

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В КОНТАКТНОЙ ЗОНЕ ПРИ РАДИАЛЬНОМ СЖАТИИ ДИСКА

Ю. С. БОГОМОЛОВ, Л. М. СЕДОКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

Контактные напряжения, неизбежно возникающие при передаче нагрузки через конечную площадку, имеют большой практический интерес. Их исследованию посвящен ряд работ таких ученых, как Г. Гертц [1], А. Н. Динник [2], Н. М. Беляев [3] и др.

В нашей работе исследование напряжений в контактной зоне сжатого по радиусу диска проведено экспериментальным путем при помощи статического электротензометрирования. Разработанная методика

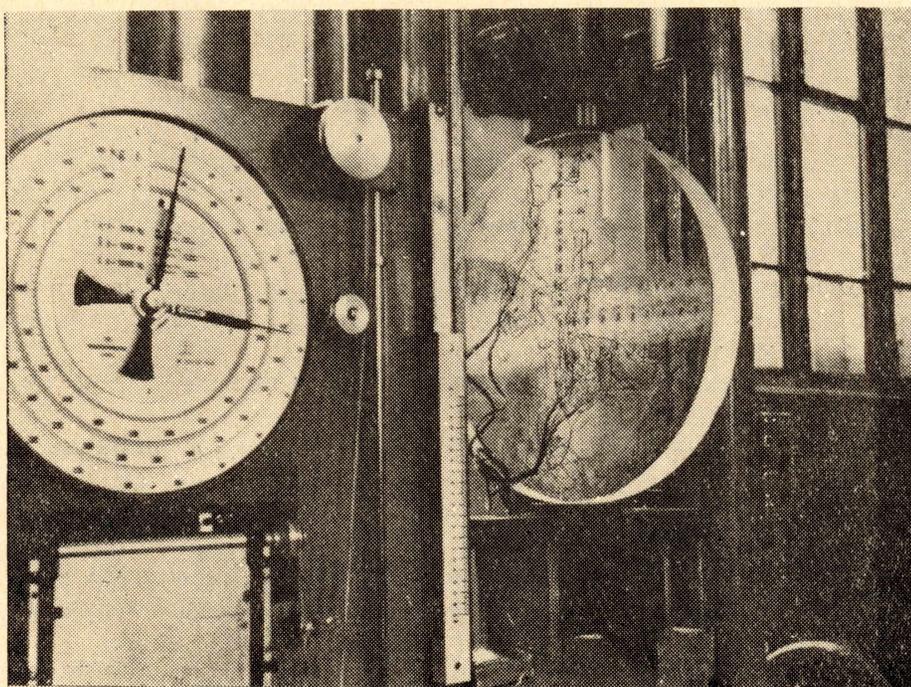


Рис. 1. Исследование напряжений в сжатом диске при помощи тензодатчиков

тарировки малобазных проволочных тензометров [4] позволила получить достаточно надежные результаты.

На диске из органического стекла диаметром 40 см и толщиной 4,5 см были размещены в контактной зоне две группы тензодатчиков (рис. 1). Сравнительно большие размеры диска позволили при помощи

тензодатчиков базой 5 мм определить напряжения на расстоянии 5 мм от точки (площадки) действия сжимающей силы, что составляет 0,0125 диаметра диска.

Первая группа из 9 тензодатчиков располагается по вертикальному диаметру в непосредственной близости от места приложения силы. Для определения главных напряжений необходимо наклеивать датчики в исследуемой точке таким образом, чтобы их оси были ориентированы по направлению этих напряжений. В связи с этим 6 датчиков располагаются по линии действия сжимающей силы (вертикальная ось симметрии) с одной стороны, а три — по горизонтали с другой стороны диска.

Первый вертикальный тензодатчик, ближайший от места приложения силы, находится на расстоянии 5 мм, остальные наклеены с шагом 2 мм. Чтобы выдержать такой шаг, необходимый для определения напряжений, по возможности, в большем числе точек, пришлось наклеить часть решетки второго датчика на решетку первого, третий и четвертый датчики сдвинуть по одну сторону от первых, а пятый и шестой — по другую. Причем четвертый датчик наклеивается на третий, а пятый на шестой.

Назначением первой группы тензодатчиков является количественное определение напряжений в точках вертикального диаметра, расположенного в контактной зоне, границы которой (ориентировочно) определены в работе [4].

Вторая группа из 12 тензодатчиков располагается по траекториям главных напряжений в окрестности точки приложения силы в области между вертикальным диаметром и окружностью диска. Траектории главных напряжений определены по методике, предлагаемой М. Фрохтом [5].

На одной стороне диска три датчика наклеены по траекториям растягивающих напряжений, а три — по траекториям сжимающих. Также расположены датчики с другой стороны диска. Вторая группа тензодатчиков преследует цель определить ширину зоны отклонения фактических напряжений от теоретических в месте приложения сосредоточенной нагрузки.

Кроме перечисленных тензодатчиков для проверки правильности установки диска использовались 4 контрольных датчика, наклеенные по вертикальному диаметру.

Координаты точек, в которых расположены тензодатчики, приведены в таблице.

Диск подвергался радиальному сжатию между параллельными плитами пресса. Измерение показаний тензодатчиков производилось при помощи высокостабильной 40-точечной тензометрической установки ВСТ-3 Уральского политехнического института, в основу электрической схемы которой положен «нулевой способ» измерения малого приращения сопротивления на мосте постоянного тока с отсчетом приращения по шкале измерительного реохорда.

На рис. 2 и 3 показаны эпюры напряжений σ_x и σ_y для вертикального диаметра сжатого диска. Эпюры построены для нагрузки 1000 и 1800 кг.

Сравнение замеренных напряжений с теоретическими говорит о том, что первые в интервале 0,1 диаметра от места приложения силы значительно отличаются от последних.

Растягивающие напряжения σ_x в этой зоне дают пик (максимум) в отличие от теоретических, эпюра которых должна быть в виде прямой, параллельной оси координат. Величина максимума в 12—13 раз превосходит теоретические напряжения.

Таблица

	I группа тензодатчиков															
№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9							
Абсцисса, см	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
Ордината, см	-19,5	-19,3	-19,1	-18,9	-18,7	-18,5	-19,5	-18,9	-18,4							
Ось датчика ориентирована по направлению	σ_y	σ_y	σ_y	σ_y	σ_y	σ_y	σ_x	σ_x	σ_x							
	Контрольные датчики	II группа тензодатчиков														
№ датчика	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	21	22	23	25
Абсцисса, см	0	0	0	0	0,5	0,5	1,4	1,4	2,5	+2,5	-0,5	0,5	-1,4	-1,4	-2,5	-2,5
Ордината, см	18	18	16	16	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
Ось датчика ориентирована по направлению	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x

В точке, лежащей на расстоянии 5 мм от места приложения силы, растягивающие напряжения в 5—6 раз больше теоретических.

С удалением от места приложения силы к центру растягивающие напряжения растут, достигая максимума на расстоянии 1,3 см или 0,0325 диаметра от окружности диска. После достижения максимума

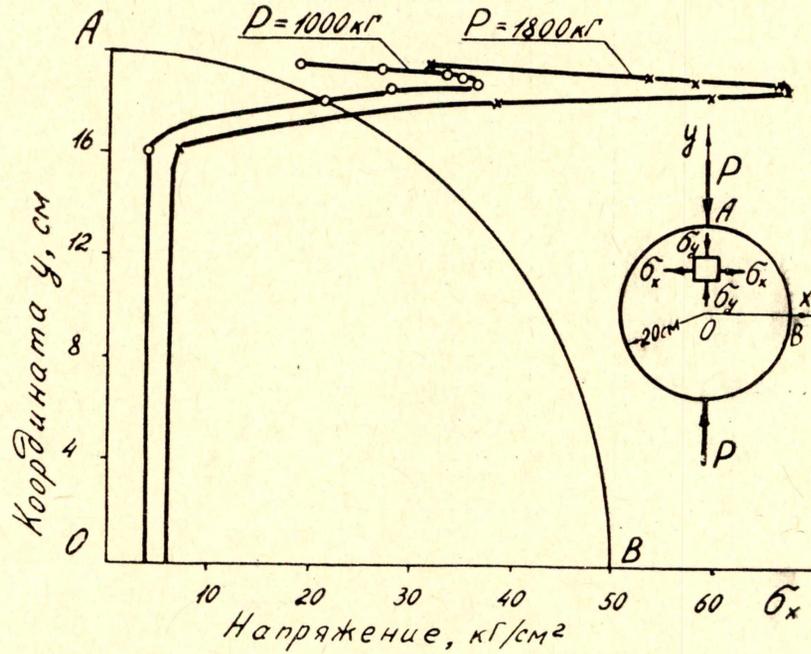


Рис. 2. Эпюры напряжений σ_x вдоль вертикального диаметра диска,

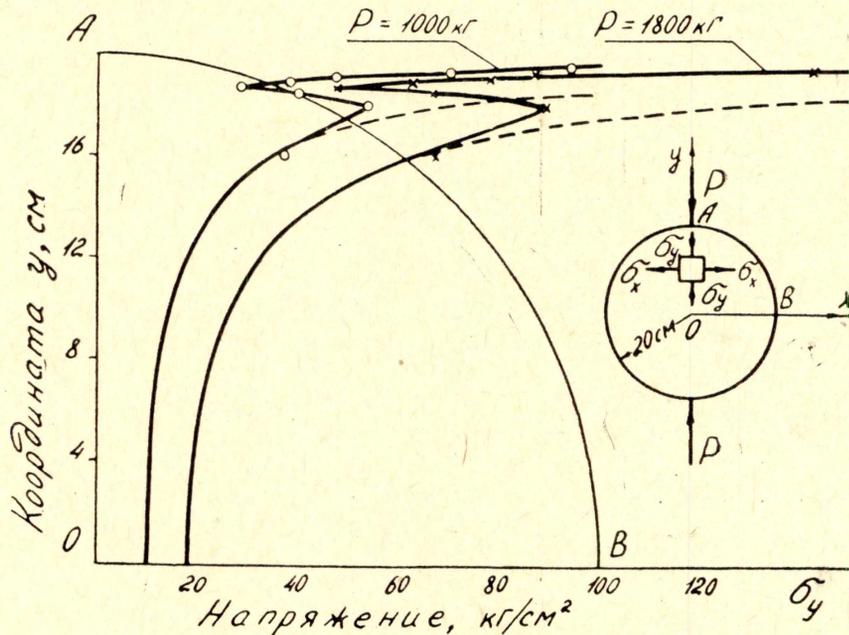


Рис. 3. Эпюры напряжений σ_y вдоль вертикального диаметра диска.

величина растягивающих напряжений уменьшается, и на расстоянии 0,1 диаметра диска от точки приложения сжимающей силы эпюра напряжений, получаемых экспериментально, совпадает с эпюрой теоретических напряжений.

Сжимающие напряжения σ_y в контактной зоне меньше теоретических примерно в 3 раза. В точке, соответствующей максимуму растягивающих напряжений, сжимающие напряжения имеют местный минимум. Величина этих минимальных напряжений в 4 раза меньше теоретических.

После достижения местного минимума наблюдается некоторое увеличение сжимающих напряжений и на расстоянии, равном 0,1 диаметра эпюра фактических напряжений не отличается от теоретической эпюры.

Для вычисления сжимающих напряжений в средней точке смещения тензодатчиков можно воспользоваться формулой [5]

$$\sigma_{A-B} = \sigma_1 + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{a} \cdot \frac{l - a}{2}.$$

Здесь σ_{A-B} — среднее напряжение на участке между точками A ($x = 0, y = 19,75$ см) и B ($x = 0, y = 19,55$ см);

σ_1 — напряжение, определенное по показаниям датчика 1;

σ_2 — напряжение, определенное по показаниям датчика 2;

l — база датчиков ($l = 5$ мм);

a — смещение одного датчика относительно другого ($a = 2$ мм).

В этом случае сжимающие напряжения можно определить в точке с координатами $x = 0, y = 19,65$ см, т. е. на расстоянии 0,00875 диаметра диска от окружности.

Для нагрузки 1000 и 1800 кг они соответственно равны 112 и 182,5 кг/см² и хорошо ложатся на экспериментальные кривые (рис. 3).

Изменение сжимающей нагрузки от 200 до 2000 кг практически не оказывает влияния на место положения пика главных напряжений в контактной зоне.

Показания тензодатчиков второй группы говорят о той же тенденции увеличения растягивающих и уменьшения сжимающих напряжений для рассматриваемой зоны по сравнению с теоретическими. Таким образом, исследованные точки при помощи датчиков второй группы относятся к контактной зоне. Очевидно, размеры контактной зоны ограничиваются окружностью радиуса около 4 см, т. е. одной десятой диаметра диска.

Выводы

1. Напряжения в точках диска, расположенных в окрестности места приложения сжимающей силы, значительно отличаются от теоретических. Растягивающие напряжения превосходят теоретические от 5 до 13 раз, а сжимающие — меньше теоретических в 3—4 раза.

2. Знаки главных напряжений в контактной зоне не изменяются, т. е. σ_x остается положительной величиной, а σ_y — отрицательной.

3. В контактной зоне главные напряжения имеют экстремальные значения на расстоянии примерно 0,03 диаметра от места приложения нагрузки: растягивающие — максимальны, а сжимающие — минимальны.

4. Существенное различие между действительными и теоретическими напряжениями наблюдается на расстоянии не более одной десятой диаметра от точки приложения нагрузки. Следовательно, границей контактной зоны можно считать семейство точек, лежащих в области, ограниченной окружностью радиуса около одной десятой диаметра диска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Hertz. Über die Berührung fester elastischer Körper, 1881. Über die Berührung fester elastischer Körper und über die Härte, 1882.
 2. А. Н. Динник. Удар и сжатие упругих тел. 1909.
 3. Н. М. Беляев. Труды по теории упругости и пластичности. ГосИНТИ, М., 1957.
 4. Ю. С. Богомолов, Л. М. Седоков. Экспериментальное определение напряжений в поперечном сечении цилиндрического образца при его радиальном сжатии. Сборник ТПИ, № 1963.
 5. Л. М. Седоков, Ю. С. Богомолов. Руководство к лабораторным работам по электротензометрированию при изучении курса сопротивления материалов. Томск, 1962.
-