

ВЛИЯНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО КОНТАКТА НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ

Матлин М.М., Казанкин В.А., Казанкина Е.Н., Мозгунова А.И.

Волгоградский государственный технический университет (г. Волгоград, Россия)

E-mail: matlin@vstu.ru, detmash@vstu.ru

Энергоэффективность соединений деталей машин характеризуется многими факторами, среди которых следует выделить термическую и электрическую проводимость в контакте. Передача тепловой и электрической энергии в соединениях деталей происходит в пятнах контакта, что свидетельствует о том, что энергоэффективность соединений напрямую зависит от параметров контакта шероховатых поверхностей сопрягаемых деталей. В существующих работах, посвященных тематике исследования, показано, что термическая и электрическая проводимость контакта в соединениях деталей зависит от многих факторов, таких как шероховатости контактирующих поверхностей, распределение радиусов пятен контакта и другие [1, 2].

Следует отметить, что в большинстве работ для определения параметров контакта используются зависимости, справедливые только для случая, когда твердости материалов контактирующих поверхностей отличаются более чем в 2 раза. При этом происходит внедрение микровыступов более твердой поверхности в более мягкую. Однако на практике наиболее распространенным случаем является контакт деталей, твердости материалов близки (то есть отличаются менее чем в 2 раза) или вообще равны. При этом происходит одновременное внедрение и сплющивание микровыступов, а зависимости, справедливые для случая внедрения, дают значительную погрешность. В связи с этим, были проведены исследования контакта деталей, твердости материалов которых отличаются менее чем в 2 раза.

При проведении исследования контакт двух деталей с шероховатыми поверхностями был смоделирован контактом деталей с шероховатой и номинально плоской гладкой поверхностью путем введения понятия «эквивалентная шероховатая поверхность» [3].

Для описания контактного взаимодействия деталей была использована новая характеристика – приведенная пластическая твердость, учитывающая соотношение твердостей обеих контактирующих деталей:

$$H_{Д_{пр}} = \frac{1,5 \cdot H_{Д_{ш}} \cdot H_{Д}}{H_{Д_{ш}} + H_{Д}}, \quad (1)$$

где $H_{Д_{ш}}$ – твердость материала детали с шероховатой поверхностью; $H_{Д}$ – твердость материала детали с гладкой поверхностью. При этом в случаях внедрения и сплющивания приведенная твердость принимает значение твердости материала той детали, которая деформируется упругопластически (для внедрения – $H_{Д}$, для сплющивания – $H_{Д_{ш}}$).

В работе [4] приведена зависимость для расчета сближения в контакте плоских шероховатых поверхностей деталей, справедливая для произвольного соотношения твердостей материала контактирующих деталей, то есть для различных явлений, протекающих в контакте (внедрение, сплющивание или одновременное внедрение и сплющивание):

$$\alpha = \left(\frac{2\pi F R_{max}^v \cdot a^{\frac{1}{b}}}{k A_a b_k H_{Д_{пр}} R^{1-\frac{1}{b}} \cdot h^{\frac{1}{b}}} \right)^{\frac{1}{v-1}}, \quad (2)$$

где F – сила, сжимающая поверхности деталей; R_{max} – максимальная высота

микровыступов поверхности; R – радиус кривизны микровыступов; A_a – номинальная площадь контакта; b_k и v – параметры кривой опорной поверхности; k – коэффициент силового подобия, показывающий соотношение сил в реальном контакте и в модели; h – остаточное сближение, a и b – коэффициенты, зависящие от соотношения твердостей сферической и плоской деталей $H_{Dш}/H_D$.

Коэффициенты a и b были определены на основе экспериментальных исследований. Анализ экспериментальных данных позволил описать зависимость этих коэффициентов от соотношения твердостей шероховатой и плоской деталей $H_{Dш}/H_D$ следующими формулами [4, 5]:

$$a = \frac{0,057}{(H_{Dш}/H_D)^{1,72}} + 0,142, \quad b = 1,306 - 0,153 \cdot \left(\frac{H_{Dш}}{H_D} \right). \quad (3)$$

Фактическая площадь контакта связана с величиной полного сближения следующей зависимостью [3, 6]:

$$\eta_r = A_r / A_a = a^* \cdot b_k \cdot \varepsilon^v, \quad (4)$$

где A_a – номинальная площадь контакта; b_k и v – коэффициенты кривой опорной поверхности, зависящие от вида обработки; $\varepsilon = \alpha / R_{max}$ – относительное сближение; R_{max} – наибольшая высота неровностей профиля; a^* – коэффициент, зависящий от характера деформации в контакте, определяемый как $a^* = \frac{h + 0,5\alpha_y}{\alpha}$.

Преобразовав выражение (4) с использованием выражения (2), получили

$$A_r = (h + 0,5\alpha_y) \cdot \frac{2\pi F \cdot a^{\frac{1}{b}}}{k \cdot H_{Dш} \cdot R^{1-\frac{1}{b}} \cdot h^{\frac{1}{b}}}, \quad (5)$$

Следует отметить, что для случаев внедрения или сплющивания (твердости отличаются более чем в 2 раза) формула (5) превращается в известные формулы для этих случаев [4, 7]:

для внедрения:

$$A_r = \frac{F}{H_D \cdot K_{уп}} \left(1 + \frac{\alpha_y}{h} \right); \quad (6)$$

для сплющивания

$$A_{r,c} = \frac{2,56 \cdot F}{K_{пл} \cdot H_D} \cdot \left(\frac{h_c}{R} \right)^{0,188} \left(1 + \frac{\alpha_{y,c}}{h_c} \right). \quad (7)$$

Проведенные исследования влияния соотношения твердостей на величину сближения в контакте показали, что расхождение между величинами сближения при внедрении и для случая контакта деталей, изготовленных из материалов близкой твердости, может превышать 30 % [8]. Очевидно, что аналогичное расхождение результатов наблюдается и при определении фактической площади контакта. В то же время получение достоверных значений фактической площади контакта является необходимым условием для определения термической и электрической проводимости контакта, а значит и для большей энергоэффективности соединения деталей.

Таким образом, приведенная зависимость для определения фактической площади контакта может быть использована при любом соотношении твердостей

материалов контактирующих поверхностей, то есть для любых явлений, протекающих в контакте (внедрение, сплющивание, одновременное внедрение и сплющивание).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев, А.Ф. Исследование фактической площади контакта по изменению электроконтактного сопротивления при внедрении со сдвигом сферических выступов в плоскую поверхность/А.Ф. Гусев, М.В. Новоселова//Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В.В. Измайлова. Вып. 10. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2017. – С. 19-22.
2. Измайлов В.В. Вариация проводимости дискретного контакта шероховатых поверхностей/В.В. Измайлов// Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В.В. Измайлова. Вып. 10. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2017. – С. 132-137.
3. Демкин, Н. Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей / Н. Б. Демкин. – М. : Наука, 1970. – 227 с.
4. Матлин, М.М. Жесткость упругопластического контакта деталей машин : монография / М.М. Матлин, А.И. Мозгунова, Е.Н. Казанкина, В.А. Казанкин. - М.: Машиностроение, 2015. - 217 с.
5. Матлин, М.М. Экспериментальное исследование прочности соединений, нагруженных поперечной сдвигающей силой / М.М. Матлин, Е.Н. Казанкина, М.А. Куликова, В.А. Казанкин // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования : межвуз. сб. науч. тр. / Тверской гос. техн. ун-т. - Тверь, 2012. - Вып. 5. - С. 37-40.
6. Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М. : Машиностроение, – 1968. – 383 с.
7. Дрозд, М. С. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М. С. Дрозд, М. М. Матлин, Ю. И. Сидякин – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
8. Матлин, М.М. Влияние соотношения твердостей, нагрузки и параметров шероховатости на величину сближения в упругопластическом контакте шероховатых поверхностей плоских деталей/ М.М. Матлин, Е.Н. Казанкина, В.А. Казанкин// Трение и износ. – 2016. – Т. 37, №4. – С. 416-420.