

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»



С. В. Якубовская

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ
ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОЛОСЫ,
ОСЛАБЛЕННОЙ КРУГЛЫМ ОТВЕРСТИЕМ

Методические указания
к лабораторной работе по сопротивлению материалов
для студентов специальностей
1-36 01 01, 1-36 01 03, 1-36 01 06, 1-37 01 06, 1-37 01 07

Новополоцк
ПГУ
2016

УДК 539.3/.4(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией факультета машиностроения и автомобильного транспорта в качестве методических указаний (протокол № 8 от 01.07.2015)

Кафедра прикладной механики и графики

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой прикладной механики и графики УО «ПГУ»

В. Э. ЗАВИСТОВСКИЙ;

доц. кафедры прикладной механики и графики УО «ПГУ»

А. Г. ЩЕРБО

Предназначены для студентов специальностей: 1-36 01 01 «Технология машиностроения»; 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»; 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»; 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»; 1-37 01 07 «Автосервис».

© Якубовская Л. С., 2016

© УО «ПГУ», 2016

Лабораторная работа
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ
ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОЛОСЫ,
ОСЛАБЛЕННОЙ КРУГЛЫМ ОТВЕРСТИЕМ

Введение

Во многих деталях машин и элементах конструкций по конструктивным, технологическим или экономическим соображениям имеют место нарушения геометрической сплошности поверхностей различного рода отверстиями, выкружками, резкими переходами размеров и т.д. Конструктивные элементы на поверхностях деталей и технологические дефекты строения материала (раковины, трещины, прижоги и т.д.) называются *концентраторами напряжений*. В непосредственной близости от ослабления возникают дополнительные местные напряжения, которые могут в несколько раз превосходить значения средних напряжений, испытываемых телом. Происходит *концентрация напряжений* – явление резкого увеличения напряжений в местах послабления сечения детали. Мерой концентрации служит *коэффициент концентрации*, равный отношению максимального напряжения при наличии концентратора к номинальному напряжению в той же точке при отсутствии концентратора

$$k = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0}.$$

Коэффициент концентрации зависит от характера нагрузки, формы и размеров концентраторов, ориентации относительно действующей нагрузки, физико-механических свойств материалов и других факторов. Коэффициенты концентрации определяются на основе методов теории упругости, пластичности и экспериментальными методами (поляризационно-оптическим, тензометрическим, методом лаковых покрытий и др.). При статическом нагружении разрушение хрупких материалов в месте концентрации напряжений начинается при достижении $\sigma_{\max} = k\sigma_0$ предела прочности σ_e . В этом случае знание коэффициента концентрации оказывается достаточным. В пластичных материалах влияние концентраторов на прочность оказывается сложнее. Пластичные материалы значительно легче переносят концентрацию напряжений за счет так называемого выравнивания напряжений, происходящего при достижении σ_{\max} предела текучести σ_m . Расчет распределения напряжений в деталях машин связан со значительными трудностями, обусловленными формой деталей и условиями их нагружения. Поэтому в приближенных расчетах обычно используют упрощенные модели с оценкой их эффективности экспериментальными методами.

1. Описание лабораторной работы

Цель работы:

1. Изучить характер распределения напряжений в различных сечениях растянутой полосы, ослабленной круглым отверстием.
2. Построить эпюры распределения опытных нормальных напряжений по поперечным сечениям образца.
3. Определить теоретические величины нормальных напряжений в сечениях образца.
4. Построить эпюры распределения теоретических нормальных напряжений по поперечным сечениям образца.
5. Определить теоретический коэффициент концентрации напряжений.

Оборудование (рис. 1):

1. Полоса, ослабленная отверстием.
2. Штангенциркуль.
3. Машина для испытания образцов на растяжение УММ-5.
4. Измеритель деформации ИД-62М.

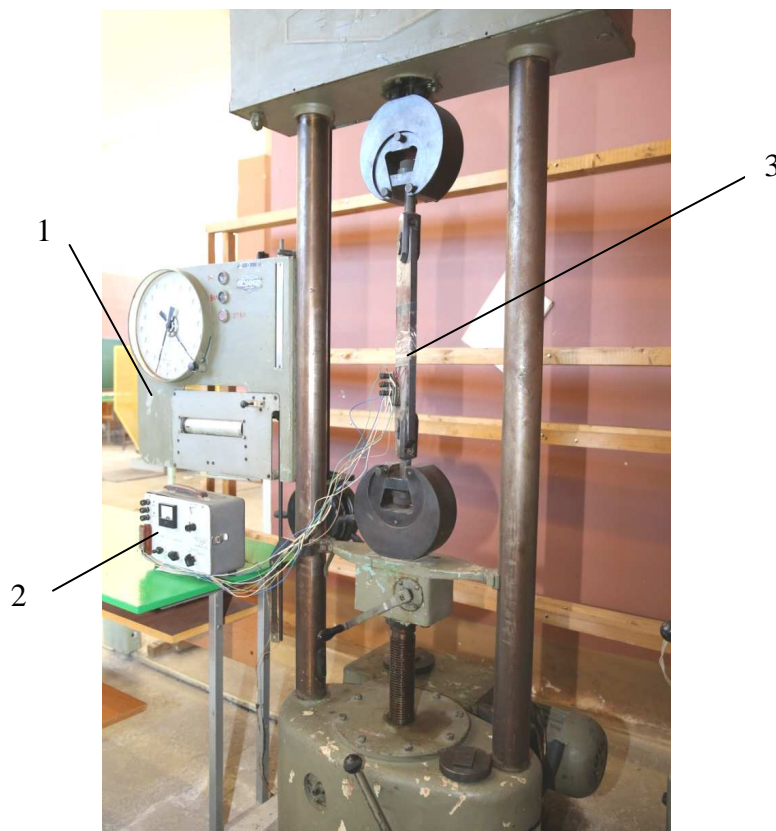


Рис. 1. Машина для испытания образцов на растяжение УММ-5:
1 – испытательная машина УММ-5; 2 – измеритель деформации ИД-62М;
3 – полоса, ослабленная отверстием, с датчиками

2. Краткие теоретические сведения

Нормальные напряжения в образцах с постоянным поперечным сечением на участках, достаточно удаленных от мест приложения сосредоточенных сил, распределяются по поперечному сечению при осевом растяжении или сжатии равномерно и вычисляются по формуле

$$\sigma_0 = \frac{N}{A}, \quad (1)$$

где N – продольная сила в поперечном сечении образца;

A – площадь поперечного сечения образца.

В образцах переменного сечения в местах расположения пропилов выточек, уступов (рис. 2) и т.д. нормальные напряжения распределяются неравномерно.

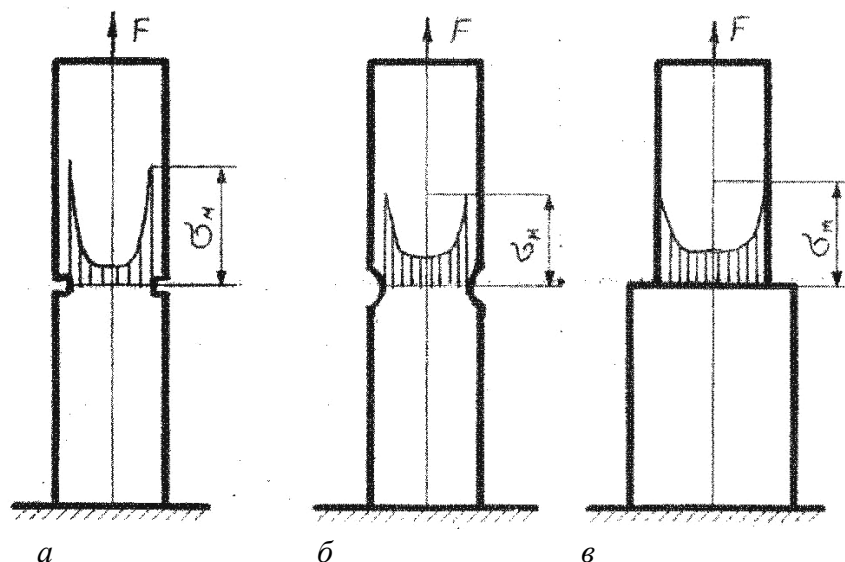


Рис. 2. Нормальные напряжения в образцах переменного сечения в местах расположения:

a – пропилов; b – выточек; c – уступов

В таких местах наблюдается явление резкого увеличения напряжений.

Факторы, вызывающие концентрацию напряжений, называются концентраторами напряжений. К ним относятся: отверстия, выточки, уступы, надрезы, трещины и т.д. Чем более резко изменяется поперечное сечение образца, тем неравномернее оказывается распределение напряжений в этом сечении. По мере удаления от мест, примыкающих к концентраторам напряжений, распределение напряжений постепенно

приближается к равномерному. Нарушение равномерного распределения напряжений происходит в ограниченных зонах, примыкающих к концентраторам напряжений, т.е. оно носит местный характер. Поэтому и напряжения в зонах, примыкающих к концентраторам напряжений, называются местными.

В настоящей лабораторной работе исследуются нормальные напряжения, возникающие в различных поперечных сечениях стальной полосы, ослабленной круглым отверстием (рис. 3).



Рис. 3. Стальная полоса, ослабленная круглым отверстием, с тензодатчиками в сборе

Расположение тензодатчиков на образце можно увидеть на рис. 4. При этом в поперечном сечении 1-1, достаточно удаленном от мест приложения сосредоточенных сил и отверстий, нормальные напряжения будут распределены равномерно, их можно вычислить по формуле (1), где N – продольная сила в поперечном сечении полосы 1-1, A – площадь поперечного сечения полосы 1-1.

В поперечном сечении 2-2, проходящем по центру отверстия, распределение напряжений будет другим. У краев отверстия напряжения будут значительно больше, чем в сечении 1-1. Однако это повышение напряжений распространяется лишь на небольшую часть сечения 2-2 вблизи от отверстия. На остальной части сечения 2-2 напряжения будут близки к тем, которые действуют в сечении 1-1.

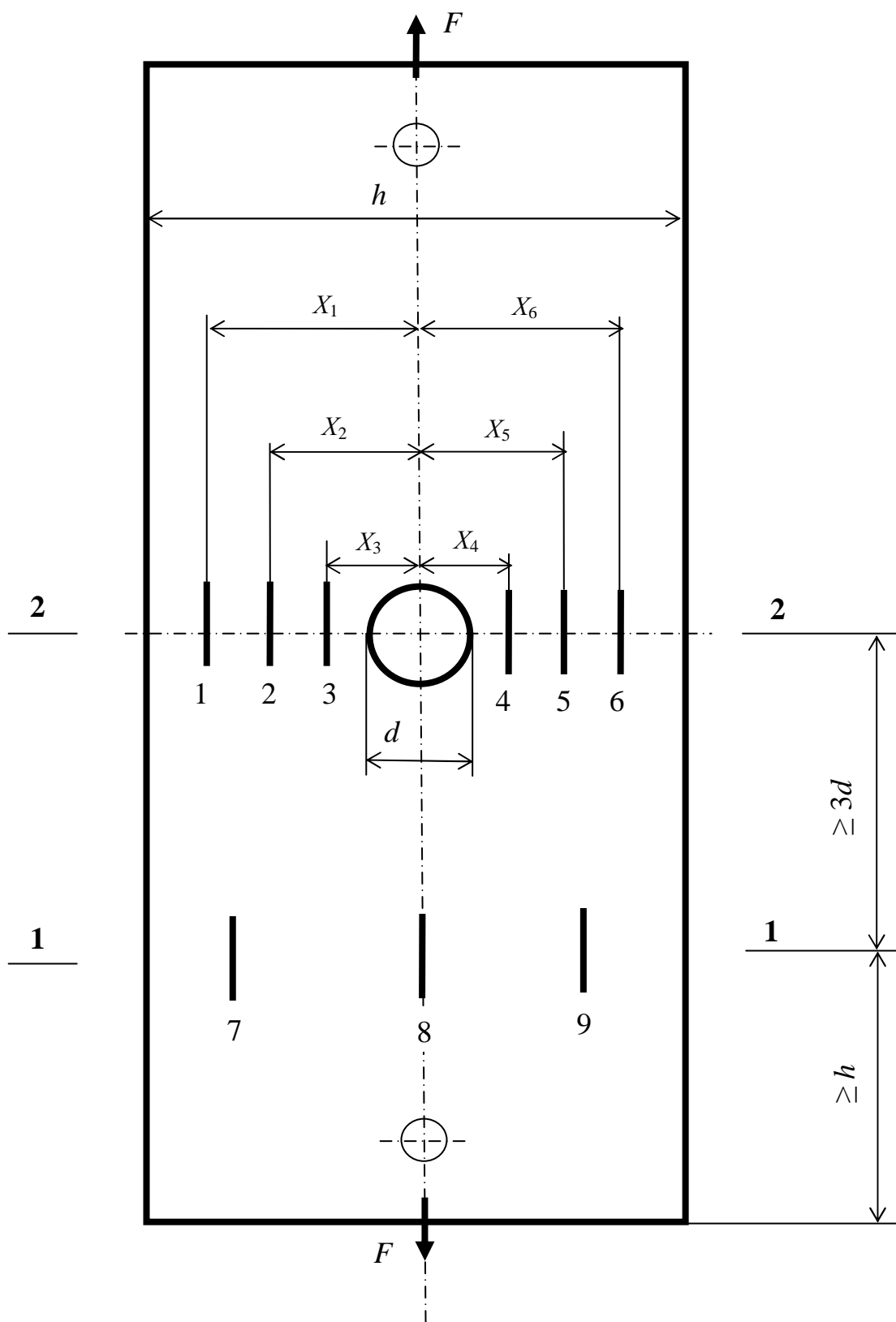


Рис. 4

Нормальные напряжения, действующие в поперечном сечении 2-2, не могут быть вычислены по формулам сопротивления материалов. Решение этой задачи получено в теории упругости. Напряжения в сечении 2-2 для пластины, ширина которой велика по сравнению с диаметром отверстия могут быть вычислены по формуле

$$\sigma_{2-2} = \frac{\sigma}{2} \left(2 + \frac{r^2}{x^2} + 3 \frac{r^4}{x^4} \right), \quad (2)$$

где $\sigma = \sigma_{1-1}$ – нормальное напряжение в сечении 1-1, т.е. достаточно удаленном от отверстия и от мест приложения сосредоточенных сил;

r – радиус отверстия;

x – расстояние от продольной оси полосы до точки, в которой определяется напряжение.

Отношение наибольшего местного напряжения, возникающего в ослабленном поперечном сечении стержня, к среднему (номинальному) напряжению в этом сечении называется теоретическим коэффициентом концентрации напряжений. Он всегда больше единицы ($k > 1$).

$$k = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{cp}}, \quad (3)$$

где σ_{\max} – наибольшее местное напряжение, возникающее у краев отверстия и вычисляемое по формуле (2);

σ_{cp} – среднее (номинальное) значение нормального напряжения в сечении 2-2, т.е. напряжение для сечения 2-2 без учета концентрации напряжений, вычисляемое по формуле (1).

Зная величину теоретического коэффициента концентрации, можно определить наибольшие местные напряжения:

$$\sigma_{\max} = k \sigma_{cp}$$

Величину теоретического коэффициента напряжений определяют либо с помощью методов теории упругости, либо экспериментальным путем.

Следует отметить, что только для некоторых задач о концентрации напряжений найдены точные аналитические решения (случаи отверстий или выточек любой формы). Во всех других случаях методы классической теории упругости не дают точных решений, и на практике определение коэффициента концентрации напряжений производится экспериментальным путем (методами фотоупругости, тензометрии, метод лаковых покрытий, аналогий и др.). Концентрация напряжений зависит от формы и размеров концентраторов напряжений.

Поэтому при проектировании конструкций следует избегать резких изменений очертаний элементов. Для уменьшения концентрации напряжений прорези заменяют полукруглыми выточками, уступы – галтелями, круглые отверстия – эллиптическими, вытянутыми вдоль оси стержня отверстиями, увеличивают радиусы закругления галтелей и выточек. Для снижения высоких местных напряжений в трещинах и предупреждения их дальнейшего раскрытия применяется рассверливание вершин трещин. При статических нагрузках концентрация напряжений для пластичных материалов значительно менее опасна, чем для хрупких.

Концентрация напряжений особенно опасна при действии динамических нагрузок, вызывающих переменные или знакопеременные напряжения. В этих случаях она должна учитываться как для пластичных, так и для хрупких материалов.

Теоретическое значение коэффициента концентрации напряжений для пластинки с круговым отверстием посередине $k = 3$, но знание теоретического коэффициента концентрации напряжений не дает полного суждения о прочности при переменных нагрузках. В связи с этим вводится понятие *эффективного коэффициента концентрации напряжений* α , который всегда меньше теоретического:

$$\alpha = 1 + q(k - 1), \quad (4)$$

где q – коэффициент чувствительности материала к концентрации напряжений, принимает значения от 0 до 1. Для конструкционных сталей q берется от 0,6 до 0,8, причем меньшие значения выбирают для пластичных сталей, а большие – для жестких сталей.

Уменьшают негативное действие концентраторов напряжений путем подкрепления отверстий различного рода упругими элементами из других материалов.

3. Постановка и порядок проведения работы

В работе используется стальная полоса прямоугольного поперечного сечения с круглым отверстием. Полоса подвергается осевому растяжению.

Для исследования закона распределения нормальных напряжений в сечении 2-2 (см. рис. 4), проходящем через центр отверстия, наклеены шесть проволочных тензодатчиков. В сечении 1-1, которое должно быть удалено от центра отверстия на расстояние не менее трех диаметров и от

места приложения нагрузки – не менее чем на ширину полосы, наклеены три проволочных тензодатчика.

Лабораторная работа проводится в следующем порядке:

- а) полоса закрепляется в захватах разрывной машины УММ-5;
- б) тензодатчики подключаются к измерителям деформации ИД-62М;
- в) записываются в табл. 1, 2, 3, 4 (прил. 2) показания измерителя деформации, соответствующие девяти тензодатчикам, при отсутствии нагрузки;
- г) проводится ступенчатое нагружение полосы и записываются последовательно показания измерителя деформации для девяти датчиков в табл. 1, 2, 3, 4 (прил. 2);
- д) полоса разгружается;
- е) измеряются штангенциркулем (в мм): ширина полосы h , толщина полосы b , диаметр отверстия d ;
- ж) определяются расстояния (в мм) от продольной оси полосы до тензодатчиков 1-6, наклеенных по сечению 2-2.

4. Правила техники безопасности при работе на оборудовании, с приборами и инструментами

1. Лабораторные работы проводятся под наблюдением преподавателя или лаборанта.
2. Все механические испытания материалов проводятся учебно-вспомогательным персоналом на испытательных машинах.
3. Все измерения образцов, необходимые для выполнения лабораторных испытаний, проводятся до установки их в захваты испытательных машин. Измерения образцов после испытания можно производить только после снятия последних с машины. Для визуального осмотра результатов испытаний можно подходить к машине только с разрешения преподавателя.

5. Обработка результатов наблюдения

Определение опытных величин нормальных напряжений в поперечных сечениях полосы 1-1 и 2-2 (на ступень приращения нагрузки ΔF)

а) для вычисления опытных напряжений необходимо вначале обработать данные, занесенные в табл. 1, 2, 3, 4 при нагружении полосы и снятии показаний с измерителя деформации ИД-62М.

В графу 1 (табл. 1, 2, 3, 4) заносятся величины прикладываемых к полосе нагрузок, в графы 3, 5 (табл. 1, 2, 3) и в графы 3, 5, 7 (табл. 4) –

показания измерителя деформации ИД-62М для тензодатчиков 1, 6; 2, 5; 3, 4; 7–9 при этих нагрузках.

При обработке граф 2, 4, 6 (табл. 1, 2, 3) и граф 2, 4, 6, 8 (табл. 4) производят вычитание последующих величин, занесенных ранее в графы 1, 3, 5 (табл. 1, 2, 3) и в графы 1, 3, 5, 7 (табл. 4) из предыдущих.

При обработке графы 7 (табл. 1, 2, 3) и графы 9 (табл. 4) вычисляют среднее арифметическое приращение показаний измерителя деформации для тензодатчиков 1, 6; 2, 5; 3, 4; 7–9 на ступень приращения нагрузки ΔF ;

б) вычисляем опытные величины нормальных напряжений в поперечных сечениях полосы 1-1 и 2-2 (на ступень приращения нагрузки ΔF):

для сечения 1-1

$$\sigma_{1-1} = \sigma_0 - \Delta\Pi_{7,8}^{cp};$$

для сечения 2-2

$$\sigma_{1,6}^{on} = \sigma_0 - \Delta\Pi_{1,6}^{cp};$$

$$\sigma_{2,5}^{on} = \sigma_0 - \Delta\Pi_{2,5}^{cp};$$

$$\sigma_{3,4}^{on} = \sigma_0 - \Delta\Pi_{3,4}^{cp},$$

где $\sigma_0 = 0,2$ МПа – тарировочный коэффициент нормальных напряжений (т.е. величина напряжений, соответствующая одной единице приращения показаний измерителя деформации);

$\Delta\Pi_{1,6}^{cp}$, $\Delta\Pi_{2,5}^{cp}$, $\Delta\Pi_{3,4}^{cp}$, $\Delta\Pi_{7-9}^{cp}$ – среднее приращение измерителя деформации для тензодатчиков 1-6, 2-5, 3-4, 7-9 при изменении нагрузки на полосу на величину ΔF ;

в) строим эпюры распределения опытных нормальных напряжений по поперечным сечениям полосы 1-1 и 2-2.

Определение теоретических величин нормальных напряжений в сечениях полосы 1-1 и 2-2 (на ступень приращения нагрузки ΔF)

а) определяем площади поперечных сечений полосы 1-1 и 2-2:

$$A_{1-1} = bh;$$

$$A_{2-2} = b(h - d);$$

б) определяем теоретическую величину нормальных напряжений в поперечном сечении полосы 1-1:

$$\sigma_{1-1}^{\tau} = \frac{N_{1-1}}{A_{1-1}},$$

где $N_{1-1} = \Delta F$ – продольная сила в поперечном сечении 1-1 полосы при нагружении ее силой, равной ΔF ;

в) определяем теоретические величины нормальных напряжений в поперечном сечении полосы 2-2:

$$\sigma_{1,6}^{\tau} = \frac{\sigma}{2} \left(2 + \frac{r^2}{x_{1,6}^2} + 3 \frac{r^4}{x_{1,6}^4} \right);$$

$$\sigma_{2,5}^{\tau} = \frac{\sigma}{2} \left(2 + \frac{r^2}{x_{2,5}^2} + 3 \frac{r^4}{x_{2,5}^4} \right);$$

$$\sigma_{3,4}^{\tau} = \frac{\sigma}{2} \left(2 + \frac{r^2}{x_{3,4}^2} + 3 \frac{r^4}{x_{3,4}^4} \right),$$

где $\sigma = \sigma_{1-1}^{\tau} = \frac{N_{1-1}}{A_{1-1}}$ – нормальное напряжение в сечении 1-1, т.е. в сечении, достаточно удаленном от отверстия и места приложения сосредоточенных сил;

r – радиус отверстия;

$x_{1,6}$; $x_{2,5}$; $x_{3,4}$ – среднее расстояния от продольной оси полосы до симметрично расположенных точек, в которых наклеены тензодатчики;

г) строим эпюры распределения теоретических нормальных напряжений по поперечным сечениям полосы 1-1 и 2-2.

Определение теоретического коэффициента концентрации напряжений

а) определяем максимальное местное напряжение в поперечном сечении полосы 2-2 по формуле (2):

$$\sigma_M = \frac{\sigma}{2} \left(2 + \frac{r^2}{x^2} + 3 \frac{r^4}{x^4} \right).$$

Учитывая, что точки, в которых возникают максимальные местные напряжения, находятся в поперечном сечении 2-2 у краев отверстия, подставляем в последнее выражение $x = r$. Тогда это выражение примет вид:

$$\sigma_M = \frac{\sigma}{2} \left(2 + \frac{r^2}{x^2} + 3 \frac{r^4}{x^4} \right) = 3\sigma.$$

Учитывая, что σ – это напряжение, возникающее в неослабленном поперечном сечении полосы, достаточно удаленном от отверстия и мест приложения сосредоточенных сил, т.е. в сечении 1-1, получим

$$\sigma = 3\sigma_{1-1},$$

где

$$\sigma_{1-1} = \frac{N_{1-1}}{A_{1-1}} = \frac{\Delta F}{A_{1-1}};$$

б) определяем среднее (номинальное) нормальное напряжение по поперечному сечению полосы 2-2:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{2-2}}{A_{2-2}} = \frac{\Delta F}{A_{2-2}};$$

в) определяем теоретический коэффициент концентрации напряжений:

$$\alpha_K = \frac{\sigma_M}{\sigma_{cp}}.$$

Анализ полученных результатов

1. Обратить внимание на очертание эпюр нормальных напряжений по поперечному сечению полосы 1-1, достаточно удаленному от отверстия и мест приложения сосредоточенных сил, и по сечению 2-2, ослабленному отверстием.

2. Описать характер распределения нормальных напряжений (при осевом растяжении или сжатии) в поперечном сечении стержня, достаточно удаленном от концентраторов напряжений и мест приложения сосредоточенных сил.

3. Описать характер распределения нормальных напряжений (при осевом растяжении или сжатии) по поперечному сечению стержня, ослабленному каким-либо концентратором напряжений (отверстием, выточкой и т.д.).

4. На основании анализа результатов опыта дать заключение о характере распределения напряжений в различных сечениях растянутой полосы, ослабленной круглым отверстием.

Отчет о лабораторной работе должен быть оформлен в соответствии с прил. 1.

Контрольные вопросы

1. Что называется концентрацией напряжений?
2. Что понимают под концентраторами напряжений? Привести примеры концентраторов напряжений.
3. Что называют местными напряжениями?
4. Как определить нормальные напряжения при осевом растяжении или сжатии по поперечному сечению стержня, достаточно удаленному от концентраторов напряжений и мест приложения сосредоточенных сил?
5. Как распределяются нормальные напряжения при осевом растяжении или сжатии по поперечному сечению образца, достаточно

удаленному от концентраторов напряжений и мест приложения сосредоточенных сил?

6. Как распределяются нормальные напряжения при осевом растяжении или сжатии по поперечному сечению образца, при наличии какого-либо концентратора напряжений?

7. Можно ли определить напряжения при наличии концентраторов напряжений по формулам сопротивления материалов?

8. По какой формуле нормальные напряжения при осевом растяжении или сжатии по поперечному сечению образца, ослабленному круглым отверстием?

9. Чему равен теоретический коэффициент концентрации напряжений?

10. Как определить максимальное местное напряжение, зная теоретический коэффициент концентрации напряжений?

11. От чего зависит концентрация напряжений?

12. Какие меры принимаются для уменьшения концентрации напряжений?

13. Почему концентрация напряжений при статическом нагружении конструкции менее опасна для пластичных материалов, чем для хрупких?

14. Чему равны максимальные местные напряжения в полосе, ослабленной круглым отверстием (при $h \geq 10r$)?

15. Какова числовая величина теоретического коэффициента концентрации напряжений при ослаблении полосы круглым отверстием (при $h \geq 10r$)?

Литература

1. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М. :Наука, 1970. – 544 с.

2. Завистовский, В.Э. Техническая механика : учеб. пособие / В.Э. Завистовский, Н.М. Захаров. – Минск : Амалфея, 2000. – 416 с.

3. Завистовский, В.Э. Физика отказов механических систем : учеб. пособие для вузов / В.Э. Завистовский, О.В. Холодилов, П.И. Богданович. – Минск : Технопринт, 1999. – 212 с.

4. Завистовский, В.Э. Физика отказов и основы надежности машин : практикум / В.Э. Завистовский. – Новополоцк : ПГУ, 2002. – 65 с.

5. Механика материалов : учеб.-метод комплекс. В 4 ч. Ч 2 / сост. Л.В. Первицкий. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – 344 с.

6. Андреев, В.А. Инженерные методы определения концентрации напряжений в деталях машин / В.А. Андреев. – М. : Машиностроение, 1976. – 67 с.

7. Иосилевич, Г.Б. Концентрация напряжений и деформаций в деталях машин / Г.Б. Иосилевич. – М. : Машиностроение, 1981. – 223 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
«название лабораторной работы»

1. Цель работы.
2. Используемые приборы и оборудование.
3. Размеры полосы:
 - ширина полосы h (мм);
 - толщина полосы b (мм);
 - диаметр отверстия d (мм).
4. Расстояние от продольной оси полосы до точек, в которых наклеены тензодатчики по сечению 2-2:
 - $X_{1,6}$ (мм);
 - $X_{2,5}$ (мм);
 - $X_{3,4}$ (мм).

Примечание. В этой позиции записывается среднее расстояние для симметрично расположенных тензодатчиков.

5. Вычисляем опытные напряжения по поперечным сечениям полосы 1-1 и 2-2.

Примечания:

1. При вычислении всех величин, указанных в пунктах 5-7, необходимо вначале записать соответствующее той или иной величине выражение в буквах (приведенное в разделе «Обработка результатов наблюдений»), а затем подставить в эти выражения необходимые числовые величины.

2. При вычисление напряжений, указанных в пунктах 6-7, необходимо подставлять продольные силы в ньютонах (Н):

- а) опытные напряжения по сечению 1-1:

$$\sigma_{1-1}^{on} \text{ (МПа);}$$

- б) опытные напряжения по сечению 2-2:

$$\sigma_{1-6}^{on} \text{ (МПа);}$$

$$\sigma_{2-5}^{on} \text{ (МПа);}$$

$$\sigma_{3-4}^{on} \text{ (МПа).}$$

6. Вычисляем теоретические напряжения по поперечным сечениям полосы 1-1 и 2-2:

а) площади поперечных сечений полосы 1-1 и 2-2:

$$A_{1-1} \text{ (мм}^2\text{)};$$

$$A_{2-2} \text{ (мм}^2\text{)};$$

б) теоретические напряжения по сечению 1-1:

$$\sigma_{1-1}^{\tau} \text{ (МПа)};$$

в) теоретические напряжения по сечению 2-2:

$$\sigma_{1-6}^{\tau} \text{ (МПа)};$$

$$\sigma_{2-5}^{\tau} \text{ (МПа)};$$

$$\sigma_{3-4}^{\tau} \text{ (МПа)}.$$

7. Определяем теоретический коэффициент концентрации напряжений:

а) максимальное местное напряжение по сечению полосы 2-2

$$\sigma_M \text{ (МПа)};$$

б) среднее (номинальное) напряжение по сечению полосы 2-2

$$\sigma_{cp} \text{ (МПа)};$$

в) теоретический коэффициент концентрации k .

8. Привести чертежи:

а) схему полосы с тензодатчиками и необходимыми размерами (см. рис. 4);

б) поперечные сечения полосы 1-1 и 2-2 с необходимыми размерами;

в) эпюры опытных и теоретических напряжений для поперечных сечений полосы 1-1 и 2-2.

9. Выводы (в соответствии с анализом полученных величин).

Приложение 2

Таблица 1

| $F, Н$ | $\Delta F, Н$ | Тензодатчик 1 | | Тензодатчик 6 | | $\Delta П^{cp}_{1,6}$ | $\sigma^{on}_{1,6},$ МПа |
|--------|---------------|---------------|--------------|---------------|--------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | $П_1$ | $\Delta П_1$ | $П_6$ | $\Delta П_6$ | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Таблица 2

| $F, Н$ | $\Delta F, Н$ | Тензодатчик 2 | | Тензодатчик 5 | | $\Delta П^{cp}_{2,5}$ | $\sigma^{on}_{2,5},$ МПа |
|--------|---------------|---------------|--------------|---------------|--------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | $П_2$ | $\Delta П_2$ | $П_5$ | $\Delta П_5$ | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Таблица 3

| $F, Н$ | $\Delta F, Н$ | Тензодатчик 3 | | Тензодатчик 4 | | $\Delta П^{cp}_{3,4}$ | $\sigma^{on}_{3,4},$ МПа |
|--------|---------------|---------------|--------------|---------------|--------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | $П_3$ | $\Delta П_3$ | $П_4$ | $\Delta П_4$ | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Таблица 4

| $F, Н$ | $\Delta F, Н$ | Тензодатчик 7 | | Тензодатчик 9 | | $\Delta П^{cp}_{7,9}$ | $\sigma^{on}_{7,9},$ МПа |
|--------|---------------|---------------|--------------|---------------|--------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | $П_7$ | $\Delta П_7$ | $П_9$ | $\Delta П_9$ | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Учебное издание

ЯКУБОВСКАЯ Светлана Вадимовна

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ
ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОЛОСЫ,
ОСЛАБЛЕННОЙ КРУГЛЫМ ОТВЕРСТИЕМ

Методические указания
к лабораторной работе по сопротивлению материалов
для студентов специальностей
1-36 01 01, 1-36 01 03, 1-36 01 06, 1-37 01 06, 1-37 01 07

Редактор *Т. А. Дарьянова*

Подписано в печать 18.04.16. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,82. Тираж 40 экз. Заказ 119.

Издатель и полиграфическое исполнение –
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.14.

Ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк.