

УДК 621.787.4

## ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ ОПОРНОГО КОНУСА В МНОГОРОЛИКОВЫХ РОТАЦИОННЫХ ИНСТРУМЕНТАХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ППД.

Отений Я.Н., Вирт А.Э., Лаврентьев А.М.

Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ, Камышин, e-mail: virt09@rambler.ru

В статье рассматриваются особенности конструирования инструмента для обработки поверхностным пластическим деформированием внутренних цилиндрических поверхностей. Одной из основных частей многороликовых ротационных инструментов для обработки отверстий поверхностным пластическим деформированием является опорный конус, выполняемый в виде усеченного конуса с прямолинейной образующей. Назначением этой детали в инструменте является установка роликов на требуемый угол и возможность настройки роликов на заданную глубину их внедрения в обрабатываемую поверхность. При установке конических роликов ну угол самозатягивания их контакт с опорным конусом контакт будет точечным, что приводит к возникновению больших контактных напряжений. Для уменьшения контактных напряжений возникающих между деформирующим элементом и опорным конусом и как следствие повышенным их износом необходимо выбрать оптимальную форму опорного конуса. Решению этой технологической задачи посвящена данная статья.

**Ключевые слова:** Опорный конус, поверхностное пластическое деформирование, ППД роликами

## SUBSTANTIATION OF OPTIMUM SHAPE OF THE SUPPORT CONE IN MULTIROLL ROTARY TOOL FOR MACHINING SPD.

Oteny Y.N., Virt A.E., Lavrentiev A.M.

The Kamyshin Technological Institute (branch) of the Volgograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: virt09@rambler.ru

The article discusses the features of design tools for the treatment of superficial plastic deformation of internal cylindrical surfaces. One of the main parts of the rotary roller many tools for machining holes surface plastic deformation support cone is executed as a truncated cone with a straight generating line. The purpose of this part, the instrument is to install clips to the desired angle and the ability to customize the videos to their predetermined depth introduction to the work surface. Installation of tapered rollers feed itself well, the angle of contact with the support cone of the contact point is that when, leads to the emergence of large contact stresses. To reduce contact stresses arising between the deforming element and the supporting cone and as a consequence of the increased wear and tear of their need to select the optimal form of the support cone. The solution of this problem is devoted to the process in this article.

**Key words:** Support cone, surface plastic deformation, self-feeding, SPD by rollers

Одной из основных частей многороликовых ротационных инструментов для обработки поверхностей деталей ППД является опорный конус, выполняемый в виде прямого кругового конуса. Назначением

этой детали инструмента является установка роликов на требуемый задний угол и возможность настройки роликов на заданную глубину их внедрения в обрабатываемую поверхность.

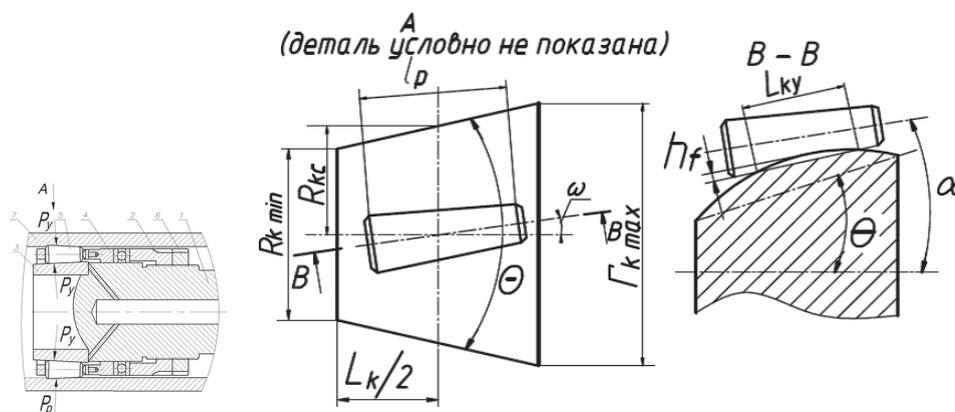


Рис. 1. Установка роликов в раскатнике с опорным конусом.  
1-шомпол; 2 – рычаг; 3- конус опорный; 4- сепаратор; 5- ролик; 6- гайка.  
7 – обрабатываемая заготовка

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:

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

где  $\omega'$  - дополнительный угол компенсирующий проскальзывание ( $\omega' = 10^\circ \dots 15^\circ$ )

$S_0$  - подача инструмента, мм/мин;  $d_p$  - диаметр ролика, мм.

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 превращает линейный контакт в точечный. В случае приложения нагрузки 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].

Как видно из рис. 2,а площадь контакта пластически деформируемой зоны между обрабатываемой поверхностью с роликами значительно больше, чем площадь контакта между роликами и опорным конусом. При равенстве сдвигающих 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 необходимые 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 соприкоснуться 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:

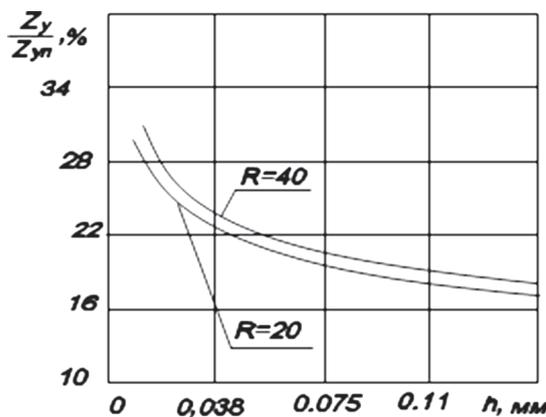
$$h_{нар} = \frac{2 \cdot q_e (1 - \mu^2)}{\pi \cdot E} \cdot \left( \ln \frac{2r_p}{Z_{yn}} + \ln \frac{2r_k}{Z_{yn}} + 0,314 \right) \quad (2)$$

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

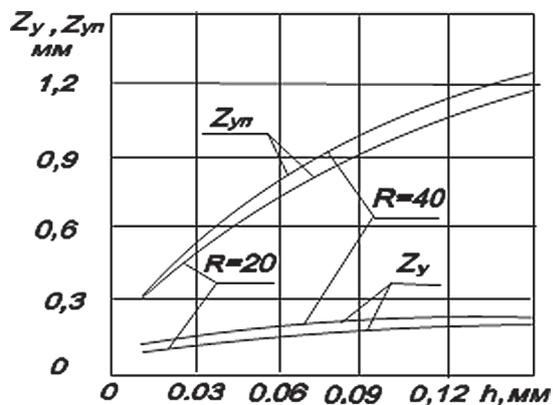
$$Z_{yn} = 1,128 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (1 - \mu) \cdot r_p \cdot r_k \cdot q_e}{E \cdot (r_p + r_k)}} \quad (3)$$

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:



а



б

Рис.2. Зависимость ширины контактной зоны от глубины внедрения деформирующего ролика в обрабатываемую деталь при упругоупругом и упругом контактах (а) и их процентное отношение (б):  $z_{yn}$  - упругоупругий контакт;  $z_y$  - упругий контакт

$$h_{nep} = \beta_3 \sqrt{\frac{P_- \cdot (1 - \mu^2) \cdot (r_p + r_k)}{E^2 \cdot r_p \cdot r_k}} \quad (4)$$

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:

$$h_\alpha = h_{nap} - (h_{nap} - h_{nep}) \cdot \sin \omega \quad (5)$$

Откуда следует, что при  $\omega = 0^0$  и  $\omega = 90^0$  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)

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

где  $x$  и  $y$  – текущие координаты уравнения искомой поверхности вращения. Поверхность прямого кругового конуса для тех же размеров обрабатываемой поверхности изменяется по закону:

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

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  $\omega = 0^0$ , оно превращается в уравнение прямого кругового конуса:

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

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

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

и, принимая соотношение постоянных величин в виде

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

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  $\alpha$  и  $\omega$ , 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 преодолевающий 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 (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  $2^0$ ).

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

(рис. 1) в сечении образуется пересекающаяся 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:

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

Полученные формулы позволяют обеспечить обработку рабочей поверхности опорного конуса с заданной формой и получить контакт соприкосновения деформирующего элемента с ним по линии.

#### Список литературы

1. Справочник машиностроителя в 6 томах. Под ред. академика АН УССР С. В. Серенсена. Изд. третье. – М.: Машгиз, 1962. – 651 с.
2. Барац Я. И. Поверхностное упрочнение деталей машин обкаткой роликами. – 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. ... докт. техн. наук.- Волгоград, 2007. – 320 с.