у зварних, прокатних і литих заготовках та конструкціях з феромагнітних матеріалів.

Основний вимірювальний орган приладу - магнітний датчик (первинний перетворювач) ДМІ (рис. 8), що являє собою перетворювач трансформаторного типу, первинна обмотка якого є обмоткою намагнічування, а вторинна - індикаторною обмоткою. Обидві: обмотки розміщені під кутом 90° одна до одної. На поверхні випробуваного металу, в зоні дії датчика утворюється магнітний міст, плечами якого є ділянки, що містяться між точками сполучення осердів з поверхнею, яка контролюється (рис. 8).

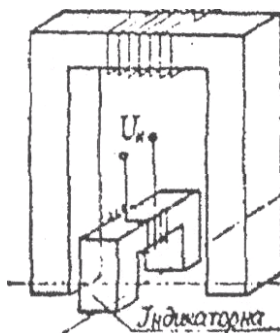


Рис. 8 – Магнітний датчик (первинний перетворювач).

Перетворювач змінює різницю магнітних опорів феромагнітних матеріалів у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Внаслідок анізотропії металу, що зазнає напружень, спостерігається викривлення магнітного поля та у внутрішньому осерді з'являється магнітний потік, котрий наводить в індикаторній обмотці. У випадку, показаному на рис. 9, можливі три варіанти збудження ЕРС в індикаторній обмотці:

$$P = 0, \quad \Phi_1 = \Phi_2, \quad EPC = 0;$$

$$P \geq 0, \quad \Phi_2 \geq \Phi_1, \quad EPC \geq 0;$$

$$P \leq 0, \quad \Phi_2 \leq \Phi_1, \quad EPC \leq 0.$$

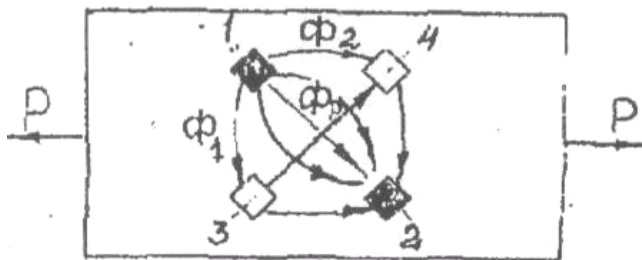


Рис. 9 – Індикаторна обмотка

Устаткування, прилади й матеріали

Вимірювач механічних напружень ВНІ-Щ з датчиком ДМІ-І; деформометр ДІ-50; пристрій для градуювання приладу БНТ-Щ; зварні стикові з'єднання; мірятьний та розмічальний інструменти; еталонний зразок.

Порядок виконання роботи

І. Ознайомитись з пристроєм, органами керування й роботою приладу ВНІ-Щ.

2. Приладом ВНІ-Щ виміряти розподіл магнітної анізотропії в поздовжньому напрямку поперек зварного шва в середній частині пластини

в стані після зварювання та після зварювання й термічної обробки.

2.1. Розмітити зразок, який контролюється, й нанести вимірювальну сітку для встановлення датчика приладу ВНІ-Щ. Крок переміщення датчика при вимірюванні - 5 мм зліва й справа від осі зварного шва.

2.2. Виконати вимірювання й одержані дані записати в табл. 2.

3. Створити навантажувальним пристроєм (рис. 10) на поверхні металу напруження розтягнення й стискання різної величини,

Форма запису даних вимірювань

Стан	Одиниця	Відстань від осі шва, мм													
Після зварювання	μa	100	...	20	15	10	5	0	5	10	15	20	...	100	
	МПа														
Після зварювання термічної обробки	μa														
	МПа														

3.1. Виміряти деформометром значення деформацій.

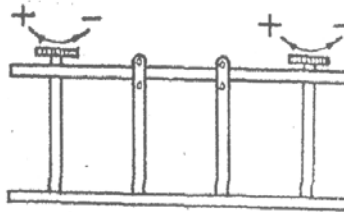


Рис. 10 – Навантажувальний пристрій

3.2. Паралельно з деформаціями виміряти напруження приладом ВНІ-ТЦ.

3.3. Зробити розрахунок, використовуючи закон Гука для одноосового напруженого стану, та визначити за значеннями деформацій механічні напруження.

3.4. Побудувати графічну залежність показів приладу ВНІ-Щ (μQ) від величини напружень σ .

4. Перерахувати за градуовальною залежністю магнітну анізотропію в механічні напруження й побудувати епюру розподілу поздовжніх залишкових напружень у зварному шві й біляшовній зоні зварних стикових пластин.

5. Зробити висновки й дати рекомендації щодо регулювання рівня залишкових напружень.

Рекомендована література

1. Майоров Ф.В. Магнитострикционный метод и приборы для измерения давления. - М.: ЦАГИ, 1939.
2. Жданов И.М., Батюк В.В. Технологический контроль механических напряжений в сварных конструкциях. - К.: Знание, 1982.

Контрольні запитання

1. Який існує зв'язок між магнітними властивостями ферромагнітних матеріалів та механічними напруженнями?
2. Будова датчика ДММ.
3. У чому полягає суть методики неруйнівного контролю залишкових напружень у зварних з'єднаннях?
4. З якою метою виконують градування приладу ВНІ-Щ і як воно здійснюється?
5. Які методи можуть бути рекомендовані для зниження залишкових напружень у зварних стикових пластинах?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Опірність зварних з'єднань з високоміцних сталей уповільненому руйнуванню

Мета роботи – вивчення методики і пристрою для визначення опірності зварних з'єднань з високоміцних сталей уповільненому руйнуванню; оцінюванню опірності зварних з'єднань уповільненому руйнуванню.

Короткі теоретичні відомості

Холодні тріщини в зварних з'єднаннях утворюються в тому випадку, якщо при охолодженні аустеніт біля шовної зони й металу шва переохолоджується, і перетворення γ – заліза в α – залізо відбувається досить швидко, завершуючись при температурі, нижній за 200°C. Метал, що зазнав такого термічного циклу, матиме тетрагональну мартенситну

структуру, дуже тверду й крихку, об'єм якої буде більшим від вихідної α – структури.

Дослідженнями встановлено, що холодні тріщини мають ділянку зародження руйнування та ділянку поширення тріщини. На ділянці зародження, яка не перевищує розміру кількох зерен, руйнування відбувається по границях зерен і є крихким. Розвиток руйнування може супроводжуватись пластичною деформацією.

Можна визначити кілька особливостей виникнення холодних тріщин.

1. Холодні тріщини утворюються під дією постійного навантаження або такого, що повільно змінюється, при напруженнях, значно нижчих (у 2-3 рази) від рівня короточасної міцності, визначеної при звичайному навантаженні в випробних машинах. Рівні напружень, при яких з'являються тріщини, сумірні з залишковими напруженнями при зварюванні. Тому зварювальні напруження можуть спричинити до утворення холодних тріщин. До появи руйнування необхідний певний час.

2. Найменша опірність виникненню холодних тріщин виявляється безпосередньо після зварювання, а потім міцність постійно зростає і явища уповільненого руйнування звичайно слабшають через деякий час (від 2 до 25 діб).

3. Схильність до уповільненого руйнування повністю придушується при охолодженні металу до температур, нижчих за -70°C , але відновлюється при нагріванні до $200\ldots 300^{\circ}\text{C}$.

Основними факторами, що сприяють до появи холодних тріщин, є:

- 1) несприятливий структурний стан металу, який відповідає високим швидкостям охолодження сталі, перегріву, старінню;
- 2) присутність напружень розтягнення 1-го роду;
- 3) наявність водню в металі зварного з'єднання.

Холодні тріщини можуть утворюватися в будь-якій зоні зварного з'єднання: в шві, біля шовної зони, по лінії сплавлення: вони можуть розташовуватись як уздовж, так і поперек осі шва.

За останні роки метод оцінки опірності сталей утворенню холодних тріщин, який полягає у випробуванні зварних зразків на повільне руйнування в умовах навантаження постійним зусиллям, набув широкого розповсюдження в нашій країні і за кордоном. Найбільший інтерес викликав метод імплант.

Метод імплант дуже поширений у закордонних дослідженнях процесу утворення холодних тріщин у сталях при зварюванні. В деяких країнах результати випробувань за методом імплант уведені до характеристик зварюваності сталей. Інтереси обміну результатами досліджень і необхідність зіставлення вітчизняних і закордонних сталей і зварюваних матеріалів потребують ознайомлення з цим методом випробувань, а можливо, й застосування нарівні із розробленими методами.

Відповідно до рекомендації МІЗ умови випробувань за методом імплант такі: випробують циліндричний зразок – вставку діаметром 6мм з надрізом, який виготовляється з випробуваної сталі (рис. 11). Зразок монтують на ковзній посадці з зазором 0,05...0,15мм у отвір пластини товщиною 20мм, на яку наплавляють валик і водночас переплавляють верхню частину зразка (рис. 12). Відстань x між надрізом і кінцем зразка дорівнює максимальній глибині проплавлення при вибраній погонній енергії зварки.

Наплавлення виконують автоматично покритим електродом, дротом під флюсом або в атмосфері захисних газів відповідно до виробничих потреб. При цьому визначають вміст водню в наплавленому металі за методикою МІЗ.

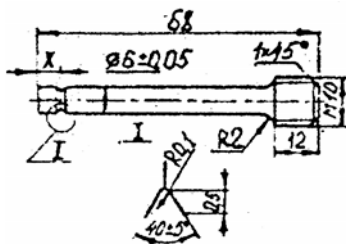


Рис. 11. Імплант
циліндричний зразок – вставка
діаметром 6мм з надрізом.

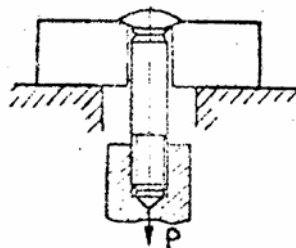


Рис. 12. Верхня частина
досліджуваного зразка

У процесі охолодження в діапазоні температур 150...100 °С зразок поступово навантажують протягом 1 хв. До заданого постійного зусилля. Під зусиллям зразок витримують 16 годин. У період випробування фіксують час повного руйнування зразків, а після випробувань із незруйнованих зразків вирізають поздовжні шліфи, які металографічно досліджують на наявність тріщин. У всіх випадках руйнування починається з вістря надрізу і поширюється по зоні термічного впливу. Руйнівне напруження обчислюють відносно поперечного перерізу зразка в надрізі без урахування концентрації напружень.

Устаткування, прилади та матеріали

Пристрій для навантаження зварного з'єднання постійним зусиллям, зварювальний трактор ТС-17; зразки з високоміцної сталі, плита під зварювання, секундомір, інструкція по експлуатації зварювального трактора ТС-17.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з пристроєм для навантаження зварного з'єднання. Визначити кратність збільшення навантаження важільною системою.

2. Ознайомитись з органами керування зварювальним автоматом ТС-17.
3. Налаштувати автомат ТС-17 і вибрати режим зварювання, який забезпечить найменшу погонну енергію при наплавці.
4. Зібрати зразки під зварювання.
5. Виконати зварювання зразків.
6. Навантажити зварні зразки зусиллям 500, 1000 та 1500 кгс. Прикладання навантажень до зварних зразків здійснювати через 1, 10, 20 хвилин та 1 годину.
7. Під час випробувань фіксувати час повного руйнування зразків.
8. Побудувати залежності розподілу показників опірності руйнуванню під значення й часу прикладання навантаження, вважаючи мінімальне руйнівне напруження за показник опірності руйнуванню зварних зразків.
9. Зробити висновки по роботі.

Рекомендована література

Макаров Э. Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.: Машиностроение, 1981.

Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В. А. Сварные конструкции: - М.: Высш. шк., 1982.

Контрольні запитання

1. Які особливості виникнення холодних тріщин?
2. Який механізм утворення крихких структур при зварюванні високоміцних сталей?
3. У чому суть випробувань за методом імплант?
4. У чому перевага зразків з гвинтовим надрізом?
5. Як впливають напруження й водень на опірність зварних з'єднань з високоміцних сталей уповільненому руйнуванню?

Лабораторна робота №5

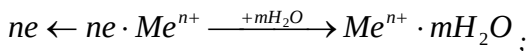
Оцінювання корозійної стійкості зварних з'єднань

Мета роботи – ознайомлення з основами методу поляризаційного опору; вивчення методики і апаратури для реалізації методу поляризаційного опору; набуття практичних навиків вимірювання швидкості корозії зварних з'єднань.

Короткі теоретичні відомості

Електрохімічна корозія є наслідком термодинамічної нестійкості металу і є спонтанним руйнуванням металу внаслідок електрохімічної взаємодії металу з середовищем, що є електролітичним провідником, в результаті сполученого та незалежного протікання трьох процесів:

- анодного процесу – іонізації атомів та переходу іонів металу в розчин із залишенням еквівалентної кількості електронів у металі за реакцією



- процесу протікання електронів по металу від анодних ділянок до катодних і відповідного переміщення катіонів та аніонів у розчині;

- катодного процесу – поновлення окислювальних компонентів розчину з приєднанням електронів, що виникають у процесі іонізації, за реакцією $D + ne = [Dne]$.

Якщо елементи оборотного гальванічного елемента з потенціалами в розімкненому стані $(V_a)_{об}$ й $(V_k)_{об}$ та опором електроліту між ними в ланцюгу R замкнути й виміряти усталене значення генерованого струму I' , то виявляється, що цей струм значно менший від обчисленого за законом Ома,

тобто
$$I' < [(V_k)_{об} - (V_a)_{об}] / R.$$

Через те, що R практично постійний (строго кажучи, величина R залежить від I' , тому що проходження струму змінює концентрацію, а отже, й електропровідність розчину, але цей ефект за невеликої тривалості досліду незначний), причину нерівності належить шукати в чисельнику дробу. Дослідження показали, що потенціали електродів, крізь які проходить при їх роботі (замиканні) електричний струм, відрізняються від потенціалів, не навантажених струмом; потенціал анода при проходженні крізь нього струму стає позитивнішим, а потенціал катода – негативнішим. Ця зміна (наближення) потенціалів, а отже, й їх різниця, що призводить до зменшення струму, називають поляризацією.

Поляризація є наслідком відставання електродних процесів від перетікання електродів у гальванічному елементі.

Рівняння для швидкості електрохімічного корозійного процесу з урахуванням поляризації можна в загальному вигляді записати так:

$$\text{Корозійний струм металу} = \frac{\text{Рухлива сила процесу}}{\text{Гальмування процесу}} = \frac{E}{R + R_n} = \frac{(V_k)_{об} - (V_a)_{об}}{R + R_n}$$

де $E_{об}$ – ЕРС оборотного гальванічного елемента; R – омичний опір системи, що зазнає корозії; R_n – поляризаційний опір (опір протіканню електродних процесів) системи.

Отже, за значеннями поляризаційного опору можна судити про швидкість електрохімічної корозії.

Для переведення поляризаційного опору в швидкість корозії використовують залежність $i_n = \frac{2 \cdot K_L}{R_n \cdot S}$, де i_n - швидкість корозії у лінійних одиницях, мм/год.; S – площа одного з електродів, мм²; $K_L = 2,3 \cdot 10^4$ мм³·Ом/год.

Вимірювач швидкості корозії Р5126; зварне стикове з'єднання; електрохімічна чашечка; пристрій для встановлення зразків з

електрохімічною чашечкою для агресивного середовища; хімічні компоненти для приготування агресивних середовищ.

Порядок виконання роботи

1. Відповідно до рекомендацій (табл. 3) приготувати один із складів агресивного середовища для прискореного випробування зварного з'єднання.

Таблиця 3

Матеріал	Склад середовища (водні розчини)	Режим
Вуглецеві та низьколеговані сталі	3-6% NH_4NO_3 +50-57% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 25-50% NaOH 50% NH_4NO_3 42% MgCe_2	Занурювати при кип'ятінні
	3% NaCe зволожений H_2S	Змінне занурювання, розпилення
Корозійно стійкі хромонікелеві сталі	42% MgCe_2 65% HNO_3 110 г/дм ³ CuSO_4 +55 г/дм ³ H_2SO_4	Занурювання при кип'ятінні
	10% HNO_3 +3% HF	Занурювання 70...80 °C
	3% NaCe Морська вода	Занурювання, змінне занурювання, розпилення у камері
Алюмінієві сплави	3% NaCe 3% NaCe +0.1% H_2O_2 3% NaCe +1% HCl 3% NaCe +0.1% CH_3COOH +0.1% CH_3COONa Морська вода	Занурювання, змінне занурювання, розпилення у камері
Магнієві сплави	3,5% NaCe +2% K_2CrO_4 0,001 HNaCe	Те саме

2. Ознайомитись з пристроєм, органами керування і роботою вимірювача P5126

3. Встановити електрохімічну чашечку на зварну пластину.

4. Виміряти зміну швидкостей корозії у часі за 15 хвилин кородування, через 3 хвилини в зварному шві й на відстані 10 мм від шва.
5. Побудувати графіки зміни швидкостей корозії у часі.
6. Зробити висновки по роботі.

Рекомендована література

1. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия, 1976.
2. Стеклов О. И. Прочность сварных конструкций в агрессивных средах. – М.: Машиностроение, 1976.

Контрольні запитання

1. На чому ґрунтується метод поляризаційного опору?
2. Як побудована електрохімічна чашечка для вимірювання швидкості корозії зварних з'єднань?
3. У чому полягає суть методики вимірювання поляризаційного опору?
4. Як переводяться покази приладу в значення швидкості корозії?
5. Використовуючи одержані швидкості корозії, визначити термін безаварійної експлуатації зварного трубопроводу для транспортування даного агресивного середовища. Трубопровід діаметром 720 мм, товщина стінки 18 мм, внутрішній тиск $P=85$ атм.

Лабораторна робота № 6

Оцінювання здатності зварних товстостінних пластин деформуватись

Мета роботи – вивчення стану для згину зварних пластин за заданим радіусом; дослідження напружено-деформованого стану зварних пластин після загибання на заданий радіус; оцінювання запасу пластичності зварних пластин після згину і зворотного вигину на задані радіуси.

Короткі теоретичні відомості

Корпуси нафторезервуарів, кожухи повітрянагрівачів та інші великогабаритні листові конструкції виготовляються методом рулонування з металу товщиною до 16 мм. Згортання й розгортання полотна такої товщини здійснюється з деформуванням крайніх за товщиною волокон металу за межею текучості. Отже, ще до введення в експлуатацію конструкція перебуває в інтенсивному напруженому стані внаслідок операцій, властивих технології руйнування.

Згортання полотна в циліндричну оболонку можна уявити як наслідок її навантаження по двох протилежних боках моментами, однаковими за величиною і протилежними за знаком (рис. 13, а). При цьому, перебуваючи в стані чистого згину, полотно деформується по поверхні кругового циліндра (рис. 13. б). Досить велике відношення довжини полотна до його товщини дозволяє довести кут повороту початкової та кінцевої кромки до 360° так, щоб кромки зустрілись одна з одною. З'єднавши кромки за допомогою зварювання, отримаємо циліндричну оболонку. В металі якої залишаються згинаючі моменти, які визначаються кривизною, наданою полотном та його товщиною.

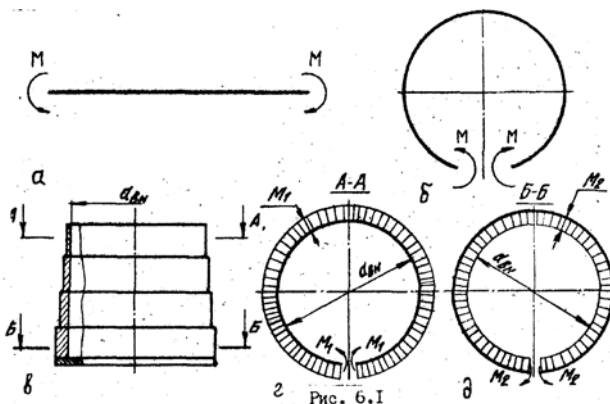


Рис. 13 – Модель корпусу нафто резервуарів.

Полотнище корпусу резервуара, яке згортається. Може мати змінну товщину (рис. 13, в). Залишкові згинаючі моменти в верхніх, тонших поясах корпусу будуть такого знаку, при якому розтягнуті волокна знаходяться на зовнішній поверхні оболонки (рис. 13, г). Нижні, навпаки, товстіші пояси при згортанні в рулон зазнають значної залишкової деформації, і в процесі розгортання в них уводяться розгинаючі моменти протилежного знаку (рис. 13, д). При цьому напруження згину не тільки досягають межі текучості, а й відбувається пластична деформація в зовнішніх волокнах листів, які згинаються. Виникає необхідність оцінювання пластичної деформації металу обичайок, які рулонують.

Дослідження деформаційної здатності належить до технологічних випробувань, відмінною рисою яких є визначення можливості застосування матеріалу в даному способі виробництва або для спеціальних цілей використання. На відміну від механічних випробувань визначаються не окремі значення властивостей з мінімальною похибкою вимірювань, а оцінюється загальний стан матеріалу. Для контролю здатності матеріалу деформуватися при кімнатній температурі використовують випробування на згин.

У даній роботі деформаційна здатність зварних зразків випробовується за допомогою спеціального пристрою, встановленого на розривній машині МУП-50.

Зразки із сталі 09Г2С розмірами 22х200х600 мм гнуться за шаблонами на радіус 2500 і 1300 мм. Радіуси згину і послідовність операцій відповідають технології рулонування обичайок великогабаритних суцільнозварних конструкцій: зварювання швів на верхньому ярусі рулонної установки, кантування полотна з верхнього яруса установки на нижній / радіус кантування барабана 2500 мм/, зварювання швів із зворотного боку на нижньому ярусі, згортання полотна в габаритний рулон /радіус барабана 1300 мм/.

Устаткування, прилади й матеріали

Установка для випробовувань листових зварних зразків на згин, розривна машина МУП-50, зварювальний трактор ТС-17М, деформометр Уітмора – Гуггенберга, прилад ВНІ-І Ц для вимірювання напружень неруйнівним магнітним методом, зразки з сталі 09Г2С, лінійка, рисувалка, еталон для деформатора та ін.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з установкою для випробувань листових зразків на згин за заданим радіусом.

2. Вибрати оптимальний режим наплавлення й налагодити зварювальний трактор на робочий режим.

3. Наплавити валики на верхньому боці зразків. Виміряти напруження та деформації.

4. Випробувати зразки на згин за заданими радіусами.

Встановити на установку на згин шаблони з радіусом кривизни верхнього краю 2500 мм.

Встановити зварний зразок на установку відповідно до розмітки.

Навантажити зразок за допомогою розривної машини. Зігнути зразок за радіусом 2500 мм.

Виміряти напруження і деформації у навантаженому зразку.

Розвантажити зразки. Виміряти залишкові напруження та деформації.

Наплавити валик на нижньому боці зразків.

Виміряти напруження з обох зразків.

Встановити шаблони з радіусом кривизни верхнього краю 1300мм.

Встановити зразки так, щоб нижній бік опинився зверху, та закріпити аналогічно п. 4.2.

Зігнути зразок за радіусом 1300 мм. Виміряти напруження та деформації на верхньому боці зразка, що зазнав зворотного вигину.

Розвантажити зразок. Виміряти напруження та деформації з обох боків зразка.

Визначити візуально наявність тріщин.

5. Усі дані вимірювань внести до таблиць і опрацювати.

6. Визначити ступінь пластичної деформації металу зразка. Що зазнав багаторазового згину. Оцінити напружено-деформований стан зварних зразків.

Рекомендована література

1. Испытание материалов. Справочник / Под ред. Х. Блюменауэра. - М.: Металлургия, 1979.

2. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. – М.: Высш. шк., 1982.

Контрольні запитання

1. Поясніть утворення згинаючих моментів у металі під час виготовлення циліндричних оболонок рулонним способом.

2. Від чого залежить величина згинаючих моментів у циліндричних оболонках виготовлених рулонуванням?

3. Чому на нижній і верхній поверхнях зразка, що зазнав згину та зворотного вигину виникають напруження тиску?

4. Який тиск необхідно створити, щоб на зовнішній поверхні полотна товщиною 22 мм, яке рулонують. Напруження були однаковими?

Література.

1. Короткевич В.А. Основы испытаний сельскохозяйственной техники: Учеб. пособие для студ. сельхоз. Вузов – Мн.: БАТУ, 1997-444с.
2. Надійність сільськогосподарської техніки /С.Г. Гранкін, в.С. Малахів, М.І. Черновол, В.Ю.Черкун. – К.: Урожай, 1998. – 208с.
3. Цимбалін В.Б. и др. Испытание автомобилей. М. Машиностроение, 1978 -199с.
4. Костылев Ю.С., Лосицкий О.Г. Испытания продукции. – М.: Издательство стандартов.
5. Испытание материалов. Справочник. Под. Ред. Блюменауэра. Пер. с нем., 448с.
6. Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов. В 3-х т. Под ред. Туманова. Т 2. Методы исследования механических свойств металлов. М.: Машиностроение, 1974, 320с.
7. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др.- М.: Машиностроение. Измерения, контроль, испытания и диагностика. Т. П1-7 / ВЗ- Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др.; Под общ. ред. В.В. Клюева. - 464с , ил.
8. Бегларян В. Х. Климатические испытания аппаратуры и средств измерений, М.:Машиностроение, 1983. 150с.
9. Вибрация в технике: Справочник / Под ред. В. Н. Челомея в 6 т. М.: Машиностроение, 1978 - 1981.
10. Гусенков \ П., Нахапетян Е. Г. Методы и средства обеспечения надежности машин. М.: Наука, 1993. 238с.

Додаткова література

1. Дроздов Ю. Н., Павлов В. Г., Пучков В. Н. Трение и износ в экстремальных условиях. Справочник. М.: Машиностроение, 1986. 223с.

2. Испытательная техника: Справочник в 2 кн. / Под ред. В. В. Ключева, М.: Машиностроение, 1982, 528 с. (кн. 1); 559с. (кн. 2).

3. Испытание материалов. / Под ред. Х. Блюменауэра. М.: Металлургия, 1979, 446с.

4. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1979. 744с.

Навчально-методичне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
з дисципліни “Автоматичне керування зварювання”
для студентів напрямку 6.050504 «Зварювання» всіх форм навчання

Укладачі: Жулай О.Ю.

Комп’ютерний набір і верстка Жулай О.Ю.

Здано до тиражування . . . 2017. Підписано до друку . . . 2017.
Формат 148×210 ¼. Папір газетний. Ум. друк. арк. . Тираж 75 прим.
Зам. № /2017р.