

Документ подписан простой электронной подписью

1

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 27.09.2023 12:06:42

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)
Кафедра машиностроительных технологий и оборудования



ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машинострое-
ние»

Курск 2019

УДК 621.791

Составители: Ю.В. Чернышев, А.Н. Гречухин

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *О.С. Зубкова*

Проектирование сварных конструкций: методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Ю.В. Чернышев, А.Н. Гречухин. – Курск, 2019. – 22 с. – Библиогр.: с.

Изложены методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Проектирование сварных конструкций». Указывается содержание теоретической части, порядок выполнения работы, методика обработки результатов и оформления лабораторных работ.

Методические указания соответствуют требованиям ВГОС ВО направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение» по профилю «Оборудование и технология сварочного производства».

Предназначены для студентов очной и заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции.

Подписано в печать 18.09.2019. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 1,4. Уч. –изд. л. 1,2. Тираж 100 экз. Заказ 568. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск ул. 50 лет Октября, 94.

Оглавление

Общие методические рекомендации.....	4
Содержание отчета.....	4
Лабораторная работа №1. «Изучение методики измерения напряжений и деформаций с помощью тензодатчиков»	5
Тензодатчик.....	6
Лабораторная работа №2. «Исследование распределения напряжения в стыковых швах»	9
Лабораторная работа №3. «Прочность точечных соединений при статическом и повторно-статическом нагружении»	13
Лабораторная работа №4. «Определение величины усадочной силы и прогиба при наплавке валика на кромку полосы».....	15
Лабораторная работа №5. «Влияние механических свойств металла на прочность при наличии собственных напряжений»	19
Лабораторная работа №6. «Измерение рабочих напряжений в элементах фермы».....	22
Библиографический список.....	25

Общие методические рекомендации

Перед выполнением лабораторных работ студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности, получить у лаборанта техническую документацию материалы и инструмент. Перед началом опытов каждый студент должен ознакомиться со схемой и устройством опытной установки и характеристиками приборов. До начала эксперимента необходимо подготовить таблицы для записи показаний приборов, изменений и результатов расчетов. После окончания работы рабочее место, оборудование и аппаратура приводятся в порядок и сдаются лаборанту

Для более полного ответа на контрольные вопросы во время лабораторных работ необходимо пользоваться учебной литературой и конспектом лекций.

Содержание отчета

Название работы, цель работы, эскизы и схемы, необходимые расчетные формулы и расчеты, экспериментальные данные в виде таблиц, обработка результатов опытов, ответы на контрольные вопросы (обязательно письменно)

Лабораторная работа №1. «Изучение методики измерения напряжений и деформаций с помощью тензодатчиков»

1. Цель работы: изучение методики измерения напряжений и деформаций в сварных конструкциях с помощью тензодатчиков и тарировка проволочных датчиков.

2. Общие положения.

Измерение напряжений в деталях, узлах и конструкциях, работающих в области упругих деформаций, с помощью тензодатчиков основано на измерении электрического сопротивления датчика вследствие его деформации.

Рабочим элементом датчика является константановая проволока диаметром несколько десятков микрон, вклеенная в бумажную основу. Если металлическую проволоку подвергнуть действию растягивающей силы, то в результате изменения величины удельного сопротивления материала, изменения длины и сечения проволоки, ее электрическое сопротивление тоже изменится. Опыт показывает, что изменение относительного сопротивления пропорционально деформации металла и может быть использовано для её измерения. Измерения производятся по мостовой схеме (рис.1) с использованием тензостанции ИД-62М.

При пропускании постоянного электрического тока через мост между точками «а» и «б» возникает разность потенциалов, которая регистрируется гальванометром Г. С помощью реохорда R_p стрелка гальванометра выводится на «0» и снимается первое показание, которое будет базовым.

После нагружения датчика снова производится балансировка моста к снимается второе показание. По их разности определяются значения напряжений и деформаций. В связи с тем, что показания реохорда представляют собой отвлеченные величины, необходима тарировка тензодатчиков. Тарировка производится с использованием тарировочной балочки, схема которой приведена на рис. 2.

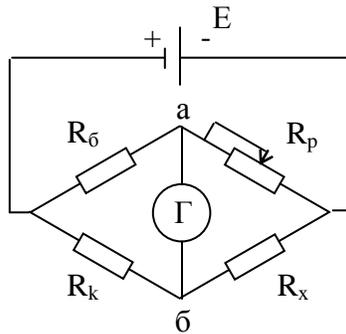


Рисунок 1 - Схема измерения:
 R_x – измеряемое сопротивление
 R_k – компенсационной датчик;
 R_p – реохорд;
 $R_б$ – балластное сопротивление;
 Γ – гальванометр ;
 E – источник питания.

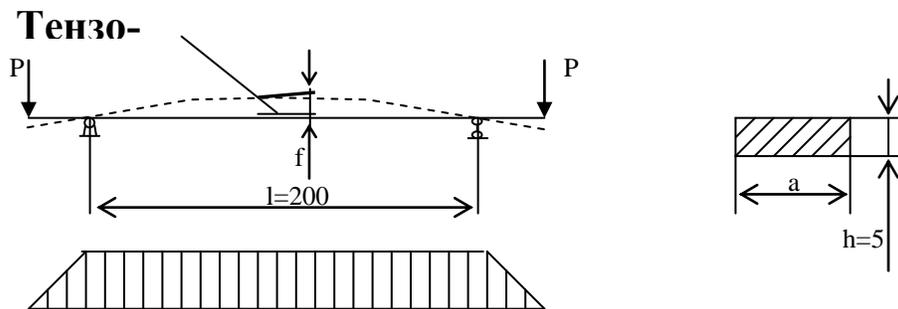


Рисунок 2 - Схема испытаний

Величина прогиба f для данной схемы нагружения равна:

$$f = \frac{M \cdot l^2}{8E \cdot I}, \quad (1)$$

где модуль упругости $E=2.2 \cdot 10^5$ МПа или $E=2.2 \cdot 10^4$ кН/см²;
 момент $M=\sigma W$, где σ - напряжение на поверхности балочки, измеряемое тензодатчиком;

момент сопротивления - $W = \frac{ah^2}{6}$;

момент инерции - $J = \frac{ah^3}{12}$;

подставляя значения в формулу (1) получим:

$$f = \frac{\sigma \frac{ah^2}{6} \cdot l^2}{8E \frac{ah^3}{12}} = \frac{\sigma \cdot l^2}{4Eh}; \quad \sigma = \frac{4Eh}{l^2} \cdot f \quad (2)$$

Прогиб f измеряется индикатором часового типа.

3. Порядок выполнения работы.

1 Рассчитать значения напряжения (σ_1) на поверхности балочки по формуле (2) для $f = 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ мм и занести в таблицу:

Таблица – Форма таблицы для оформления отчета

$f, \text{мм}$	Γ	$\Delta\Gamma$	σ_1 кН/см ²	σ_2 кН/см ²

2 Присоединить схему к тензостанции и замерить базовое значение ($\Gamma_{\text{баз}}$) при $f=0$ для датчика №1.

3 Замерить значения при различных f .

4 Подсчитать $\Delta\Gamma = \Gamma_{\text{баз}} - \Gamma$.

5 построить тарировочный график в координатах $\Delta\Gamma$ - σ .

6 В связи с тем, что тарировка проводится на балочке из стали У8 с модулем упругости $E=2.2 \cdot 10^4$ кН/см², а в дальнейшем будут также образцы из сплава Д16Т с $E_1=0.71 \cdot 10^4$ кН/см², построить тари-

ровочный график для сплава Д16Т, умножив соответствующие значения σ_1 , на переводной коэффициент:

$$\sigma_2 = \sigma_1 K,$$

$$\text{где } K = \frac{E_1}{E}$$

7 Повторить п.п. 2-6 для датчика №2.

4 Контрольные вопросы.

Объяснить устройство проволочных тензодатчиков и принцип измерения напряжений?

Описать работу электрической схемы измерения?

Обосновать необходимость тарировки тензодатчиков?

Лабораторная работа №2. «Исследование распределения напряжения в стыковых швах»

1 Цель работы: Исследовать распределение напряжений в поперечном сечении стыковых соединений при осевом растяжении.

2 Общие положения.

При расчете сварных швов работающих при статической нагрузке принимается, что напряжения равномерно распределяются по сечению шва и расчет ведется по среднему значению напряжений:

$$\sigma_{\text{ср.}} = P/F,$$

где $\sigma_{\text{ср.}}$ - расчетные напряжения;

P - нагрузка;

F - площадь сечения шва.

В действительности напряжения распределяются неравномерно. Однако для пластичных материалов, работающих при статической нагрузке, это не оказывает существенного влияния на работоспособность конструкции .

Превышение величины среднего значения напряжений на отдельном участке шва называется концентрацией напряжений, которая характеризуется коэффициентом концентрации K :

$$K = \sigma_{\text{max}} / \sigma_{\text{ср}},$$

Где σ_{max} - максимальное значение напряжения;

$\sigma_{\text{ср}}$ - среднее значение

Концентрация напряжений опасна при переменной и динамической нагрузке. Поэтому расчет ведется по пониженным допускаемым напряжениям:

$$\sigma \leq \gamma [\sigma]_p$$

где γ - коэффициент снижения допускаемых напряжений;
 $[\sigma]_p$ - допускаемое напряжение

В большинстве случаев:

$$\gamma = \frac{1}{0,6\beta + 0,2 - (0,6\beta - 0,2)r} \leq 1.$$

Где r - характеристика цикла нагружения;
 β - эффективный коэффициент концентрации напряжений.

Исследование распределения напряжений в поперечном сечении стыковых соединений производится на макетах, вырезанных из листового материала стали Ст. 3 или алюминиевого сплава Д16Т. Модули упругости для стали: $E=2,1 \cdot 10^4$ кН/см². для сплава Д16Т равен: $E=0,71 \cdot 10^4$ кН/см².

Измерение напряжений производится с помощью проволочных тензодатчиков сопротивления. Проволочные датчики сопротивления (с базой 20 мм) приклеены к поверхности образцов в местах, где требуется определить действительное напряжение.

Чтобы избежать искажения результатов, вызванного изгибом образца из его плоскости (полученного во время его изготовления), датчики наклеены с обеих сторон один под другим.

Выполняющим работу задаются либо расчетные напряжения, которое необходимо получить в образце, либо нагрузка на образец. Если дано напряжение, то следует замерить площадь сечения образца, а по ней определить необходимую нагрузку.

$$P = \sigma F,$$

Где σ - заданное напряжение в кН/см²;

F – площадь сечения образца в см².

Все данные: № образца, материал образца, модуль упругости, площадь сечения, заданное напряжение и нагрузка обязательно должны быть занесены в отчет.

3. Порядок выполнения работы.

- 1 Получить от преподавателя величину нагрузки P или величину заданных напряжений σ
- 2 Замерить площадь сечения F исследуемого образца.
- 3 Подключить тензодатчики к тензостанции (рис.1).
- 4 Установить образец в растяжное устройство машины.
- 5 Поочередно подключая датчики к тензостанции, замерить разбаланс моста G_n для каждого датчика, показания записать в таблицу.
- 6 Приложить усилие к образцу.
- 7 Поочередно подключая рабочие датчики к тензостанции, замерить конечный разбаланс моста G_k , определяемый рабочими напряжениями в образце. По окончании замеров снять нагрузку с образца.
- 8 Определить приращение показаний гальванометра ΔG для каждого датчика, строго учитывая знаки
- 9 С помощью тарировочного графика определить величину напряжения σ , соответствующего данному приращению показаний гальванометра ΔG .
- 10 Построить эпюры напряжений и после проверки их преподавателем снять образец.
- 11 Установить следующий образец и повторить пункты 2-12.
- 12 Разобрать схему.
- 13 Определить коэффициенты концентраций напряжений.

4. Контрольные вопросы.

- 1 Что такое концентрация напряжений?
- 2 Чем объясняется характер распределения напряжений сечениях сварных швов?
- 3 При каких условиях концентрация напряжений оказывает особенно сильное влияние на прочность сварного соединения?
- 4 Чем полезно снятие усиления стыкового шва путем механической обработки или заглаживания шва?
- 5 Почему трещина является опасным недопустимым дефектом?

6 Назовите причины, вызывающие концентрацию напряжений в сварных конструкциях?

7 Какие существуют меры борьбы с концентрациями напряжений в сварных конструкциях

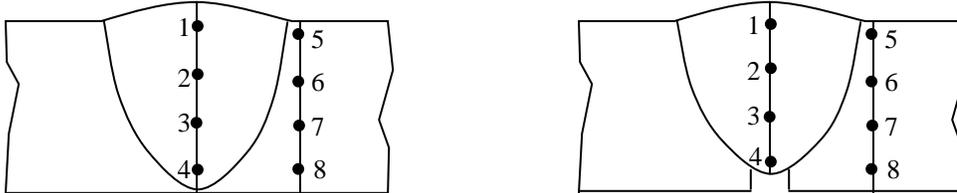


Рисунок 3 - Схемы наклейки тензодатчиков.

Таблица – Форма таблицы

№	$\Gamma_{\text{н}}$	$\Gamma_{\text{к}}$	$\Delta\Gamma$	$\sigma_1, \text{кН/см}^2$

Лабораторная работа №3. «Прочность точечных соединений при статическом и повторно-статическом нагружении»

1 Цель работы: Установить зависимость разрушающего усилия от числа нагружений.

2 Общие положения.

Точечные соединения весьма технологичны и обладают значительной прочностью при статической нагружении. Однако, существенным недостатком являются резкое снижение их прочности при вибрационной и повторно - статической нагрузках. Степень снижения величавы разрушающей нагрузки при повторном нагружении определяется, в основном, значительной концентрацией напряжений в точечном соединении и чувствительности материала к концентратору.

3 Порядок выполнения работы.

1 Одноточечный образец из малоуглеродистой стали разорвать на разрывной машине и определить разрушающее усилие.

2 Повторить указанное в п.1 для второго образца и подсчитать среднюю величину разрушающего усилия.

3 Установить образец из той же стали в захваты машины для повторно-статического испытания при усиллии нагружения равном $0,9 R$ разр. Перед включением механизма нагружения запасать отсчет показания счетчика числа нагружений.

4 Следить, чтобы величина усиллии нагружения в процессе испытания была постоянной, после разрушения записать отсчет показаний счетчика нагружений.

5 Повторить указанное в п.п.3 и 4 для второго образца при усиллии напряжения $0,8 R$ разр.

6 Подсчитать количество циклов нагружения и построить график в координатах нагрузка – число циклов нагружения.

4. Контрольные вопросы.

1 Чем объясняется снижение разрушающего усилия с ростом числа нагружений?

2 Каков характер деформации образца при его нагружении и в какой точке начинается разрушение?

3 Каким образом учитывается концентрация напряжений при расчете точечных соединений?

4 Почему допускаемые напряжения на отрыв в точечных соединениях ниже, чем на срез?

Лабораторная работа №4. «Определение величины усадочной силы и прогиба при наплавке валика на кромку полосы»

1 Цель работы: Рассчитать величину усадочной силы в зависимости от режимов сварки и сравнить с экспериментальными данными.

2 Общие положения.

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 возникают напряжения сжатия и протекают пластические деформации укорочения. При остывании металла возникает его сокращение, появляются напряжения растяжения, а затем возникают и пластические деформации удлинения, как правило, меньше пластических деформаций укорочения, возникающих при нагреве, поэтому после полного остывания в зоне сварного соединения имеются остаточные пластические деформации укорочения $\epsilon_{\text{ост.пл}}$, эпюра которых при сварке встык схематично показана на рис.4. Зона шириной $2 B_n$ носит название зоны пластических деформаций. Если ординату эпюры $\epsilon_{\text{ост.пл}}$ умножить на модуль упругости металла и проинтегрировать эти силы в пределах зоны пластических деформаций, то получим так называемую усадочную силу.

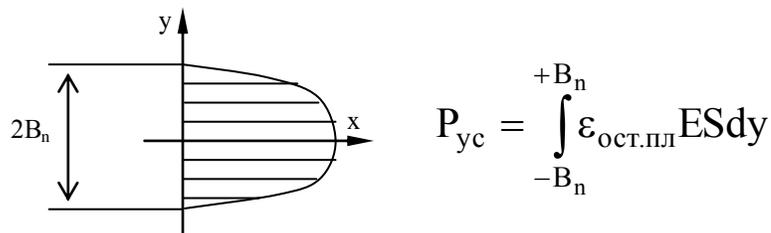


Рисунок 4 - Эпюра деформаций

S – толщина пластины

y – координата точки

Усадочные силы вызывают укорочение сваренных элементов и, если шов расположен не по центру тяжести сечения, создают еще изгибающий момент $M=P_{yc} \cdot e$, где e - расстояние от линии действия P_{yc} до оси балки (рис.5). При этом возникает прогиб балки:

$$f = \frac{ML^2}{8EJ} = \frac{P_{yc} \cdot eL^2}{8EJ},$$

и продольное укорочение:

$$f = \frac{-P_{yc} \cdot L}{FE}$$

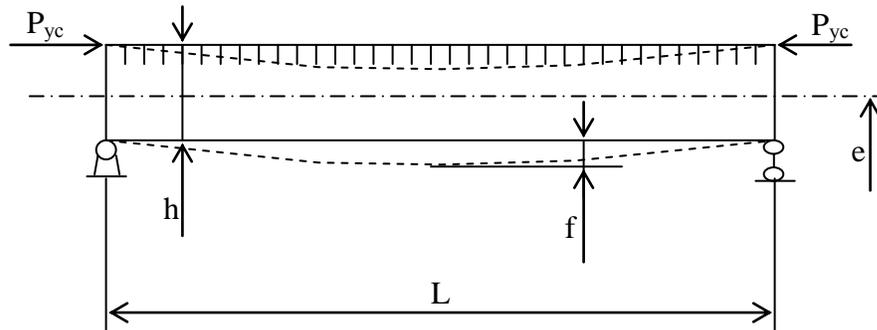


Рисунок 5 - Расчетная схема.

F и J – поперечное сечение и момент инерции относительно оси $У-У$

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 мм. Для устранения прогибов балок используют различные приемы. Одним из распространенных способов устранения прогибов является предварительный изгиб балок в специальном при-

способлении в сторону, противоположную изгибу от сварки. При этом в процессе сварки балка будучи изогнутой, находится в приспособлении в закреплённом 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.

3 Порядок выполнения работы.

Установить полосу на призмы в специальное приспособление так, чтобы надрез на полосе попал на призму. Снять отсчет показаний индикаторной головки (A_1). Результат записать.

Вынуть полосу из приспособления и проварить кромку ручной дуговой сваркой, одновременно фиксируя величину сварочного тока ($I_{св}$), напряжение дуги (U_d) и общее время сварки τ .

Определить скорость сварки:

$$V_{св} = \frac{l}{\tau} \text{ (см/сек) где } l \text{ – длина шва.}$$

Рассчитать эффективную мощность дуги

Рассчитать величину усадочной силы:

$$P_{yc} = - \left(\frac{230000}{q_0 + 12600} + 3.58 \right) \cdot \frac{q}{V_{св}} \text{ в Ньютонах; ;}$$

$$q_0 = \frac{q \cdot 2}{V_{св} \cdot S} \text{ удельная погонная энергия, (Дж / см}^2\text{),}$$

Установить полосу в приспособление и снять показания индикаторной головки после остывания (A_2).

Определить величину прогиба:

$$F = A_1 - A_2$$

Определить величину P_{yc} по экспериментальным данным:

$$P_{yc} = \frac{8EI}{eL^2} \cdot f \text{ (кН)}, \text{ где } E = 2.1 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2;$$

$$I = \frac{sh^3}{12}, \text{ см}^4; e = \frac{h}{2}$$

Сравнить полученный результат с расчетным значением.
Рассчитать величину продольного укорочения ΔL .

4 Контрольные вопросы

- 1 Почему после сварки возникает усадочная сила?
- 2 Почему после сварки возникает изгиб полосы?
- 3 Основные причины образования остаточных напряжений?
- 4 Методы снижения величины остаточных напряжений?

Лабораторная работа №5. «Влияние механических свойств металла на прочность при наличии собственных напряжений»

1 Цель работы: Путем имитации накапливания деформаций в корне многослойного соединения встык показать, что прочность металла шва зависит от его пластических свойств.

2 Общие положения

Степень влияния собственных напряжений на прочность при статической нагрузке, в основном, зависит от исходных пластических свойств материала, от того, в какой мере эти пластические свойства расходуются в процессе изготовления конструкции.

Так, например, при многослойной сварке У - образного шва большой толщины (рис.6) в результате поперечной усадки металла верхних слоев в нижней части шва накапливаются пластические деформации удлинения.

Если эти деформации вследствие концентрации напряжений сосредотачиваются на малой базе (непровар в корне шва, резкий переход от основного металла к металлу подварочного шва), то из-за исчерпания пластических свойств металла возможно образование трещины. Трещина, не образовавшаяся в процессе выполнения и остывания шва, может образоваться при нагружении конструкции. В этом случае рабочие напряжения, складываясь с остаточными, вызовут дополнительную пластическую деформацию в тех местах концентрации напряжений, где пластические свойства израсходованы в наибольшей степени.

Установка для лабораторной работы (рис.7) имитирует условия деформации металла У - образного сварного соединения при многослойной сварке следующим образом. В нижних захватах рычагов 1 и 3 помещают испытываемый образец 5, в верхние захваты вставляют стержень 2 из жаропрочной стали нагретой до температуры 600 – 700⁰С.

Напряжения, возникающие вследствие препятствия свободному сокращению длины стержня при остывании, имитируют собственные напряжения в конструкции и вызывают развитие пластических деформаций в испытываемом образце 5.

В соответствии с тем, что было сказано выше о реальном шве У - образного сечения, разрушение испытываемого образца возможно при следующих обстоятельствах:

1) материал хрупкий, разрушение вызвано относительно малым сокращением стержня 2;

2) материал пластичный, но образец имеет концентратор в виде надреза, вся деформация сосредотачивается в ослабленном сечении на малой базе и относительно малое сокращение стержня 2 вызывает разрушение образца, подобно тому как если бы он был изготовлен из хрупкого материала;

3) материал пластичный; но подвергнут значительной предварительной пластической деформации (образец изготовлен из холоднокатанного прутка). В этом случае значительная часть пластических свойств металла оказывается уже израсходованной ранее и разрушение с образованием шейки возникает при сравнительно малых приращениях всей длины образца.

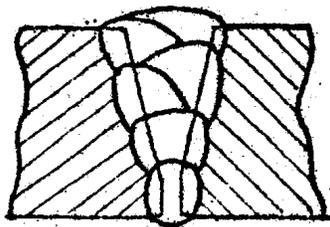


Рисунок 6 - Сварной шов

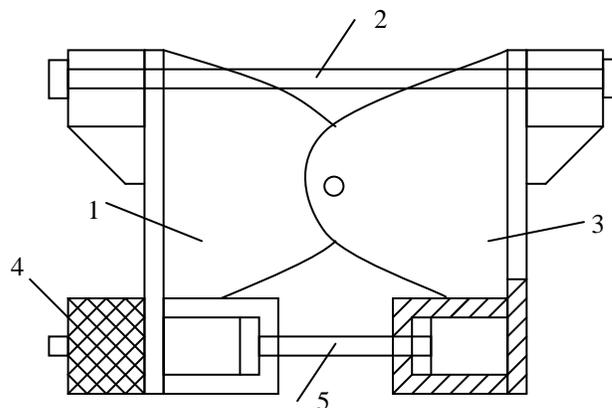


Рисунок 7 - Схема установки

Если подобному испытанию подвергнут образец из холоднокатаного прутка, но предварительно отожженного, то благодаря вос-

становлению пластических свойств деформированного металла, разрушения не происходит.

Испытывают образцы из чугуна, холоднокатаного стального прутка, подвергнутого отжигу и без него, с надрезом и без надреза.

3 Порядок выполнения работы.

1 Установить образец №1 в захваты приспособления, предварительно измерив его длину.

2 Нагреть стержень 2 в электропечи до температуры 600 – 700⁰С. Контроль температуры производить по цвету нагретого стержня.

3 Вынуть стержень 2 из печи, установить его в верхние захваты рычагов приспособления и немедленно завернуть маховичок 4 до отказа.

4 Наблюдать за остыванием стержня и зафиксировать результаты испытания образца №1.

5 Прodelать п.п. 1-4 для образцов №2,3,4.

6 Измерить полную длину образцов после испытания и определить их удлинение.

4. Контрольные вопросы.

1 В каких случаях остаточные напряжения могут быть опасны для прочности сварной конструкции?

2 При каких условиях в процессе изготовления сварного изделия возможно накапливание значительных пластических деформаций?

3 Может ли высокий отпуск, применяемый для снятия остаточных напряжений, восстановить пластические свойства металла в зоне концентратора?

Лабораторная работа №6. «Измерение рабочих напряжений в элементах фермы»

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

2 Общие положения.

При расчете ферм предполагается, что в узлах системы имеются идеальные шарниры, оси всех стержней прямолинейны, расположены в одной плоскости и пересекаются в узле в одной точке (центре узла).

Стержни такой идеальной системы работают только на осевые усилия. Напряжения, найденные по этим усилиям, являются основными.

В связи с фактической жесткостью угловых соединений в стержнях фермы возникают напряжения, которые расчетом не учитываются, т.к. они не влияют на несущую способность конструкции. Кроме того, в стержнях фермы возникают напряжения от моментов в результате неполного центрирования стержней. Эти напряжения являющиеся основными, так же как правило, расчетом не учитываются, т.к. по малости допускаемых в фермах эксцентриситетов они лишь незначительно влияют на несущую способность ферм.

Многочисленные исследования отдельно стоящих ферм показали, что при упругой работе фактические напряжения в стержнях меньше теоретических: в легких - в среднем на 10%. в тяжелых - на 18%. Это является результатом отличия фактической конструкции фермы от ее расчетной схемы.

Измерение рабочих напряжений производится в элементах сварной фермы. Нагружение осуществляется специальным домкратом, соединенным с помощью стяжки с одним из узлов фермы.

Для измерения прогиба фермы используются индикаторные головки часового типа.

Выполняющим работу задаются: схема нагружения фермы и нагрузка на ферму.

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

3 Порядок выполнения работы.

1 Ознакомиться с методом измерения напряжений проволочными тензодатчиками и схемой измерительного пульта.

2 Отбалансировать мосты при последовательном включении каждого из рабочих тензодатчиков и отсчеты по указателю реохорда записать в таблицу.

3 Нагрузить первый узел.

4 Произвести отсчеты показаний гальванометра для датчиков, наклеенных на элементы главной фермы и результаты занести в табл.

5 Снять нагрузку.

6 Нагрузить второй узел.

7 Произвести отсчет показаний гальванометра для датчиков, и результаты занести в таблицу

8 Снять нагрузку.

9 По тарировочному графику определить напряжения в используемых элементах, результаты занести в таблицу.

Таблица – форма таблицы

№ стержня	I-е Нагружение					II-е Нагружение				

10 Для указанных преподавателем элементов главной фермы построить линии влияния по результатам измерений напряжений.

11 Методом вырезания узлов подсчитать напряжения в стержнях и полученные результаты нанести на графики линий влияния.

12 Сравнить данные, полученные экспериментальным путем и расчетным путем.

4 Контрольные вопросы.

1 В каких элементах главной фермы знак напряжений меняется в зависимости от расположения сосредоточенной нагрузки?

2 Из каких соображений следует выбирать место наклейки датчиков на элементах ферм?

3 Основные требования при проектировании ферменных конструкций?

Библиографический список

1. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций. М.: 1982.
2. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Технология изготовления. Автоматизация производства и проектирование сварных конструкций. М.:1983.
3. Николаев Г.А. и др. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций., М.: 1971.
4. Николаев Г.А. Расчет сварных соединений и прочность сварных конструкций. М.: 1965.
5. Николаев Г.А. Сварные конструкции. М.: 1962.
6. Серенко А.Н. и др. Расчет сварных соединений и конструкций. Киев, 1977.
7. Васильев А.А. металлические конструкции. М.: 1968.
8. Богуславский П.Е. Металлические конструкции грузоподъемных машин и сооружений. М.: 1961.
9. Чеканов А.А. Типовые сварные конструкции. М.: 1968.
10. Кубланов Н.П., Спленглер И.Е. Строительная механика и металлические конструкции кранов. Киев. 1968.
11. Мандриков А.П., Лянин И.М. Проектирование металлических конструкций. М.: 1973 г.