

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ**

МЕХАНИКО-МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

**КАФЕДРА «МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИЯ СВАРОЧНОГО
ПРОИЗВОДСТВА»**

**Абдуллаев М., Эрматов З.Д.
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Типы сварных соединений, напряжения и деформации»
для подготовки бакалавров по направлению
5522700 - «Машины и технология сварочного производства»**

ТАШКЕНТ 2007

УДК 621.791.1

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Типы сварных соединений, напряжения и деформации» для подготовки бакалавров по направлению 5522700 «Машины и технология сварочного производства»/ ТашГТУ; Абдуллаев Махамаджан, Эрматов Зиядулла Досматович. Ташкент, 2007.

Составитель: ст. преп. Абдуллаев М., асс. Эрматов З.Д.

Методические указания к выполнению лабораторных работ обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Машины и технология сварочного производства».

Протокол № _____ от «_____» _____ 2007 г

Заведующий кафедрой: проф., д.т.н. Абралов М.А.

Методические указания к выполнению лабораторных работ рассмотрены и утверждены на заседании Методического Совета Механико-машиностроительного факультета:

Протокол № _____ от «_____» _____ 2007г

Председатель
Методического Совета факультета: проф., д.т.н. Махкамов К.Х

Содержание

Лабораторная работа № 1. Собственные температурные и остаточные напряжения.....	4
Лабораторная работа № 2. Определение величины усадочной силы и прогиба при наплавке валика на кромку полосы в свободном состоянии и с предварительным изгибом.....	6
Лабораторная работа №3. Определение поперечной и продольной усадки при сварке пластины.....	10
Лабораторная работа № 4. Определение угловой деформации при сварке втавр.....	14
Лабораторная работа № 5. Изгиб балок от поперечной усадки швов.....	16
Лабораторная работа № 6. Измерение рабочих напряжений в элементах фермы.....	19
Лабораторная работа № 7. Исследование рабочих напряжений в стенке сварного сосуда.....	22
Лабораторная работа № 8. Снятие остаточных напряжений отпуском.....	27
Список используемой литературы.....	30

Остаточные напряжения. На средний элемент образца наплавляет валик ручной дуговой сваркой. После остывания образца вследствие пластических деформаций укорочения среднего элемента в крайних элементах возникают напряжения сжатия. Разность показаний тензометров начальных и после полного остывания характеризует остаточные напряжения.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться по инструкции с устройством рычажных тензометров с базой 20 мм и правилами крепления их.
2. Установить испытуемый образец на подставку над нагревательным прибором.
3. С помощью струбцин закрепить тензометры, как показано на рис. 1.1, и проверить их установку.
4. Записать начальные показания тензометров.
5. Включить нагревательное устройство и произвести нагрев среднего элемента до температуры 250°C, контролируя нагрев термокарандашами.
6. По достижении требуемой температуры выключить нагревательное устройство и записать показания тензометров.
7. Подсчитать температурные напряжения.
8. После полного остывания пластики записать показания тензометров и сравнить их с начальными.
9. Перенести подставку с пластиной и установленными тензометрами на сварочный стол и произвести наплавку валика на средний элемент.
10. В процессе сварки и остывания записать наибольшие показания тензометров и показания после полного остывания образца.
11. Подсчитать наибольшую величину температурных напряжений в процессе сварки и остаточных напряжений после сварки.

Содержание отчета.

1. Цель работы
2. Эскиз испытуемого образца и схема измерений
3. Порядок выполнения работы.
4. Результаты эксперимента с соответствующими расчетами.
5. Выводы по работе

Контрольные вопросы:

1. Какие напряжения называется температурными и какие - остаточными?
2. Можно ли в первом опыте путем повышения температуры нагрева среднего элемента получить остаточные напряжения в образце после остывания?
3. Как образуются остаточные напряжения при сварке?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ УСАДОЧНОЙ СИЛЫ И ПРОГИБА ПРИ НАПЛАВКЕ ВАЛИКА НА КРОМКУ ПОЛОСЫ В СВОБОДНОМ СОСТОЯНИИ И С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ИЗГИБОМ

Цель работы:

- 1) экспериментальное определение прогиба полосы и величины усадочной силы P_{yc} после наплавки валика на кромку полосы, находящейся в свободном состоянии;
- 2) экспериментальное определение прогиба полосы и величины усадочной силы P_{yc} при наплавке валика на полосу, получившую предварительный изгиб в приспособлении;
- 3) экспериментальное определение прогиба полосы и величины усадочной силы P_{yc} при наплавке валика на кромку, в которой действуют собственные напряжения

Содержание работы

В процессе сварки происходит нагрев металла и его расширение в направлении движения источника. Менее нагретые и холодные участки металла, препятствуют свободному удлинению волокон в результате чего в нагретых зонах возникает напряжения сжатия и протекают пластические деформации укорочения. При остывании металла возникает его сокращение, появляется напряжения растяжения, а затем возникают и пластические деформации удлинения. Пластические деформации удлинения, как правило, меньше пластических деформаций укорочения, возникающих при нагреве, поэтому после полного остывания в зоне сварного соединения имеется остаточные пластические деформации укорочения $\varepsilon_{ост. пл}$ эпюра которых при сварке встык схематично показана на рис. 2.1.

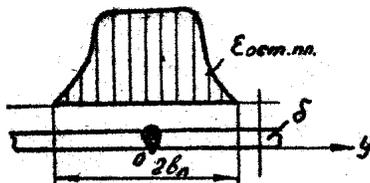


Рис. 2.1. Эпюра пластических деформаций.

Зона шириной $2b_n$ носит название зоны пластических деформаций. Если ординаты эпюры $\varepsilon_{ост. пл}$ умножить на модуль упругости металла E и проинтегрировать эти силы в пределах зоны пластических деформаций, то получим так называемую усадочную силу:

$$P_{yc} = \int_{-b_n}^{b_n} \varepsilon_{ост.пл} \cdot E \cdot \delta \cdot dy \quad (2.1)$$

где δ - толщина пластины;

y - координата точки.

Усадочные силы вызывают укорочение сваренных элементов и если шов расположен не по центру тяжести сечения, создают ещё изгибающий момент:

$$M = P_{yc} \cdot l \quad (2.2)$$

где l - расстояние от линии действия P_{yc} до оси балки (рис. 2.2).

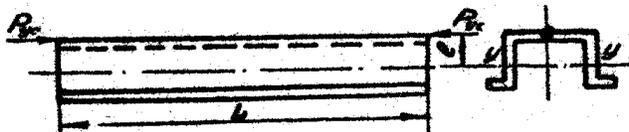


Рис. 2.2. Изгиб балки под действием усадочной силы P_{yc}

При этом возникает прогиб балки:

$$f = \frac{ML^2}{8EJ} \quad (2.3)$$

и продольное укорочение

$$\Delta_{np} = \frac{P_{yc}L}{EF} \quad (2.4)$$

где P и J - поперечное сечение и момент инерции балки относительно оси $y - y$,

L - длина балки.

Продольное укорочение балок обычно невелико и осложнений при их производстве не вызывает. Прогибы балок в зависимости от их длины, жесткости, расположения швов и режимов сварки могут достигать десятков миллиметров. Для устранения прогибов балок используют различные приемы.

Одним из распространенных способов устранения прогибов является предварительный изгиб балок в специальном приспособлении в сторону, противоположную изгибу от сварки. При этом в процессе сварки балка, будучи изогнутой, находится в приспособлении в напряженном состоянии. Положительный эффект достигается по двум причинам. Во-первых, сварка производится по металлу, в котором действуют растягивающие напряжения. Это обстоятельство уменьшает величину усадочной силы P_{yc} . Во-вторых, балка перед освобождением из приспособления имеет прогиб в обратную сторону.

Порядок выполнения работы

1. Получить от первую пластину размером 500x60x2 мм (рис. 2.3) и измерить базу №1 длиной 100 мм о двух сторон пластины.

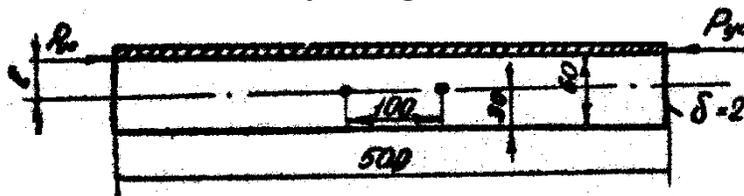


Рис. 2.3. Образец для наплавки.

Измерения произвести по 3 раза, располагая цифру базы с правой стороны. Результаты измерения занести в таблицу 2.1

Таблица 2.1

Форма записи результатов испытаний

Номер базы	Начальные размеры, мм	Среднее значение, мм	Замеры после сварки, мм	Среднее значение, мм	Укорочение базы на 100 мм длины, мм
I					

2. Установить полосу на призмы в специальное приспособление (рис. 2.4) так, чтобы надрез на полосе попал в правую призму.

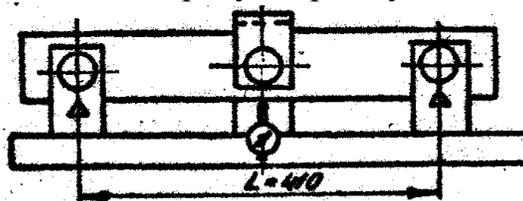


Рис. 2.4. Приспособление для измерения изгиба пластины

Зажать тремя винтами полосу в приспособлении. Снять отсчет показаний индикаторной головки.

3. Вынуть полосу из приспособления и проварить кромку полосы на автомате угольным электродом под слоем флюса.

4. После полного остывания полосы произвести повторные измерения базы №1 с двух сторон и результаты занести в таблицу 2.1. Перед измерениями полосу прижать к плите грузом.

5. Вычислить $\Delta_{пр}$ и по формуле (2.4) определить P_{yc} , имея в виду, что база измерения 100 мм.

6. Установить полосу в приспособление и произвести измерение прогиба полосы f на длине $l=410$ мм после сварки, используя показания индикаторной головки.

7. Пользуясь формулой (2), определить момент M от усадочной силы P_{yc} .

8. Зная M и P_{yc} вычислить эксцентриситет e усадочной силы P_{yc} (см.рис. 2.3)

9. Выполнить п.п. 1 и 2 на второй полосе, которая в дальнейшем будет свариваться при наличии предварительного изгиба.

10. Вычислить предварительный прогиб $f_{пр}$ при котором в кромке полосы возникает максимальное растягивающее напряжение $\sigma_{max}=180$ МПа при условии, что пластина будет подвергнута изгибу в приспособлении, показанном на рис. 2.5.

11. Закрепить на полосе упор (см. рис. 2.5), установить полосу по фиксаторам на опоры в приспособление для изгиба, вставить штыри и с помощью гаек, не создавая значительного натяга, выбрать зазоры.

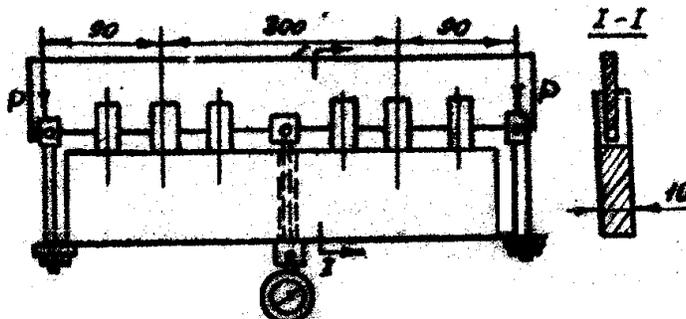


Рис. 2.5. Приспособление для создания и измерения предварительного изгиба пластины

12. Установить и закрепить индикатор. Вывести лимб индикатора на нулевую отметку. Создать гайками, подвинчивая их равномерно, прогиб $f_{пр}$. Снять индикатор с приспособления.

13. Установить изогнутую пластину вместе с приспособлением под сварочный автомат и проварить кромку. Дать полностью остыть пластине. Вынуть пластину из приспособления.

14. Повторить п.п. 4-8 для второй пластины.

15. Для определения влияния собственных напряжений на величину $P_{ус}$ повторить п.п. 1-8 для первой полосы, наплавляя валик на не переплавленную кромку.

Содержание отчета.

1. Цель работы
2. Эскиз испытуемого образца и схема измерений
3. Порядок выполнения работы.
4. Результаты эксперимента с соответствующими расчетами.
5. Выводы по работе

Контрольные вопросы

1. Почему после сварки возникает усадочная сила?
2. Почему после сварки возникает изгиб полосы?
3. Как влияет предварительный изгиб полосы на остаточную деформацию?
4. Как влияют собственные напряжения в зоне сварки на величину усадочной силы?
5. Как определяют расчетные значения усадочной силы, прогиба и продольного укорочения при наплавке валика на кромку полосы?
6. Как определяется при наплавке валика на кромку полосы его термопластическая зона?

Лабораторная работа №3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ И ПРОДОЛЬНОЙ УСАДКИ ПРИ СВАРКЕ ПЛАСТИНЫ

Цель работы:

- 1) экспериментальное определение поперечной усадки пластины при сварке угольной дугой под флюсом;
- 2) определение коэффициента A , показывающего отношение экспериментальной поперечной усадки к её теоретически возможной, максимальной величине;
- 3) определение продольной усадки.

Содержание работы

При сварке пластин в стык или приварке к пластинам угловыми швами различных элементов возникает поперечная и продольная усадка

Образование поперечной усадки происходит вследствие неравномерного нагрева пластин при сварке. На рис. 3.1, а, показана сварка двух пластин встык, а на рис. 3.1, б, - перемещение одной из свариваемых кромок в направлении Oy .

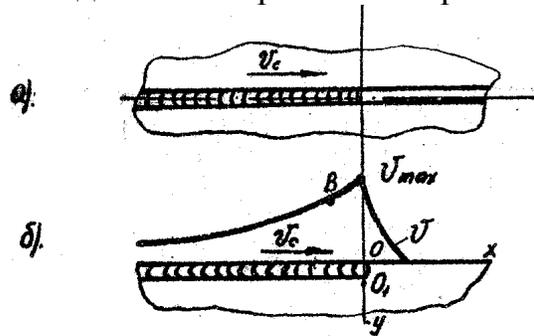


Рис. 3.1. Сварка пластин с зазором

Кромка перемещается в зазор от расширения металла при нагреве. Аналогичным образом происходит перемещение и второй кромки. В точке O в зоне действия сварочного источника теплоты перемещения кромок достигают максимума и в этот момент они свариваются, фиксируя возникшее сближение $2v_{\max}$. Теоретически вычисленное максимальное перемещение одной кромки при условии возникновения только упругих деформаций составляет величину

$$\frac{\alpha}{c \cdot \rho} \cdot \frac{q}{v_c \cdot \gamma}, \text{ а}$$

$$2v_{\max} = 2 \frac{\alpha}{c \cdot \rho} \cdot \frac{q}{v_c \cdot \gamma} \quad (3.1)$$

- где α - коэффициент линейного расширения свариваемого металла;
 $c\rho$ - объемная теплоемкость;
 q - эффективная тепловая мощность сварочного источника теплоты;
 v_c - скорость сварки;
 δ - толщина свариваемых пластин.

По мере охлаждения пластин кромки стремятся отойти в прежнее положение, при этом до некоторой точки В, когда металл имеет низкий предел текучести, могут возникать пластические деформации. При дальнейшем охлаждении сопротивление металла возрастает, перемещения кромок произойти уже не могут и возникает подтягивание пластин друг к другу, т.е. усадка. В результате после полного остывания поперечный размер сократится. При дуговой однопроходной сварке под флюсом металла толщиной 8 - 16 мм возникает усадка $\Delta_{\text{поп}} = 1 \div 1,5$ мм; при электрошлаковой сварке она может достигать $5 \div 10$ мм в зависимости от удельной погонной энергии сварки $\frac{q}{v_c \cdot \gamma}$.

Аналогично возникает усадка пластин, когда на их поверхность укладывается валиковый или угловой шов. Отличие заключается в том, что в этом случае зазор в сплошной пластине отсутствует (рис. 3.2).

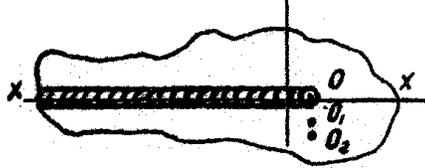


Рис. 3.2. Укладка валика на пластину

Перемещение точки O_1 , например, находящейся вблизи линии сплавления, не происходит до тех пор; пока металл остается холодным или слабо нагретым. При подходе сварочной ванны металл нагревается и теряет упругие свойства. С этого момента точка O_1 в результате расширения металла от нагрева зоны O_1O_2 начинает перемещаться к оси $x - x$; при этом на участке OO_1 возникают пластические деформации. Перемещение существенно возрастает, когда металл расплавляется и полностью теряет свои упругие свойства. Таким образом, при сварке сплошных пластин или пластин, собранных без зазора, возникает некоторое препятствие перемещению металла в процессе разогрева. Поэтому поперечная усадка $\Delta_{\text{поп}}$ всегда оказывается меньше, чем $2v_{\text{max}}$, вычисленное по формуле (3.1), т.е.

$$\Delta_{\text{поп}} = A \cdot 2 \frac{\alpha}{c \cdot \rho} \cdot \frac{q}{v_c \cdot \gamma} \quad (3.2)$$

где $A < 1$.

При расчетной определении перемещений, возникающих в сварных конструкциях от продольного сокращения металла, используется фиктивная усадочная сила $P_{\text{ус}}$, величина которой в данном случае пропорциональна площади зоны остаточных пластических деформаций в околошовной зоне:

$$P_{\text{ус}} = \int_{-b_n}^{b_n} \varepsilon_{\text{ост.пл}} \cdot E \cdot \delta \cdot dy \quad (3.3)$$

где δ - толщина пластины;

Для низкоуглеродистых и низколегированных сталей при дуговой сварке встык, в тавр и внахлестку весьма жестких (с большой площадью поперечного сечения) элементов за один проход значение P_{yc} , выраженное в Ньютонах, может быть определено по формуле:

$$P_{yc} = -(230000/(q_0 + 12600) + 3,58)q/v_c \quad (3.4)$$

где q — эффективная мощность, Дж/с;
 v_c - скорость сварки, см/с;
 $q_0 = q/(v_c \cdot \delta_p)$ — удельная погонная энергия сварки, Дж/см²;
 δ_p - расчетная толщина свариваемого элемента, см;
 $\delta_p = 0,5(\delta_1 + \delta_2)$ - в стыковых или угловом соединении пластин толщиной δ_1 и δ_2 .

Укорочение пластины от силы P_{yc} выражается величиной:

$$\Delta_{прод} = \frac{P_{yc} L_0}{F \cdot E} \quad (3.5)$$

где L_0 - начальная длина пластины,
 F - площадь сечения пластины,
 E - модуль упругости материала.

Под действием усадочной силы пластина испытывает, относительную деформацию $\varepsilon_{пр}$, а на всей длине L_0 - укорочение

$$\Delta_{прод} = \varepsilon_{пр} \cdot L_0 \quad (3.6)$$

Если измеряемая механическим деформометром база вдоль предполагаемого шва до сварки l_0 а после сварки l_1 , то продольная деформация базы будет $\varepsilon_{пр} = (l_0 - l_1)/l_0$, а продольное укорочение базы:

$$\Delta_{прод} = \varepsilon_{пр} \cdot l_0 \quad (3.7)$$

Порядок выполнения работы

1. Получить от лаборанта пластину размером 120x120x2мм (рис. 3.3) и деформометром измерить базы №1 и №2 длиной 100 мм с двух сторон пластины.

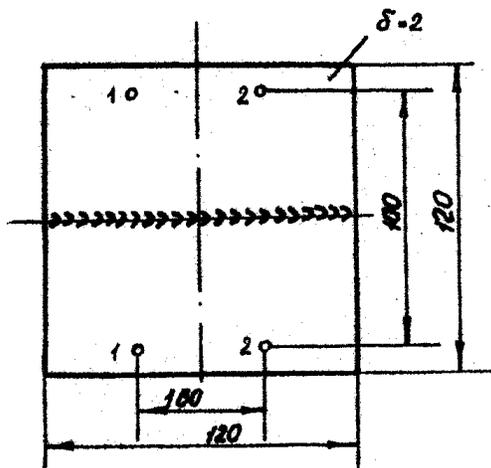


Рис. 3.3. Образец для определения поперечной и продольной усадки

Измерения каждой базы произвести по 3 раза. Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Форма записи результатов испытаний

Номер базы	Начальные размеры, мм	Среднее значение, мм	Замеры после сварки, мм	Среднее значение, мм	Укорочение базы	
					поп.	прод.
I						

2. Вычислить средние значения из трех измерений.

3. Проварить пластину по линии x-x на автомате угольной дугой под флюсом. Во время сварки вести наблюдения за показаниями вольтметра и амперметра и записать средние показания U и I.

4. Вычислить эффективную мощность источника теплоты q , полагая КПД $\eta=0,54$.

5. Вычислить $2v_{\max}$ по формуле (3.1), используя следующие значения величин:

$$\alpha=12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/град}; \quad c \cdot \rho = 5 \text{ Дж/(см}^3 \cdot \text{град)}.$$

6. После полного остывания пластины произвести повторные измерения баз, результаты занести в таблицу и получить экспериментальное значение $\Delta_{\text{поп}}$ и $\Delta_{\text{прод}}$

7. Пользуясь формулой (3.2) вычислить коэффициент A.

8. Определить продольную усадку $\Delta_{\text{прод}}$

Содержание отчета.

1. Цель работы
2. Эскиз испытуемого образца и схема измерений
3. Порядок выполнения работы.
4. Результаты эксперимента с соответствующими расчетами.
5. Выводы по работе

Контрольные вопросы

1. Почему возникает поперечная усадка при сварке?
2. От каких факторов зависит поперечная усадка при сварке встык?
3. От каких факторов зависит продольная усадка?

Лабораторная работа № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СВАРКЕ ВТАВР

Цель работы: определение угловой деформации от первого шва β_1 и угловой деформации $\beta_2 + \beta_k$ от второго шва.

Содержание работы

При сварке в тавр лист, к которому приваривается ребро, испытывает неравномерный нагрев по толщине (рис. 4.1. а).

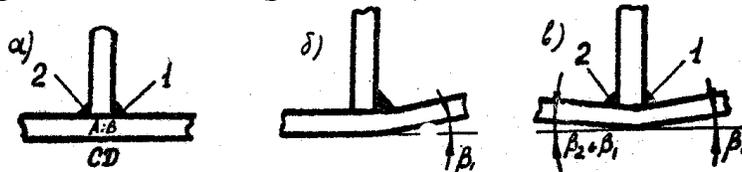


Рис. 4.1. Образование угловой деформации

Верхняя часть листа имеет более высокую температуру, чем нижняя. Поэтому расширения металла при нагреве на участке АВ препятствует сопротивление более холодных нижних участков СД. В зоне АВ при нагреве возникают пластическая деформация и напряжения сжатия. При остывании происходит сокращение зоны АВ и возникает угловая деформация β_1 (рис. 4.1., б). Одновременно возникает также и поперечная усадка.

При сварке шва 2 происходят аналогичные явления (рис. 4.1, в). Однако при этом, кроме угловой деформации от неравномерной усадки листа β_2 , возникает ещё угловая деформация β_k от поперечного сокращения металла шва 2, потому что ребро жёстко соединено с листом швом 1. При сварке шва 1 поперечное сокращение металла шва вызывало лишь поворот ребра относительно листа без образования угловой деформации.

Порядок выполнения работы

1. Получить пластину размером 120x80x10 мм с прихваченным ребром высотой 15 мм (рис. 4.2) и установить её на приспособление (рис. 4.3) так чтобы углубление в пластине от керна попало на острие штифта III приспособления. При этом стрелка на приспособлении должна находиться против продольной риски на образце.

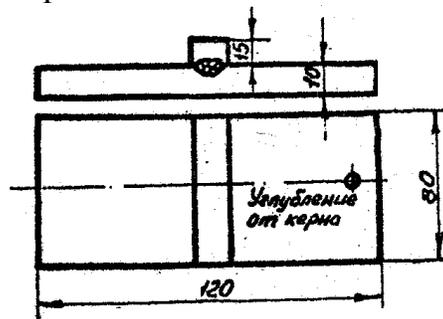


Рис. 4.2. Образец для определения угловой деформации

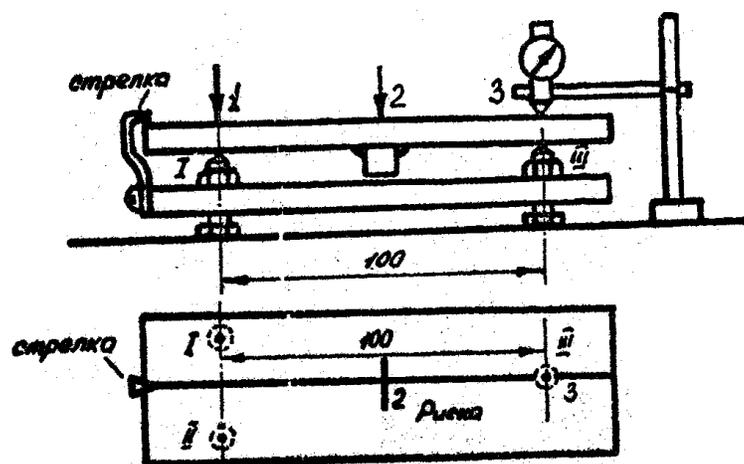


Рис. 4.3. Приспособление для измерения перемещений точек образца

2. Произвести измерения индикаторной головкой на штативе в точках 1,2,3 образца (см. рис. 4.3). Результаты занести в таблицу 4.1., измерения произвести трижды.

Таблица 4.1

Форма записи результатов испытаний

Точка замера	Начальные замеры, мм	Среднее значение, мм	Замеры после 1 ^{го} шва, мм	Среднее значение, мм	Замеры после 2 ^{го} шва, мм	Среднее значение, мм
I						

3. Вычислить средние значения из трех измерений.

4. Сварить шов 1 вручную катетом 7 - 8 мм и дать образцу полностью остыть.

5. Произвести измерения образца в приспособлении вторично и результаты занести в таблицу 4.1. По результатам замеров вычислить угол β_1 в градусах.

6. Сварить шов 2 вручную катетом 7 - 8 мм и дать образцу полностью остыть.

7. Произвести измерения образца в приспособлении в третий раз и результаты занести в таблицу 4.1. По результатам экспериментов вычислить $\beta_2 + \beta_k$

8. Сравнить между собой деформации, вызываемые первым и вторым швом.

Контрольные вопросы

1. Почему возникают угловые деформации β_1 и $\beta_2 + \beta_k$?

2. Как можно предотвратить или устранить угловые деформации?

Лабораторная работа № 5 ИЗГИБ БАЛОК ОТ ПОПЕРЕЧНОЙ УСАДКИ ШВОВ

Цель работы: определение изгиба балки от поперечной усадки шва пояса.

Содержание работы

Поперечные швы могут вызывать значительный изгиб балок. Вследствие поперечной усадки элемента, расположенного на некотором расстоянии от центра тяжести сечения, балка получает угловой излом φ (рис. 5.1), величина которого определяется по формуле

$$\varphi = (\Delta_{\text{поп}} - \Delta_{\text{пл}}) \frac{S}{J} \quad (5.1)$$

где $\Delta_{\text{поп}}$ - поперечная усадка шва пояса при сварке его в свободном состоянии (вне балки), см;

$\Delta_{\text{пл}}$ - пластическое удлинение металла сварного соединения в направлении поперек шва, возникшее в результате сопротивления поперечной усадке со стороны балки, см;

S - статический момент площади элемента, в котором возникла поперечная усадка, относительно главной оси всего сечения балки (статический момент сечения пояса балки), см³.

J - момент инерции балки относительно оси $y - y$, см⁴.

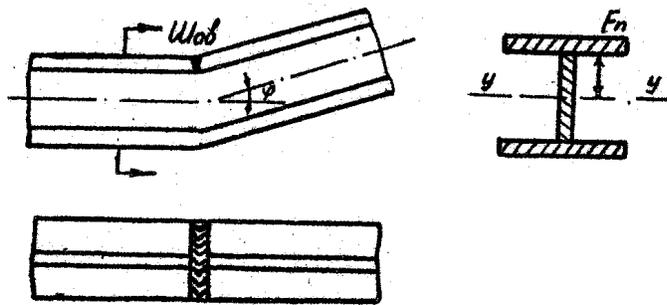


Рис. 5.1. Образование изгиба балки от поперечной усадки шва

Величина $\Delta_{\text{пл}}$ зависит от жесткости балки, но в некоторых случаях для приближенной оценки изгиба может полагаться равной нулю.

В настоящей работе определяется $\Delta_{\text{поп}}$, φ и $\Delta_{\text{пл}}$ на примере балки, состоящее из двух уголков (рис. 5.2), на которые укладывается валик путем переплавки металла угольной дугой под флюсом. Для определения поперечной усадки $\Delta_{\text{поп}}$ одновременно с переплавкой металла на уголках производится переплавка металла на прихваченной к уголкам пластине, имеющей ту же толщину, что и уголки.

Прогиб балки на длине $L=450$ мм измеряется в специальном приспособлении (рис. 5.3). Зная $\Delta_{\text{поп}}$, φ , S и J можно по формуле (5.1) определить величину $\Delta_{\text{пл}}$

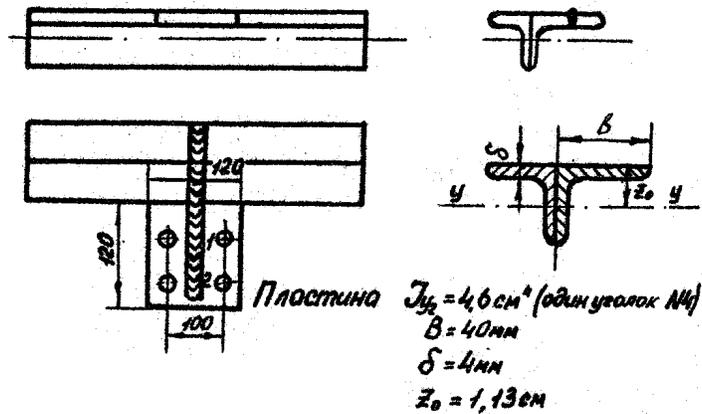


Рис. 5.2. Образец для определения прогиба балки

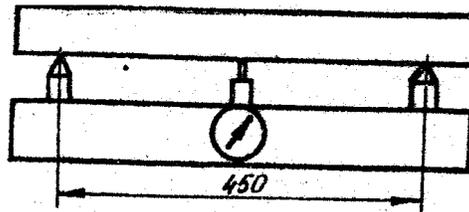


Рис. 5.3. Приспособление для определения прогиба балки

Порядок выполнения работы

1. Получить собранные, на прихватках уголки и пластину.
2. С помощью деформометра измерить с двух сторон базы на пластине и результаты занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

Форма записи результатов испытаний

Номер базы	Замеры до сварки, мм	Среднее значение, мм	Замеры после сварки, мм	Среднее значение, мм	Укорочение базы поп, мм
I					

При измерениях баз их номера должны располагаться с правой стороны.

3. Установить уголки в приспособление так, чтобы надрез под призму оказался с правой стороны. Записать показания индикаторной головки.

4. Установить уголки с пластиной под сварочный трактор и проварить их посередине. Во время сварки записать средние показаний приборов для измерения тока I и напряжения U .

5. После сварки отломить пластину от уголков и дать им полностью остыть.

6. Произвести повторные измерения баз на пластинке и записать показания деформометра в таблицу 5.1. Определить поперечную усадку $\Delta_{\text{поп}}$

7. Установить уголки в приспособление и определить величину прогиба f . Зная f , вычислить величину угла φ .

8. Пользуясь данными о размерах уголков и формулой (5.1), вычислить $\Delta_{пл}$.

9. Сравнить величину действительной поперечной усадки $\Delta_{поп}$ с максимально возможной теоретической усадкой определяемой по формуле

$$2v_{max} = 2 \frac{\alpha}{c \cdot \rho} \cdot \frac{q}{v_c \cdot \gamma}$$

Принять для стали: $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ 1/град; $c \cdot \rho = 5 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$.

Содержание отчета.

1. Цель работы
2. Эскиз испытываемого образца и схема измерений
3. Порядок выполнения работы.
4. Результаты эксперимента с соответствующими расчетами.
5. Выводы по работе

Контрольные вопросы

1. От каких факторов зависит угловой излом балок, возникающий от поперечных швов?
2. Какие причины могут вызывать изгиб балок?
3. В чем состоит процесс образования остаточных деформаций изгиба, вызванных поперечным сокращением швов?
4. Как изменяются величины остаточных деформаций (продольных и изгибающих) при увеличении погонной энергии сварки?
5. В чем состоит процесс образования остаточных деформаций изгиба, вызванных поперечным сокращением швов?

Лабораторная работа № 6 ИЗМЕРЕНИЕ РАБОЧИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ФЕРМЫ

Цель работы: Измерение рабочих напряжений в элементах пространственной конструкции и сопоставление их с величинами, полученными в результате расчета.

Содержание работы

В настоящей работе измерение напряжений в элементах фермы производят проволочными тензодатчиками.

Для проволочных тензодатчиков обычно используют константановую проволоку диаметром в несколько десятков микрон. Крепление датчика на детали осуществляют с помощью клея.

Если металлическую проволоку подвергнуть действию растягивавшей силы, то происходит изменение величины удельного сопротивления материала, вследствие изменения длины и сечения проволоки. Это изменение относительного сопротивления пропорционально возникшей деформации металла и может быть использовано для её измерения.

Сварные конструкции часто оказываются под действием нагрузок, меняющих свое положение. Примером могут служить фермы моста при движении поезда, подкрановые балки при движении крана и т.д. Для определения максимального усилия в расчетном элементе конструкции используют так называемые линии влияния, представляющие собой зависимость величины усилия или момента от положения груза. В качестве примера на рис. 6.1 показана линия влияния усилия в стержне 3.

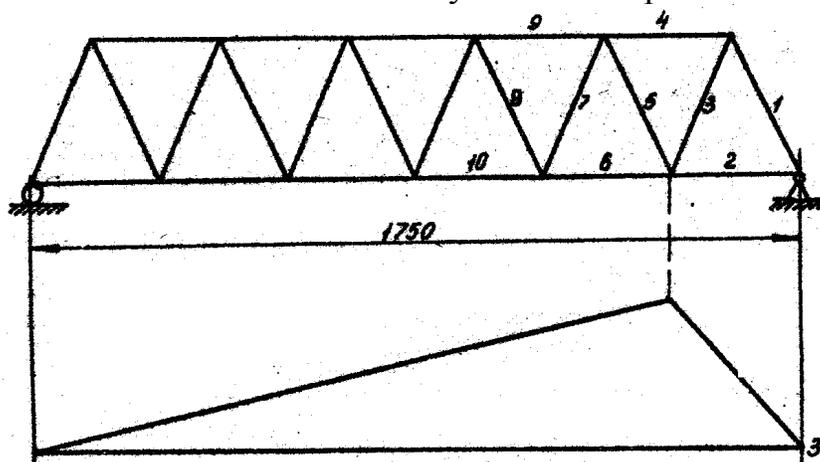


Рис. 6.1. Схема фермы и линии влияния в стержне 3.

Абсцисса этой линии влияния характеризует положение груза, а соответствующая ордината - усилие в стержне при данном положении груза. Такие линии влияния могут быть построены как в результате аналитических подсчетов, так и опытным путём.

3. Нагрузить первый узел.
4. Произвести отсчеты показаний гальванометра для датчиков, наклеенных на элементы главной фермы, и результаты занести в таблицу 6.1.
5. Снять нагрузку.
6. Нагрузить второй узел.
7. Произвести отсчет показаний гальванометра для всех рабочих датчиков и результаты занести в таблицу 6.1.
8. Снять нагрузку.
9. Повторить указанное в п.п. 3-5 для третьего и четвертого узлов фермы.
10. По тарировочному графику определить напряжения в испытуемых элементах, результаты занести в таблицу 6.1.
11. Для всех десяти элементов главной фермы построить линии влияния по результатам измерений напряжений.
12. Методом вырезания узлов подсчитать напряжения в стержнях 1, 5, 9 и 10 (см.рис.6.2) при нагружении второго узла и полученные результаты нанести на графики линий влияния.
13. Сравнить данные, полученные экспериментальным и расчетным путем.

Содержание отчета.

1. Цель работы
2. Эскиз испытуемого образца и схема измерений
3. Порядок выполнения работы.
4. Результаты эксперимента с соответствующими расчетами.
5. Выводы по работе

Контрольные вопросы

1. В каких элементах главной фермы знак напряжений меняется в зависимости от расположения сосредоточенной нагрузки?
2. Каково назначение вспомогательных ферм и какие усилия возникает в стержнях этих ферм при нагружении главной фермы?
3. Из каких соображений следует выбирать места наклейки датчиков на элементах фермы?

Лабораторная работа № 7 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕНКЕ СВАРНОГО СОСУДА

Цель работы: исследовать распределение напряжений в сварном сосуде, работающем под давлением.

Общие положения

Листовые конструкция типа сосудов, цистерн условно делят на толстостенные и тонкостенные. При условии $\delta/D < 0,1$, где δ - толщина стенки, D - диаметр конструкции, сосуд считается тонкостенным.

Если же $\delta/D > 0,1$ - его относят к толстостенным, в тонкостенном сосуде напряжения изгиба в стенке практически отсутствуют, растягивающие напряжения по толщине стенки распределены равномерно.

Напряжения в тонкостенном сосуде давления находят, рассматривая равновесие, отдельного его элемента, нагруженного по контуру растягивающими силами. Связь между напряжениями, давлением и размерами сосуда устанавливает формула Лапласа. В общем случае для оболочек кривизны эта зависимость может быть представлена в виде

$$\frac{\sigma_1}{R_1} + \frac{\sigma_2}{R_2} = \frac{P}{\delta} \quad (7.1)$$

где σ_1 и σ_2 - нормальные растягивающие напряжения, действующие в стенке сосуда, МПа,

P - давление в сосуде, МПа,

R_1 и R_2 - радиусу кривизны оболочки в направлениях действия σ_1 и σ_2 , см;

Δ - толщина стенки сосуда, см

Применительно к сферическим оболочкам (при $R_1=R_2=R$) или сферическим днищам цилиндрических сосудов зависимость принимает вид

$$\sigma = \frac{P \cdot R}{2\delta} \quad (7.2)$$

Для цилиндрических оболочек (при $R_1=R_{ц}$ и $R_2=\infty$) напряжения, действующие по касательной, перпендикулярно к образующей

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot R_{ц}}{\delta} \quad (7.3)$$

где $R_{ц}$ - радиус цилиндра.

Напряжения, действующие вдоль образующей цилиндрической стенки

$$\sigma_2 = \frac{P \cdot R_{ц}}{2\delta} \quad (7.4)$$

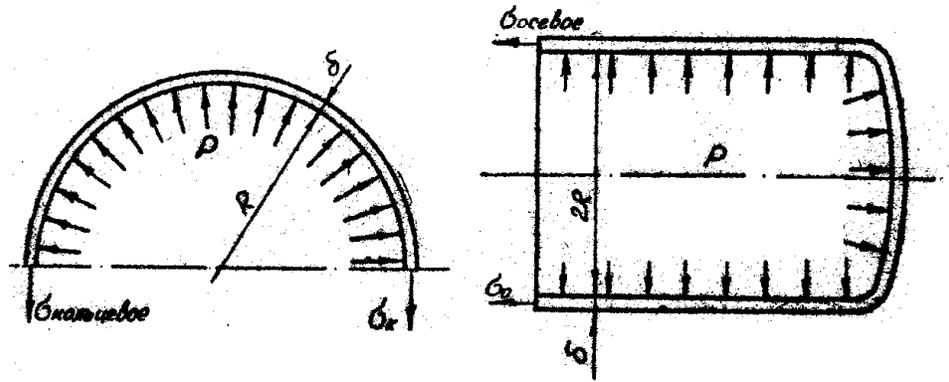


Рис. 7.1. Схемы действия сил на элементы сосуда для определения $\sigma_{\text{кольцевое}}$ и $\sigma_{\text{осевое}}$

Экспериментальным путём напряжения в стенке сосуда можно определить тензометрированием по методике, описанной ниже.

Тарировочное устройство типа балки на двух опорах, где тарировочный датчик наклеивается на среднюю часть балки 1, показано на рис. 7.2.

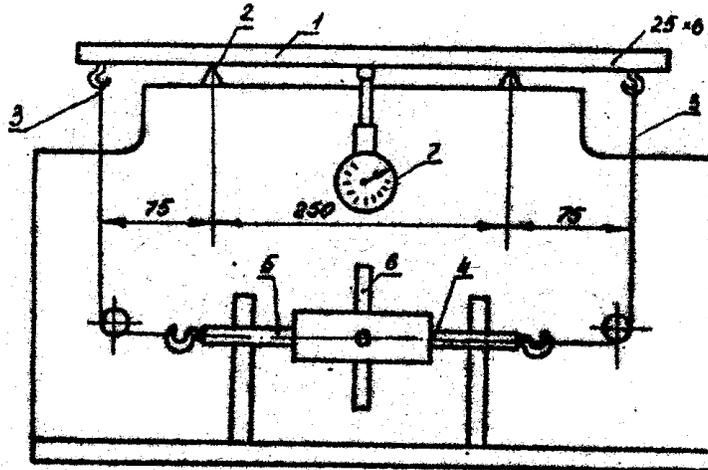


Рис. 7.2. Тарировочное устройство (балка на двух опорах)

Нагружение концов балки 1, лежащей на двух опорах 2, осуществляется маховичком 6 через тросики 3 от винтов 4 и 5, имеющих правую и левую резьбы. Прогиб балки фиксируется индикаторной головкой 7 и позволяет расчетным путём определить напряжения на её поверхности.

$$f = \frac{M \cdot L^2}{8EJ} \quad (7.5)$$

где E - модуль упругости материала, $E=2 \cdot 10^5$ МПа;

J - момент инерции сечения балки, $J = \frac{b \cdot \delta^3}{12}$

Из формулы (7.5) можно получить, что

$$M = \frac{f \cdot 8 \cdot E \cdot J}{L^2} \quad (7.6)$$

Тогда расчетное напряжения изгиба тарировочной балки будет

$$\sigma = \frac{M}{J} \cdot \frac{\delta}{2} \quad (7.7)$$

Однако в стенке сосуда напряжения двуосные, поэтому в данном случае для определения σ_1 и σ_2 недостаточно просто измерить деформации ε в одном направлении и воспользоваться законом Гука $\sigma = \varepsilon \cdot E$. Необходимо измерить деформацию ε_1 и ε_2 в двух взаимно перпендикулярных направлениях и затем определить напряжения по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2) \\ \sigma_2 &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1) \end{aligned} \quad (7.8)$$

Для сферы напряжение определяется как

$$\sigma = \frac{E}{1-\mu^2} \varepsilon \quad (7.9)$$

где $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$ значения измеренных деформаций;

$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ - напряжения в зоне измерения, МПа;

E - модуль упругости материала сосуда, МПа;

μ - коэффициент Пуассона (в упругой области для стали Ст.3 $\mu = 0,3$).

В данной работе предлагается исследовать распределение напряжений в цилиндрическом сосуде, конструкция и размеры, которого показаны на рис. 7.3. Материал сосуда сталь Ст.3. На данном рисунке приведена схема наклейки датчиков.

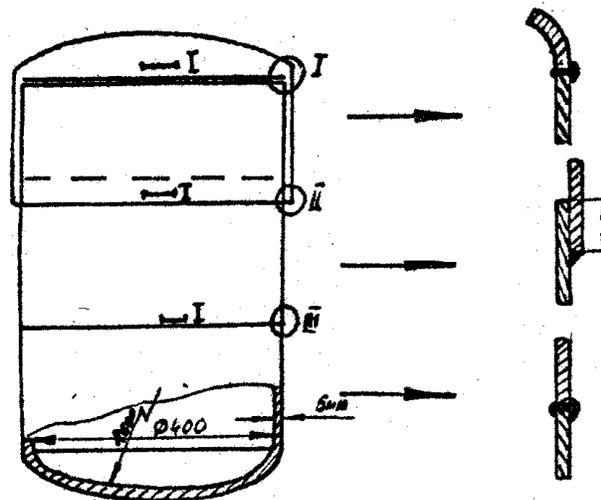


Рис. 7.3. Сварной сосуд для испытаний.

Ни рис. 7.4 приведена гидросхема, с помощью которой в сосуде создается давление с помощью ручного маслонасоса. Насос забирает масло из бачка и нагнетает его через обратный клапан. Величина давления в сосуде контролируется по манометру. Для сброса давления до нуля необходимо открыть сливной кран.

Внимание! Категорически запрещается создавать давление в сосуде более 1 МПа.

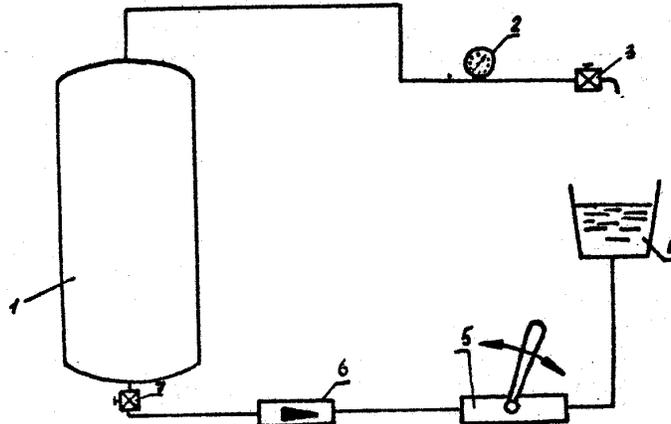


Рис. 7.4. Гидросхема испытаний сварного сосуда:

1 – сварной сосуд; 2 – манометр; 3 – вентиль; 4 – сосуд; 5 – насос.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и правилами работы с ним.
2. Собрать схему, подключить к тензостанции гальванометр и датчики (компенсационный и рабочий)
3. Произвести тарировку тензодатчика на балке и построить тарировочный график
4. Отбалансировать мост тензостанции.
5. Произвести отсчет показаний гальванометра G_n для каждого из рабочих датчиков, поочередно подключая их в схему.
6. С помощью ручного насоса создать в сосуде заданное давление, контролируя его по манометру.
7. Произвести отсчет новых показаний гальванометра G_k для всех рабочих датчиков.
8. Полученные данные, а также результаты последующих расчетов занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1

№ датчиков	Показания гальванометра			Опытное значение, МПа
	G_n , дел	G_k , дел	$\Delta G = G_n - G_k$, дел	

9. Вычислить алгебраическую разность показаний гальванометра для каждого датчика, вычитая из конечного значения G_k начальное значение G_n .
10. С помощью крана сбросить давление в сосуде до нуля, разобрать электросхему. Гальванометр поставить на арретир.
11. Пользуясь тарировочным графиком, перевести разность показаний гальванометра ΔG в деформацию ϵ .

12. Используя соотношения (7.8) и (7.9) рассчитать значения напряжений для всех датчиков.

13. На эскизе сосуда у мест расположения датчиков проставить величину напряжений.

14. Рассчитать теоретические значения напряжений в цилиндрической и сферической части сосуда по формулам (7.2), (7.3), (7.4).

15. Сравнить расчетные и экспериментальные значения напряжений.

16. Объяснить полученные результаты. Сделать выводы об особенностях напряженного состояния сосуда и отдельных его конструктивных элементов.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Эскиз сосуда и его конструктивных элементов с указанием мест наклейки датчиков.
3. Расчетные соотношения для обработки результатов.
4. Таблица результатов измерений и расчетов.
5. Тарировочный график.
6. Расчет напряжений в обеих цилиндрических обечайках и сферическом днище.
7. Краткий анализ напряженного состояния сосуда по опытным данным и выводы.

Контрольные вопросы

1. Напишите формулу Лапласа в общем виде и применительно к сферическим и цилиндрическим сосудам.
2. Почему для определения напряжений в стенке сосуда необходимы показания двух датчиков? Как они должны быть расположены? Напишите зависимости, связывающие их для двусосного растяжения.
3. Опишите методику экспериментального определения напряжения в сосуде, используемую в работе.
4. Чем объяснить различие в соотношении напряжений, измеряемых парами датчиков в цилиндрической и сферической частях сосуда?
5. Чем объяснить снижение напряжений в цилиндрической части сосуда вблизи днищ?
6. Почему в отдельных зонах сосуда, нагруженного внутренним давлением, возникают напряжения сжатия?

Лабораторная работа № 8 СНЯТИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ОТПУСКОМ

Цель работы: определение эффективности высокотемпературного отпуска для снятия напряжений и деформаций.

Содержание работы

Наиболее распространенным способом снятия остаточных напряжений в сварных конструкциях является высокотемпературный отпуск

Снятие напряжений основано на том явлении, что при нагреве и в процессе выдержки возникают пластические деформации металла (ползучесть), приводящие к снижению остаточных напряжений рис. 8.1.

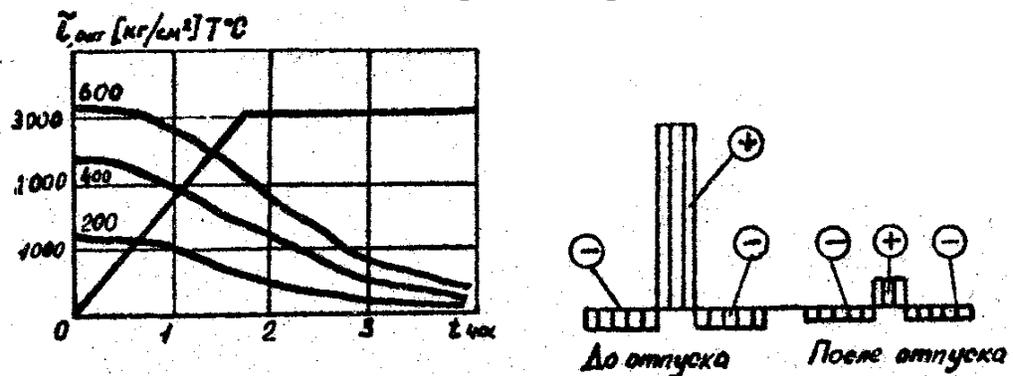


Рис. 8.1. Снижение напряжений при отпуске

Для конструкций из малоуглеродистых сталей температура отпуска составляет 600-700°C.

Так как снятие напряжений при высоком отпуске происходит как в области растягивающих, так и в области сжимающих напряжений, то отпуск практически почти не устраняет сварочных деформаций.

В некоторых случаях, когда другие способы устранения деформаций являются неэффективными, применяют отпуск в зажимных приспособлениях, которые придают изделию необходимую форму. Изделие, прошедшее отпуск в зажимном приспособлении, сохраняет после отпуска форму, которую оно имело будучи зажатым в приспособлении. Измерение напряжений до и после отпуска производится на специальном стержне, который натягивается гайками (рис. 8.2.).

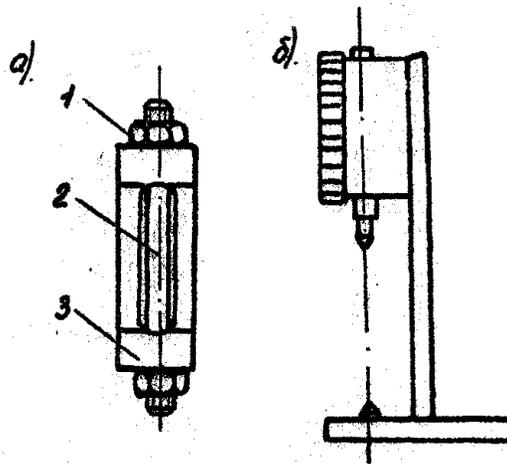


Рис. 8.2. Образец для испытаний в рамке (а) и приспособление для измерения его удлинения (б)

Измерение деформаций производится на двух тонких (1+1,5мм) пластинах, проваренных на шовной машине и имеющих остаточные деформации.

Порядок выполнения работы

1. Вставить стержень 2 (см. рис. 8.2, а) в рамку 3 и навинтить гайки 1.
2. Замерить в приспособлении (рис. 8.2, б) исходную относительную длину стержня 2, сняв наименьшее показание индикатора при вращении стержня вокруг оси. Заметить верхний конец стержня во избежание переворачивания стержня при повторных измерениях.
3. Подсчитать величину деформации стержня, соответствующую $\sigma_T=210\text{МПа}$. Материал стержня Ст.3.
4. Натяжением гаек 1 вызвать в стержне 2 напряжение, равное 210 МПа. Величину напряжения контролировать по мере натяжения, измеряя стержень в мерительном приспособлении (см. рис. 8.2, б).
5. Замерить в четырех углах величину выхода из плоскости двух свободно лежащих сварных пластин.
6. Зажать в зажимном приспособлении одну пластину.
7. Загрузить в печь как указано на рис. 8.3, следующие образцы: пластину в зажимном приспособлении, пластину в свободном состоянии и стержень в рамке. Закрыть печь.

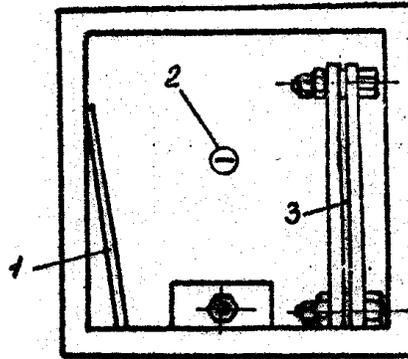


Рис. 8.3. Расположение образцов в печи:

1 – пластина в свободном состоянии; 2 – термопара; 3 – пластина в зажимном приспособлении.

8. По достижении в печи $T=650^{\circ}\text{C}$ выдержать образцы в течении 40 мин.

9. Выключить печь и выгрузить все образцы на металлическую пластину. Выдержать до полного остывания.

10. Не вынимая стержень из рамки, замерить его в мерительном приспособлении (см. рис. 8.2 б).

11. Отпустить гайки и измерить стержень вторично.

12. Подсчитать остаточные напряжения после отпуска.

13. Вынуть пластину из приспособления и сравнить ее с пластиной, проходившей отпуск в свободном состоянии. Замерить вторично величину выхода пластин из плоскости.

Содержание отчета.

1. Цель работы
2. Эскиз испытуемого образца и схема измерений
3. Порядок выполнения работы.
4. Результаты эксперимента с соответствующими расчетами.
5. Выводы по работе

Контрольные вопросы

1. С какой целью производится отпуск сварных конструкций?
2. Какие известны способы устранения напряжений и деформаций?
3. Почему отпуск снижает остаточные сварочные напряжения?
4. Устраняет ли отпуск остаточные сварочные деформации?

Список используемой литературы

1. Лабораторные работы по сварке. Под редакцией Г.А.Николаева, М.: Высшая школа, 1971. 320 с.
2. Г. А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций. М.: Высшая школа, 1981. 270 с.
3. Г.А. Николаев, С.А. Куркин, З.А. Винокуров. Сварные конструкции. Технология изготовления, автоматизация производства и проектирование сварных конструкций. М.: Высшая школа, 1983. 340 с.
4. А.И. Серенко, М.Н. Крумбольдт, К.В. Багрянский. Расчет сварных соединений и конструкций. Примеры и задачи. Киев: Вища школа, 1977. 335 с.