

## ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К МЕХАНИЗИРОВАННОМУ И АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПРОЦЕССУ СБОРКИ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ВНУТРЕННИМИ КАНАВКАМИ

Проведений анализ основных вимог до процесу механізованої і автоматизованої збірки з'єднань, ущільнювачів типу «еластичний кільцевий елемент – внутрішня канавка циліндрової поверхні деталі», що забезпечують отримання гарантованої якості.

**Ключові слова:** з'єднання, ущільнювачів, еластичний кільцевий елемент, деформація, якість, збірка.

Произведен анализ основных требований к процессу механизированной и автоматизированной сборки уплотнительных соединений типа «эластичный кольцевой элемент – внутренняя канавка цилиндрической поверхности детали», обеспечивающей получение гарантированного качества.

**Ключевые слова:** уплотнительные соединения, эластичный кольцевой элемент, деформация, качество, сборка.

The analysis of the basic requirements is the process of the mechanized and automated assembling of connections of type «elastic circular element is internal ditch of cylindrical surface of detail» providing the receipt of the assured quality.

**Key words:** connections, elastic circular element, deformation, quality, assembling.

**Постановка проблеми.** Особенности процесса автоматической сборки уплотнительных соединений с внутренними канавками главным образом определяются геометрическими характеристиками собираемых деталей – базовой и кольца. Деформирование кольца – один из главных элементов процесса сборки уплотнительных соединений. Именно при установке колец в канавки отверстий виды деформаций характеризуются большим разнообразием. Прежде всего, необходимо отождествлять форму деформированного кольца с некоторой цилиндрической ограничивающей поверхностью (ЦОП) перед установкой в канавку. То есть требуется обеспечить деформацию кольца, при которой его форма вписывается в ЦОП.

**Целью статьи** является обоснование требований к механизированному и автоматизированному процессу сборки уплотнительных соединений с внутренними канавками.

Изложение основного материала. Наиболее выгодно было бы уменьшить габаритные размеры резинового кольца в его плоскости, равномерно распределенной нагрузкой, чтобы вписать в ЦОП. Однако, как показал анализ, величина сборочной деформации намного превышает значение критической, при которой кольцо теряет устойчивость в своей плоскости. Поэтому ввести кольцо в отверстие можно, обеспечивая лишь большие перемещения в пространстве отдельных его участков, созданием самых разнообразных форм.

Наиболее простой вид деформации, который применяется при ручной сборке – придание кольцу формы эллипса с большой  $2C_{1A}$  и малой  $2C_{2A}$  осями в его плоскости (рис. 1а).

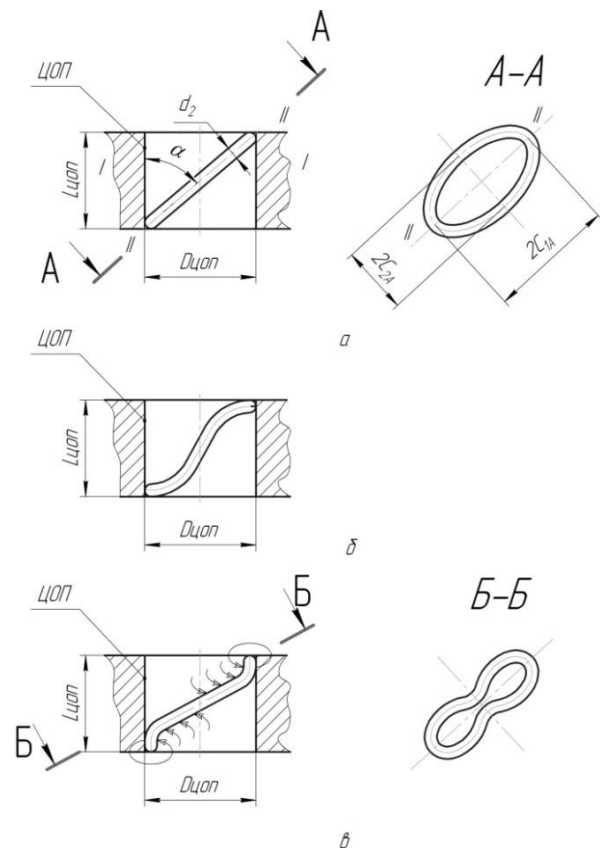


Рис. 1. Виды деформаций колец при сборке.

При этом становится возможным вписать его в ЦОП, установив под углом  $\alpha$ , относительно оси I-I ЦОП большую ось II-II эллипса. Кольцо испытывает минимальные изгибные деформации. При этом должно выполняться следующее условие:

$$\begin{cases} 2C_{1A} = \sqrt{D_{\text{цоп}}^2 + L_{\text{цоп}}^2 - d_2} \\ 2C_{2A} = D_{\text{цоп}} - d_2 \end{cases} \quad (1)$$

Длину  $S$  образующей эллипса можно вычислить, воспользовавшись известной формулой для вычисления длины плоской кривой [1]:

$$S = \int_{-x_1}^{+x_1} \sqrt{1 + y'^2} dx, \quad (2)$$

где  $y$  – ординаты множества точек эллипса.

Ординаты множества точек эллипса выражаются следующим уравнением:

$$y = \frac{C_{2A}}{C_{1A}} \cdot \sqrt{C_{1A}^2 - x^2}. \quad (3)$$

Так как

$$y' = \frac{C_{2A}}{C_{1A}} \cdot \frac{x}{\sqrt{1 - \frac{x^2}{C_{1A}^2}}},$$

то длина эллипса может быть выражена через эллиптические интегралы  $E(k, \varphi)$  второго рода, затабулированные, например, в [1]:

$$S = 4 \cdot C_{1A} \cdot E\left(k, \frac{\pi}{2}\right), \quad (4)$$

где  $k = \sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{C_{2A}^2}{C_{1A}^2}}$  – параметр.

Из зависимости (4) видно, что длина  $S$  эллипса при заданном  $D_{\text{цоп}}$  зависит только от величины  $L_{\text{цоп}}$ . В виде эллипса кольцо может быть вписано только при условии, если  $S \geq S^{\text{кр}}_A$  ( $S$  – длина образующей эллипса, который может быть вписан в ЦОП;  $S^{\text{кр}}_A = \pi(d_1 + 2d_2)$  – длина образующей кольца по наружному диаметру).

В случае невыполнения этого условия приходится деформировать дополнительно кольцо в пространстве (рис. 1б), так как деформацию в одной плоскости осуществить невозможно. Такую деформацию в автоматическом режиме создать затруднительно. Кроме того, трудно осуществить контроль полученной формы на всех этапах сборки.

Используя вышеописанные формы деформации, к краю канавки можно подать лишь часть кольца. Остальные участки кольца досылаются в канавку дополнительным воздействием.

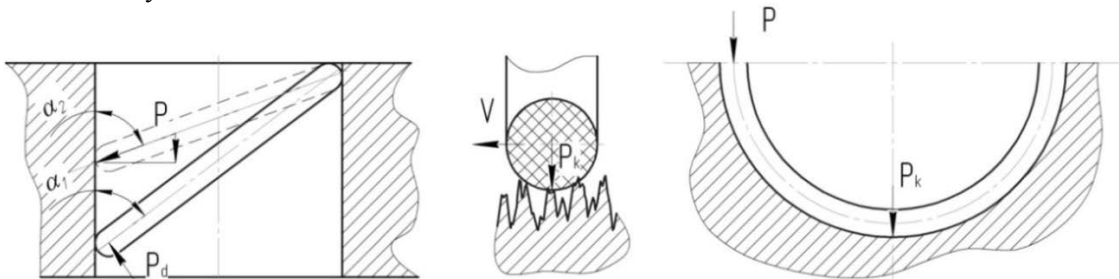


Рис. 2. Распределение сил, действующих на кольцо при деформации его в виде эллипса.

Сила  $Pd$ , которая прикладывается к элементу при досылке, приводит к деформации кольца. При деформации кольца появляется давление

Безусловным требованием к сборочной операции является обеспечение высокого качества собранных изделий при высокой производительности процесса сборки.

Качество уплотнительных соединений регламентируется комплексом стандартов ИСО, в которых предусмотрено более 30 показателей. Большая часть из них определяет требования к сопрягаемым поверхностям цилиндра и штока (допуски на размеры поверхностей, отклонений формы, шероховатость и волнистость поверхности и т. п.). Но можно выделить и параметры качества, которые определяются особенностями и условиями выполнения сборочных операций. К основным из них относят:

- 1) отсутствие повреждений на поверхности уплотнительного элемента;
- 2) отсутствие закручивания (спирального скручивания) уплотнительного элемента;
- 3) отсутствие при сборке деформаций уплотнительного элемента, превышающих допустимый предел, при котором полное восстановление формы кольца становится невозможным;
- 4) отсутствие перекоса уплотнительного элемента в канавке;
- 5) отсутствие разрушения уплотнительного элемента.

Особенностью процесса сборки уплотнительных соединений является то, что контроль качества соединения после сборки практически невозможен. Для оценки качества используют данные стендовых испытаний, а также данные по эксплуатации изделий, содержащих такие соединения. Для разработки же требований к процессу механизированной и автоматизированной сборки необходима численная оценка вероятности появления брака при использовании того или иного метода сборки.

Рассмотрим вероятность повреждения уплотнительного элемента для рассмотренных условий сборки при деформации кольца в виде эллипса (рис. 2).

кольца на поверхность  $Pk$ , которое можно определить, зная деформацию кольца  $\varepsilon$ . При досылке кольца при  $L > D_k$  необходимо применять раз-

личного рода оправки, что не исключает достижение степени деформации кольца, при которой  $\alpha = 90^\circ$ .

При этом  $\varepsilon$  определяется по уравнению:

$$\varepsilon = \frac{d_1 + 2 \times d_2 - D_k}{d_1 + 2 \times d_2}.$$

Поверхность отверстия не имеет регулярной геометрии, вершины микропрофиля расположены на различной высоте и геометрия вершин определяется методом обработки. Так для токарной обработки и шлифования они острые. Вследствие этого вероятность появления повреждения, учитывая многочисленность актов контакта поверхности кольца с гребешками шероховатости, всегда больше нуля. Она возрастает при движении кольца перпендикулярно рискам. Следовательно, гарантированное обеспечение соединения при рассматриваемом методе сборки невозможно. Оно может быть обеспечено только при отсутствии контакта кольца с поверхностью базовой детали, т. е. при  $Pk = 0$ .

При перемещении кольца с контактом об уплотняемую поверхность возникает крутящий момент (рис. 3)  $M_{кр} = Fr$ , под действием которого происходит закручивание кольца.

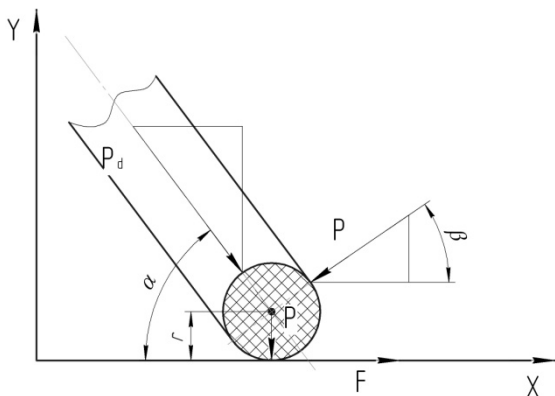


Рис. 3. Перемещение кольца с контактом об уплотняемую поверхность.

Если  $M_{кр} > M_{доп}$ , то элемент закручивается на  $180^\circ$  и принимает новое устойчивое положение. Зависимость между моментом  $M_{кр}$  и углом закручивания  $\varphi$  получаем, суммируя моменты всех элементарных сил  $\tau_{r\theta}dF$  на одной из цилиндрических поверхностей [2]:

$$M_{кр} = \int_F R_2 \times \tau_{r\theta}(R_2)dF = \frac{2R_2^2 \times \varphi \times G}{1 - \alpha^2} \int_0^{2\pi} d\theta dz = \frac{4 \times \pi^2 \times R_2^2 \times G}{1 - \alpha^2} \varphi,$$

где  $R_2$  – внутренний радиус уплотнительного кольца ( $R_2 = \frac{d_1}{2}$ );

$G$  – модуль сдвига;

$$\alpha = \frac{R_2}{R_1}, \text{ где } R_1 = \frac{d_1 + 2d_2}{2}.$$

Зависимость между моментом и напряжением:

$$\tau_{r\theta} = \frac{M_{кр}}{2\pi d_2 R_2^2}.$$

Особенно вероятно закручивание элементов круглого и X-образного сечения. Учитывая пульсирующую нагрузку (зависит от микро- и макрогеометрии уплотняемой поверхности) вероятность закручивания кольца всегда больше 0, а для соблюдения качества сборки уплотнительного узла необходимо стремиться к  $M_{кр} = 0$ .

При установке кольца с контактом об уплотняемую поверхность кольцо деформируется, т. е. изменяются его геометрические характеристики.

Оценим относительную величину  $\varepsilon$  изменения диаметра  $D_{ср}$  оси кольца при установке в канавку радиального уплотнения.

Наибольшую относительную величину  $\varepsilon$  будем вычислять при  $\alpha = 90^\circ$  (рис. 4) по следующей зависимости:

$$\varepsilon = \frac{d_1 + 2d_2 - D_k}{d_1 + 2d_2}, \quad (6)$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр кольца;

$D_k$  – диаметр уплотняемой поверхности отверстия (цилиндра).

Формула для расчета критической деформации  $\varepsilon_k$  сжатия кольца в канавке имеет следующий вид [3]:

$$\varepsilon_k = 0,65 \cdot \left( \frac{d_2}{D_n} - 0,01 \right),$$

где  $d_2$  – диаметр сечения кольца, мм;

$D_n$  – наружный диаметр кольца, мм.

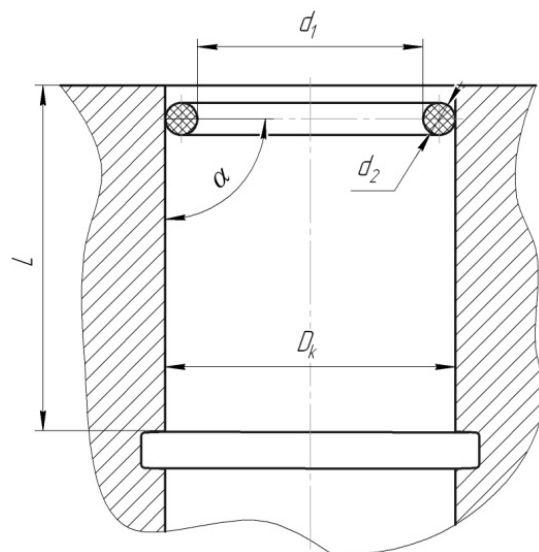


Рис. 4. Кольцо при установке в канавки радиального уплотнения.

Из условия получения заданного качества уплотнительного узла необходимо, чтобы  $\varepsilon < \varepsilon_k$ .

Оценка показывает, что это не всегда возможно. В табл. 1 приведены величины  $\varepsilon$  и  $\varepsilon_k$ , вычисленные для различных типоразмеров колец.

Из табл. видно, что эластичные кольца при установке в канавки радиальных уплотнительных соединений испытывают большие радиальные деформации – до 70–80%, хотя величина деформации и уменьшается с увеличением типоразмера колец.

Таблица 1.

Относительная радиальная и критическая деформации колец при установке в канавки уплотнительных соединений.

№ п/п	Обозначение кольца	Относительная радиальная деформация $\varepsilon$	Критическая деформации $\varepsilon_k$
1	050-060-58	0,422	0,524
2	056-066-58	0,43	0,535
3	061-071-58	0,436	0,543
4	071-081-58	0,444	0,555
5	078-088-58	0,446	0,559
6	080-090-58	0,447	0,56
7	090-100-58	0,453	0,569
8	095-105-58	0,453	0,569
9	105-115-58	0,457	0,576
10	110-120-58	0,459	0,579

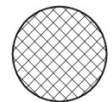
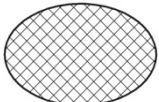
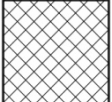
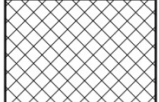
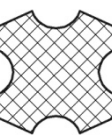
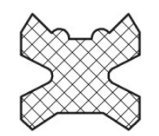
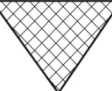
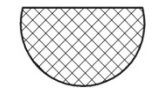
Учитывая отсутствие в реальном процессе данных о значении параметров, определяющих качество, выполнена экспертная оценка значений вероятности появления брака при ручной сборке уплотнительных соединений гидроаппаратуры. Экспертам было предложено произвести количественную оценку по шкале отношений вероятности появления дефектов (повреждение поверхности, скручивание, деформация)

при ручной сборке уплотнительных узлов, содержащих уплотнительные элементы в виде колец различных сечений.

Для анализа заключений экспертов, выраженных в количественном виде, использовались одновременно два метода: метод средних арифметических рангов (баллов) и метод медианных рангов. Данные экспертных оценок приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Данные экспертных оценок.

Вид сечения резиновых эластичных колец	Вероятность появления дефектов при ручной сборке			Требования к механизированной и автоматизированной сборке
	Повреждение поверхности	Скручивание	Деформация	
 	0,25	0,1	0,15	1. Отсутствие контакта. 2. Угловая и продольная ориентация относительно канавки. 3. Отсутствие остаточных деформаций.
 	0,15	0,05	0,12	1. Отсутствие контакта. 2. Более жесткие требования к угловой и продольной ориентации относительно канавки. 3. Отсутствие остаточных деформаций.
 	0,3	0,15	0,12	1. Отсутствие контакта. 2. Угловая и продольная ориентация относительно канавки. 3. Отсутствие остаточных деформаций. 4. Угловая ориентация при деформировании в сборочном устройстве.
 	0,3	0,05	0,15	1. Отсутствие контакта. 2. Более жесткие требования к угловой и продольной ориентации относительно канавки. 3. Отсутствие остаточных деформаций. 4. Угловая ориентация при деформировании в сборочном устройстве.

Согласно заключению экспертов, наиболее подверженными спиральному скручиванию при ручном способе установки оказались кольца  $X$ -образного сечения. За счет своей формы они быстрее переходят в новое устойчивое (деформированное, скрученное) состояние. Наименее подвержены скручиванию кольца квадратного и прямоугольного сечения. Больше повреждение поверхности при контакте кольца с уплотняемой поверхностью наблюдается у колец с сечением дельта-ринг. Здесь чаще наблюдается повреждение уплотняющей кромки. Остаточная деформация чаще встречается у колец круглого сечения.

Экспертиза подтвердила, что для получения гарантированного качества уплотнительного соединения, сборка должна происходить без контакта уплотнительного кольца с уплотняемой поверхностью.

**Выводы.** Выполненный анализ позволяет сформулировать основные требования к процессу механизированной и автоматизированной сборки, обеспечивающей получение гарантированного качества.

Отсутствие контакта уплотнительного кольца с уплотняемой поверхностью в процессе сборки позволяет избежать повреждения поверхности кольца.

Угловая и продольная ориентация уплотнительного кольца относительно канавки позволяет избежать остаточной деформации ( $\epsilon < \epsilon_k$ ). Для эластичных элементов  $X$ -образного сечения, а также сечений дельта- и  $D$ -ринг необходима угловая ориентация в момент деформирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : Наука, 1980. – 976 с.
2. Лавендел Э. Э. Расчет резинотехнических изделий / Э. Э. Лавендел. – М. : Машиностроение, 1976. – 232 с.
3. Селедков Ю. А. Условия монтажа резиновых колец круглого сечения в прямоугольные канавки фланцевых уплотнений / Ю. А. Селедков, Э. А. Савостьянова, В. В. Некрасова // Каучук и резина. – 1974. – № 10. – С. 42–44.