

УДК 621.787.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА ПРИ ППД КОНИЧЕСКИМИ РОЛИКАМИ

Никифоров Н.И.

*Камышинский технологический институт (филиал)
ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»*

В статье приводятся методика и результаты определения геометрических параметров и площади контакта при поверхностном пластическом деформировании наружных цилиндрических поверхностей вращения роликами конической формы.

Ключевые слова: ППД, поверхностное пластическое деформирование, конический ролик, площадь контакта, глубина внедрения.

В промышленности, в качестве отделочно-упрочняющей обработки различных деталей, находит применение поверхностное пластическое деформирование (ППД) роликами. Деформирующий элемент в инструменте для обработки ППД может быть выполнен в виде шара, ролика с цилиндрической, конической или криволинейной (профильной) поверхностями. Применение конических роликов позволяет получить удлиненный, так называемый каплевидный, контакт, который обеспечивает наилучшие показатели обработки.

Несмотря на то, что конические ролики применяются на практике давно, вопросы, касающиеся нахождения фактических количественных параметров контактной зоны, ее площади раскрыты не полностью.

Для определения зависимости параметров контакта от изменения глубины внедрения ролика в поверхность заготовки в настоящей работе рассмотрен контакт обрабатываемой заготовки, представляющей собой цилиндр с радиусом образующей R_0 , с деформирующим роликом — усеченным кону-

сом с радиусом меньшего основания r_{min} , радиусом закругления на начальном участке R_1 и углом конуса θ . При этом условно принималось, что вокруг деформирующего ролика отсутствует волна вытесненного металла.

Вид отпечатка, получаемого при внедрении ролика в деталь, можно получить экспериментально путем проведения статического вдавливания (рис. 1, а) или при помощи булевой операции вычитания при моделировании контакта в среде любой САД-системы трехмерного моделирования (рис.1, б). Очертания контурной линии контакта при этом имеют явно выраженную эллипсоидную форму.

Для нахождения полуосей эллипсов, частями которых очерчена контурная линия контакта, угол самоподачи принят равным нулю, так как он мало влияет на размеры контакта и является незначительным по величине (не более 1.5...2 град.). Контурная линия контакта расположена на поверхности детали, а ее крайними точками являются точки Б, В, Г и Д (рис. 2).

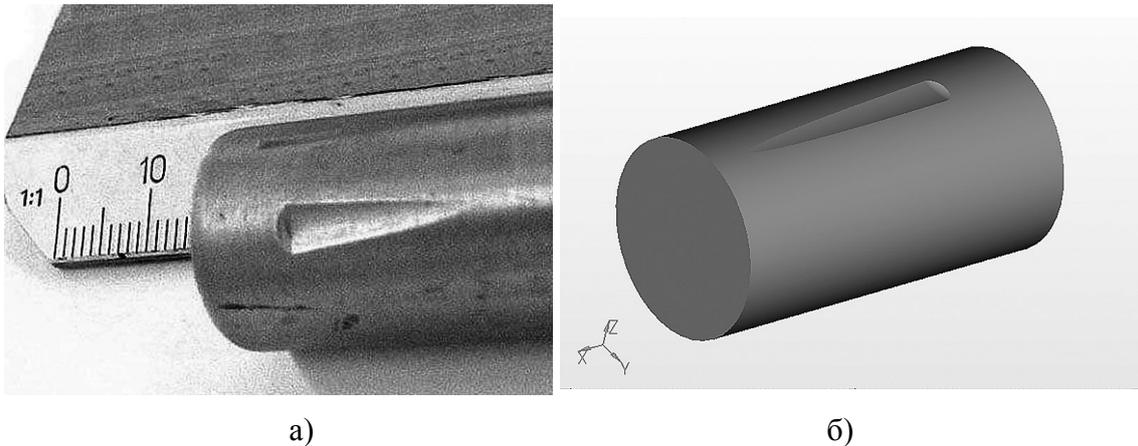


Рис. 1. Отпечаток на цилиндрической детали от вдавливания конического ролика полученный: а — при натурном эксперименте, материал заготовки алюминий, усилие 10 кН; б — при моделировании контакта в среде программы твердотельного моделирования.

Проведя секущую плоскость по точкам Г, В и Д получен эллипс с полуосями A'_1 и R_d . Аналогично плоскость проходящая через точки Г, Б и Д дает эллипс с полуосями A'_2 и R_d . Уравнения эллипсов имеют вид:

$$\frac{z_{\kappa 1}^2}{R_d^2} + \left(\frac{l'_{\kappa 1}}{A'_1}\right)^2 = 1; \quad \frac{z_{\kappa 2}^2}{R_d^2} + \left(\frac{l'_{\kappa 2}}{A'_2}\right)^2 = 1, \quad (1)$$

Решение уравнений (1) для условий, когда $z_{\kappa 1} = z_{\kappa 2} = z_m$, $l'_{\kappa 1} = a_1^1$, $l'_{\kappa 2} = a_2^1$ дает выражения для определения больших полуосей A'_1 и A'_2 :

$$A'_1 = \frac{R_d \cdot a_1^1 \cdot (R_d + \sqrt{R_d^2 - z_m^2})}{z_m^2};$$

$$A'_2 = \frac{R_d \cdot a_2^1 \cdot (R_d + \sqrt{R_d^2 - z_m^2})}{z_m^2} \quad (2)$$

где a_1^1 и a_2^1 — длины контакта в рассматриваемых плоскостях, определяемые

по формулам:

$$a_1^1 = \frac{a_1}{\cos\left(\arctg \frac{h_m^1}{a_1}\right)}; \quad a_2^1 = \frac{a_2}{\cos\left(\arctg \frac{h_m^1}{a_2}\right)};$$

$$h_m^1 = R_d - \sqrt{R_d^2 - z_m^2}$$

Проекции найденных по формулам (2) полуосей эллипсов на плоскость параллельную поверхности детали и проходящую через точки Г и Д равны:

$$A_1 = \sqrt{(A'_1)^2 - R_d^2}; \quad A_2 = \sqrt{(A'_2)^2 - R_d^2} \quad (3)$$

После преобразований получены выражения для определения полуосей эллипсов через геометрические параметры контактирующих тел и контактной зоны для участков:

$$\text{Внедрения} \quad A_1 = R_d \cdot \sqrt{1 + \frac{a_1^2}{z_m^4} \cdot (2 \cdot R_d^2 - z_m^2 + 2 \cdot R_d \cdot \sqrt{R_d^2 - z_m^2})} \quad (4)$$

$$\text{Сбега} \quad A_2 = R_d \cdot \sqrt{1 + \frac{a_2^2}{z_m^4} \cdot (2 \cdot R_d^2 - z_m^2 + 2 \cdot R_d \cdot \sqrt{R_d^2 - z_m^2})} \quad (5)$$

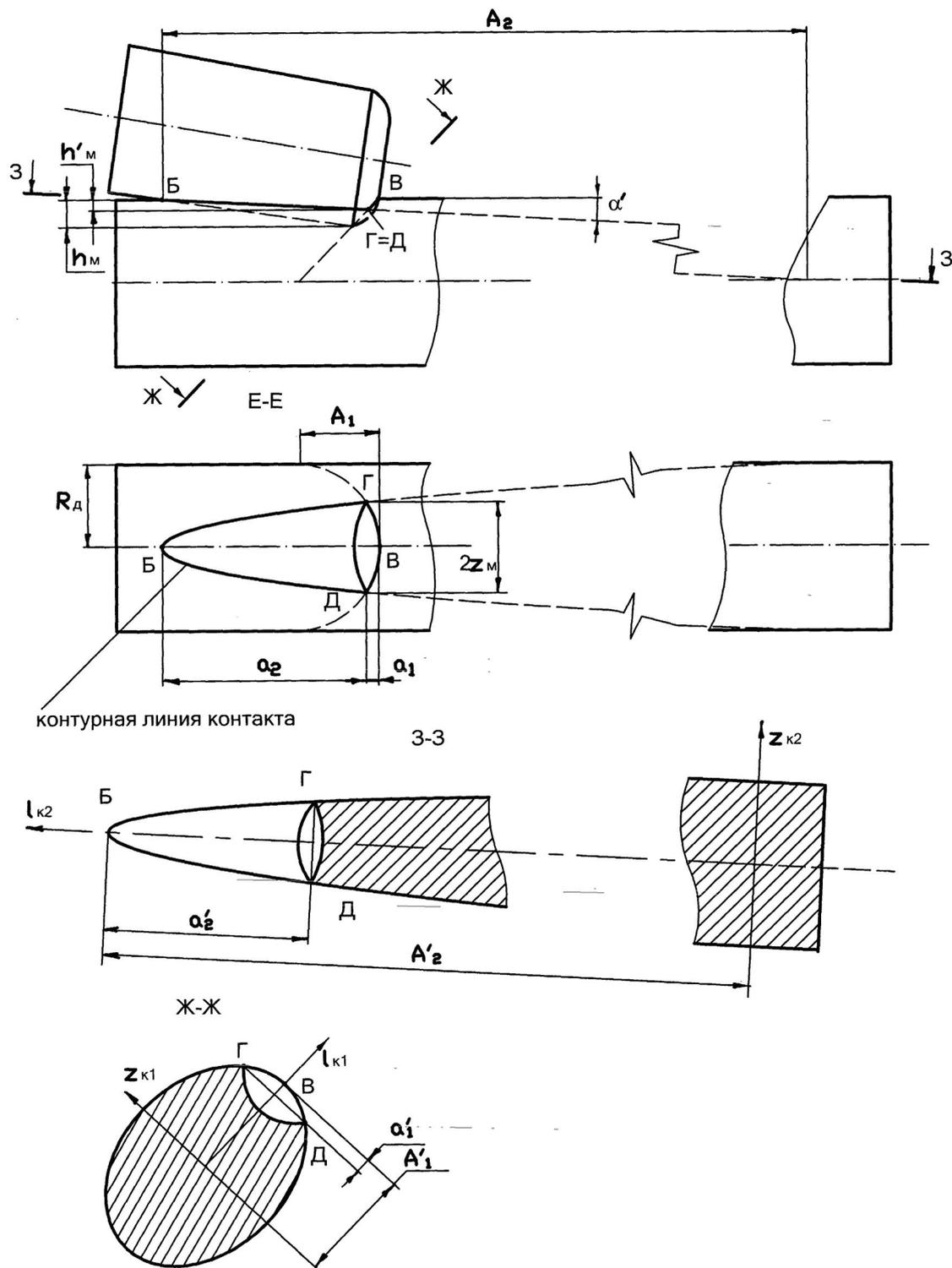


Рис. 2. Схема к определению полуосей эллипсов представляющих контурную линию контакта

Длины участков внедрения и сбега, а также полуширина контакта входящие в формулы (1, 2) выражаются через максимальную глубину внедрения деформирующего ролика, размеры детали, ролика и углов их относительного расположения. Для их определения рассмотрено сечение Б-Б (рис. 2), в котором ролик представляет собой эллипс с полуосями r_z и r_y , а заготовка окружность с радиусом R_∂ .

Их уравнения в системе координат с началом в центре сечения ролика имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{y_k^2}{r_y^2} + \frac{z^2}{r_z^2} = 1 \\ (y_k + C)^2 + z^2 = R_\partial^2 \end{cases} \quad (6)$$

где C , r_z и r_y определяются по формулам:

$$\begin{aligned} C &= R_\partial + r_y - h_m; \\ r_y &= r_{p\min} \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2} + \alpha\right) \cdot \left(\operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2} + \alpha\right) \cdot \operatorname{tg}(\theta + \alpha) + 1\right) \\ r_z &= r_{p\min} \cdot \cos(\omega) \cdot \left(\operatorname{tg}(\omega) \cdot \operatorname{tg}\left(\omega + \frac{\theta}{2}\right) + 1\right) \end{aligned}$$

Совместное решение уравнений (6) при $y_k = h_m$, $z = z_m$ позволяет получить биквадратное уравнение вида:

$$z_m^4 \cdot E_1^2 + z_m^2 \cdot (2 \cdot E_1 + 1) + E_2^2 - R_\partial^2 = 0 \quad (7)$$

где E_1 и E_2 определяются по формулам:

$$E_1 = \frac{r_z^2 - r_y^2}{2 \cdot r_z^2 \cdot C}; \quad E_2 = \frac{r_y^2 - R_\partial^2 - C^2}{2 \cdot C}.$$

Решив уравнение (7) получено выражение для определения полуширины контакта, которое после упрощения имеет вид:

$$z_m = \cos\omega \cdot \sqrt{\frac{2R_\partial \cdot r_{p\min} \cdot h_m - r_{p\min} \cdot h_m^2}{R_\partial + r_{p\min} - h_m}} \quad (8)$$

Длина участка внедрения определяется из треугольника OMD (рис. 3):

$$a_1 = \sqrt{2R_\partial \cdot h_m - h_m^2} \quad (9)$$

Вторая составляющая длины контакта определена из выражения, полученного решением геометрической задачи при рассмотрении сечения А-А (рис. 3), в котором контурная линия детали представляет собой эллипс с уравнением имеющим вид:

$$l_k^2 \cdot \sin^2\omega + y_k^2 = R_\partial^2 \quad (10)$$

Подставив в это уравнение координаты точки выхода ролика из контакта с деталью, получено квадратное уравнение, решение которого позволяет получить выражение для определения длины участка сбега контакта:

$$\begin{aligned} l_k &= a_2, \quad y_k = R_\partial - h_m + a_2 \cdot \operatorname{tg}\alpha \\ a_2^2 (\sin^2\omega + \operatorname{tg}^2\alpha) + 2a_2 (R_\partial - h_m) \operatorname{tg}\alpha - 2R_\partial h_m + h_m^2 &= 0 \\ a_2 &= \frac{\sqrt{R_\partial^2 \operatorname{tg}^2\alpha - h_m^2 \sin^2\omega + 2R_\partial h_m \sin^2\omega} + (h_m - R_\partial) \operatorname{tg}\alpha}{\sin^2\omega + \operatorname{tg}^2\alpha} \end{aligned} \quad (11)$$

где α — задний угол внедрения ролика; ω — угол самозатягивания.

Площадь контакта, исходя из опреде-

ленных геометрических параметров (4, 5, 8, 9, 11), будет находиться из выражения:

$$F_k = \frac{2 \cdot z_m^2}{R_0 + \sqrt{R_0^2 - z_m^2}} \cdot \left(\int_{A_1 - a_1}^{A_1} \frac{\sqrt{A_1^2 - l_k^2}}{a_1} dl_k + \int_{A_2 - a_2}^{A_2} \frac{\sqrt{A_2^2 - l_k^2}}{a_2} dl_k \right) \quad (12)$$

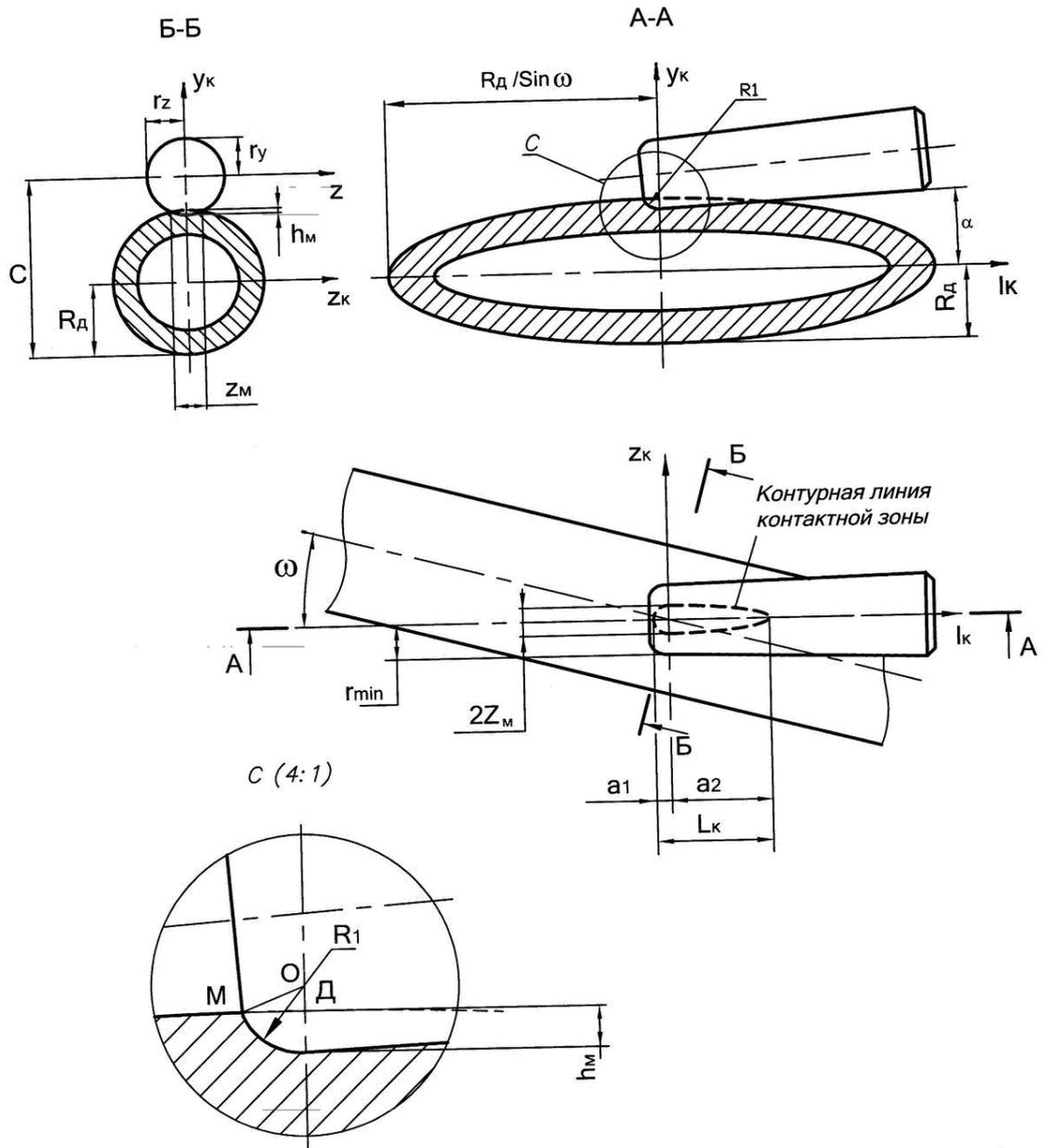


Рис. 3. Схема к определению геометрических параметров контурной линии контакта

Сравнение площади контакта полученной расчетом по формуле (12) и при компьютерном моделировании в среде системы твердотельного моделирования T-Flex CAD 3D (рис. 4) показывает, что расхождение результатов не превышает 3% при глубинах внедрения до 0,1 мм.

лирования T-Flex CAD 3D (рис. 4) показывает, что расхождение результатов не превышает 3% при глубинах внедрения до 0,1 мм.

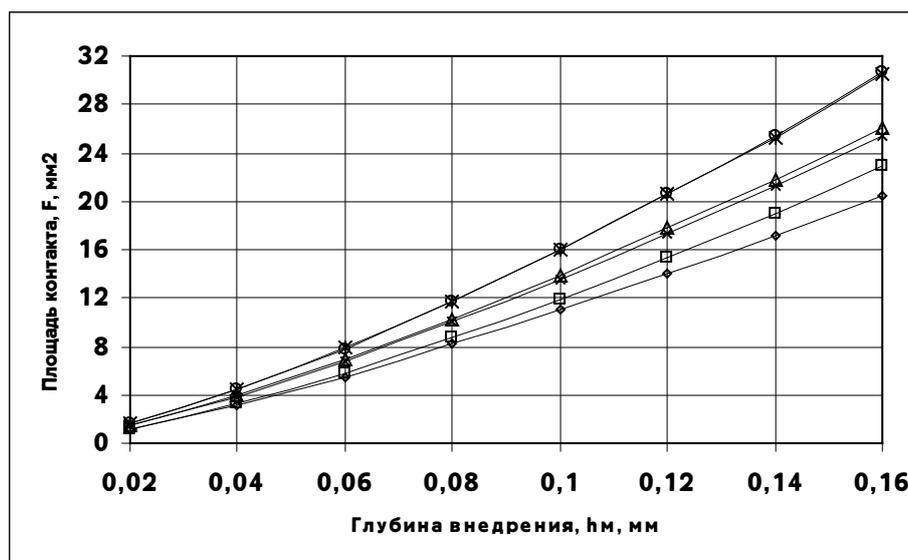


Рис. 4. Зависимость площади контакта от глубины внедрения ролика: 1,2,3 — полученная по формуле (12); 4,5,6 — полученная на основании компьютерного моделирования, для деталей диаметром 10, 20 и 35 мм соответственно, $r_{pmin}=8,75$ мм, $R_l=2$ мм, $\omega=1,5^\circ$, $\alpha=1,5^\circ$, $\theta=2^\circ$.

Таким образом, предложенная методика может быть применена на практике для назначения режимов обработки при ППД коническими роликами.

CONTACT AREA DETERMINATION BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION WITH CONIC ROLLERS

Nikiforov N.I.

Kamyshin Technological Institute (branch) of State Educational Establishment of Higher Professional Education "Volgograd State Technical University"

Methods and results of geometric parameters and contact area determination by surface plastic deformation of outer cylindrical surfaces of rotation with conic form rollers are given in this article.

Keywords: PPD, surface plastic deformation, conic roller, contact area, penetration depth.