

УДК 621.757

**А.Ю. Тараховский, ст. преподаватель**

*Севастопольский национальный технический университет*

*ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053*

*root@sevgtu.sebastopol.ua*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАДИУСА ОПИСАННОЙ  
ОКРУЖНОСТИ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СОПРЯЖЕНИЯ С ЗАЗОРОМ  
ПРИ СБОРКЕ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ТИПА  
«ЭЛАСТИЧНАЯ КОЛЬЦЕВАЯ ДЕТАЛЬ – КАНАВКА ОТВЕРСТИЯ»**

*Произведена оценка габаритов эластичной кольцевой детали при деформировании ее выступом внутрь для осуществления сопряжения с зазором при монтаже во внутреннюю канавку базовой детали. Для оценки габаритов эластичной кольцевой детали при деформировании определен радиус описанной окружности и координаты центра окружности, описанной вокруг упругой линии.*

**Ключевые слова:** эластичная кольцевая деталь, деформация, радиус описанной окружности, радиус касательной окружности.

В процессе производства изделий ведущая роль принадлежит сборке как завершающему этапу, на котором формируются основные показатели качества (надежность и долговечность в эксплуатации) выпускаемых объектов. Однако анализ тенденций развития машиностроения в последние годы показывает, что даже в таких высокоавтоматизированных отраслях, как автомобиле-, тракторостроение, сборка по трудоемкости занимает второе место после механообработки; в общей структуре трудоемкости изготовления машин сборка составляет 35–60% общей трудоемкости и превышает затраты труда на всех этапах производства. В машиностроении механизировано около 25–30%, а автоматизировано – не более 5–6% операций. Поэтому сборочные работы являются малопроизводительными и дорогостоящими, вследствие чего значительно повышается стоимость готовых изделий и снижается их качество.

Качество многих изделий: насосов водяных и масляных автомобильных, тракторных и авиационных, редукторов различных назначений, дифференциалов автомобильных и тракторных гидро- и пневмоцилиндров и многих других изделий зависит от уплотнений и прокладок, обеспечивающих герметизацию этих соединений.

При сборке изделий приходится осуществлять герметизацию воздушной и водяной среды, бензина, керосина и различных агрессивных жидкостей и воды, при различных температурах, нормальном и повышенном давлениях и других условиях работы. Нарушение работоспособности в процессе эксплуатации таких устройств может нередко служить причиной повышенной опасности.

Широкое распространение во всех отраслях современного производства получили сборочные единицы вида "эластичная кольцевая деталь – канавка отверстия". От качества установки эластичной кольцевой детали (уплотнительного кольца) зависит герметичность соединения. В производстве уплотнительные кольца устанавливаются в канавки цилиндрических поверхностей базовых деталей вручную. При установке уплотнений имеет место закручивание кольца вокруг оси его сечения. Из-за этого в процессе эксплуатации изделия происходит быстрый (20 – 100 срабатываний) разрыв уплотнения и потеря герметичности соединения, что приводит к выходу из строя всей конструкции и необходимости ее внепланового ремонта, в то время как качественно установленное уплотнение может работать  $5 \cdot 10^3 \dots 10^9$  циклов. Анализ причин негерметичности уплотнения кольцами круглого сечения показывает, что около 30% дефектов возникает из-за повреждения колец при сборке.

В условиях мелко- и среднесерийного производства, являющегося преобладающим в отечественной промышленности на сегодняшний день, высокий уровень качества и эффективности сборочного производства может быть достигнут за счет разработки и внедрения нового сборочного оборудования.

Однако для этого недостаточно полно исследованы вопросы пространственного деформирования эластичных колец на этапах сборочной операции, взаимодействия и взаимовлияния собираемых деталей, выбора рациональных компоновок и агрегатирования сборочного оборудования. Задача разработки и исследования методов и средств сборки приобретает особое значение, если учесть, что около 35–40% отказов изделий машиностроительных отраслей приходится на узлы "эластичная кольцевая деталь – канавка отверстия".

Исследованиями в области автоматизации установки эластичных кольцевых деталей посвящены работы Гусева А.А., Голубева А.И., Житникова Ю.З., Ищенко А.Л., Кондакова Л.А., Михайлова А.Н., Шабайковича В.А., Шерешевского А.Н., Ямпольского Л.С., Яхимовича В.А. и других.

Существующие технологические процессы установки эластичной кольцевой детали не всегда достаточно эффективны, так как не позволяют исключить главный недостаток – перекручивание кольца вокруг оси сечения.

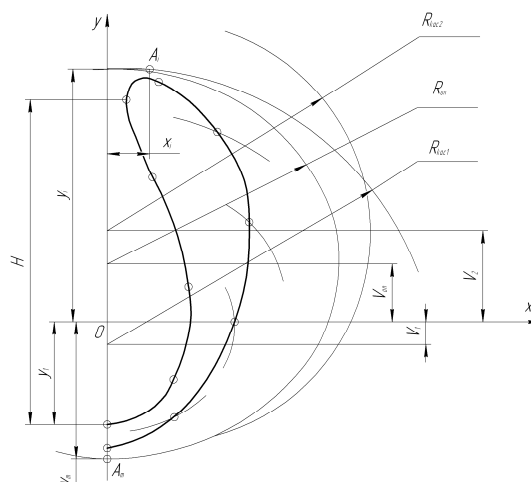


Рисунок 1 – Определение радиуса описанной окружности

Для монтажа эластичной кольцевой детали (ЭКД) во внутреннюю канавку базовой детали (БД) кольцо необходимо предварительно деформировать таким образом, чтобы радиус описанной окружности деформированной формы вписывался в цилиндрическую ограничивающую поверхность БД. Для осуществления сопряжения с зазором необходимо, чтобы габаритные размеры деформированного кольца стали меньше диаметра цилиндрической ограничивающей поверхности (ЦОП). Поэтому произведем оценку габаритов кольца при деформировании его выступом внутрь. Для оценки габаритов кольца при деформировании определяем радиус  $R_{on}$  и координаты  $U_{R_{on}}$  и  $V_{R_{on}}$  центра окружности, описанной вокруг упругой линии.

Пусть упругая линия кольца построена при положении наружного упора, например, в ординате  $Y_1=0,48$  (рисунок 1). Поскольку упругая линия симметрична относительно оси  $Y$ , абсцисса  $U_{R_{on}}$  центра описанной окружности равна 0.

Проведем через  $m$  точек, равномерно расположенных по длине упругой линии,  $m$  окружностей с центром в произвольной ординате  $V_i$ . Одна из множества этих окружностей с максимальным радиусом касается, но не пересекает упругую линию. Точка касания, например,  $A_i$  с координатами  $x_i$  и  $y_i$  может быть найдена простым перебором, что при использовании ЭВМ проводится с небольшими затратами времени. Тогда радиус  $R_{кас_i}$  касательной окружности может быть определен из следующей зависимости:

$$R_{кас_i} = \sqrt{x_i^2 + (y_i + V_i)^2} . \quad (1)$$

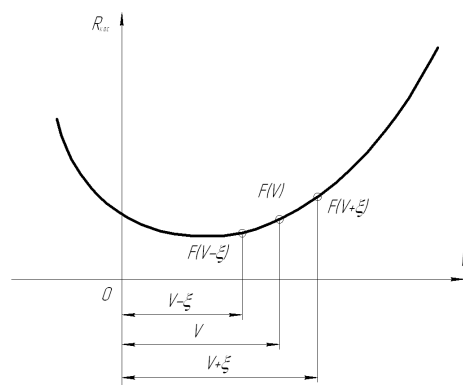


Рисунок 2 – Зависимость величины радиуса описанной окружности от положения ее центра на оси ординат

Из рисунка 1 и зависимости (1) видно, что радиус касательной окружности есть функция от ординаты  $V$ , т.е.

$$R_{kac} = f(V). \quad (2)$$

Изменяя значения  $V$  перемещением центра окружности вдоль оси  $Y$ , можно определить характер изменения функции  $f(V)$ .

Она является гладкой и имеет один минимум (рисунок 2), т.е. для функции (2) справедливо условие:

$$f'(V) = 0.$$

Минимальный радиус касательной окружности и есть радиус описанной окружности, т.е.

$$R_{kac}^{\min}(V_0) = R_{on}. \quad (3)$$

Для численного решения на ЭВМ уравнения (3) при расчете радиуса описанной окружности воспользуемся методом Ньютона [1]. Тогда, ограничиваясь линейным членом при  $j$ -ом решении, получаем:

$$f''(V_{j-1})\Delta V_j + f'(V_{j-1}) = 0, \quad (4)$$

где  $\Delta V_j = V_{j+1} - V_j$  – приращение при  $j$ -ом решении, т.е. получаем линейное уравнение относительно погрешности корня при  $j$ -ом решении. Из определения производной следует, что:

$$f'(V_j) \approx \frac{f(V_j + \xi) - f(V_j)}{\xi}, \quad (5)$$

$$f''(V_j) \approx \frac{f(V_j + 2\xi) - 2f(V_j + \xi) + f(V_j)}{\xi^2}, \quad (6)$$

при достаточно малом приращении  $\xi$ .

Подставляя (5) и (6) в (4), получим:

$$\frac{f(V_j + \xi) - f(V_j)}{\xi} + \frac{f(V_j + 2\xi) - 2f(V_j + \xi) + f(V_j)}{\xi^2} (V_{j+1} - V_j) = 0.$$

Откуда:

$$V_{j+1} = V_j - \frac{[f(V_j + \xi) - f(V_j)]\xi}{f(V_j + 2\xi) - 2f(V_j + \xi) + f(V_j)}.$$

Итерационный процесс прекращается, если:

$$\frac{V_{j+1} - V_j}{V_{j+1} + V_j} < 0.01. \quad (7)$$

Если условие (7) выполняется, то радиус касательной с центром в ординате  $V_{j+1}$  является радиусом описанной окружности.

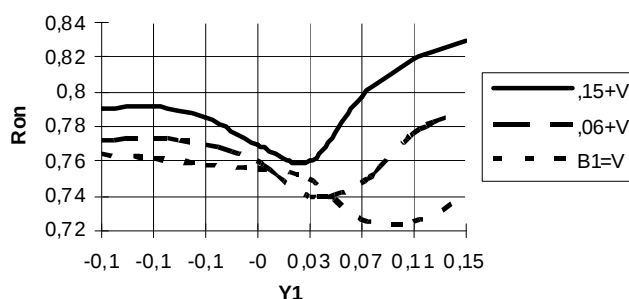


Рисунок 3 – Зависимость радиуса описанной окружности от величины ординаты  $Y_1$  наружного упора для различных значений  $B_1$ ,  $B_2 = V$

На ЭВМ выполнены соответствующие расчеты. При этом число точек принято равным 50.

На рисунках 3, 4 и 5 представлены зависимости изменения  $R_{on}$  от  $Y_1$ . Причём на рисунке 3 показаны зависимости для различных значений  $B_1$ , а на рисунке 4 – для различных значений  $B_2$ . Зависимости, построенные для колец с минимально возможными значениями расстояний  $B_1^{\min} = \nu$  и  $B_2^{\min} = \nu/2$ , для  $\nu$ , лежащего в пределах от 0,120 до 0,280 представлены на рисунке 5.

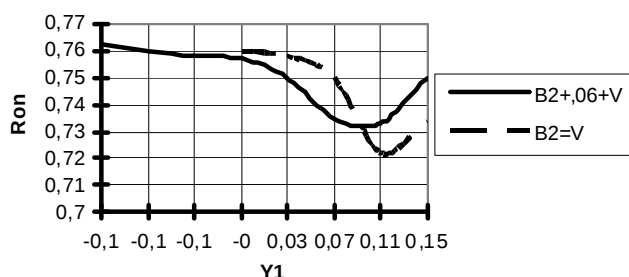


Рисунок 4 – Зависимость радиуса описанной окружности от величины ординаты  $Y_1$  наружного упора для различных значений  $B_2$ ,  $B_1 = \nu$

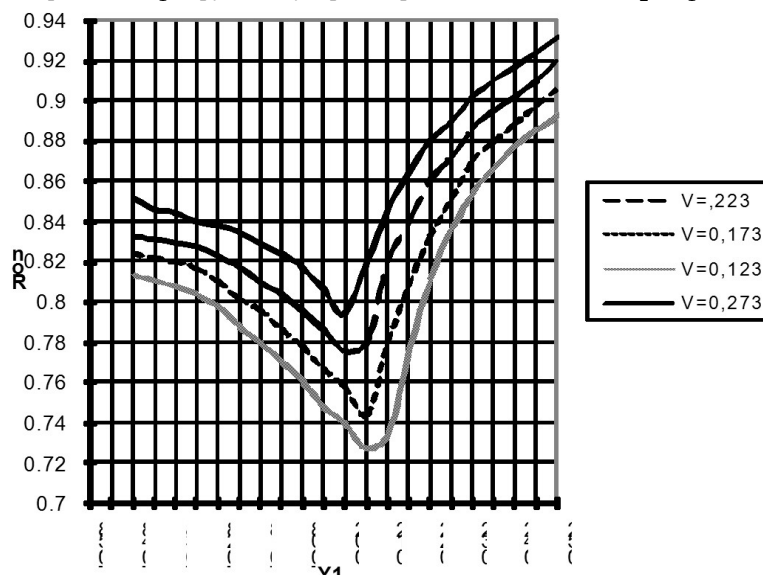


Рисунок 5 – Зависимость радиуса описанной окружности от величины ординаты  $Y_1$  наружного упора,  $B_1^{\min} = \nu$ ;  $B_2^{\min} = \nu/2$

Из полученных графиков видно, что при увеличении  $Y_1$  радиус описанной окружности уменьшается, достигая некоторого минимального значения  $R_{on}^{\min}$ , а затем при дальнейшем увеличении  $Y_1$  неограниченно возрастает. Таким образом, графики зависимости радиуса описанной окружности от ординаты  $Y_1$  наружного упора имеют один минимум. Причём, как видно из рисунков 3 и 4, с увеличением  $B_1$  и  $B_2$  минимальный радиус описанной окружности монотонно возрастает. Радиус описанной окружности принимает минимальное значение при  $B_1 = B_1^{\min} = \nu$  и  $B_2 = B_2^{\min} = \nu/2$ .

#### Библиографический список

1. Демидович Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А. Марон. — М.: Наука, 1966. — 664 с.
2. Шерешевский А.Н. Опыт автоматизации сборки уплотнительных соединений в условиях мелкосерийного производства / А.Н. Шерешевский. — К.: Общ-во "Знание" УССР, 1989. — 24 с.

Поступила в редакцию 19.03.2010 г.