*А. Э. Вирт, А. П. Иващенко***ИЗМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАСКАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА,
ПОВЫШАЮЩЕЕ ЕГО НАДЕЖНОСТЬ****Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета**

E-mail: virt@kti.ru

Процесс поверхностного пластического деформирования роликами сопровождается значительными силами, действующими через деформирующий элемент на обрабатываемую поверхность. Эти силы вызывают качественные и структурные изменения в поверхностном слое. Для создания сил деформирования в инструменте используются центробежные силы, возникающие при вращении инструмента от массивных рычагов, которые, в свою очередь, воздействуют на деформирующие ролики. Во избежание произвольного смещения инерционных рычагов и как следствие смещения деформирующих роликов и нарушения заданных размеров при обработке необходимо уделить должное внимание способу их крепления. Способ крепления данных инерционных рычагов и способ крепления деформирующих роликов в инерционном раскатнике и рассматривается в данной статье.

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

*A. E. Virt, A. P. Ivashchenko***IMPROVING DESIGN PARAMETERS INERTIA LEVER IS ROLLED DEVICES****Kamyshin Technology Institute (branch)
of the Volgograd State Technical University, Kamyshin, Russia**

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. To create a strain force in the tool used centrifugal forces generated during rotation of the tool from massive arms. Which, in turn, affect the deforming rollers. In order to prevent arbitrary displacement of the inertial instruments and as a result of displacement of the deforming rollers and the violation of specified sizes in the processing is necessary to pay due attention to their mountings. Method of attachment data inertial instruments and method of attachment of the deforming rollers and the inertial raskatnike covered in this article.

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

При обработке деталей поверхностным пластическим деформированием в большинстве применяемых для раскатывания инструментах, в качестве рабочей поверхности деформирующих элементов, применяются тела, имеющие форму шара, тора или прямого кругового конуса [1–5]. Одной из задач при выборе конструктивных параметров деформирующего элемента является набора таких параметров, при которых между контактирующими поверхностями элементов и детали будут действовать минимальные контактные напряжения, что в свою очередь повышает надежность и долговечность инструмента.

В различных конструкциях раскатников применяются два варианта контакта роликов с опорными элементами (рис. 1).

Рис. 1. Различные варианты контакта роликов с опорными элементами

В первом варианте сила деформирования передается на деформирующий ролик через опорный конус (рис. 1, а). При значительных силах деформирования между опорными поверхностями ролика и конуса возникают значительные контактные напряжения и проскальзывание, что вызывает повышенный износ ролика и конуса. Поэтому, одним из наиболее эффективных способов минимизации проскальзывания является применение цилиндрического деформирующего ролика, опирающегося на несколько цилиндрических опорных катков, как показано во втором варианте (рис. 1, б). Использование опорных катков и деформирующих роликов, имеющих цилиндрическую форму наружной поверхности и установленных под углом самозатягивания, обеспечивает равномерную самоподачу инструмента и равнозначную скорость их вращения по всей длине контакта, что существенно снижает износ опорных элементов раскатывающего устройства и улучшает стабильность процесса ППД. Второй вариант (рис. 1, б) предпочтительней, так как существенно расширяет технологические возможности раскатников. Однако, при номинальном значении силы деформирования контактные напряжения зачастую превышают допустимые значения даже при установке цилиндрических деформирующих роликов на два опорных катка, поэтому дальнейшее совершенствование методов установки деформирующих роликов привело к идее устанавливать деформирующие ролики в обоймы (рис. 2).

В таком случае напряжения от сил деформирования распределяются по всей нижней поверхности деформирующего ролика, а по величине будут составлять не более 3 % от контактных напряжений, возникающих при контакте двух цилиндрических катков [6, 7].

Рис. 2. Распределение напряжений в обойме от деформирующего цилиндрического ролика

Цилиндрические деформирующие ролики и обоймы могут быть установлены в корпусе раскатника на инерционные рычаги (рис. 3), у которых форма поперечного сечения выполнена в виде кругового сектора, что позволяет наиболее рационально использовать все полезное пространство в радиальном сечении раскатника. При вращении раскатника приведенная масса инерционных рычагов оказывает существенное влияние на величину силы деформиро-

вания. Увеличение массы инерционного рычага позволяет существенно снизить скорость вращения инерционного рычажного раскатывающего устройства, не уменьшая при этом заданной силы деформирования. Конструктивные параметры поперечного сечения инерционных рычагов зависят от диаметра обрабатываемого отверстия, поэтому определение их рациональной расчетной массы осуществляется за счет варьирования длины рычага и его количества.

Рис. 3. Расчетная схема определения силы деформирования:
A – зазор между смежными опорными катками

Ниже приведена разработанная методика для определения влияния размеров инерционного рычага на силу деформирования.

Центробежные силы F_{yn} при одном деформирующем ролике 2 в инерционном рычаге 1 (рис. 3) могут быть вычислены по формуле

$$F_{yn} = \frac{F_{crp} \cdot L_{crp}}{L_{py}}. \quad (1)$$

Центробежная сила F_{yn} при двух роликах 2 в инерционном грузе, действующая на каждый из роликов рассчитывается по формуле

$$F_{yn} = \frac{F_{crp} \cdot L_{crp}}{2 \cdot L_{py} \cdot \cos(\psi/2)}, \quad (2)$$

где ψ – угол между смежными деформирующими роликами, расположенными в инерционном грузе; F_{crp} – центробежная сила, приложенная к центру тяжести инерционного рычага;

L_{crp} – расстояние от оси поворота инерционного рычага до его центра тяжести; L_{py} – расстояние от оси поворота инерционного рычага до точки приложения силы деформирования на деформирующем ролике.

Центробежная сила F_{crp} , приложенная к центру тяжести инерционного рычага

$$F_{crp} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot m_{cp} \cdot r_c \cdot n^2}{3600}, \quad (3)$$

где m_{cp} – масса инерционного рычага; r_c – радиус расположения центра тяжести инерционного рычага от оси отверстия; n – частота вращения инерционного рычажного раскатывающего устройства.

Масса инерционного рычага определяется по формуле

$$m_{cp} = \frac{\pi \cdot \alpha}{360} (R_{zp}^2 - r_{zp}^2) \cdot L_{cp} \cdot \rho, \quad (4)$$

где α – угол сектора инерционного рычага; R_{cp}, r_{cp} – наружный и внутренний радиусы инерционного рычага соответственно; L_{cp} – расчетная длина инерционного рычага; ρ – плотность материала инерционного рычага.

Контактные напряжения между роликом и опорным конусом при опоре на обойму можно определить на основе применения фундаментального решения теории упругости [7]. Это решение основано на положении, что приложенная сила к поверхности полубесконечного тела вызывает на вырезанном в поверхности цилиндра напряжение, которое можно вычислить по формуле

$$\sigma = \frac{2 \cdot F_{ссп}}{\pi \cdot r_p} \quad (5)$$

Контактные напряжения между роликом и опорным конусом

$$\sigma = 0,59 \sqrt{F_{yn} \cdot E_{np} \cdot \frac{D_k + d_p}{D_k \cdot d_p}}, \quad (6)$$

где D_k и d_p – диаметр конуса и диаметр ролика соответственно; E_{np} – приведенный модуль упругости материала конуса и ролика.

На графиках (рис. 4) показаны зависимости изменения сил деформирования от радиусов обрабатываемых отверстий и частот вращения раскатника.

Рис. 4. Зависимости изменения силы деформирования от радиусов обрабатываемых отверстий для диаметров деформирующих роликов 12 мм: кривая 1 – $n = 900 \text{ мин}^{-1}$; кривая 2 – $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$; кривая 3 – $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$; прямая 4 – необходимая сила деформирования 2,8 кН; а – один ролик в инерционном рычаге; б – два ролика в инерционном рычаге

На графиках (рис. 5) представлены зависимости по контактным напряжениям между ро-

ликом и опорным конусом (рис. 5, а), между роликом и обоймой (рис. 5, б).

Рис. 5. Изменение контактных напряжений от диаметров обрабатываемых отверстий для диаметров деформирующих роликов 12 мм: кривая 1 – $n = 900 \text{ мин}^{-1}$; кривая 2 – $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$; кривая 3 – $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$; прямая 4 – допускаемое касательное напряжение; а – контакт ролика с опорным конусом; б – контакт ролика с обоймой

Проанализировав графики на рис. 4 и 5 можно сделать важные выводы для определения рациональных конструктивных параметров вращающегося раскатника: необходимое усилие деформирования для радиусов обрабатываемых отверстий меньше 100 мм достигается при частоте вращения раскатника больше 1500 мин^{-1} ,

что не рекомендуется т. к. будет приводить к большому износу инструмента и шуму при работе; при установке роликов в обойму контактные напряжения примерно в пять раз ниже, чем напряжения, когда ролики опираются на опорный конус. Небольшие величины напряжений (рис. 5, б) в процессе использования ин-

струмента приводят к многократному повышению его надежности.

На основании полученных данных разработана конструкция вращающегося раскатника для обработки отверстий поверхностным пластическим деформированием, которая представлена на рис. 6.

Раскатник вращающийся (рис. 6) состоит из оправки 1, трех инерционных рычагов 2, в которых располагаются обоймы 3 в количестве шести штук с расположенными в них деформирующими роликами 4. Для создания необходимого усилия деформирования каждый из трех рычагов 2 имеет возможность поворота относительно оси 5.

Для надежного центрирования раскатника в процессе его работы относительно оси обрабатываемого отверстия предусмотрен направляющий узел 6, установленный на подшипниках 7, причем на наружной поверхности узла 6

закреплены направляющие шпонки 8, обеспечивающие базирование раскатника по отверстию.

При работе раскатника инерционные рычаги 2 с расположенными в них обоймами 3 и деформирующими роликами 4 под воздействием центробежной силы перемещаются относительно оси 5 в радиальном направлении и производят упругопластическое деформирование обрабатываемой поверхности отверстия.

Таким образом, разработанный инструмент позволяет получать расчетные усилия деформирования, приложенные к деформирующим роликам 4, как сумму моментов от величин центробежных сил, обеспечиваемых массами инерционных рычагов 2, на расчетные длины плеч, то есть расстояний по длине рычага от центров тяжести деформирующих роликов 7 и самих инерционных рычагов 2 до их крепления в шарнире 5.

Рис. 6. Раскатник вращающийся:

1 – оправка; 2 – инерционный рычаг; 3 – обойма; 4 – деформирующий ролик; 5 – ось; 6 – направляющий узел; 7 – подшипник; 8 – направляющие шпонки; 9, 10 – вставка; 11 – упор; 12 – штифт; 13 – стержень толкающий; 14 – крышка

Также хотелось отметить, что в раскатнике, представленном на рис. 6, деформирующие ролики 4 размещены в обоймах 3 по всей ее внутренней поверхности, при этом контактные напряжения по сравнению с опорой на цилиндри-

ческие катки, как это предусмотрено в других вариантах раскатников, имеют значительно меньшие значения. За счет такого расположения роликов повышается усталостная прочность и долговечность опорного элемента, то

есть обоймы 3. Кроме того, наличие трех инерционных рычагов 2 вместо пяти рычагов в большинстве конструкций существующих раскатников позволило увеличить массу инерционного рычага, а это в свою очередь привело к снижению необходимой частоты вращения при сохранении необходимого усилия обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Sevostyanov A. S., Bobrovskij I. N., Lukyanov A. A.* (2014) Research of surface plastic deformation processing methods in Russia. *ISJ Theoretical & Applied Science* 8 (16): 24-29. doi: <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2014.08.16.3>.
2. *Marchenko, D., Artyukh, V., & Matvyeyeva, K.* (2020). Analysis of the influence of surface plastic deformation on increasing the wear resistance of machine parts. *Problems of Tribology*, 25(2/96), 6-11 <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-96-2-6-11>.
3. *Oteny, Y., Kazak, V., & Morozova, E.* (2017). Determination of Geometrical Parameters Contact Zone for Detail Machining Surface Plastic Deformation. *Procedia Engineering*, 206. doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.665
4. *Рубахин, А. И.* Комбинированный инструмент для обработки глубоких отверстий роликов машины непрерывного литья заготовок / А. И. Рубахин // Технические науки: традиции и инновации : матер. I Междунар. науч. конф. – Челябинск : Два комсомольца, 2012. – С. 132–136.
5. *Древаль, А. Е.* Режущо-деформирующая обработка глубоких отверстий роликов машины непрерывного литья заготовок комбинированным инструментом / А. Е. Древаль, А. И. Рубахин // Вестник машиностроения. – 2013. – № 10. – С. 58–61.
6. *Смольников, Н. Я.* Анализ геометрических соотношений площади контакта между роликом и деталью при поверхностном пластическом деформировании / Н. Я. Смольников, Я. Н. Отений, Н. В. Олыштынский, С. Н. Олыштынский // Прогрессивные технологии в машиностроении : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В. М. Оробинского ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2001. – Вып. 4. – С. 125–128.
7. *Биргер, И. А.* Расчет на прочность деталей машин : справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – М. : Машиностроение, 1993. – 640 с.