

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
КОМИТЕТ
СССР
ПО СТАНДАРТАМ

ISSN 0132-4713



МЕТРОЛОГИЯ



Ежемесячное
приложение
к научно-
техническому
журналу
«ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ
ТЕХНИКА»

1986

6

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
КОМИТЕТ
СССР
ПО СТАНДАРТАМ

C-478



МЕТРОЛОГИЯ

Ежемесячное
приложение
к научно-
техническому
журналу
«ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ
ТЕХНИКА»

Основано в 1969 г.

6

Москва · 1986

КОЭФФИЦИЕНТ АРМИРОВАНИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТОРАМИ НИЗКОМОДУЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ

В.В.Петров, А.В.Сладковский

Широкое распространение низко модульных материалов типа резины, полиуретана и других полимеров сделало актуальными исследования изделий из них на прочность. Однако при измерении деформаций методом тензометрии вносятся существенные погрешности от эффекта армирования поверхности изделия наклеенным тензорезистором [1].

В работе [2] сделана попытка экспериментально оценить погрешность измерений деформаций низко модульных материалов вследствие армирования. Образец испытывали на растяжение, а значение деформации оценивали оптическим методом. Проведен также эксперимент по двухосному растяжению на крестообразном

образце. Деформация в зоне армирования при одноосном и двухосном растяжении оказалась различной. В [2] сделан вывод о невозможности учесть армирование. Чтобы его максимально уменьшить, предложено проводить отжиг проволоки, снижать толщину подложки и слоя клея. Аналогичный вывод сделан в [3] на основе проведенных исследований при помощи метода фотоупругости. Определена зона возмущения поля напряжений для частного случая, но общей методики учета влияния армирования не разработано.

В [4, 5] предложен расчетный метод решения рассматриваемой задачи. Расчетная модель представляла тензорезистор с базой 0,02 м, установленный на упругой полуплоскости [4] или на бесконечной полосе [5]. Расчет модели производили при помощи методов теории функций комплексного переменного. Проведены экспериментальные исследования жесткости тензорезистора и его влияния на армирование резиновой полосы. Введен коэффициент искажения деформаций (коэффициент армирования)

$$k = \frac{\epsilon_0}{\epsilon_*} \quad (1)$$

где ϵ_* - деформация, показываемая тензорезистором (искаженная); ϵ_0 - деформация поверхности полосы до наклейки тензорезистора. Получено, что для выбранных материалов, размеров полосы и жесткости тензорезистора экспериментальный коэффициент искажения деформации $k_s = 30$, а подсчитанный теоретически $k_T = 36$.

Таким образом, для проведения измерений деформации низкокомодульных материалов предлагают либо использовать специальные тензорезисторы с малой жесткостью, производство которых с достаточно стабильными характеристиками затруднительно, либо проводить специальные измерения их жесткости с последующим теоретическим расчетом. Последний путь допускает использование стандартных тензорезисторов, причем решены лишь частные задачи, а общей методики расчетов не разработано.

В настоящей работе предлагается для учета армирования применять метод конечных элементов (МКЭ) [6], предварительно определив экспериментально механические характеристики низкокомодульного материала и тензорезистора. Разработанная приближенная методика позволяет исследовать трехмерные деформации с армированием изделий в двух направлениях, однако в данной статье

рассмотрен только "плоский" случай с армированием в одном направлении.

На рис. I приведена расчетная схема тестовой задачи. Изучали

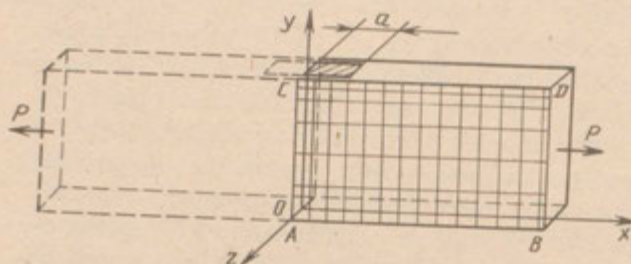


Рис. I

плоское напряженное состояние в резиновой полосе прямоугольного сечения $0,0056 \times 0,033$ м (площадь $F = 1,85 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$), на середине меньшей грани

которой был наклеен тензорезистор (заштрихован). Длина полосы равна 0,12 м. Модуль упругости первого рода $E = 5,7 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. Коэффициент Пуассона ν резины (не указанный в [4]) принят равным 0,49. Все исходные данные взяты из эксперимента [4]. Жесткость тензорезистора на растяжение $W_s = 440 \text{ Н}$, его база $2a = 0,02 \text{ м}$.

Вследствие симметричности схемы относительно плоскости yOx рассматривается только правая часть полосы. Область ABCD покрывается КЭ-сеткой 7×21 узлов. При приближении к стороне CD сетка сгущается. Используется 120 прямоугольных конечных элементов. Для данной дискретизации строится матрица жесткости по известной методике [6]. Тензорезистор также разбивается на три (для принятой КЭ-сетки) одномерных элемента. Матрица жесткости такого элемента записывается по [7].

В итоге получаем систему $2n$ уравнений, где n - количество узлов, в которую входят $2n$ неизвестных перемещений Δ_i и растяжение Δ_x . Добавляем к системе уравнение равновесия

$$\left\{ x_i \right\} \in BD \\ \sum_i R_{2i-1} = P, \quad (2)$$

где P - суммарное усилие, приложенное к стороне BD; R_{2i-1} - узловые силы в направлении x ; $\{x_i\}$ - вектор i -го узла, имеющий компоненты x_i и y_i . Полученная система линейных алгебраических уравнений решается методом Гаусса.

Было принято, в соответствии с [4], что значение приложенной нагрузки P равно 0,98 Н, и получены два значения деформации: первое - при растяжении полосы нагрузкой без наклейки тензорезистора $\epsilon_0 = 0,93\%$ и второе - при растяжении резиновой полосы с наклеенным тензорезистором $\epsilon_n = 0,027\%$. В результате, используя приближенный метод МКЭ, имеем по (I) коэффициент армирования $k_{np} = 34$. Относительная погрешность определения коэффициента армирования

$$\alpha = |(k_{np} - k_p) / k_p| \cdot 100 \approx 13\% \quad (3)$$

Таким образом, относительная погрешность при определении коэффициента армирования описанным методом менее полученной в работе [4] (20%). Это объясняется постановкой задачи, так как рассматриваются не бесконечные области, а конечномерные тела.

В [4] проводили также экспериментальное исследование жестко-стных характеристик тензорезисторов с базой 0,02 м. Реализация предложенной в [4] методики для определения жесткости тензорезисторов с малой базой (0,001 м) затруднительна.

В настоящей работе использовали установку, в которой тензорезистор с малой базой свободными концами закрепляли в специальных зажимах. Верхний зажим присоединяли к опоре, а к нижнему подвешивали легкую чашку для разновесок. Для уменьшения вибраций нити были сделаны гасители колебаний. Выводы тензорезисторов подключали к мостовой схеме. При этом использовали тензоусилитель УТ4-1, магазин сопротивлений МСР-60М и двухкоординатный самописец "XY-recorder endim620.02". Питание приборов осуществлялось через стабилизатор С-0,9.

Были исследованы стандартные фольговые тензорезисторы типа ЗЖПА-1-50Б. Предварительно установку градуировали и определяли градуировочный коэффициент c . Далее испытуемый тензорезистор нагружали ступенями по 0,098 Н до 0,49 Н, причем его показания h фиксировали самописцем. Деформацию тензорезистора определяли по формуле $\epsilon = ch$, а его жесткость - по формуле $W_s = Q/\epsilon$, где Q - приложенная нагрузка.

Предложенная методика удобна тем, что предварительно определяется жесткость каждого тензорезистора, который затем на-

клеивают на исследуемую модель. Получены усредненные показатели жесткости. Так, средняя жесткость W_{Σ} серии тензорезисторов типа 2ФКПА-I-50Б составила 3400 Н.

В [1] сделана попытка определить деформированное состояние приконтактной области катящегося цилиндра. Была предложена методика, по которой тензорезистор с малой базой наклеивали на контактную поверхность обрешиненного колеса в направлении качения. При прокатывании тензорезистора через контакт на самописец выводилось распределение контактных деформаций. Хотя деформации поверхности колеса достигали 1 %, тензорезистор не разрушался, что объяснялось армированием поверхности и снижением истинных деформаций в k_3 раз.

В данной работе для исследования качения жесткого колеса по резиновому слою, сцепленному с жестким основанием (рис.2),

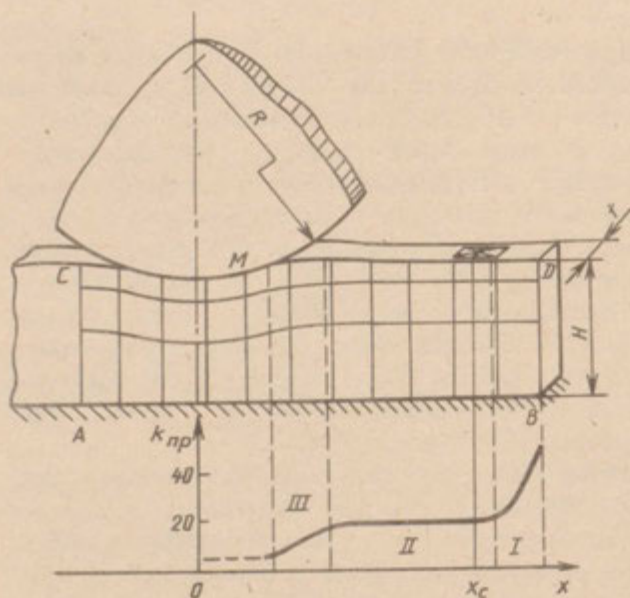


Рис.2

использован описанный выше МКЭ. Рассматривали плоскую деформацию слоя резины толщиной $t = 0,006$ м, область $ABCD$ которого покрывали прямоугольной КЭ-сеткой 4×25 узлов. Радиус колеса $R = 0,25$ м, высота слоя резины $H = 0,025$ м. Механические

характеристики резины определяли экспериментально

($E = 9,3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$, $\nu = 0,46$). Тензорезистор моделировали цепочкой из двух или более одномерных элементов с жесткостью W_c , сцепленных со слоем резины. При перекачивании колеса положение тензорезистора относительно центра контактной зоны изменяется. На каждом этапе перекачивания границы AC и BD области $ABCD$ передвигались совместно с центром колеса. В соответствии с этим конечно-элементный "тензорезистор" условно смещался относительно точки O от точки C до D , при этом на каждом этапе изменялась матрица жесткости.

Реализация задачи аналогична приведенной в работе [8].

Описанная методика позволяет исследовать контакт двух колес произвольного диаметра.

В результате исследований было определено, что коэффициент армирования зависит не только от механических характеристик материала изделия и жесткости тензорезистора, но и от места его установки. В зависимости от того, где расположен тензорезистор, вблизи свободного края, заземления или на границе контактной области, коэффициент армирования существенно изменяется, причем эти зоны относительно малы. Предложенная методика позволила учесть и эти изменения коэффициента армирования. На рис.2 приведено распределение коэффициента армирования k_{np} в зависимости от места установки тензорезистора (x_c - координата центра тензорезистора). Показано, что при контактная зона MD разбивается на три неравных участка. Участок II характеризуется относительным постоянством коэффициента армирования ($k_{np} \approx 20$ для выбранных механических характеристик колеса и тензорезистора); на участке I, примыкающем к свободному краю, происходит резкий рост k_{np} (в сечении BD $k_{np} = 47$); на участке III, примыкающем к контактной зоне, k_{np} уменьшается. Среднее его значение на этом участке равно 4,1.

Итак, методику определения коэффициента армирования, основанную на применении МКЭ, можно рекомендовать для исследования деформированного состояния поверхности изделий из низко-модульных материалов.

Литература

1. Моссаковский В.И. и др. - В кн.: Гидроаэромеханика и теория упругости. Днепропетровск, ДУ, 1981, вып.28, с.35.

2. Злочевский А.Б., Миронов В.И. - Измерительная техника, 1969, № 2, с.38.
3. Булавин В.В., Лободов В.В. - В кн.: Тез. докл. Всес.конф. по примен. магнитной гидродинамики в металлургии. Семинар по МСС, Пермь, 1974, с.65.
4. Александров В.М. и др. - Измерительная техника, 1966, № 2, с.25.
5. Александров В.М., Соловьев А.С. - Изв. АН СССР. МТТ, 1970, № I, с.122.
6. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. - М.: Мир, 1975.
7. Фурунжиев Р.И. - В кн.: Вопросы строительства и архитектуры. Минск. Высшая школа, 1979, вып.9, с.66.
8. Моссаковский В.И. и др. Исследование микроскольжения на контактных поверхностях при помощи МКЭ: Деп. ВИНТИ № 5327-81.