

ПРОЧНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

УДК 621.81

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-2-285-52-54

В. А. Казанкин, Е. Н. Казанкина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТА ПРИ СПЛЮЩИВАНИИ ЕДИНИЧНОГО КОНУСА ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: kazankin_vmr@mail.ru

В работе приведены результаты теоретического и экспериментального исследования контактной жесткости при сплющивании единичного конуса плоским контртелом. Приведено сравнение полученных значений контактной жесткости для случая сплющивания со значениями контактной жесткости при внедрении конуса в упругопластическое контртело.

Ключевые слова: контактная жесткость, сплющивание, единичный микровыступ, конус.

V. A. Kazankin, E. N. Kazankina

STUDY OF CONTACT PARAMETERS WHEN FLATTENING A SINGLE CONE WITH A FLAT SURFACE

Volgograd State Technical University

The paper presents the results of a theoretical and experimental study of contact stiffness during flattening of a single cone by a flat counterbody. A comparison is given of the obtained values of contact stiffness for the case of flattening with the values of contact stiffness when a cone is introduced into an elastoplastic counterbody.

Keywords: contact rigidity, flattening, single microasperity, cone.

При определении нагрузочной способности соединений важным фактором является учет жесткости стыка деталей, сопряженных в соединении. В некоторых случаях пренебрежение ей может приводить к ошибке в определении нагрузочной способности соединения, достигающей 40 % [1]. Очевидно, что в основе контактного взаимодействия шероховатых поверхностей лежат закономерности упругопластического взаимодействия единичного микровыступа с поверхностью контртела. Следует отметить, что при различных видах механической обработки форма микровыступов может значительно отличаться. В связи с этим для получения наиболее достоверных значений контактной жесткости стыка деталей и, следовательно, нагрузочной способности при моделировании и проектировании соединений следует моделировать микровыступы телами различной формы: сферами, конусами, цилиндрами.

В зависимости от соотношения твердостей индентора и контртела можно выделить три случая контакта [2]:

1. Внедрение упругого индентора в упругопластически деформируемое контртело. Происходит в случае, когда твердость материала индентора более чем в два раза превышает твердость материала контртела.

2. Сплющивание упругопластически деформируемого индентора в упругое контртело. Происходит в случае, когда твердость материала контртела более чем в два раза превышает твердость материала индентора.

3. Контакт деталей, изготовленных из материалов близкой твердости (твердости материалов отличаются менее чем в 2 раза). При этом происходит одновременное внедрение и сплющивание индентора.

Наиболее широко в литературе рассмотрено моделирование микровыступов шариком при различных соотношениях твердостей. Для конического и цилиндрического инденторов в литературе приведены исследования в основном только для случая внедрения. В данной работе было проведено исследование контактной жесткости при сплющивании единичного конуса.

Для получения зависимости, позволяющей определять сближение α при сплющивании единичного конуса в контакте с плоской поверхностью была использована теория размерности [3]. Проведенное экспериментальное исследование показало, что сближение α в контакте может быть представлено как функция следующих параметров: тангенса половины угла при вершине конуса $\operatorname{tg}\varphi$, диаметра основания конуса d , пластической твердости материала сплющиваемого конуса $HД$ и контактной нагрузки F :

$$\alpha = f(\operatorname{tg}\varphi, HД, d, F). \quad (1)$$

Согласно π -теореме теории размерностей из указанных параметров можно составить два безразмерных комплекса: $2\operatorname{tg}\varphi \cdot \alpha / d$ и $F / (HД \cdot d^2)$, которые имеют физический смысл относительного сплющивания и отношение степени нагружения к твердости материала конуса.

Связь между комплексами представляли в виде

$$\frac{2\operatorname{tg}\varphi \cdot \alpha}{d} = a \cdot \left(\frac{F}{HД \cdot d^2} \right)^b. \quad (2)$$

Коэффициенты a и b определяли с помощью экспериментальных данных, полученных при сплющивании конусов. Для проведения экспериментального исследования использовались стальные конусы с различными углами при вершине (рис. 1). Пластическая твердость материала конусов $HД_k = 1766$ МПа, твердость стальной плитки $HД = 4000$ МПа. Диаметр основания конуса $d = 15$ мм. Приложенная нагрузка варьировалась от 600 Н до 9800 Н.

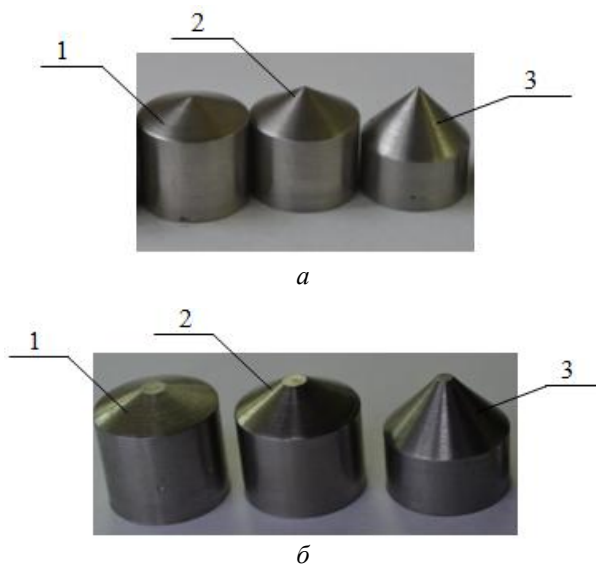


Рис. 1. Образцы из стали У8 с углами при вершине до (а) и после сплющивания (б):
1 – 136°; 2 – 120°; 3 – 86°

На рис. 2 показаны экспериментальные графики зависимости безразмерных комплексов, использованных в формуле (2), и график, построенный с использованием полученных данных. При этом использовались значения коэффициентов $a = 1,83$; $b = 0,65$. Видно, что расхождение между графиками, построенными в безразмерных координатах для исследованных случаев, не превышает 10 %. Таким образом, зависимость (2) достоверно отображает связь между составленными безразмерными комплексами.

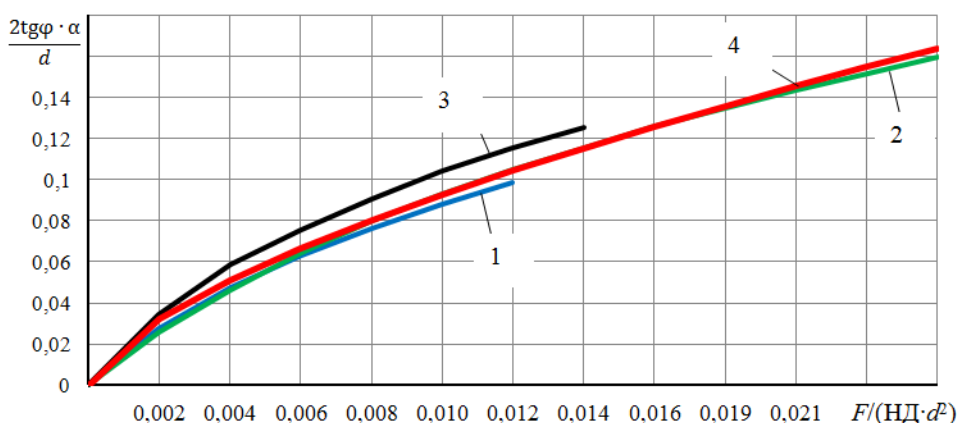


Рис. 2. Графики зависимости относительного сплющивания $2\operatorname{tg}\varphi \cdot \alpha / d$ от безразмерного комплекса $F / (HД \cdot d^2)$:
1, 2, 3 – экспериментальные значения для стальных конусов с углами при вершине 2φ , равными 86°, 120°, 136° соответственно;
4 – расчет по формуле (2) при $a = 1,83$; $b = 0,65$

Преобразовав выражение (2) и подставив полученные значения коэффициентов, получили зависимость для определения сближения в контакте единичного конуса с плос-

кой поверхностью для случая сплющивания конуса:

$$\alpha = 1,83 \cdot \left(\frac{F}{HД \cdot d^2} \right)^{0,65} \cdot \frac{d}{2\operatorname{tg}\varphi} \quad (3)$$

На рис. 3 приведены графики зависимости контактной жесткости от приложенной нагрузки для случаев внедрения единичного конуса, рассчитанные по известным зависимостям [2], а также экспериментальные значения для случая сплющивания конуса. Видно, что при ра-

венстве других параметров контакта (угол при вершине, твердость материала упругопластически деформируемого тела и диаметра основания конуса) расхождение между двумя видами контактного взаимодействия в исследованных случаях может достигать 30 %.

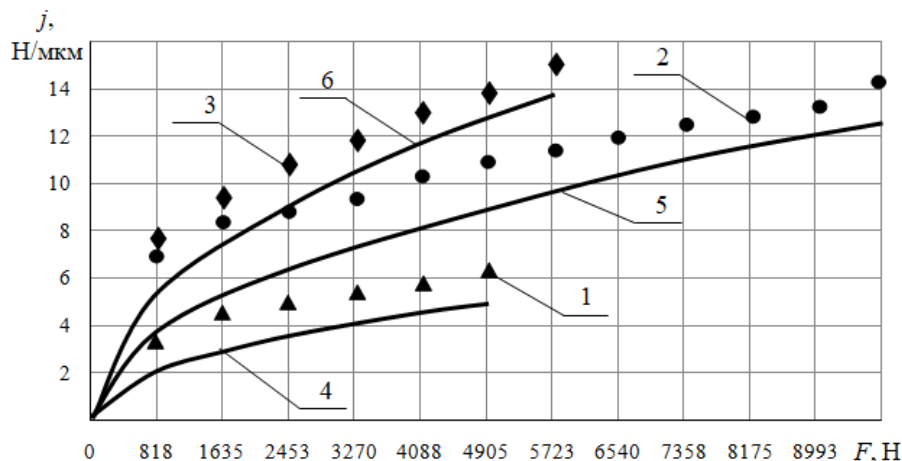


Рис. 3. График зависимости контактной жесткости j от нагрузки F в контакте единичного конуса ($H_D = 1800$ МПа, $d = 15$ мм) с плоской поверхностью: точки 1, 2, 3 – экспериментальные значения для сплющивания конусов с углами при вершине, равными 86° , 120° , 136° соответственно; линии 4, 5, 6 – расчет по формуле для внедрения конусов [2] с углами при вершине, равными 86° , 120° , 136° соответственно

Таким образом, разработана зависимость для определения сближения и жесткости контакта единичного конуса с плоским контртелом в условиях сплющивания конуса. Показано значительное расхождение в значениях контактной жесткости для различных случаев контактного взаимодействия, а именно для внедрения и сплющивания индентора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов, А. С. Расчет соединения с натягом с учетом контактной жесткости сопрягаемых поверхностей / А. С. Иванов, Б. А. Попов // Вестник машиностроения. – 2005. – № 4. – С. 31–36.
2. 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.
3. Бриджмен П. Анализ размерностей. – Ижевск : РХД, 2001. – С. 45. – 148 с.