

ПРОЧНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

УДК 621.81

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-10-257-34-36

М. М. Матлин, В. А. Казанкин, Е. Н. Казанкина, Е. В. Капиносова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СБЛИЖЕНИЯ В ПЛАСТИЧЕСКОМ КОНТАКТЕ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ МИКРОВЫСТУПОВ НОМИНАЛЬНО ПЛОСКИХ ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦИЛИНДРАМИ*

Волгоградский государственный технический университет

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

В работе получена зависимость для определения сближения в пластическом контакте шероховатых поверхностей плоских деталей при моделировании микровыступов цилиндрами. По полученной зависимости исследовалось влияние метода обработки сопрягаемых поверхностей на величину сближения в контакте.

Ключевые слова: пластический контакт, пластическая твердость, сближение, цилиндр, шероховатая поверхность.

M. M. Matlin, V. A. Kazankin, E. N. Kazankina, E. V. Kapinosova

DETERMINATION OF RAPPROCHEMENT IN PLASTIC CONTACT WHEN MODELING MICROASPERITY OF NOMINALLY PLANE ROUGH SURFACES WITH CYLINDERS

Volgograd State Technical University

In this article, a dependence is obtained for determining the rapprochement in plastic contact of rough surfaces of plane parts when modeling microasperity with cylinders. According to the obtained dependence, the influence of the method of processing the mating surfaces on the amount of rapprochement in contact was studied.

Keywords: plastic contact, plastic hardness, rapprochement, cylinder, rough surface.

Параметры контактного взаимодействия шероховатых поверхностей во многом определяют прочность неподвижных соединений. В частности, величина контактного сближения микронеровностей сопрягаемых поверхностей влияет на размер фактической площади контакта, от которой в свою очередь зависит уровень контактной жесткости, прочностные параметры соединения деталей на сдвиг, имеет значение при расчете сил трения и износа контактирующих поверхностей, а также герметичности, электро- и теплопроводности стыков деталей и др.

При моделировании контакта шероховатых поверхностей, единичную микронеровность представляют в виде индентора различной геометрической формы: сферы, цилиндра, конуса или эллипсоида.

В литературе имеется большое количество работ по вопросам определения величины контактного сближения. Следует отметить, что в большинстве работ встречается “сферическая модель” выступа, так как она является наиболее изученной для прочностных расчетов неподвижных соединений, расчета сил трения, определения физико-механических свойств материала и т. д.

Моделирование контакта шероховатых поверхностей телами другой геометрической формы, например цилиндром или конусом, изучены недостаточно. При этом для некоторых видов механической обработки наибольшее соответствие между моделью и реальным контактом может достигаться при моделировании цилиндром или конусом. Например, при

© Матлин М. М., Казанкин В. А., Казанкина Е. Н., Капиносова Е. В., 2021.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00049, а также в рамках конкурса МК-2021 (грант Президента РФ № МК-84.2021.4).

фрезеровании следы обработки имеют протяженную форму и микровыступы шероховатой поверхности наиболее близки к цилиндрической форме. В связи с этим актуальной задачей является исследование контактного взаимодействия шероховатых поверхностей при моделировании микровыступов цилиндром.

При исследовании было использовано допущение о пластическом контакте шероховатостей сопряженных деталей, который может возникать при малой твердости, грубой шероховатости. Также пластическая деформация микровыступов контактирующих поверхностей наблюдается при больших контактных нагрузках в соединениях деталей машин. В работе [1] приведена зависимость для пластического контакта единичного цилиндрического индентора при его внедрении в плоскую гладкую поверхность детали:

$$h = 0,2R_{\text{рол}}\left(\frac{q}{H_{\text{Д}} \cdot R_{\text{рол}}}\right)^{1,52}, \quad (1)$$

где $R_{\text{рол}}$ – радиус ролика (цилиндра); q – нагрузка на единицу длины линии контакта (удельная нагрузка); $H_{\text{Д}}$ – пластическая твердость [2] материала детали.

На основе зависимости (1) определим сближение в контакте плоских шероховатых поверхностей при пластической деформации в контакте.

Пусть шероховатая поверхность с цилиндрическими выступами радиуса R прижимается к гладкой поверхности с удельной нагрузкой q_N , в контакте находятся выступы N уровней.

Для определения сближения всей шероховатой поверхности используют уравнение начального участка кривой опорной поверхности (2), предложенного Н. Б. Демкиным и И. В. Крагельским [3, 4]:

$$\eta_r = A_r/A_a = a \cdot b \cdot \varepsilon^v \quad (2)$$

где A_a – номинальная площадь контакта; b и v – коэффициенты, зависящие от метода обра-

ботки; $\varepsilon = h/R_{\text{max}}$ – относительное сближение; R_{max} – наибольшая высота микронеровностей; a – коэффициент, зависящий от характера деформации в контакте: $a = 1,0$ при пластическом контакте.

Для описания шероховатой поверхности используется “одноуровневая” модель, предложенная в работе [5], при которой все выступы имеют одинаковые радиусы вершин и расположены на одном уровне. Так же для упрощения используем «эквивалентную шероховатую поверхность», когда одна поверхность представляется номинально плоской гладкой поверхностью, а другая шероховатой [3].

Соотношение сил в реальном контакте и в “одноуровневой” модели показывает коэффициент силового подобия:

$$K = \frac{q_N}{q_M} = \frac{n_I' q_I' + \dots + n_j' q_j' + \dots + n_N' q_N'}{n'' q_I'} \quad (3)$$

где K – коэффициент силового подобия; n_j'' и q_j' – число выступов j -го уровня шероховатой поверхности и нагрузка на единичный выступ этого уровня.

Имея в виду, что

$$h_j = h_I - (j-1) \frac{h_I}{N} \quad (4)$$

Получим

$$\frac{h_I}{h_j} = \frac{N}{N+1-j} \quad (5)$$

С учетом (1) отношение (5) примет вид:

$$\frac{h_I}{h_j} = \left(\frac{q_I'}{q_j'}\right)^{1,52} = \frac{N}{N+1-j} \quad (6)$$

Тогда нагрузка на единичный выступ j -го уровня будет равна:

$$q_j' = q_I' \cdot \left(\frac{N+1-j}{N}\right)^{0,657} \quad (7)$$

Число выступов n_j'' на каждом уровне определяется отношением суммарной площади сечения $A_{s,I}$ к ее значению, получаемого из уравнения кривой опорной поверхности $A'_{s,I}$ при одинаковых сближениях, то есть

$$n_I'' = \frac{A_{s,I}}{A'_{s,I}} = \frac{A_a \cdot b \cdot \left(\frac{\varepsilon}{N}\right)^v}{2 \cdot L \cdot (2 \cdot R_{\text{рол}})^{0,5} \cdot \left(\frac{h}{N}\right)^{0,5}} = \frac{A_a \cdot b \cdot \varepsilon^v}{2 \cdot L \cdot h_I \cdot \sqrt{2 R_{\text{рол}}} \cdot N^{v-0,5}} = \frac{z}{N^{v-0,5}} \quad (8)$$

где обозначим

$$z = \frac{A_a \cdot b \cdot (h_I/R_{\text{max}})^v}{2L\sqrt{2R_{\text{рол}}}h_I} = n'' \quad (9)$$

где n'' – число выступов “одноуровневой” модели, L – длина цилиндра.

В работе [1] предложено определять число

выступов с использованием количества уровней N :

$$n_j'' = \frac{z}{N^{v-1}} [j^v - 2(j-1)^v + (j-2)^v] \quad (10)$$

Подставляя полученные выражения (7), (9), (10) в формулу (3) получим:

$$K = \frac{q_N}{q_M} = \frac{1 + \frac{1}{N^{0,657}} \sum_{j=2}^N [j^v - 2(j-1)^v + (j-2)^v] \cdot (N+1-j)^{0,657}}{N^{v-1}} \quad (11)$$

При увеличении количества уровней N значение коэффициента K можно считать постоянным:

$$K_{пл} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{q_N}{q_M} = \frac{q}{q_M} = const \quad (12)$$

С учетом полученных зависимостей (1), (10) из (12) получаем зависимость удельной нагрузки q от сближения h

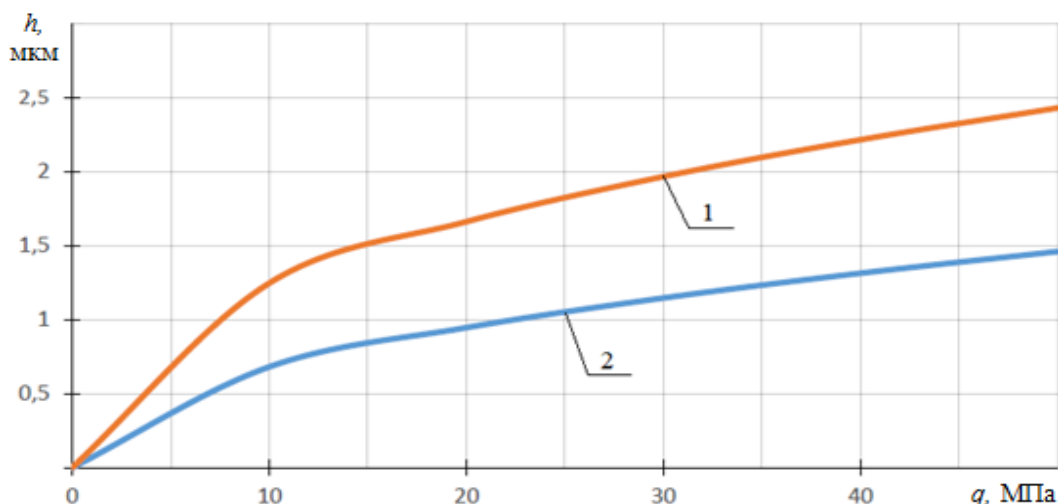
$$q = K_{пл} q_M = K_{пл} n'' q_I' = \frac{K_{пл} \cdot A_a \cdot b \cdot h^{v+0,16} \cdot R_{пол}^{0,16}}{0,96 \cdot R_{max}^v \cdot L \cdot R_{пол}^{0,16}} \quad (13)$$

Выражаем h

$$h = \left(\frac{0,96 \cdot R_{max}^v \cdot R_{пол}^{0,16} \cdot L \cdot q}{K_{пл} \cdot A_a \cdot b \cdot R_{пол}^{0,16}} \right)^{\frac{1}{v+0,16}} \quad (14)$$

По полученной зависимости было вычислено сближение для шероховатых поверхностей,

обработанных различными методами. Для каждого метода обработки параметры шероховатости b и v соответствовали 7 качеству точности и выбирались по справочным данным [6]. Полученные графики зависимостей сближения от удельной нагрузки показаны на рисунке. При обработке фрезерованием (линия 1) величина сближения больше, чем при обработке строганием (линия 2). Это объясняется тем, что геометрические характеристики микровыступов различны. При обработке фрезерованием радиус закругления вершин микронеровностей меньше, чем при строгании, что приводит к увеличению пластической деформации.



Графики зависимости сближения h от удельной нагрузки q :
линия 1 – при фрезеровании; линия 2 – при строгании

Таким образом, в работе получена новая зависимость для определения сближения в пластическом контакте номинально плоских шероховатых поверхностей при моделировании микронеровностей цилиндрами. Показано влияние вида обработки на величину сближения в контакте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жесткость упругопластического контакта деталей машин : монография / М. М. Матлин, А. И. Мозгунова, Е. Н. Казанкина, В. А. Казанкин. – Москва : Машиностроение, 2015. – 218 с.

2. ГОСТ 18835–73. Металлы. Метод измерения пластической твердости. – Введ. 01.01.74. (ограничение срока действия снято Межгосударственным Советом стандартизации, метрологии и сертификации, протокол №3-93, ИУС №5/6, 1993 г.).

3. Демкин, Н. Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей / Н. Б. Демкин. – Москва : Наука, 1970. – 215 с.

4. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – Москва : Машиностроение, 1977. – 526 с.

5. Дрозд, М. С. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации : монография / М. С. Дрозд, М. М. Матлин, Ю. И. Сидякин. – Москва : Машиностроение, 1986. – 224 с.

6. Рыжов, Э. В. Контактная жесткость деталей машин / Э. В. Рыжов. – Москва : Машиностроение, 1966. – 195 с.