

О ДВУХ ОСОБЕННОСТЯХ ДЕФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Б. П. МИТРОФАНОВ, Г. А. РАХВАЛОВА, К. Н. ЦУКУБЛИНА

(Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

В работе [1] рассмотрены некоторые особенности деформации дискретного контакта твердых тел при сжатии. Полученные авторами дополнительные результаты приводятся ниже.

Постоянство отношения величины упругого сближения к полному сближению

Экспериментальное изучение сближения двух тел, обусловленного деформацией контакта, позволило обнаружить постоянство отношения величины упругого сближения к полному [2]. Упругое сближение наблюдается при повторных нагружениях контакта, а полное упруго-пластическое — при первом нагружении.

Постоянство отношения величины упругого сближения к полному наблюдалось нами на контактах из различных металлов: стали, чугу-

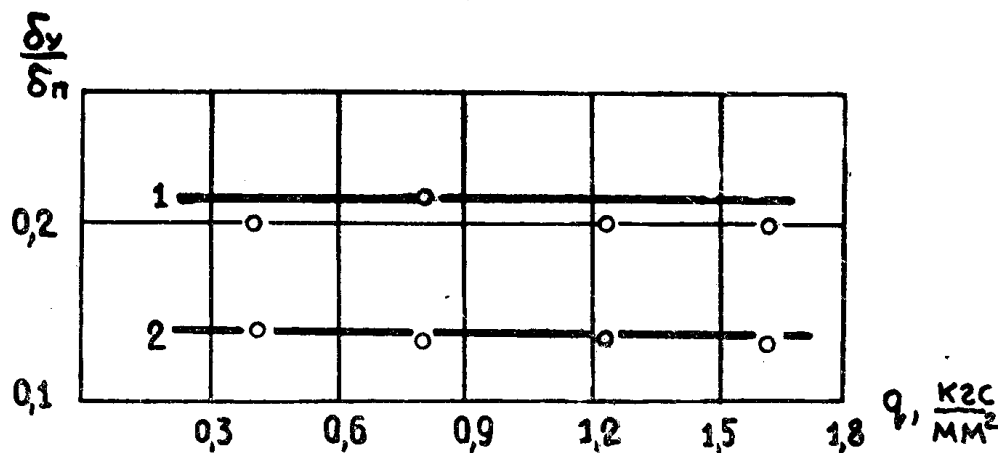


Рис. 1. 1 — контакт-шероховатая поверхность образца из стали 10 (4 класс чистоты) с полированной поверхностью образца из твердого сплава; 2 — контакт-шероховатая поверхность образца из меди (4 класс чистоты) с полированной поверхностью образца из твердого сплава.

на, меди, латуни, цинка и др. с чистотой обработки 4–7 классов (рис. 1).

Для объяснения упомянутого факта рассмотрим некоторые закономерности деформации дискретного контакта, представляя последний

как совокупность сферических выступов одного радиуса, расположенных с постоянной плотностью на плоскости и определенным образом расположенных по высоте [4].

Для контакта шероховатой поверхности, моделированной набором сфер с абсолютно твердой гладкой поверхностью, используем две известные экспериментальные зависимости [3, 5]

$$\delta_{\text{п}} - \delta_{\text{y}} = \alpha N, \quad (1)$$

$$N = ad^n, \quad (2)$$

где $\delta_{\text{п}}$ — сближение шарика и плоскости при первом вдавливании;

δ_{y} — то же при повторных вдавливаниях;

d — диаметр отпечатка;

N — сжимающее усилие;

α, a, n — постоянные эксперимента.

Для малых сближений справедливо

$$\delta = \left(\frac{d}{2} \right)^2 \frac{1}{2R}, \quad (3)$$

где R — радиус шарика.

Подставив (3) в (2), получим

$$\delta_{\text{п}} = \frac{1}{8Ra^n} N^{\frac{2}{n}}. \quad (4)$$

Из (1), учитывая (4), получим

$$\frac{\delta_{\text{y}}}{\delta_{\text{п}}} = 1 - \alpha 8Ra^n N^{1 - \frac{2}{n}}. \quad (5)$$

Экспериментальная проверка условия (5) при вдавливании шарика $D = 10 \text{ мм}$ в плоскую поверхность образца из ст. 10 показала хорошее совпадение теоретических значений с опытами (рис. 2 а).

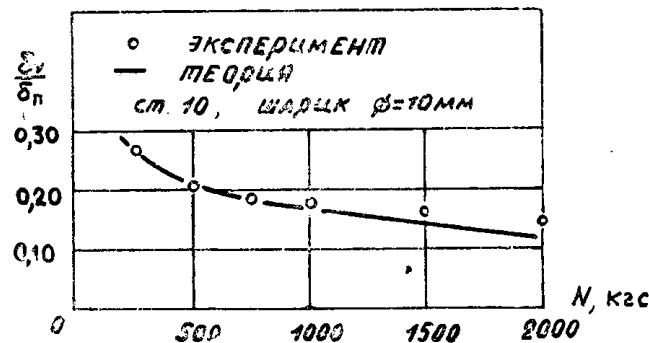


Рис. 2 а. Зависимость внедрения закаленного шарика диаметром 10 мм в строганную поверхность стального образца.

1 — первое нагружение, 2 — второе нагружение.

Поверхностные слои металлов значительно упрочнены при обработке, поэтому $n \rightarrow 2$, а зависимость (5) можно записать в виде:

$$\frac{\delta_{\text{y}}}{\delta_{\text{п}}} = 1 - 8\alpha Ra = \text{const.} \quad (6)$$

Проведенные нами опыты подтверждают полученные результаты (рис. 1). Аналогичный вывод получается при обработке опытов Н. Б. Демкина [4], П. Е. Дьяченко [6].

Если одновременно начать сжатие нескольких единичных выступов, то, как следует из формул (1) и (4), зависимости между сближениями и нагрузкой будут линейными при $n \rightarrow 2$. Такое условие обычно выполняется при вдавливании в шероховатую поверхность закаленного шарика. На рис. 2 б изображены графики зависимости сближения от нагрузки для первого и повторного внедрения шарика в шероховатую поверхность.

Результаты опытов И. Р. Коняхина [2], Н. Б. Демкина [4] и проведенных нами позволяют величину сближения для дискретного металлического контакта представить в виде

$$\begin{aligned} \delta_y &= A_y \cdot N^m, \\ \delta_n &= A_n N^m, \end{aligned} \quad (7)$$

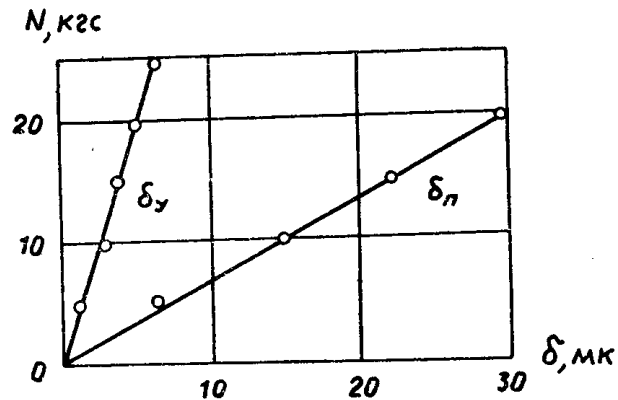


Рис. 2 б.

где A_y , A_n , m — некоторые постоянные для данного контакта величины, N — усилие сжатия.

Из формул (2) и (6) следует, что параметр m в выражениях (7) зависит от распределения выступов по высоте, которое, как известно [4], определяется параметром ν кривой опорной поверхности. Следовательно, учитывая [6], надо ожидать постоянства ν в некотором диапазоне нагрузок.

О влиянии величины и формы контурной площади контакта на его деформацию

Для теоретического описания деформации дискретного контакта в настоящее время используется следующая модель. Реальная поверхность тела представляется в виде множества осесимметричных выступов. Это множество наделяется свойством аддитивности, которое значительно упрощает получение закономерностей деформации контакта.

В работе [1] показано существование взаимного влияния отдельных выступов поверхности друг на друга при их деформировании, что исключает упомянутое выше свойство аддитивности.

Взаимное влияние выступов приводит к увеличению сближения, величина которого при постоянном контурном давлении будет зависеть от формы и величины контурной площади.

Значительность такого влияния проанализируем на модели контурной площади дискретного контакта, представляющей множество круговых пятен касания с радиусом R и расстоянием между центрами соседних кругов L . Для упрощения дальнейших расчетов примем, что давление на этих пятнах касания p — равномерное. Тогда дополнительное перемещение δ_1 центра круга, вызванное давлением p , распределенным по ближнему пятну, будет [8]

$$\delta_1 = \frac{4(1 - \nu^2)pL}{\pi E} \left[A - \left(1 - \frac{R^2}{L^2} \right) B \right],$$

где ν , E — коэффициент Пуассона и модуль упругости,

A, B — полные эллиптические интегралы, определяемые модулем $k = \frac{R}{L}$.

Средняя величина перемещения точек круга, нагруженного равномерным давлением p , равна

$$\delta_{\text{ср}} = 0,54 \frac{\pi R p (1 - \nu^2)}{E}.$$

Тогда отношение

$$\frac{\delta_1}{\delta_{\text{ср}}} = 0,753 \frac{1}{k} [A - (1 - k^2) B]$$

в интервале изменения k с достаточной точностью можно представить линейной функцией

$$\frac{\delta_1}{\delta_{\text{ср}}} = 0,617k.$$

Зная взаимное влияние двух пятен касания, можно определять его для других случаев, используя для этого принцип независимости. В качестве примера вычислим увеличение перемещения δ для пятна касания, расположенного в центре круглой контурной площади. Пусть радиусы окружностей, на которых расположены соседние пятна, будут $L, 2L, 3L, \dots, nL$; на первой окружности расположено n пятен, тогда на второй $2n$, на третьей $3n$ и т. д.

Легко показать, что дополнительные перемещения центрального пятна касания, вызванные усилиями, приложенными по различным окружностям, будут равны между собой

$$\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_k = n \cdot 0,617 \frac{R}{L} \delta_{\text{ср}}.$$

Тогда пятна касания, расположенные по k окружностям, вызовут общее дополнительное перемещение, равное

$$\delta_{\text{доп}} = kn 0,617 \frac{R}{L} \delta_{\text{ср}}.$$

Коэффициент $\delta_{\text{ср}}$ определяет значение дополнительного перемещения. В работе [9] приводятся экспериментальные данные о средних значениях R и L . Так, например, для образцов из стали 20 с контурной площадью 100 мм^2 и усилиями сжатия 100 кгс величина k изменяется в интервале $0,063 - 0,75$ для 4 — 10 классов чистоты поверхности соответственно. Таким образом, $\delta_{\text{доп}}$ будет представлять величину одного порядка или больше $\delta_{\text{ср}}$, что определяет ее значение.

С другой стороны, выступы, расположенные вблизи границ номинальной площади, обладают повышенной податливостью, что увеличивает сближение для малых контурных площадей (при постоянном контурном давлении).

Таким образом, зависимость сближения от величины контурной площади в условиях постоянства контурного давления и формы контурной площади можно представить функцией, график которой изображен на рис. 3 а.

На приборе И. Р. Коняхина [2] нами были проведены опыты по исследованию зависимости сближения от величины контурной площади. Полученные результаты (рис. 3 б) подтверждают увеличение сближения для малых контурных площадей. Аналогичные результаты получены в работе [7]. Кроме того, сжатие образцов с равными контур-

ными площадями, но различными периметрами, показали, что, например, для органического стекла увеличение периметра в 1,5 раза приводит к увеличению сближения на 25—30%.

Рассмотренные здесь особенности деформации контакта являются существенными для уточнения закономерностей деформации поверхностей твердого тела и имеют непосредственное прикладное значение.

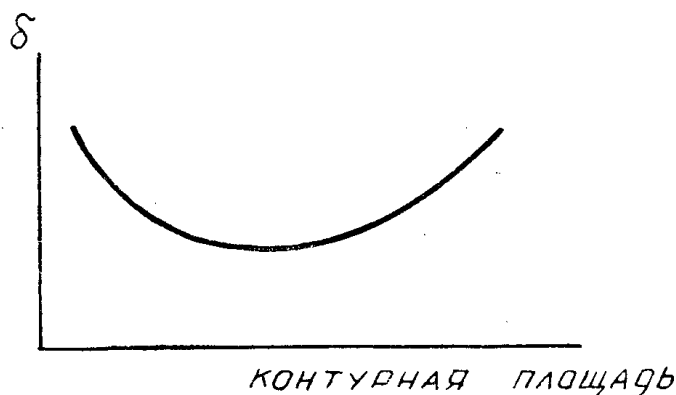


Рис. 3 а.

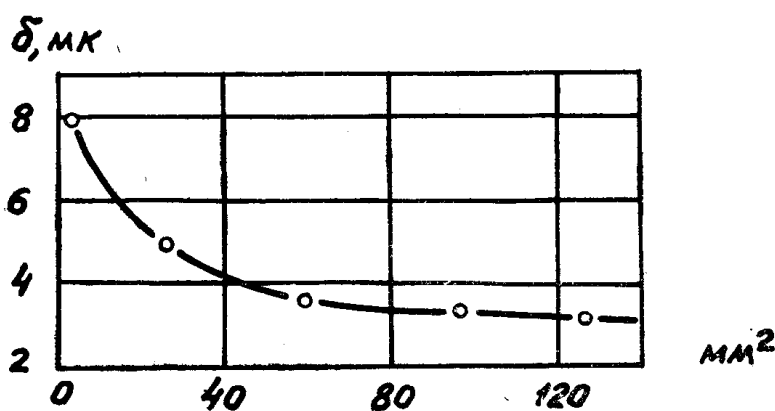


Рис. 3 б. Зависимость сближения от величины контурной площади. Контакт - шероховатая (4 класс) и гладкая поверхности. Материал: сталь 3, контурное давление 0,3 кг/мм².

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. П. Митрофанов. Некоторые особенности деформации поверхности твердого тела. Изв. ТПИ, т. 107, 1963.
2. И. Р. Коняхин. Метод нормальной микродеформации для определения пластической характеристики материала. Изв. вузов, Машиностроение, № 10, 1959.
3. М. С. Дрозд. Шариковая проба, не зависящая от условий испытания. Заводская лаборатория, № 1, 1958.
4. Н. Б. Демкин. Фактическая площадь касания твердых поверхностей. Изд. АН СССР, 1962.
5. Н. А. Шапошников. Механические испытания металлов. Машгиз, 1954.
6. П. Е. Дьяченко, Н. Н. Толкачева, К. Н. Горюнов. Определение площади фактического контакта поверхностей. Сб. „Изучение износа деталей машин при помощи радиоактивных изотопов“. Изд. АН СССР, институт машиноведения, 1957.
7. Г. Е. Чихладзе. Экспериментальное исследование жесткости плоских стальных стыков. Изв. вузов, Машиностроение, № 4, 1962.
8. С. П. Тимошенко. Теория упругости. ОНТИ, 1957.
9. П. Е. Дьяченко, Н. Н. Толкачева, Г. А. Андреев, Т. М. Карпова. Площадь фактического контакта сопряженных поверхностей. Изд. АН СССР, 1963.