

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В СМАЗОЧНОМ СЛОЕ

Албагачиев А.Ю., Тохметова А.

*Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва*

Ключевые слова: тепловой поток в смазочном слое, колебания смазочного слоя, теплоперенос, количество теплоты.

Аннотация. Разработаны аналитические решения тепловой задачи при фрикционном контакте с учетом теплофизических характеристик твердой поверхности и колебаний силы и скорости. В статье рассматриваются два различных способа расчета теплового потока. Первый способ основан на сумме тепловых потоков подвижной и неподвижной поверхности. Второй способ расчета теплового потока проводился с учетом колебательного движения смазочного слоя.

SIMULATION OF HEAT FLOW IN THE LUBRICANT LAYER

Albagachiev A.Yu., Tokhmetova A.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow*

Keywords: heat flow in the lubricating layer, vibrations of the lubricating layer, heat transfer, amount of heat.

Abstract. Analytical solutions to the thermal problem during frictional contact have been developed, taking into account the thermophysical characteristics of the solid surface and fluctuations in force and speed. The article discusses two different methods for calculating heat flow. The first method is based on the sum of the heat flows of the moving and fixed surfaces. The second method of calculating the heat flow was carried out taking into account the oscillatory motion of the lubricating layer.

Введение. Аналитические решения тепловой задачи при фрикционном контакте тел играют ключевую роль в трибологии, также представляют научный и практический интерес, т.к. прогнозируют тепловые характеристики в смазочном слое [1-5]. В зоне трибоконтакта возникают физические процессы, обуславливающие тепловые явления. Тепло, образованное в процессе трения, оказывает существенное влияние на механические свойства смазочного материала. В данной статье исследуется задача теплопереноса в смазочном слое при колебаниях. Целью этой работы являлось нахождение аналитического решения тепловой задачи при колебательном движении смазочного слоя при фрикционном контакте двух твердых тел.

Исследование тепловой задачи. Постановка, анализ и решение тепловой задачи трения берет истоки с 30-х годов прошлого века. В основе направления науки о трении «Тепловая динамика трения и износа», сформировавший А.В. Чичинадзе, лежит положение о том, что основным параметром для оценки трения и износа при интенсивном трении является тепловой поток между поверхностями. При трении тел практически вся энергия, затрачиваемая на трение, трансформируется в тепло. Рассмотрим тепловую задачу при колебательном движении смазочного слоя. Для описания тепловых процессов

при фрикционном взаимодействии предложена формула суммы тепловых потоков, которая имеет вид:

$$Q_{об} = Q_1 + Q_2. \quad (1)$$

Здесь $Q_{об}$ – суммарное тепловыделение в смазочном слое, Q_1, Q_2 – тепловыделение подвижной поверхности и смазочного слоя.

Количество энергии, в результате теплопередачи находится выражением:

$$Q = \theta \rho V c. \quad (2)$$

Здесь c – теплоемкость тела, ρ – плотность, V – объем, θ – температура.

Объем определяется произведением глубины распространения теплового импульса h на площадь поперечного сечения A . Глубину распространения импульса можно вычислить по формуле

$$h = 1,73\sqrt{at}, \quad (3)$$

где a – температуропроводность.

Приведённые формулы позволяют рассчитать, какое количество теплоты выделилось в смазочной среде:

$$Q = \theta A h \rho c,$$

$$Q = 1,73\theta A \rho c \sqrt{at},$$

$$Q = 1,73\theta A \rho c \sqrt{\frac{\lambda}{c\rho}} t,$$

$$Q = 1,73\theta A \rho c \sqrt{\lambda c \rho t}. \quad (4)$$

Из уравнений (1) и (4) следует, что тепловой поток равен

$$Q_{об} = 1,73\theta A \sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1 t} + 1,73\theta A \sqrt{\lambda_2 c_2 \rho_2 t},$$

$$Q_{об} = 1,73\theta A \sqrt{t} \sqrt{\lambda_1 \rho_1 c_1 + \lambda_2 \rho_2 c_2}. \quad (5)$$

Здесь λ_1, λ_2 – теплопроводность подвижной поверхности и смазочной среды, ρ_1, ρ_2 – плотность подвижной поверхности и смазочной среды, c_1, c_2 – теплоемкость подвижной поверхности и смазочной среды.

Второй способ моделирования теплового процесса в смазочном слое основан на колебательном движении смазочного слоя. Тепловой поток в смазочном слое прямо пропорционально зависит от мощности трения N и времени t :

$$Q_{об} = Nt, \quad (6)$$

Под мощностью трения понимается произведение нагрузки P на скорость v , с которой движется поверхность:

$$N = Pv. \quad (7)$$

Колебания нагрузки находится по выражению

$$P = P_0 \cos 2\pi \nu t, \quad (8)$$

где P_0 – максимальное значение нагрузки, ν – частота колебаний.

Колебания скорости определяется по формуле

$$v = v_0 \cos 2\pi \nu t, \quad (9)$$

Здесь v_0 – максимальное значение скорости.

Из уравнений (6)-(9) получаем следующее выражение:

$$Q_{об} = P_0 v_0 t \cos^2 2\pi v t . \quad (10)$$

Вывод. Разработаны две методики расчета теплового потока в смазочной среде. В первой методике показана прямо пропорциональная зависимость теплового потока от теплофизических свойств. Тепловой поток во второй методике выводится для колебательного движения смазочного материала.

Список литературы

1. Ахметов В.К. Численное моделирование теплопереноса в смазочном слое // Информатика и вычислительная техника и управление. – 2020. – № 3. – С. 85-88.
2. Беляков А.Н., Шилов М.А., Басова Е.В. Ячеечная модель теплопереноса в смазочном слое // Математические методы в технике и технологиях. – 2023. – С. 365-368.
3. Албагачиев А.Ю., Михеев А.В., Тананов М.А., Тохметова А.Б. Определение температуры нагрева смазочного слоя при трении // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2022. – № 5. – С. 93-98.
4. Михеев А.В., Тохметова А.Б., Тананов М.А. Моделирование температуры при смешанной смазке // Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении: Научные труды VII Международной научной конференции, Москва, 14-16 декабря 2021 года. – М.: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2021. – С. 171-174.
5. Старостин Н.П. Численное решение задачи теплопроводности в парах трения с малым коэффициентом перекрытия // Математическое моделирование. – 2005. – Т. 17, № 7. – С. 23-30.

Сведения об авторах:

Албагачиев Али Юсупович – д.т.н., профессор, заведующий отделом «Трение, износ, смазка. Трибология»;

Тохметова Айгерим – научный сотрудник лаборатории узлов трения для экстремальных условий.