

**РАЗВИТИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО
СМЕЩЕНИЯ УПРУГОГО КОНТАКТА**

В. И. МАКСАК

(Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

Исследование взаимодействия контактирующих шероховатых поверхностей при взаимном тангенциальном смещении является основным вопросом многочисленных работ, посвященных проблеме трения. Исследование предварительного смещения дает физическое обоснование понятию неполной силы трения и позволяет сделать некоторые заключения о ее природе [1].

В работе рассматривается такое предварительное смещение, которое после снятия сдвигающих и сжимающих сил оказывается полностью обратимым и имеет место при повторных нагружениях.

Общий характер связи силы сдвига и предварительного смещения для различных сжимающих сил показан на рис. 1. Из рисунка видно, что увеличение силы сжатия, с одной стороны, увеличивает жесткость связи, с другой стороны, увеличивает значение предельного смещения. Пунктирная линия определяет величины предельного смещения при различных силах сжатия.

Так как характер развития деформации в контакте определяет предельную силу сдвига, оказывается интересным установление взаимосвязи между смещением и отношением этой силы к силе сжатия, которое принято называть коэффициентом трения покоя. Такая взаимосвязь показана на рис. 2. Линии 1 соответствует смещение при максимальных силах сдвига $P = fN$. При постоянной силе сжатия N и определенной предельной силе сдвига P снижению коэффициента трения f соответствует увеличение смещения (линии 2÷13). Однако уменьшению коэффициента трения при постоянной силе сдвига существует предел, который определяется равенством $P = fN$. Дальнейшее снижение коэффициента трения требует снижения сдвигающей силы: При этом величина упругого предварительного смещения уменьшается по линии 1 (рис. 2). При малых коэффициентах трения эта взаимосвязь отклоняется от линейной в сторону уменьшения смещения, что возможно объясняется увеличением влияния адгезионной составляющей при малых силах сдвига. Таким образом, большему коэффициенту трения покоя, так же как и большей силе сжатия, с одной стороны, соответствует большая жесткость связи, с другой стороны — большее предельное смещение.

Кроме того, на величину смещения также оказывают влияние геометрия шероховатой поверхности и ее механические свойства. Проведение такого эксперимента является весьма сложным, так как требует ис-

ключения различного влияния других параметров на смещение. Получить же контакты с одинаковыми коэффициентами трения не представ-

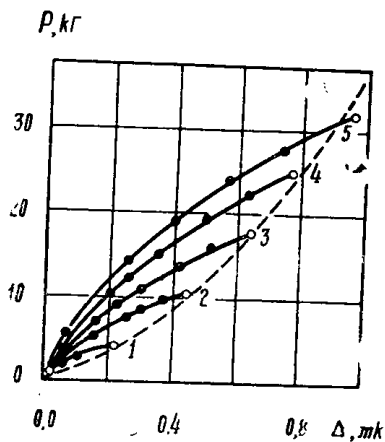


Рис. 1. 1, 2, 3, 4, 5 — экспериментальные графики предварительного смещения от сил сдвига для сил сжатия, имеющих значение соответственно 5, 15, 25, 35, 45 кг. 6 — график предельных предварительных смещений (по данным И. Р. Кояхина [2])

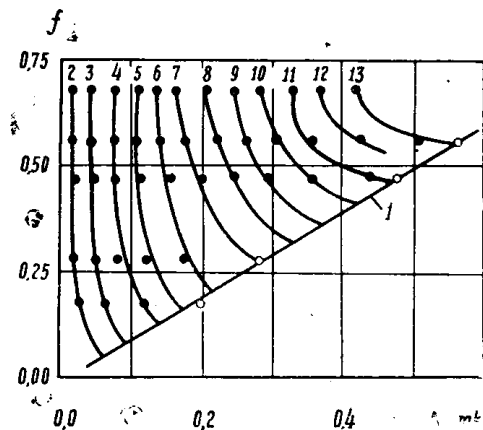


Рис. 2. Экспериментальные графики взаимосвязи предварительного смещения и коэффициент трения покоя для сил сдвига, имеющих соответственно следующие значения в кг: 1/5, 2/24, 3/22, 4/20, 5/18, 6/16, 7/14, 8/12, 9/10, 10/8, 11/6, 12/4, 13/2. Сталь 3, $N=45$ кг, чистота обработки поверхности $\nabla 8$ класса

ляется возможным. Однако, несмотря на эти трудности, попытка проведения такого эксперимента все же была сделана. Из рис. 3 а видно, что

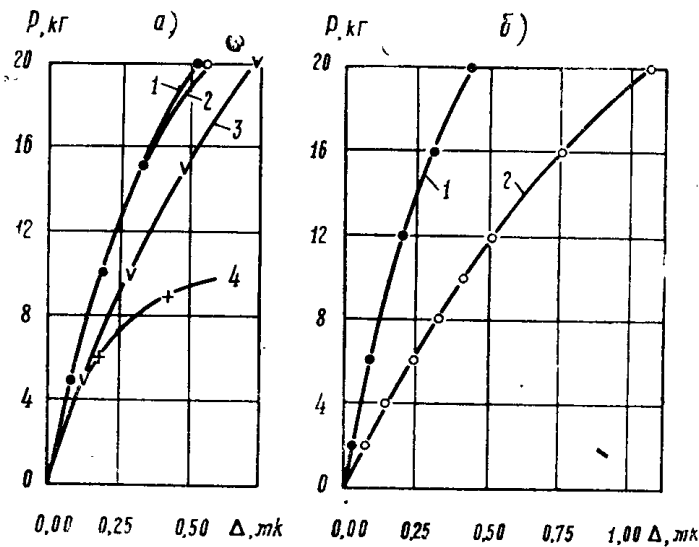


Рис. 3. а) Упругие предварительные смещения для образцов с чистой обработкой: 1/ $\nabla 5$, 2/ $\nabla 9$, 3/ $\nabla 4$, 4/ $\nabla 9$ в контакте с образцом, имеющим обработку поверхности 8 класса чистоты. Коэффициенты трения соответствующих пар равны: 1/0,63, 2/0,47, 3/0,6, 4/0,2. Сталь 3, $N=45$ кг

б) Упругие предварительные смещения: 1 — контакта стальных образцов с коэффициентом трения 0,58; 2 — контакта медных образцов с коэффициентом трения 0,45. $N=45$ кг, $\nabla 8$

для более грубых поверхностей величина смещения несколько больше. Так смещение образца с чистой обработкой $\nabla 4$ больше, чем с чисто-

той $\nabla 5$ (коэффициенты трения примерно одинаковые). Смещение для образца с чистотой обработки $\nabla 9$ оказалось несколько больше, чем с чистотой $\nabla 5$, однако это можно объяснить тем, что эта пара имела коэффициент трения значительно меньший (смещения показаны при одинаковых силах сдвига). То, что влияние коэффициента трения велико, видно по кривой 4, для которой контакт тот же самый, что и для кривой 2. Разница лишь в том, что коэффициент трения здесь еще ниже и равен 0,2.

Эксперименты, проведенные на материалах, имеющих разные модули сдвига, показали только их количественное влияние на смещение. Из рис. 3 б видно, что смещение при одной и той же силе сдвига меньше предельной, для материала с меньшим модулем сдвига — выше. Хотя контакт медных образцов имел коэффициент трения ниже, чем контакт стальных образцов, разница в смещениях показывает очевидность влияния модуля сдвига.

Для аналитического выражения взаимосвязи силы трения и предварительного смещения в процессе сдвига можно воспользоваться формулой, полученной в работе [3] с использованием решений Р. Миндлина [4] и Н. Б. Дёмкина [5]:

$$\Delta = \frac{(2 - \mu) f h_{\max}}{1 - \mu} \left\{ \frac{0,75 \pi (1 - \mu) r^{1/2} N}{b K_2 h_{\max}^{1/2} G A_c} \right\}^{\frac{2}{2\nu + 1}} \left[1 - \left(1 - \frac{P}{fN} \right)^{\frac{2}{2\nu - 1}} \right],$$

где

Δ — упругое предварительное смещение;

μ — коэффициент Пуассона;

G — модуль сдвига;

h_{\max} — максимальная высота неровностей;

r — радиус выступов;

A_c — контурная площадь;

b, ν — параметры кривой опорной поверхности;

K_2 — коэффициент, зависящий от ν [5].

Формула удовлетворительно соответствует эксперименту.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. В. Крагельский, В. С. Щедров. Развитие науки о трении. Изд-во АН СССР, 1956.
2. И. Р. Коняхин. Теория предварительных смещений применительно к вопросам контактирования деталей. Изд-во Томского университета, Томск, 1965.
3. В. И. Максак. Количественная оценка упругого предварительного смещения. Изв. вузов, «Машиностроение», № 6, 1969.
4. R. D. Mindlin. Compliance of Elastic Bodies in Contact. J. Appl. Mech., № 16, 1949.
5. Н. Б. Демкин. Фактическая площадь касания твердых поверхностей. Изд-во АН СССР, 1962.