

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В ТОРМОЗНОМ БАРАБАНЕ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

С. А. АСКЕРОВ

Азербайджанский технический университет, г. Баку

Пара трения «барабан-накладка» барабанных колодочных механизмов колесных машин работает в условиях сложного напряженного состояния [1]. Как известно, на пятнах фактического касания происходит сильный нагрев в тонких приповерхностных слоях барабана, в результате чего образуются прижоги, термические пятна и очаги микротрещин. Вопросы разрушения пары трения «барабан-накладка» тормозного механизма при торможении колесной машины исследовались в работах [2, 3]. Разработка математической модели прогнозирования трещинообразования в барабане тормозной системы в процессе торможения колесных машин является важной и актуальной задачей. В настоящее время исследований по зарождению трещин в барабанах тормозной системы недостаточно. Исследование трещинообразования будет способствовать повышению работоспособности тормозных механизмов, обоснованному выбору конструктивных параметров при проектировании. Представляется актуальной разработка математической модели, в рамках которой можно рассмотреть образование поверхности разрыва материала в барабане тормозных механизмов автомобиля.

При повторно-кратковременном режиме торможения барабан тормозного механизма автомобиля испытывает многократное циклическое нагружение. Считается, что в материале тормозного барабана грузовой колесной машины имеется концентратор напряжений – область ослабленных межчастичных связей материала. При нагружении в прослойках перенапряженного материала образуется зона повреждения. Через некоторое число циклов нагружения (торможений) возможность деформирования в области ослабленных межчастичных связей материала исчерпывается, и раскрытие берегов зоны повреждения резко возрастает. Если раскрытие берегов зоны предразрушения (области ослабленных межчастичных связей материала) достигает предельного для данного материала тормозного барабана значения, то зарождается усталостная трещина [4–6]. Следует отметить, что в предлагаемой расчетной модели, удлинение трещины происходит непрерывно от нулевой длины.

Задача моделирования процессов образования и роста усталостной трещины сводится к последовательно решаемым упругопластическим задачам.

При эксплуатации пары трения «барабан-накладка» автомобиля в металлическом тормозном барабане будут возникать зоны предразрушения, которые представляем как области ослабленных межчастичных связей материала. Зоны повышенных напряжений будут способствовать возникновению повреждений, которые моделируем как области ослабленных межчастичных связей материала [6, 7]. Поскольку указанные зоны (прослойки перенапряженного материала) малы по сравнению с остальной частью барабана, их можно мысленно удалить, заменив разрезами, поверхности которых взаимодействуют между собой по некоторому закону, соответствующему действию удаленного материала, где материал барабана деформируется за пределом упругости.

Взаимодействие берегов зоны предразрушения моделируется путем введения между берегами связей, имеющих заданную диаграмму деформирования. При действии внешних нагрузок в связях, соединяющих берега зоны предразрушения, будут возникать нормальные $q_y(x)$ и касательные $q_{xy}(x)$ усилия. Таким образом, к берегам зоны предразрушения будут приложены нормальные и касательные напряжения, численно равные $q_y(x)$ и $q_{xy}(x)$, соответственно. Величины напряжений, как и местоположение и размер зоны предразрушения заранее неизвестны и должны быть определены.

Экспериментальные исследования [7] возникновения областей, в которых материал деформируется за пределом упругости, показывают, что в начальной стадии нагружения зоны предразрушения представляют собой узкий вытянутый слой, а затем, с ростом нагрузки, внезапно появляется вторичная система областей, содержащих материал с частично нарушенными связями. Физическая природа таких связей и размеры зон предразрушения, в которых осуществляется взаимодействие берегов областей межчастичных связей, зависит от вида материала.

В рассматриваемом случае возникновение усталостной трещины в тормозном барабане представляет собой процесс перехода зоны предразрушения в область разорванных связей между поверхностями материала тормозного барабана. Тормозной барабан моделируем изотропным однородным телом. Твердое тело (барабан), деформируемое за пределом упругости, представляется как

тело, деформируемое упруго всюду, кроме некоторых поверхностей (полос предразрушения).

Считается, что внутренний контур барабана близок к круговому. Как известно, реальная поверхность барабана никогда не бывает абсолютно гладкой, а всегда имеет микро- или макроскопические неровности технологического характера, образующие шероховатость. Несмотря на исключительно малые размеры неровностей, образующих шероховатость, они оказывают существенное влияние на различные эксплуатационные свойства барабана.

Пусть в сечении барабана имеется прямолинейная полоса предразрушения. Рассмотрим некоторую произвольную реализацию шероховатой внутренней поверхности барабана. Считается, что выполняются условия плоской деформации. В области, занятой материалом барабана, компоненты тензора напряжений должны удовлетворять дифференциальным уравнениям плоской теории упругости. Представим границу внутреннего контура барабана в виде

$$\rho(\theta) = R_0 + \delta(\theta). \quad (1)$$

Напряженно-деформируемое состояние тормозного барабана складывается из воздействия двух силовых факторов: центробежных сил инерции и сил контактного давления со стороны колодок с фрикционными накладками, вызывающих появление сил трения и нагрев во время аварийного торможения. Барабаны вращаются с большими скоростями и подвергаются воздействию значительных центробежных сил инерции. Кроме того, высокоскоростной режим торможения сопровождается выделением большого количества тепла в сравнительно короткий промежуток, потерей тормозного момента. Возникающие при этом температурные напряжения могут привести к разрушению барабана.

Таким образом, для колесного барабанного тормоза грузового автомобиля механические напряжения играют решающую роль при кратковременных, температурные – при длительных торможениях. Кроме того, для барабана тормоза в качестве расчетного режима нужно принять свободное вращение барабана с частотой, соответствующей максимальной скорости движения автомобиля, при котором в барабане возникают напряжения, вызванные центробежными силами инерции.

Запишем второе слагаемое в правой части (1) в виде

$$\delta(\theta) = \varepsilon H(\theta), \quad (2)$$

где ε – малый параметр; $H(\theta)$ – функция, независимая от малого параметра.

Внешняя поверхность барабана свободна от внешних нагрузок. Внутренняя поверхность барабана в процессе торможения находится под действием контактного давления и касательных напряжений, связанных с контактным давлением по закону Амонтона–Кулона:

$$\begin{aligned} \sigma_n = -p(\theta); \quad \tau_{nt} = -fp(\theta) \quad \text{при } r = \rho(\theta) \quad \text{на площадке контакта;} \\ \sigma_n = 0; \quad \tau_{nt} = 0 \quad \text{при } r = \rho(\theta) \quad \text{вне площадки контакта.} \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $p(\theta)$ – контактное давление; f – коэффициент пары трения «барабан-накладка».

Граничные условия на берегах зоны предразрушения имеют вид

$$\sigma_y - i\tau_{xy} = q_y(x) - iq_{xy}(x). \quad (4)$$

Для определения значений контактного давления, при которых происходит зарождение трещины, постановка задачи дополняется критерием появления трещины (разрыва межчастичных связей материала). За такой критерий принято условие критического раскрытия берегов зоны предразрушения.

Список литературы

- 1 Вольченко, В. И. Барабанно-колодочные тормозные устройства / В. И. Вольченко, Ю. С. Замора. – Львов : Вища школа, 1980. – 114 с.
- 2 Гейдаров, Ш. Г. Исследование дефектов в тормозном барабане автомобиля / Ш. Г. Гейдаров // Ученые записки АзТУ. – 1999. – Т. VIII, № 2. – С. 171–175.
- 3 Heidarov, Sh. G. Fracture of friction lining of the brake system at car braking / Sh. Heidarov // International Journal of Damage mechanics. – 2002. – Vol. 11. – P. 27–39.
- 4 Мирсалимов, В. М. Зарождение дефекта типа трещины во втулке контактной пары / В. М. Мирсалимов // Математическое моделирование. – 2005. – Т. 17. – № 2. – С. 35–45.
- 5 Мирсалимов, В. М. К решению задачи механики контактного разрушения о зарождении и развитии трещины со связями между берегами во втулке фрикционной пары / В. М. Мирсалимов // Прикладная математика и механика. – 2007. – Т. 71. – № 1. – С. 132–151.
- 6 Гасанов, Ш. Г. Зарождение трещины на границе раздела покрытия и упругого основания / Ш. Г. Гасанов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – № 1(49). – С. 20–24.
- 7 Панасюк, В. В. Механика квазирупкого разрушения материалов / В. В. Панасюк. – Киев : Наукова думка, 1991.