

Моделирование усталостного изнашивания в условиях скольжения или качения

Мещерякова А.Р.¹, Горячева И.Г.²

1 - Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия, *E-mail: mif-almira@yandex.ru*; 2 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Научно исследовательский институт механики, Москва, Россия, *E-mail: goryache@ipmnet.ru*

В работе представлены результаты исследования усталостного изнашивания в контакте скольжения или качения, проведенного с использованием модели накопления поврежденности в приповерхностном слое (механизм отслаивания) [Горячева И.Г., Чекина О.Г., 1999]. Отслаивание является одним из наиболее распространенных механизмов разрушения и может привести к поломке трибосопряжений, работающих в условиях циклического нагружения. Моделирование отслаивания состоит из следующих этапов: расчет контактных и внутренних напряжений, определение накопленной поврежденности в поверхностном слое материала, расчет толщины отделившегося слоя с учётом выбранного критерия разрушения материала, расчёт накопленной поврежденности на следующем шаге и т.д. [Горячева И.Г., 2001]. В качестве критерия разрушения в контакте скольжения или качения рассматриваются амплитудные значения максимальных касательных напряжений или максимальные напряжения по Мизесу, что согласуется с результатами экспериментальных исследований [Makino T., Kato T., Hirakawa K., 2012]. На каждом шаге моделирования износа учитывается история процесса, т.е. накопленная поврежденность на предыдущих этапах.

Рассматривается контакт скольжения/качения упругого шара по упругому полупространству из того же материала в условиях циклического нагружения. Расчёт контактного давления и касательного напряжения проводится с помощью численно-аналитического подхода, основанного на вариационном методе, после чего рассчитывается напряженное состояние упругого полупространства. В рамках одномерной модели усталостного износа накопленная поврежденность на глубине z в момент времени t описывается функцией $Q(z, t)$, которая зависит от амплитудных значений максимальных касательных напряжений. Когда функция достигает критического значения, происходит отслаивание материала.

Результаты показывают, что процесс контактно-усталостного изнашивания в условиях постоянной нагрузки, действующей на скользящее или катящееся тело, состоит из следующих стадий: инкубационный период, период приработки с чередованием отделения с поверхности фрагментов материала определенной толщины и поверхностного износа и затем поверхностный износ с постоянной скоростью. Особенности процесса изнашивания существенно зависят от условий взаимодействия и свойств материала. Разработанная модель позволяет провести анализ влияния коэффициента трения скольжения, относительного проскальзывания и прочностных свойств материала на кинетику усталостного изнашивания в условиях контакта скольжения и качения. Полученные результаты иллюстрируют эволюцию функции накопленной поврежденности и переход от подповерхностного разрушения к поверхностному износу (рис. 1). При качении с проскальзыванием скорость усталостного изнашивания увеличивается с ростом относительного проскальзывания, что сопровождается переходом от подповерхностного износа к поверхностному. В контакте скольжения поверхностный максимум амплитудных значений максимальных касательных напряжений увеличивается с ростом коэффициента трения скольжения и при значении большем 0.3 превышает подповерхностный максимум. При скольжении с коэффициентом

трения скольжения 0.4 основным механизмом изнашивания является поверхностный износ (рис. 1).

Результаты исследования используются для анализа влияния механических и прочностных характеристик материалов взаимодействующих тел, а также величины коэффициента трения на характер контактно-усталостного изнашивания в условиях трения скольжения или качения с заданной величиной относительного проскальзывания.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-38-51005.

Источники и литература

- 1) Горячева И.Г., Чекина О.Г., Изнашивание поверхностей: от моделирования микро-разрушения к анализу формоизменения, Механика твердого тела, Т. 5, 1999.
- 2) Горячева И.Г., Механика фрикционного взаимодействия. Москва: Наука, 2001.
- 3) Makino T., Kato T., Hirakawa K., The effect of slip ratio on the rolling contact fatigue property of railway wheel steel, Int. J. Fatigue, vol. 36, no. 1, pp. 68–79, 2012.

Иллюстрации

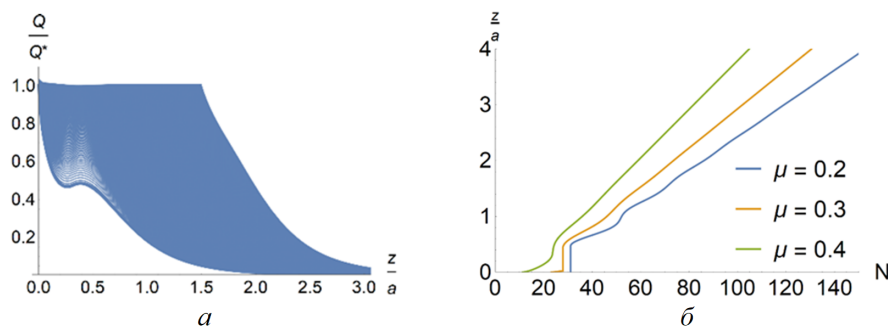


Рис. 1. Эволюция функции поврежденности при $m = 3$ и $\mu = 0.4$ и кинетика изнашивания при скольжении при $m = 3$ и разных коэффициентах трения скольжения