

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНСКОЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Машины и автоматизация сварочного производства»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе № 3
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ТОЧЕЧНЫХ СВАРНЫХ
СОЕДИНЕНИЯХ

по курсу
Расчет и проектирование сварных конструкций

Ростов-на-Дону
2022

УДК 621.791.052

Составители: Ю.Г. Людмирский, С.С. Ассауленко, А.Л. Черногоров

Методические указания Экспериментальная оценка
напряженно-деформированного состояния в точечных
сварных соединениях по дисциплине «Расчет и
проектирование сварных конструкций». – Ростов-на-Дону:
Донской гос. техн. ун-т, 2022. – 10 с.

В указании изложены методика экспериментальной оценки напряженно-деформированного состояния в стыковых и тавровых сварных соединениях, основные теоретические положения и контрольные вопросы для самопроверки.

Предназначены для обучающихся направлений подготовки по программе бакалавриата 15.03.01 Машиностроение, профиль Оборудование и технология сварочного производств.

Кафедра «Машины и автоматизация сварочного производства» выражает глубокую благодарность М.Н. Крумбольдту и В.Н. Фомину и отмечает, что настоящее пособие разработано на основе ранее опубликованных методических разработок этими авторами

УДК 621.791.052

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор док. техн. наук, профессор Ю.Г. Людмирский

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Машины и автоматизация сварочного
производства» канд. техн. наук, зав. кафедрой С.В. Нескормный

В печать _____.____.2022 г.

Формат 60×84/16. Объем 0,6 усл. п. л.

Тираж ____ экз. Заказ № ____

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
технический университет, 2022

1 Цель работы

Исследовать распределение напряжений в макетах точечных сварных соединений.

2. Общие положения.

При расчете точечного сварного соединения, нагруженного продольной силой напряжения среза в точках, определяют по формуле:

$$\tau_0 = \frac{P}{nF_0},$$

где P – продольная сила, действующая на соединение;

n – число срезов точек;

F_0 – площадь среза точки ($F_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$), где d_0 – диаметр сварной точки.

При этом в расчете предполагают, что все точки соединения воспринимают равные доли нагрузки. Однако исследования показывают, что усилия, действующие на точки продольного ряда, распределяются крайне неравномерно (продольный ряд точек – это точки, расположенные вдоль действия силы). Распределение усилий между точками в продольном ряду при шаге $t=3d_0$ может быть представлено:

две точки	50%	50%			
три точки	45%	10%	45%		
четыре точки	43,6%	6,4%	6,4%	43,6%	
пять точек	43,5%	5,8%	1,4%	5,8%	43,5%

Видно, что крайние точки оказываются нагруженными значительно сильнее, чем средние. С увеличением числа точек в продольном ряду такая диспропорция возрастает. Подобное явление имеет место при работе соединения в пределах упругости. таким образом, концентрация напряжений тем выше, чем больше точек располагается друг за другом в направлении действия силы. Поэтому при статических нагрузках из каждого продольного ряда точек в расчет берется не более 5 точек. При динамических или усталостных нагрузках, где концентрация напряжений сильно снижает прочность соединений, из каждого продольного ряда в расчет берется не более 2-х точек.

Если площади сечения свариваемых пластин неодинаковы, то величина концентрации напряжения больше для точек, лежащих со стороны пластины, имеющей меньшее сечение.

При нагружении поперечной перерезывающей силой образца макета образца, представленного на рис.3, имитирующего двутавровую балку, расчетные касательные напряжения в точках определяют по формуле Журавского.

$$\tau = \frac{Q \cdot S_x}{J_x} \cdot \frac{t}{nF_o}$$

где Q – перерезывающая сила;

S_x – статический момент части сечения балки, отделяющейся в результате среза точек;

t – шаг точек;

J_x – момент инерции сечения балки относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести сечения;

n – число точек в поперечном ряду (в нашем случае одна);

F_o – площадь среза точки.

В данной работе распределение напряжений в продольных рядах точек определяют на макетах образцов, показанных на рис.1 и рис.2, имитирующих продольный разрез сварного соединения, состоящего из трех листов, сваренных внахлестку через три толщины пятью точками. Образцы изготовлены из сплава АмГб, модель упругости которого $E=0,69 \cdot 10^5$ МПа. В образце 1 сумма площадей сечения крайних листов вдвое больше площади сечения среднего $\Sigma F_k = 2F_c$. В образце 2 сумма площадей сечения крайних листов равна площади сечения среднего листа $\Sigma F_k = 2F_c$.

Исследования распределения напряжений в сварных точках консольной балки, нагруженной поперечной силой Q , определяют на образце – макете. Материал макета сталь Ст.5, модуль упругости которой $E=2,2 \cdot 10^5$ МПа. Размеры образца и схема нагружения показана на рис.3. Величину нагрузки Q оценивают по прогибу балки, измеряемому индикатором часового типа. Необходимый прогиб, соответствующий заданной нагрузке Q , определяют по тарифовочному графику.

Точки соединения (рис. 3) работают на срез под действием касательных напряжений, вызывающих сдвиговые деформации. Надежных способов замера сдвиговых деформаций нет, поэтому для определения величины касательных напряжений в сварных точках используют косвенный метод. Он заключается в том, что вначале определяют величину усилия, передающегося через каждую точку с одной детали на другую. Для этого достаточно при нагружении

образцов в местах наклейки тензодатчиков измерить деформации ε_i . Усилия, действующие в этих местах, определяют по формуле:

$$P_i = \varepsilon_i EF$$

где E – модуль упругости материала;

F – площадь сечения пластины, на которую наклеены тензодатчики.

Зная усилия, действующие в сечении элемента перед каждой точкой и за ней, можно заключить, что разность усилий $\Delta P_i = P_i - P_{i+1}$ передается через точку с одной пластины на другую. Так в образцах 1 и 2 (рис. 1 и 2) разница усилий $\Delta P_i = P_i - P_{i+1}$ в среднем листе соответствует усилию, переданному на крайние пластины через две точки, а напряжения в этих точках определяются по формуле.

$$\tau_o = \frac{\Delta P_i}{2F_o}$$

где двойка учитывает, что передача усилия идет через две точки, присоединяющие крайние пластины к средней. Здесь F_0 – площадь среза точки, которая в образце равна произведению длины ядра точки (20 мм) на толщину образца (6 мм).

В образце рис. 3 усилия перед точкой P_i и за точкой P_{i+1} измеряется в крайних листах. разность этих усилий $\Delta P_i = P_i - P_{i+1}$ передается через одну точку на среднюю пластину, поэтому напряжения в каждой точке подсчитываются по формуле

$$\tau_0 = \frac{\Delta P}{F_0}$$

Здесь F – площадь среза точки, которая равна произведению длины ядра точки (20 мм) на толщину образца (10 мм). Измененные напряжения в точках сравнить с расчетными. Определить α_σ – теоретический коэффициент концентрации напряжений в каждом соединении. Построить диаграмму распределения напряжения в точках. По полученным результатам сделать выводы.

3 Приборы и оборудование, необходимые для выполнения работ.

- 3.1. Макеты точечных сварных соединений – образцы (рис. 1-3).
- 3.2. Машины для растяжения образцов.
- 3.3. Измеритель деформаций цифровой ЦТИ-1.
- 3.4. Штангенциркуль.

4. Порядок выполнения работы.

ВНИМАНИЕ. К работе в лаборатории допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности, с записью в специальном журнале, а студенты - в контрольном листе. Перед включением установок необходимо предварительно, внешним осмотром, убедиться в наличии заземления.

1. Записать величину растягивающей нагрузки P для образцов (рис.1,2), силу Q для образца (рис.3). Величину P и Q задает лаборант или преподаватель.

ВНИМАНИЕ! Нагрузка P на образцы (рис. 1.2) не более 13 кН (не более 130 делений по индикатору, установленному на машину). Для образца (рис.3) сила Q не более 3,8 кН, т.е. не более 410 делений по индикатору часового типа, закрепленному на макете.

2. Зная усилия P и Q по тарифовочным графикам для испытательной машины $\Delta f_p = F(p)$ и макета $\Delta f_\phi = \phi(Q)$ определить показания индикаторов, где Δf_p и Δf_ϕ – показания индикаторов, соответствующие заданным нагрузкам на графиках. Полученные данные записать в протокол.

Примечание. Машина для растяжения образцов сконструирована таким образом, что соответствующую нагрузку на образец регистрируют с помощью индикатора часового типа, установленного на ней. Подобный индикатор установлен и на образце-макете (рис. 3). Графики для машины и для образца-макета получить у лаборанта.

3. Установить образец (рис.1) в захваты машины растяжения и закрепить сначала верхним, а затем нижним штырями. Нижний штырь должен входить свободно, иначе надо поднять или опустить нижний захват. Для опускания захвата рукоятку вращать на себя (против часовой стрелки). Перед нагружением установленного образца индикатор машины установить на ноль.

4. Подключить тензодатчики к измерителю деформаций ЦТИ-1. По очереди подключая датчики, снять начальные показания I_n для всех датчиков и записать в таблицу.

4.5 Нагрузить образец заданной нагрузкой P . Для нагружения рукоятку вращать против часовой стрелки.

4.6. Снять показания датчиков I_k под нагрузкой и записать в таблицу. После чего образец разгрузить, а источник тока и прибор ЦТИ-1 отключить от сети.

Таблица Результаты измерений

№ дат.	Показания измерителя ЦТИ-1		Относительная деформация $\varepsilon_i = (I_k - I_H) \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\bar{e}} + \varepsilon_i}{2}$	$P_i = \varepsilon_i EF$	$\Delta P_i = P_i - P_{i+1}$	$\tau_o = \frac{\Delta P_i}{nF_o}$
	I_H	I_K					
1							
2							
3							
4							
5							
6							
*							

Примечание: *Количество строк в таблице должно соответствовать количеству датчиков, наклеенных на исследуемый образец.

$\varepsilon_{\text{д}}$ и ε_o - относительная деформация, измеренная датчиками с лицевой и оборотной стороны образца.

I_H – начальное показание прибора ЦТИ-1, принятое за условный нуль при нагрузке $P=0$.

I_K – конечное показание прибора ЦТИ-1 при нагруженном образце.

7. Повторить действия по пунктам 3 ... 6 для образца рис.2.

8. Подключить тензодатчики образца 3 к измерителю деформаций “ЦТИ-1” и снять начальные показания – I_H датчиков без нагрузки. Данные записать в таблицу .

9. Нагрузить образец заданной нагрузкой. Снять конечные измерения I_K всех датчиков под нагрузкой, данные записать в таблицу.

10. Макет-образец полностью разгрузить.

11. Подсчитать деформацию $\varepsilon = (I_K - I_H) \cdot 10^{-5}$, зафиксированную каждым датчиком, определить ε_i .

12. Подсчитать усилие P_i в сечениях между точкам по формуле $P_i = \varepsilon_i EF$ и, определив разности усилий ΔP_i , по ним найти напряжения в каждой точке - τ_0

13. Построить диаграмму напряжений в точках и сравнить полученные истинные напряжения с расчётными. Подсчитать коэффициенты концентрации напряжений для исследованных сварных соединений.

14. Сделать выводы по полученным результатам.

15. Оформить отчет. Подготовить ответы на контрольные вопросы и сдать отчет преподавателю.

5 Содержание отчета

Отчет оформляется в тетради. Каждому образцу отводится две смежные страницы. На левой странице вверху записываются номер образца, материал модель упругости E , все нужные размеры, заданные нагрузки и показания индикаторов, соответствующие заданным нагрузкам.

Ниже помещается таблица с записью результатов и вычислений. На правой странице помещают эскиз образца (крупно на всю страницу), под эскизом дают расчет средних напряжений в точках и теоретического коэффициента концентрации напряжений. На эскизах условно показывают расположение датчиков, номера датчиков (1 датчика, наклеенного на обратной стороне, указывается в скобках). В конце работы делаются выводы.

6 Вопросы для самопроверки

1. При растяжении точечного соединения двух листов, сваренных в нахлестку, листы соединения изгибаются. В чем причина изгиба? Чем вреден изгиб?

2. В чем различие в распределении напряжений в точках при двух точках и при нескольких точках, стоящих друг за другом в направлении действия силы?

3. Как распределяются напряжения в точках продольного ряда при сварке элементов с неодинаковым поперечным сечением?

4. Надо ли учитывать при расчетах наличие концентрации напряжений в продольном ряду точечного соединения и в чем состоит учет концентрации напряжений?

5. Есть ли концентрация напряжений в продольном ряде точек балки, работающей на поперечный изгиб? Ограничено ли число точек в продольном ряде такой балки?

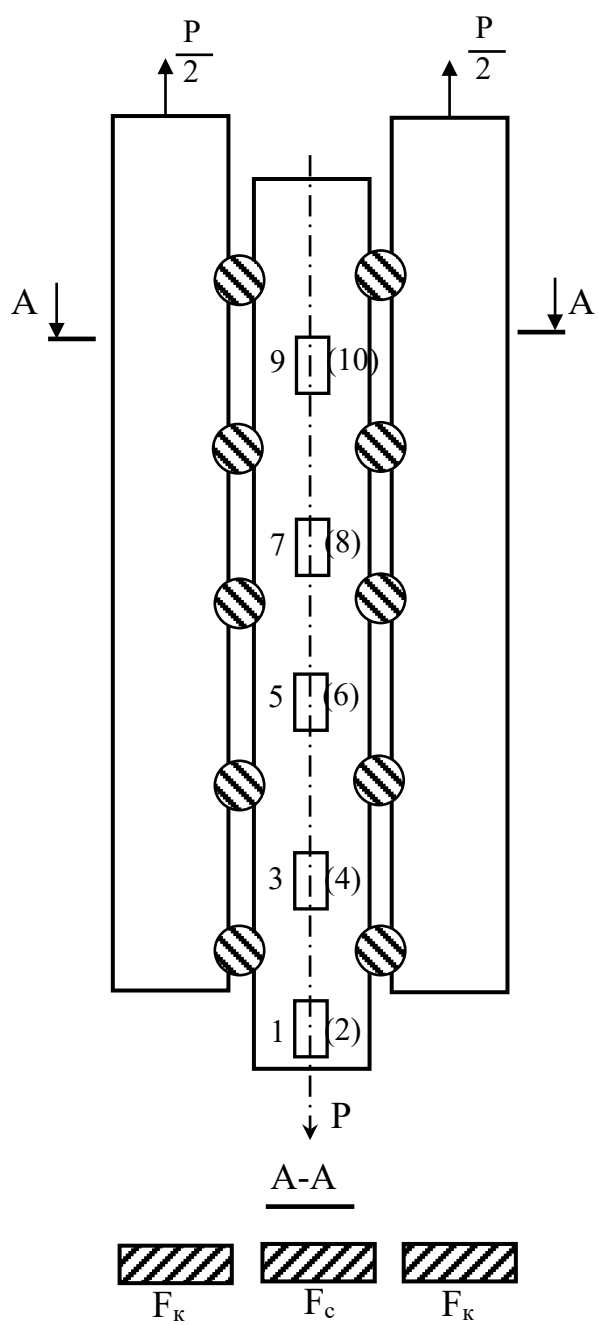


Рис. 1

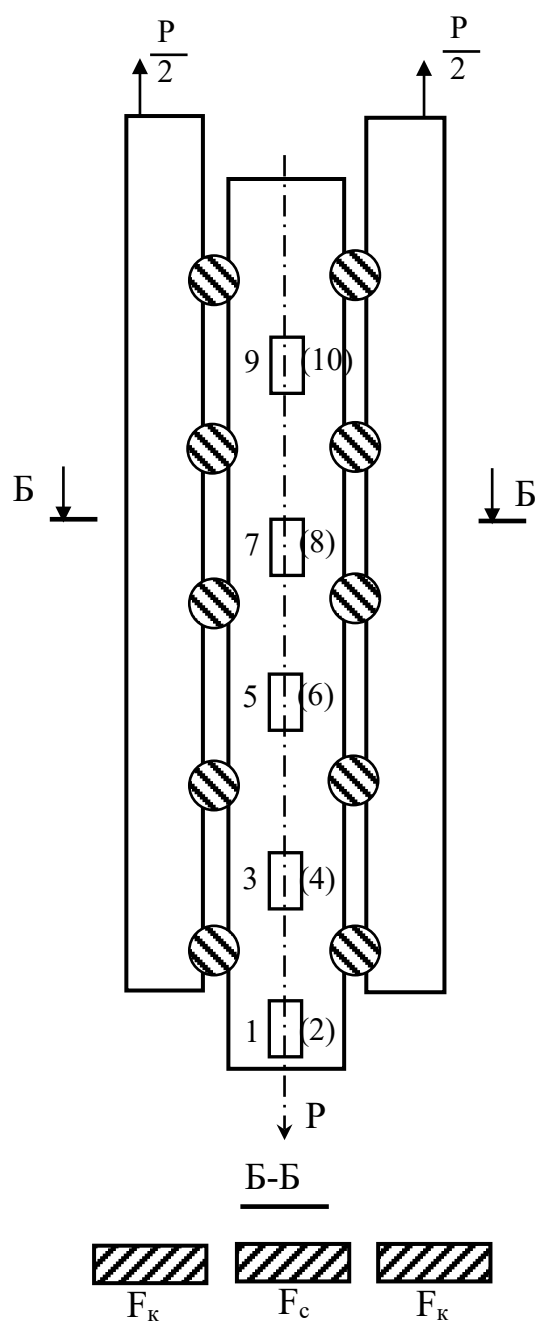


Рис. 2

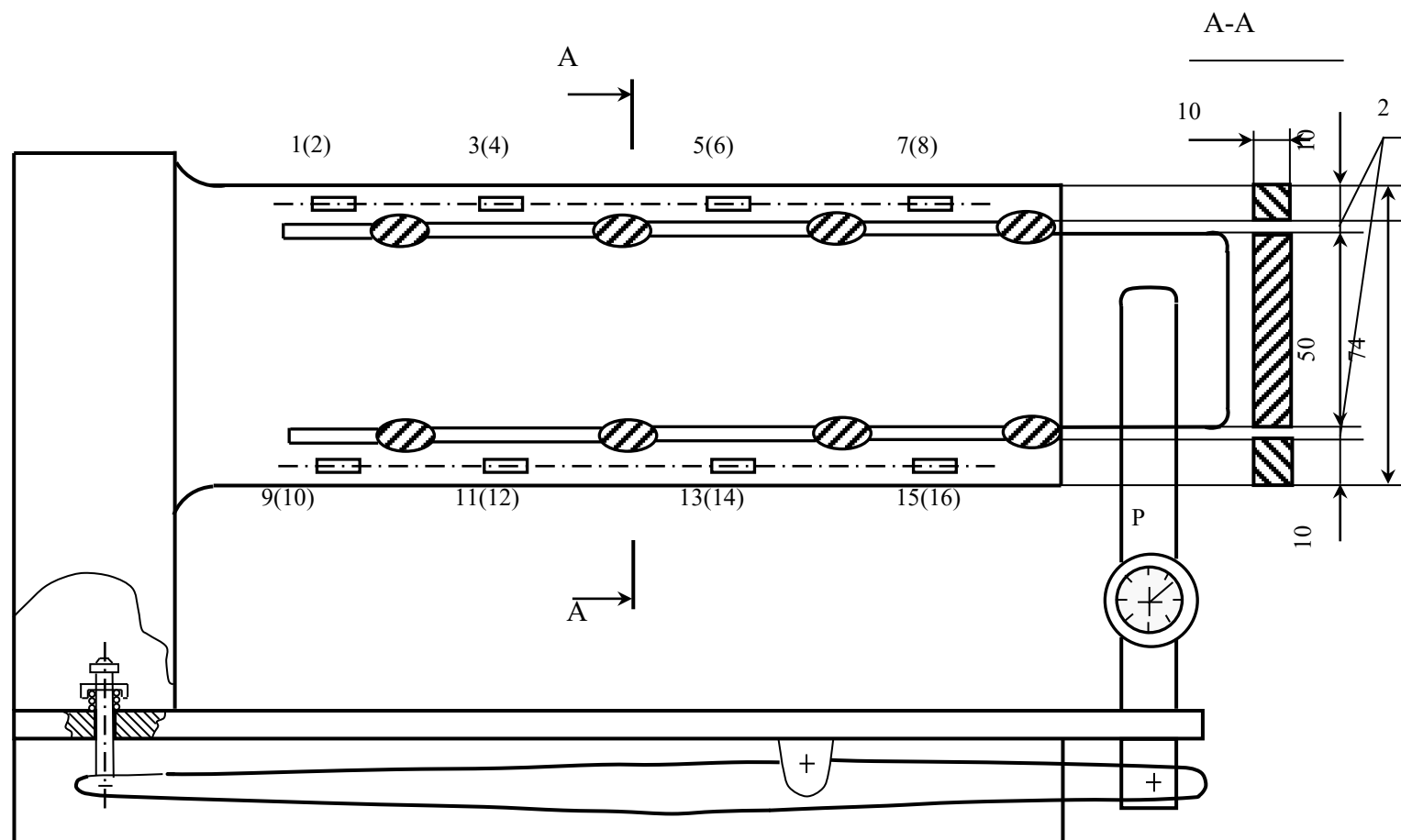


Рис. 3