

УДК 621.757

Тараховский А. Ю.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА КАЧЕСТВО СБОРКИ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В процессе производства изделий ведущая роль принадлежит сборке как завершающему этапу, на котором формируются основные показатели качества, надежность и долговечность при эксплуатации выпускаемых объектов. Однако анализ тенденций развития машиностроения в последние годы показывает, что даже в таких высокоавтоматизированных отраслях, как автомобилестроение и тракторостроение, сборка по трудоемкости занимает второе место после механообработки. В общей структуре трудоемкости изготовления машин она составляет 35–60 % общей трудоемкости и превышает затраты труда на всех этапах производства [1]. В машиностроении механизировано около 25–30 %, а автоматизировано – не более 5–6 % операций [1]. Поэтому сборочные работы являются малопроизводительными и дорогостоящими, вследствие чего значительно повышается стоимость готовых изделий и снижается их качество.

Широкое распространение получили сборочные единицы вида «эластичный кольцевой элемент – внутренняя канавка». В производстве уплотнительные кольца устанавливаются во внутреннюю канавку цилиндрической поверхности деталей вручную. При установке имеет место закручивание кольца вокруг оси его сечения, и 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 от $5 \cdot 10^3 \dots 10^9$ циклов [2]. 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.

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.

Однако недостаточно полно исследованы вопросы 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 «эластичный кольцевой элемент – внутренняя канавка».

Целью данной работы является оценка влияния погрешностей изготовления деталей на качество сборки уплотнительных соединений.

Качество уплотнительных соединений (УС) регламентируется комплексом стандартов ИСО, в которых предусмотрено более 30 показателей [3]. 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 зависят от условий и особенностей выполнения сборочных операций. Основные из них:

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.

Условия сборки уплотнительных соединений в значительной мере зависят от геометрии собираемых деталей. Влияние характеристики базовой детали можно снизить, выполняя все элементы сборочной операции без контакта эластичного кольца с уплотняемой поверхностью. Именно этим обосновывается необходимость проведения сопряжения кольца с канавкой базовой детали с зазором. Кроме того, при подаче кольца к канавке с зазором упрощается сам сборочный процесс, что особенно важно для технологии гибкого автоматизированного производства. Установка кольца в свободном состоянии, без закручивания, способствует также значительному повышению качества, надежности и долговечности уплотнительного устройства, а значит и качества машины в целом.

В связи с этим, первоочередным является выбор способа деформирования кольца для эффективного уменьшения его габаритных размеров, что позволило бы вписать кольцо в цилиндрическую ограничивающую поверхность (ЦОП) с зазором. Такая задача решается, когда кольцу обеспечивается прогиб выступом внутрь. Соответствующая данному случаю, деформация показана на рис. 1. Здесь наружный упор 1 обеспечивает изгиб кольца внутрь, так что соответствующая точка M_1 упругой линии приближается к точке M_4 противоположного участка; внутренние же упоры 2 и 3 максимально сводятся друг к другу и симметричные участки кольца касаются в соответствующих точках M_2 и M_3 . После деформации кольцо можно подавать к канавке базовой детали деформирующим органом без контакта с уплотняемой поверхностью. Возможность разрушения или закручивания кольца исключаются, так как кольцо подается к канавке с зазором. Увеличивается и жесткость кольца, заневоленного упорами деформирующего органа. В таких условиях комплекс из исполнительного механизма и деформированного им эластичного кольца можно условно считать жесткой присоединительной деталью.

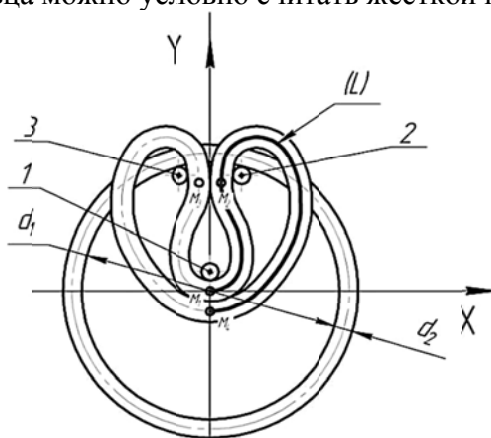


Рис. 1. Упругая линия деформированного кольца при минимальном радиусе

В соответствии с условиями собираемости деформировать эластичное кольцо выступом внутрь имеет смысл, если после деформации кольцо вписывается в ЦОП с требуемым зазором. Поскольку радиус описанной окружности характеризует габариты деформированного кольца, то для осуществления сопряжения с зазором, необходимо выполнение следующего условия:

$$\tilde{R}_{y\ on} - (\tilde{R}_{on}^{\min} + 0,5 \cdot d_2) - \Delta_{\Sigma} \geq C, \text{ мм} \quad (1)$$

где $R_{y\ on}$ – радиус поперечного сечения ЦОП;

d_2 – диаметр сечения кольца;

Δ_{Σ} – суммарная погрешность относительного ориентирования;

C – минимальный гарантированный зазор.

Для оценки возможности осуществления сопряжения с зазором требуется, прежде всего, определить величину радиуса $\tilde{R}_{y\ on}$ сечения цилиндрической ограничивающей поверхности, которая может быть получена из таблиц ДСТУ ГОСТ 24191:2008.

Величина радиуса \tilde{R}_{on}^{\min} описанной окружности, зависящая от геометрического параметра кольца ν , рассчитывается по формуле:

$$\tilde{R}_{on}^{\min} = R \cdot (0,483 \cdot \nu + 0,663), \quad (2)$$

где ν – диаметр d_2 сечения кольца, отнесённый к среднему радиусу R ($R = \frac{d_1 + d_2}{2}$).

Способы сборки УС с предварительно созданным при сопряжении зазором отличаются от известных способов сборки тем, что процесс сопряжения кольца происходит без контакта с поверхностями базовой детали (т. е. без контакта с ЦОП). Именно по этой причине не могут быть применены схемы механизмов с относительной подвижностью базовой или присоединяемой деталями. Могут применяться методы и средства направленного совмещения и сборки деталей, однако для сборки УС они будут характеризоваться значительной сложностью и громоздкостью.

Схемы базирования деталей УС, как и весь процесс сборки, отличаются рядом особенностей. Прежде всего, механизмы должны характеризоваться жестким базированием и жесткой относительной установкой собираемых деталей. При установке уплотнительного кольца в канавку отверстия, охватывающей деталью является деталь с канавкой, а охватываемой-эластичное уплотнительное кольцо. Наиболее часто охватывающая деталь базируется по наружной вспомогательной поверхности. За охватываемую сопрягаемую поверхность присоединительного вала принимаем некоторую условную цилиндрическую поверхность с радиусом поперечного сечения равным радиусу \tilde{R}_{on}^{\min} окружности, описанной вокруг деформированного на упорах кольца.

Суммарная погрешность установки (погрешность относительного ориентирования) выбирается и рассчитывается в каждом конкретном случае. Эти вопросы рассмотрены в многочисленных опубликованных работах [4].

Если установочная поверхность базовой детали цилиндрическая, а деталь зафиксирована подвижным призматическим прижимом к неподвижной плоскости, то погрешность Δ_{Σ} относительного ориентирования будет равна:

$$\Delta_{\Sigma} = \varepsilon_{np} + \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_o + \frac{\delta_o}{2} + \frac{\delta_{on}}{2} + \varepsilon_v, \text{ мм}$$

где ε_{np} – погрешность позиционирования;

ε_{δ} – погрешность базирования детали, $\varepsilon_{\delta} = \frac{\delta_n}{2}$;

δ_n – допуск на наружный диаметр базовой детали;

ε_o – величина смещения центра отверстия относительно центра наружного диаметра базовой детали;

δ_o – допуск, на диаметр уплотняемого отверстия (на диаметр поперечного сечения ЦОП);
 δ_{on} – отклонение радиуса описанной окружности;
 ε_y – величина смещения центра описанной окружности.

Два последних слагаемых погрешности Δ_Σ требуют специального определения.

Расстояние между наружным и внутренними упорами, ордината центра описанной окружности и расстояние между наружным упором и центром описанной окружности зависят только от геометрического параметра ν , т. е. от размеров (d_1 и d_2) уплотнительного кольца. Рассеяние погрешностей этих величин, изменение которых зависит от большого числа факторов, не имеющих преобладающего значения, подчиняется закону Гауса [5].

Оценим средние квадратические отклонения рассчитываемых параметров. Пусть $Y = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_n)$ – функция n случайных некоррелированных аргументов $X_1 \dots X_n$. Предполагая малое влияние отклонения аргумента на отклонение функции, указанную зависимость можно линеаризовать. Среднее квадратическое отклонение δ_y для линейной функции согласно [6] выражается следующей формулой:

$$\delta_y^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial X_i} \right)^2 \delta X_i^2, \quad (3)$$

где $\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial X_i}$ – производные, вычисленные для значения аргументов, равных их математическим ожиданиям.

Воспользуемся (3) для определения среднего квадратического отклонения полученных зависимостей:

$$\tilde{R}_{on}^{\min} = \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot R_{on}^{\min}(\nu). \quad (4)$$

Тогда, из (3) получим:

$$\delta_{on}^2 = \left(\frac{\partial \tilde{R}_{on}^{\min}}{\partial d_1} \right)^2 \cdot \delta_1^2 + \left(\frac{\partial \tilde{R}_{on}^{\min}}{\partial d_2} \right)^2 \cdot \delta_2^2, \quad (5)$$

где δ_{on} , δ_1 , δ_2 – средние квадратические отклонения соответственно радиуса описанной окружности, внутреннего диаметра d_1 кольца и диаметра сечения d_2 кольца.

Напомним, что $\nu = \frac{2 \cdot d_2}{d_1 + d_2}$.

Выразим $\frac{\partial \tilde{R}_{on}^{\min}}{\partial d_1}$ и $\frac{\partial \tilde{R}_{on}^{\min}}{\partial d_2}$, и подставим в уравнение (5).

Получим с учетом (4):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tilde{R}_{on}^{\min}}{\partial d_1} &= \frac{1}{2} \cdot R_{on}^{\min}(\nu) + \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot \frac{\partial R_{on}^{\min}}{\partial \nu} \cdot \frac{\partial \nu}{\partial d_1} = \\ &= \frac{1}{2} \cdot R_{on}^{\min}(\nu) - \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot \frac{\partial R_{on}^{\min}}{\partial \nu} \cdot \frac{2 \cdot d_2}{(d_1 + d_2)^2} = \frac{1}{2} \left[R_{on}^{\min}(\nu) - \frac{\partial R_{on}^{\min}}{\partial \nu} \cdot \nu \right]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tilde{R}_{on}^{\min}}{\partial d_2} &= \frac{1}{2} \cdot R_{on}^{\min}(v) + \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot \frac{\partial R_{on}^{\min}}{\partial v} \cdot \frac{\partial v}{\partial d_1} = \\ &= \frac{1}{2} \cdot R_{on}^{\min}(v) - \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot \frac{\partial R_{on}^{\min}}{\partial v} \cdot \frac{d_1 + d_2 - d_2}{(d_1 + d_2)^2} = \frac{1}{2} \left[R_{on}^{\min}(v) - \frac{\partial R_{on}^{\min}}{\partial v} \cdot \left(1 - \frac{v}{2} \right) \right]; \\ \delta_{on}^2 &= \frac{1}{4} \cdot \left[(0,48v + 0,66 - 0,48v)^2 \delta_2^2 + (0,48v + 0,66 + 0,48 - 0,24v)^2 \delta_2^2 \right] = \\ &= 0,11\delta_1^2 + (0,12 \cdot v + 0,57)^2 \delta_2^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Аналогічно получим:

$$\begin{aligned} \delta_v^2 &= \frac{1}{4} \left[(0,66 - 0,52v + 0,52v)^2 \delta_2^2 + (0,66 - 0,52v - 0,52 + 0,26v)^2 \delta_2^2 \right] = \\ &= 0,11\delta_1^2 + (0,14 - 0,26 \cdot v)^2 \delta_2^2; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \delta_{H^*}^2 &= \frac{1}{4} \left[(1,15 - 0,58v + 0,58v)^2 \delta_1^2 + (1,15 - 0,58v - 0,58 + 0,29v)^2 \delta_2^2 \right] = \\ &= 0,33\delta_1^2 + (0,57 - 0,29 \cdot v)^2 \delta_2^2. \end{aligned} \quad (8)$$

При распределении случайной величины по закону Гаусса за практически предельное поле рассеяния принимают величину, равную 6δ [5]. Тогда имеем $\delta_1 = \frac{1}{6} \cdot \delta \cdot d_1$, $\delta_2 = \frac{1}{6} \cdot \delta \cdot d_2$, а:

$$\delta_{on} = 6\delta_{on} = 6\sqrt{0,11\delta_1^2 + (0,12 \cdot v + 0,57)^2 \delta_2^2}; \quad (9)$$

$$\varepsilon_v = 6\delta_v = 6\sqrt{0,11\delta_1^2 + (0,14 - 0,26 \cdot v)^2 \delta_2^2}. \quad (10)$$

ВЫВОДЫ

Полученные зависимости позволяют произвести расчеты режимов сборки и элементов сборочного устройства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Машиностроение. Энциклопедия. Т. III-5 / [А. А. Гусев, В. В. Павлов, А. Г. Андреев и др.] ; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева ; ред. совет : К. В. Фролов (пред.) и др. – М. : Машиностроение, Технология сборки в машиностроение, 2001. – 640 с.*
2. *Буренин В. В. Оценка долговечности резиновых уплотнительных колец и манжет для вращающихся валов машин и механизмов / В. В. Буренин, В. П. Иванин // Хим. и нефтегаз. машиностр. – 2003. – № 11. – С. 32–33.*
3. *ДСТУ ISO 9000:2007. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2005, IDT) [Чинний від 01.01.2008]. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 35 с. – (Національний стандарт України).*
4. *Вахрин Л. А. Адаптивное управление при автоматической сборке соединений / Л. А. Вахрин, В. К. Мясников, В. Т. Синецын // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2001. – № 1. – С. 17–26.*
5. *Костюк В. И. Гибкие робототехнические системы. Общий подход / В. И. Костюк, Л. С. Ямпольский. – К. : Вища школа, 1988. – 72 с.*
6. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : укр. міжвідом. наук.-техн. зб. / ред. З. А. Стоцько ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2006. – Вип. 40. – 312 с.*

Статья поступила в редакцию 16.07.2012 г.