

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.787.4

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-8-303-7-10

А. Э. Вирт

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПОРНОГО ЭЛЕМЕНТА РОЛИКОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

Камышинский технологический институт (филиал)

ВолгГТУ

E-mail: virt@kti.ru

Одной из основных частей многороликовых ротационных инструментов для обработки поверхностей деталей поверхностно-пластическим деформированием (ППД) является опорный конус, выполняемый в виде усеченного конуса. Назначением этой детали инструмента является установка роликов на требуемый угол и возможность настройки роликов на заданную глубину их внедрения в обрабатываемую поверхность. Для уменьшения контактных напряжений, возникающих между деформирующим элементом и опорным конусом, и как следствие повышенным их износом необходимо выбрать наиболее подходящую форму опорного конуса. Решению этой технологической задачи посвящена данная статья.

Ключевые слова: опорный конус, поверхностное пластическое деформирование, ППД роликами

A. E. Virt

DETERMINATION OF OPTIMUM GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE SUPPORTING ELEMENT OF A ROLLER TOOL FOR MACHINING HOLES

The Kamyshin Technological Institute (branch)
of the Volgograd State Technical University

One of the main parts of the For Multi rotary tools for surface treatment, details of PDP steyp support cone is executed in the form of a right circular cone. The purpose of this detail is to install the tool rolls to the desired clearance angle and the ability to customize the rollers to their predetermined depth introduction to the work surface. To reduce contact stresses arising between the deforming element and the supporting cone and as a result rose-shennym wear them you need to select the optimal form of the support cone. The solution of this problem cal technologists dedicated to this article.

Keywords: support cone, surface plastic deformation, self-feeding, SPD by rollers

В много роликовых инструментах предназначенных для обработки поверхностей деталей поверхностно-пластическим деформированием (ППД) одной из важных частей является опорный конус, выполняемый в виде усеченного конуса. Назначением этой детали инструмента является установка роликов на требуемый задний угол и возможность настройки роликов на заданную глубину их внедрения в обрабатываемую поверхность (рис. 1).

В ряде случаев, при необходимости обеспечения самозатягивания или уменьшения осевой

силы, действующей на инструмент, ролики устанавливают на угол по отношению к оси детали для перемещения по винтовой линии соответствующей подаче и вычисляемой по формуле:

$$\omega = \arctg \frac{S_0}{\pi \cdot d_p} + \omega^\circ \quad (1)$$

где ω° – дополнительный угол компенсирующий проскальзывание ($\omega^\circ = 10^\circ \dots 15^\circ$); S_0 – подача инструмента, мм/мин; d_p – диаметр ролика, мм.

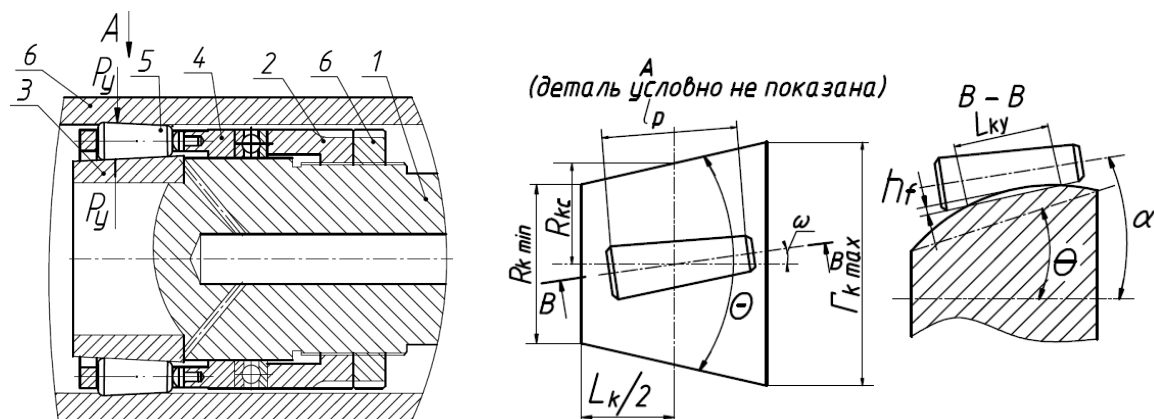


Рис. 1. Установка роликов в раскатнике с опорным конусом:

1 – шомпол; 2 – рычаг; 3 – конус опорный; 4 – сепаратор; 5 – ролик; 6 – гайка; 7 – обрабатываемая заготовка

Если $\omega = 0$, то контакт между роликами и опорным конусом при отсутствии нагрузки будет линейным, так как оба тела соприкасаются по образующим. Поворот роликов на угол самозатягивания (самоподачи) превращает линейный контакт в точечный. В случае приложения на-

грузки этот контакт превращается в эллиптический с площадью небольших размеров. На рис. 2 изображено соотношение между площадями пластического отпечатка, вычисленными по формуле (3) [3], и упругого контакта, вычисленными по формулам Герца [1], при обработке валов.

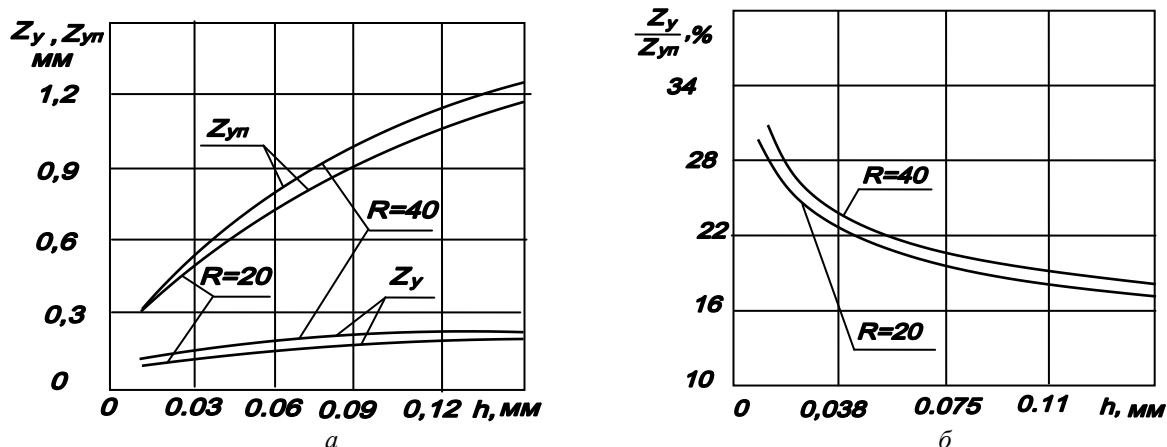


Рис. 2. Зависимость ширины контактной зоны от глубины внедрения деформирующего ролика в обрабатываемую деталь при упругопластическом и упругом контактах (а) и их процентное отношение (б): Z_{yn} – упругопластический контакт; Z_y – упругий контакт

Как видно из рис. 2, площадь контакта пластически деформируемой зоны между обрабатываемой поверхностью с роликами значительно больше, чем площадь контакта между роликами и опорным конусом. При равенстве сжимающих сил напряжения пропорциональны площадям контактов, поэтому максимальное напряжение будет приложено на упругом контакте, что и определит в основном усталостную прочность роликов и опорного конуса. Условия нагрузки на обрабатываемую поверхность определяют заданные параметры качества обработанной поверхности и являются заданными. В связи с этим необходимо изменить условия

деформирования между роликами и опорным конусом, таким образом, чтобы уменьшить между ними контактные напряжения. Для этого, очевидно, что при установке на угол самозатягивания, ролики и опорный конус должны соприкасаться по своим образующим на всей длине контакта. Этого можно достичь изменением формы боковой поверхности роликов или опорного конуса. С точки зрения технологичности предпочтительным является изменение формы опорного конуса, так как ролики значительно больше и очень часто используются готовые ролики с прямолинейной образующей из конических подшипников.

Решим эту задачу отдельно для обработки вала и отверстия. С этой целью рассмотрим взаимодействие конических деформирующих роликов и опорного конуса.

При параллельном положении образующих ролика и опорного конуса в соответствии с теорией Герца [1], их сближение определяется зависимостью:

$$h_{нар} = \frac{2 \cdot q_e (1 - \mu^2)}{\pi \cdot E} \cdot \left(\ln \frac{2r_p}{Z_{yn}} + \ln \frac{2r_k}{Z_{yn}} + 0,314 \right), \quad (2)$$

где Z_{yn} – ширина упругого контакта между роликом и опорным конусом вычисляется по формуле:

$$Z_{yn} = 1,128 \sqrt{\frac{2 \cdot (1 - \mu) \cdot r_p \cdot r_k \cdot q_e}{E \cdot (r_p + r_k)}}. \quad (3)$$

В приведенных формулах величины радиусов ролика r_p и опорного конуса r_k приняты равными среднему значению.

При взаимно перпендикулярном положении осей ролика и опорного конуса их сближение определяется зависимостью:

$$h_{неп} = \beta_9 \sqrt{\frac{P_y \cdot (1 - \mu^2) \cdot (r_p + r_k)}{E^2 \cdot (r_p \cdot r_k)}}. \quad (4)$$

При повороте ролика на угол самозатягивания сближение будет иметь промежуточное значение между величинами вычисленными по предыдущим двум формулам.

Так как в литературе нет формул для вычисления сближения при произвольном угле пересечения двух цилиндрических тел, что предположим, что в зависимости от угла самозатягивания сближение будет иметься по закону:

$$h_\alpha = h_{нар} - (h_{нар} - h_{неп}) \cdot \sin \omega. \quad (5)$$

Откуда следует, что при $\omega = 0^\circ$ и $\omega = 90^\circ$ сближение будет совпадать с граничными условиями задачи (2) и (4).

Глубина внедрения роликов в поверхность опорного конуса при их взаимном нагружении является переменной по длине контакта, причем в контакте находится только часть длины ролика. Радиус вектор ОМ проведенный из произвольной точки М образующий перпендикулярно оси опорного конуса определит уравнение поверхности вращения соприкасающейся с деформирующим роликом по прямой линии (рис. 1)

$$OM = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(r_{км} + l_k \cdot \operatorname{tg} \omega)^2 + l_k^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \omega}, \quad (6)$$

где x и y – текущие координаты уравнения искомой поверхности вращения.

Поверхность прямого кругового конуса для тех же размеров обрабатываемой поверхности изменяется по закону:

$$r_k = r_{км} + l_k \cdot \operatorname{tg} \Theta \quad (7)$$

Длина упругого контакта равна значению l_k при условии $h_{l\omega} = 0$. На рис. 1 представлены зависимости изменения сближения роликов с опорным конусом по длине контакта рассчитанные по формулам (2), (4), (5).

Учитывая, что при упругом взаимодействии напряжения пропорциональны деформациям, можно считать, что эпюра контактных напряжений будет пропорциональна эпюре сближения роликов с опорным конусом. Следовательно, при установке роликов на угол самозатягивания, напряжения распределены по длине контакта неравномерно. Из формулы (5) видно, что равномерное распределение деформаций и напряжений, имеет место, когда зависимость (2) равна по численному значению зависимости (4). Таким образом форма поверхности опорного конуса описываемого уравнением (6) будет оптимальной с точки зрения минимизации напряжений на упругом контакте. Из этого уравнения следует что при $\omega = 0^\circ$, оно превращается в уравнение прямого кругового конуса:

$$\sqrt{x^2 + y^2} - (r_{км} + l_k \cdot \operatorname{tg} \alpha) = 0. \quad (8)$$

Полагая затем $\alpha = 0^\circ$, найдем:

$$x^2 + y^2 - r_{км}^2 - l_k^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \omega = 0 \quad (9)$$

и, принимая соотношение постоянных величин в виде

$$c^2 = \frac{r_{км}^2}{\operatorname{tg}^2 \omega}, \quad (10)$$

получим уравнение гиперболоида вращения:

$$\frac{x^2}{r_{км}^2} + \frac{y^2}{r_{км}^2} - \frac{l^2}{c^2} = 1. \quad (11)$$

Это линейчатые поверхности, следовательно, и поверхность описываемая уравнением (11), при произвольных α и ω , тоже будет линейчатой.

В последнее время режим самозатягивания находит широкое применение для обработки длинномерных деталей, особенно при совмещенной обкатке резанием и ППД роликами гладких валов и отверстий. В последнем случае необходимо создать максимально возможную силу сцепления деформирующих роликов с обрабатываемой поверхностью. Как показывают исследования работы обкатников работающих в режиме самозатягивания, усилие обкатывания которых обеспечивает момент преодолеваю-

щий силы резания, иногда возникает проскальзывание роликов, причем проскальзывание роликов по поверхности опорного конуса наступает при меньшем усилии по сравнению с проскальзыванием роликов относительно обрабатываемой поверхности. Предположительно, это происходит по причине неплотного прилегания деформирующих роликов, а только по их концам, так как за счет установки роликов на угол самозатягивания между внутренней поверхностью опорного конуса и средней частью роликов образуется зазор (см. рис. 1).

Определим оптимальную форму внутренней поверхности опорного конуса для обработки валов при условии соприкосновения роликов по прямой линии с опорным конусом для чего будем предполагать, что деформирующие ролики опираются не на коническую, а на цилиндрическую поверхность отверстия конуса, это допустимо в виде малого угла конусности опорного конуса (не более 2°).

В этом случае радиус цилиндрической поверхности примем равным:

$$r_{ко} = R_o + d_{pc} \quad (12)$$

В этом предположении, при совместном сечении ролика и конуса плоскостью А – А (см. рис. 1) в сечении образуется пересекающиеся эллипс и отрезок прямой, концы которого расположены на эллипсе в точках А и Б. Уравнение эллипса образующегося в сечении будет иметь вид:

$$y = \sqrt{r_{kc}^2 - x^2 \cdot \sin^2 \omega}. \quad (13)$$

Подставляя в это уравнение координаты точек С и Б, то есть Х и вычитая правую часть из радиуса, то получим величину максимального зазора:

$$f = r_{kc} - \sqrt{r_{kc}^2 - 0,25 \cdot l_p^2 \cdot \sin^2 \omega}. \quad (14)$$

С точки зрения технологичности изготовления предпочтительней изменить форму опорного конуса, чем деформирующих роликов. В зависимости от применяемой технологии, целесообразно также заменить эллипс окружностью. Радиус этой окружности можно вычислить по формуле:

$$R_s = \frac{0,125 \cdot l_p^2}{f}. \quad (15)$$

Расчеты показывают, что прогиб составляют и радиус значительно меньше допуска на обработку. Тем не менее зазор между роликами и опорным конусом целесообразно установить. Это легко достигается, если применить окончательную расточку конуса эльборовым резцом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник машиностроителя в 6 томах / под ред. академика АН УССР С. В. Серенсена. – Изд. 3-е. – М. : Машгиз, 1962. – 651 с.
2. Барац, Я. И. Поверхностное упрочнение деталей машин обкаткой роликами / Я. И. Барац. – Харьков : Гос. научно-техн. изд. черной и цветной металлургии, 1959. – 53 с.
3. Отений, Я. Н. Технологическое обеспечение качества деталей машин при обработке поверхностным пластическим деформированием роликами : дисс. д-ра техн. наук / Отений Я. Н. – Волгоград, 2007. – 320 с.