

УДК 621.787.4

О ФАКТИЧЕСКИХ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ МЕЖДУ РОЛИКОМ И ДЕТАЛЬЮ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТНЫМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Вирт А.Э., Отений Я.Н.

Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ, Камышин, e-mail: oteniy3@rambler.ru

Процесс поверхностного пластического деформирования сопровождается значительными силами, действующими через деформирующий элемент на обрабатываемую поверхность. Эти силы вызывают качественные и структурные изменения в поверхностном слое. В связи с большим расхождением во мнениях о величине максимального напряжения, в каждом конкретном случае теоретические разработки необходимо подтверждать экспериментальными исследованиями. Еще одной особенностью применения упругой контактной задачи является то, что она применима для ограниченного количества деформируемых тел: шаров, цилиндров, плоскостей и поверхностей, имеющих произвольную кривизну, которые первоначально при отсутствии нагрузки соприкасаются в точке. Способ крепления данных инерционных рычагов и способ крепления деформирующих роликов в инерционном раскатнике и рассматривается в данной статье.

Ключевые слова: ППД, поверхностное пластическое деформирование, самоподача, ППД роликами

THE ACTUAL CONTACT STRESSES BETWEEN THE ROLLERS AND PARTS IN SURFACE TREATMENT OF DEFORMATION

Virt A.E., Oteny Y.N.

The Kamyshin Tecnological Institute (branch) of the Volgograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: oteniy3@rambler.ru

The process of surface plastic deformation is accompanied by significant forces acting through the deforming element on the surface. These forces cause the quality and structural changes in the surface layer. Due to the large SUPPLIES-erate of opinion on the value of the maximum voltage in each case theoretical developments to be confirmed by experimental studies. Another feature of the use of the elastic contact problem is that it is applicable to a limited number of deformable bodies: spheres, cylinders, planes and surfaces having an arbitrary curvature, which initially under no load at the point contact. Method of attachment data inertial instruments and method of attachment of the deforming rollers and the inertial raskatnike covered in this article.

Keywords: SPD, surface plastic deformation, self-feeding, combined machine processing, SPD by rollers

Считается установленным, что на качество обработки поверхностным пластическим деформированием определяется интенсивностью и законом определения контактных напряжений между деформирующим элементом и обрабатываемой поверхностью [1, 2, 3].

В ряде литературных источников указывается на возможность применения для описания упругопластической задачи, хорошо зарекомендовавшего себя на практике метода определения напряженного состояния при упругом сближении тел под воздействием нормально действующих нагрузок [3]. При этом полагают, что максимальные напряжения в наиболее нагруженной точке контактной зоны превышают предел упругости. Величина максимального напряжения по разным источникам [2] может превышать предел упругости от 2 до 12 раз. В связи с большим расхождением во мнениях о величине максимального напряжения, в каждом конкретном случае теоретические разработки необходимо подтверждать экспериментальными исследованиями. Еще одной особенностью применения упругой контактной задачи является то, что она применима для

ограниченного количества деформируемых тел: шаров, цилиндров, плоскостей и поверхностей, имеющих произвольную кривизну, которые первоначально при отсутствии нагрузки соприкасаются в точке. Формы контурных линий контактов при деформировании указанными телами представляют собой эллипсы и прямоугольники.

Для других форм контактов, в частности, каплевидного, часто применяющегося в производственной практике при ППД коническими роликами, задача вообще не решена. Идея достижения требуемого результата определения напряжений для произвольных контактов заключается в том, чтобы перенести решение упругой задачи при контактировании двух деформируемых цилиндров с параллельными осями, дающих прямоугольный контакт, на решение задачи, когда форма контакта является более сложной.

Для одной и той же силы, приложенной к деформирующему ролику, максимальные напряжения и закон распределения по ширине контакта могут принимать самые различные значения. Если принять, что закон распределения по ширине контакта известен, то известным будет и максимальное

напряжение в центре контакта. При деформировании поверхности роликом произвольной конфигурации, отличающейся от форм, для которых задача уже решена, остается неизвестным закон распределения максимальных напряжений вдоль ролика по линии его максимального нагружения.

В работе было установлено, что решения контактной задачи по Герцу и для упругопластического контакта с применением связи деформаций с перемещениями и напряжениями отличаются не более чем на 10%. Так как исследования контактной зоны определяются в статике, то в качестве исходной информации для дальнейших исследований примем решение задачи для деформирования плоскости валом (рис. 1).

Распределение напряжений по площади контакта в этом случае определяется по формуле:

$$\sigma(z, l_k) = \sigma_m(l_k) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{z}{z_k(l_k)} \right)^2}, \quad (1)$$

где z – текущая координата полуширины контакта ($0 \leq z \leq z_k(l_k)$); $z_k(l_k)$ – изменение полуширины контакта по его длине; $\sigma_m(l_k)$ – изменение напряжений по линии максимального нагружения ролика.

Разобьем тело ролика по длине контакта параллельными плоскостями, расположенными перпендикулярно его оси, на расстоянии Δl_k друг от друга. Таким образом, весь ролик будет состоять как бы из набора тонких дисков, имеющих постоянные радиусы, которые меняются для каждого выделенного диска по длине ролика в соответствии с законом изменения его образующей. Для каждого из этих дисков применим формулу (5.20) для расчета напряжений по ширине контакта. Очевидно, напряженное состояние на всей площади контакта будет складываться из суммы элементарных решений для каждого диска в отдельности. Для того чтобы иметь возможность пользоваться формулой (5.20), необходимо определить закон изменения максимальных напряжений $\sigma_m(l_k)$ по линии наибольшего нагружения ролика.

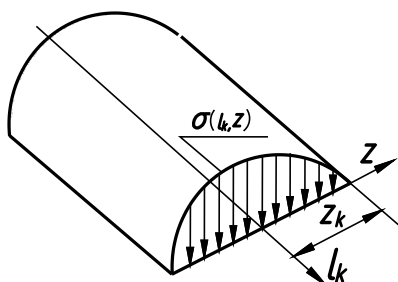


Рис. 1. Распределение напряжений по площади полосового контакта при деформировании плоскости цилиндрическим телом

Это линия, вдоль которой ролик максимально внедрен в поверхность обрабатываемой детали. При упругом контакте данная зависимость при внедрении вала единичной длины в плоскость может быть записана в виде выражения

$$\sigma_m(l_k) = 0,564 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot P_{yl} \cdot (r_p + r_d)}{(1 - \mu^2) \cdot r_p \cdot r_d}}, \quad (2)$$

где

$$P_{yl} = \frac{2 \cdot z_k(l_k)^2 \cdot (r_d - r_p) \cdot E}{(1,08)^2 \cdot r_p \cdot r_d}. \quad (3)$$

Для нахождения экспериментального закона изменения функции $\sigma_m(l_k)$ возможны два подхода.

Первый из них сводится к тому, чтобы на основе априорных соображений предложить подходящую зависимость, а затем подтвердить ее экспериментально. Предположим, что удалось найти искомую функцию $\sigma_m(l_k)$. Тогда для полного усилия деформирования можно записать выражение:

$$P_y = \int_0^{L_k} \int_{-z_k}^{z_k} \sigma_m(l_k) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{z}{z_k(l_k)} \right)^2} dz dl_k. \quad (4)$$

Если определить экспериментально значения усилия деформирования P_y , изменение полуширины контакта $z_k(l_k)$, длину контактной зоны L_k и подставить их в приведенную зависимость, то при правильно выбранной формуле изменения максимального напряжения $\sigma_m(l_k)$ по линии наибольшего внедрения ролика, написанное равенство должно превратиться в тождество.

При другом подходе экспериментально определяют максимальное напряжение для каждого тонкого диска, при разных радиусах и глубинах внедрения, по специально разработанной методике.

Схема компоновки экспериментальной установки показана на рис. 2.

На основании 7 закреплена подставка 6, в которой устанавливается исследуемый образец 3, (валик или сегмент втулки). Деформирующий ролик 1, имеющий выступающий в средней части буртик толщиной 3 мм с изменяемым для каждого отдельного измерения радиусом, вдавливается в поверхность образца силой Р. Ролик устанавливается в накладке 2 по плотной посадке. Индикатором часового типа с ценой деления 1 мкм измеряется глубина внедрения ролика, из которой вычитается рассчитанная по теоретическим зависимостям деформация ролика.

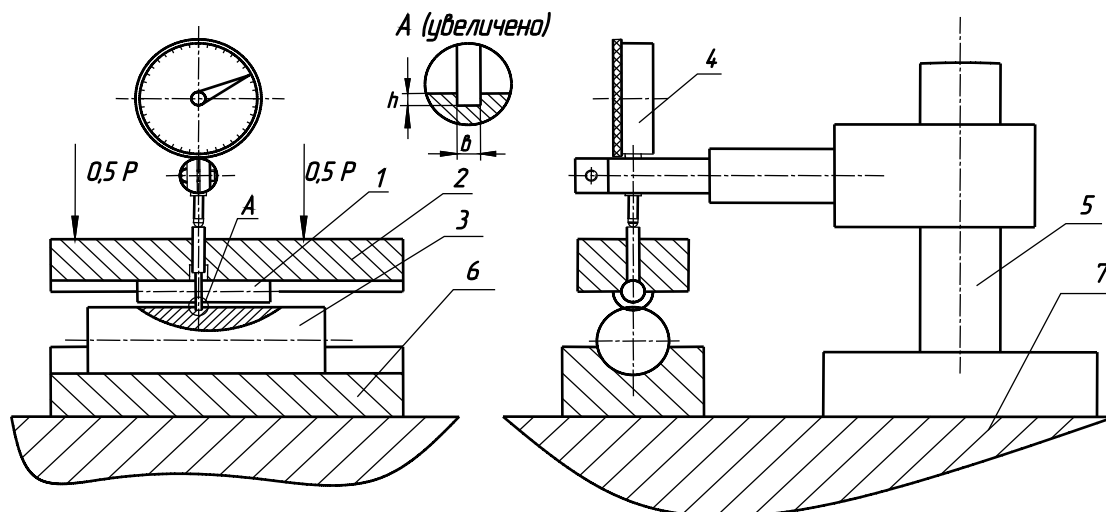


Рис. 2. Схема экспериментального исследования распределения напряжений по линии максимального нагружения: 1 – деформирующий ролик с пояском, 2 – накладка, 3 – исследуемый образец, 4 – индикатор часового типа с ценой деления 0,001 мм, 5 – штатив, 6 – подставка для образца, 7 – основание

Предполагая известным закон изменения напряжений по ширине контакта $\sigma_z(z)$, определяют максимальные напряжения по формуле

$$\sigma_m = \frac{P}{b \int_{-z_k}^{z_k} \sigma_z(z) dz} \quad (5)$$

где b – ширина диска; z_k – полуширина контакта, рассчитываемая по определенной в эксперименте глубине внедрения ролика из зависимости

$$z_k = \sqrt{R_d^2 - \left[\frac{(R_d \pm r_p) \cdot (R_d \mp h_p)}{R_d \pm (r_p \mp h_p)} \right]^2}, \quad (6)$$

где знак $+$ применяется при внедрении образца с радиусом r_p в поверхность вала, а знак $-$ при внедрении образца в поверхность отверстия.

Определив, таким образом, максимальное напряжение для каждого значения радиуса диска, выбранного из заданного интервала его изменения, строят зависимость $\sigma_m(r, h)$.

Список литературы

1. Отений Я.Н. Технологическое обеспечение качества поверхности и производительности обработки ППД роликами: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Курган, 1988.
2. Отений Я.Н. Технологическое обеспечение качества деталей машин при обработке поверхностным пластическим деформированием роликами. Диссертация д.т.н / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – 320 с.
3. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей. – Минск: Высшая школа, 1968. – 363 с.
4. Сидякин Ю.И., Осипенко А.П., Бочаров Д.А. Совершенствование технологии отделочно-упрочняющей обработки валов поверхностным пластическим деформированием. Упрочняющие технологии и покрытия. – 2007. – № 08. – С. 17–19.
5. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М. Машиностроение, 1978. – 152 с.