

Расчеты проведенного эксперимента выполнены с использованием пространственной упругой модели по методу конечных элементов (МКЭ). Нагрузка от натяжения 6 шпилек представлялась двояко: в естественном виде – как сосредоточенная в узлах фактического расположения шпилек и в преобразованном виде с распределением на доли и сохранением суммарной величины и положения равнодействующей нагрузки от каждой шпильки. В случае натяжения 4 шпилек схема отличалась только отсутствием нагрузки от двух шпилек, ближайших к центру плиты. Деревянные прокладки в расчете представлены винклеровским упругим основанием.

В результате испытаний получено, что при натяжении 4 и 6 шпилек характер образования трещин, их раскрытие отличаются незначительно. Хотя нагрузка от 6 шпилек более распределенная, чем от 4. Проведенным теоретическим исследованием установлено, что результаты расчетов при распределенной нагрузке получаются ближе к реальной работе плиты. Таким образом, в расчетной схеме сосредоточенную нагрузку от натяжения шпилек лучше прикладывать как равномерно распределенную.

УДК 621.821

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Н. Г. ЕРМАКОВ, О. В. ХОЛОДИЛОВ

Белорусский государственный университет транспорта

Для оценки работоспособности узлов трения широко применяется метод акустической эмиссии (АЭ). При этом в качестве информационного параметра обычно выбирается интенсивность АЭ. Однако при диагностике узлов трения, содержащих специальные покрытия, или при наличии смазочного материала вследствие многофакторности и сложности процессов, протекающих в зоне контакта, этот параметр оказывается недостаточно эффективным.

В этой связи предлагается использовать статистический подход, учитывающий среди прочих и физические аспекты явлений, протекающих в зоне контакта, позволяющий повысить точность оценки состояния покрытия и граничного смазочного слоя (ГСС). Это значительно увеличивает эффективность работы трибосопряжения и предотвращает возможность серьезной аварии.

Предлагаемый подход основан на измерении некоторых специальных статистических параметров (статистик) инициируемого трением акустического излучения. Для корректного применения этих статистик необходимо выполнение требования $\Delta f \cdot t > 1$, где Δf – частотный диапазон регистрируемого акустического излучения; t – время регистрации информационного параметра АЭ.

Проведенный совместный анализ данных акустометрии и фиксированных состояний фрикционного контакта (шероховатость, распределение частиц износа по размерам и т.д.) показал чувствительность этих статистик практически ко всем явлениям, сопровождающим процесс трения. Полученные зависимости изменения этих статистик от внешних факторов позволили сформулировать критерий для оценки работоспособности покрытий и СМ в узлах трения.

УДК 539.3

ПОСТРОЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО АНИЗОТРОПНОГО ОСНОВАНИЯ

М. А. ЖУРАВКОВ, А. А. КУШУНИН

Белорусский государственный университет

Рассмотрим находящееся в условиях плоской деформации ортотропное упругое тело, состоящее из двух полупространств D_j ($j = 1, 2$) с различными упругими постоянными. Границу полупро-

пространств берем за плоскость $y=0$ (ось Oy направим вниз). Индекс $j=1$ соответствует верхнему полупространству, $j=2$ – нижнему. Каждое полупространство предполагается ортотропным в локальной системе координат (ξ, η) .

Уравнения обобщенного закона Гука для направлений x, y , связывающие составляющие деформации и напряжения, запишутся так:

$$\varepsilon_x^{(j)} = c_{11}^{(j)} \sigma_x^{(j)} + c_{12}^{(j)} \sigma_y^{(j)} + c_{16}^{(j)} \tau_{xy}^{(j)}, \quad \varepsilon_y^{(j)} = c_{12}^{(j)} \sigma_x^{(j)} + c_{22}^{(j)} \sigma_y^{(j)} + c_{26}^{(j)} \tau_{xy}^{(j)}, \quad \gamma_{xy}^{(j)} = c_{16}^{(j)} \sigma_x^{(j)} + c_{26}^{(j)} \sigma_y^{(j)} + c_{66}^{(j)} \tau_{xy}^{(j)}.$$

Коэффициенты c_{mn} выражаются через технические упругие постоянные известным образом [1]:

Компоненты тензора напряжения $\sigma_x^{(j)}, \sigma_y^{(j)}, \tau_{xy}^{(j)}$ и компоненты вектора смещения $u^{(j)}, v^{(j)}$ выражаются формулами:

$$\{\sigma_x^{(j)}, \sigma_y^{(j)}, \tau_{xy}^{(j)}\} = 2 \operatorname{Re} \left\{ \sum_{v=1}^2 (\mu_{vj}^2, 1, -\mu_{vj}) \Phi_{vj}(z_{vj}) \right\}, \quad (1)$$

$$\{u^{(j)}, v^{(j)}\} = 2 \operatorname{Re} \left\{ \sum_{v=1}^2 (p_{vj}, q_{vj}) \varphi_{vj}(z_{vj}) \right\}. \quad (2)$$

Здесь $z_{vj} = x + \mu_{vj}y$ – комплексная переменная; $\Phi_{vj}(z_{vj}), \varphi_{vj}(z_{vj})$ – аналитические функции в областях D_j ; $\Phi'_{vj}(z) = \Phi_{vj}(z)$; $p_{vj} = c_{11}^{(j)} \mu_{vj}^2 + c_{12}^{(j)} - c_{16}^{(j)} \mu_{vj}$; $q_{vj} = c_{12}^{(j)} \mu_{vj} + \frac{c_{22}^{(j)}}{\mu_{vj}} - c_{26}^{(j)}$; $\mu_j = \mu_{vj}$ – корни характеристического уравнения

$$c_{11}^{(j)} \mu_j^4 - 2c_{16}^{(j)} \mu_j^3 + (2c_{12}^{(j)} + c_{66}^{(j)}) \mu_j^2 - 2c_{26}^{(j)} \mu_j + c_{22}^{(j)} = 0.$$

Определим напряженно деформированное состояние тела в предположении, что полупространства при $y=0$ находятся в состоянии идеального силового контакта, при котором выполняются условия

$$\sigma_y^{(1)} = \sigma_y^{(2)}, \quad \tau_{xy}^{(1)} = \tau_{xy}^{(2)}, \quad \frac{\partial u^{(1)}}{\partial x} = \frac{\partial u^{(2)}}{\partial x}, \quad \frac{\partial v^{(1)}}{\partial x} = \frac{\partial v^{(2)}}{\partial x}, \quad (3)$$

а в некоторой точке $N_o(x_o, y_o)$ внутри области D_2 приложена сосредоточенная сила с проекциями (X_o, Y_o) . При этом будем предполагать, что на бесконечности областей D_1 и D_2 напряжения стремятся к нулю.

При построении решения этой задачи функции напряжений будем искать в виде:

$$\Phi_{11}(z_{12}) = \frac{s_1}{z_{12} - \tau_{12}} + \frac{s_2}{z_{12} - \tau_{22}}, \quad \Phi_{21}(z_{22}) = \frac{l_1}{z_{22} - \tau_{12}} + \frac{l_2}{z_{22} - \tau_{22}},$$

$$\Phi_{12}(z_{12}) = \frac{a_1}{z_{12} - \tau_{12}} + \frac{n_1}{z_{12} - \tau_{12}} + \frac{n_2}{z_{12} - \tau_{22}}, \quad \Phi_{22}(z_{22}) = \frac{a_2}{z_{22} - \tau_{22}} + \frac{m_1}{z_{22} - \tau_{12}} + \frac{m_2}{z_{22} - \tau_{22}},$$

где $\tau_{vj} = x_o + \mu_{vj}y_o$, $\bar{\tau}_{vj} = \bar{x}_o + \bar{\mu}_{vj}y_o$,

$$a_1 = \frac{i(X_o + \mu_{22}Y_o) + m - n\mu_{22}}{4\pi(\mu_{12} - \mu_{22})}, \quad m = \frac{k_o(\delta_1 X_o - \delta_3 Y_o)}{\delta_1^2 + \delta_2 \delta_3},$$

$$a_2 = -\frac{i(X_o + \mu_{12}Y_o) + m - n\mu_{12}}{4\pi(\mu_{12} - \mu_{22})}, \quad n = \frac{k_o(\delta_2 X_o + \delta_1 Y_o)}{\delta_1^2 + \delta_2 \delta_3},$$

$$\delta_1 = \text{Im}(\mu_{12}\mu_{22}), \quad k_o = \text{Re}(\mu_{12}\mu_{22}) - \frac{c_{12}^{(2)}}{c_{11}^{(2)}}, \quad \delta_2 = \text{Im}(\mu_{12} + \mu_{22}), \quad \delta_3 = \text{Im}[(\mu_{12} + \mu_{22})\bar{\mu}_{12}\bar{\mu}_{22}],$$

s_i, l_i, n_i, m_i — произвольные коэффициенты.

Неизвестные коэффициенты s_i, l_i, n_i, m_i определим, удовлетворив условиям (3).

В результате получим совокупность двух систем алгебраических уравнений ($i = 1, 2$):

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ \mu_{11} & \mu_{21} & -\mu_{12} & -\mu_{22} \\ p_{11} & p_{21} & -p_{12} & -p_{22} \\ q_{11} & q_{21} & -q_{12} & -q_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_i \\ l_i \\ n_i \\ m_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i \\ \mu_{i2}a_i \\ p_{i2}a_i \\ q_{i2}a_i \end{bmatrix}.$$

Выражения для коэффициентов s_i, l_i, n_i, m_i из-за их громоздкости не приводятся. После определения этих коэффициентов компоненты тензора напряжений и компоненты вектора смещения в любой точке пространства определяются по формулам (1) и (2).

Используя полученные здесь представления для функций напряжения, можно построить тензор Грина, который, в свою очередь, может быть использован для решения задач о напряженно деформированном состоянии кусочно однородной ортотропной плоскости с полостями и трещинами.

УДК 629.4.077-:597.3:002.3

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ЧУГУНА ПРИ МАЛЫХ СКОРОСТЯХ СКОЛЬЖЕНИЯ

И. Н. ЗОНТОВА

Белорусский государственный университет транспорта

Триботехнические характеристики материалов тормозных колодок в значительной мере определяют длину тормозного пути, плавность торможения, нагрев и износ обода колеса и, в целом, безопасность на железнодорожном транспорте. Тормозные колодки испытываются, как правило, на высоких скоростях, что не позволяет оценить износ и эффективность торможения по всей длине тормозного пути. Известны также данные о закономерностях трения по колесной стали и изнашивания композиционных колодок. Поэтому представляет интерес изучить триботехнические свойства чугуновых колодок при малых скоростях скольжения.

Испытания фосфористого серого перлитного чугуна (ТУ32 ЦТВР 10-86) проводились при трении без смазки на машине СМТ-1 по схеме вращающийся вал — вкладыш. Вал диаметром 40 мм был выполнен из стали 45. Вкладыш — сектор кольца наружным диаметром 60 мм, внутренним — 40 мм и высотой 10 мм — вырезался из материала тормозной колодки. Длина дуги поверхности трения колодки равнялась 20 мм. Продолжительность нагружения при замере момента трения составляла 30 мин, а при оценке интенсивности изнашивания — 120 мин.

Испытания показали, что коэффициент трения f чугуна по стали с ростом скорости скольжения уменьшается (рисунок 1). Такая зависимость $f(v)$ связана с тем, что при увеличении v деформации контактирующих выступов не успевают распространяться на значительную глубину, повышается упругость контакта, уменьшаются глубина внедрения неровностей, размеры и число фрикционных связей. В итоге повышаются механическая и молекулярная составляющие коэффициента трения.