

Метод и устройство обеспечения качества поверхности пробок шаровых кранов

Д.К. Еренчинов, Акционерное Общество «Датчики и автоматизированные системы управления (ДАСУ)»

Введение

Качество сферической поверхности является одним из важнейших факторов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства запорной арматуры типа шаровых кранов, широко распространенных в трубопроводном транспорте жидких и газообразных сред.

К запорным поверхностям пробок шаровых кранов предъявляются следующие требования, которые не очень высоки, по сравнению с требованиями, предъявляемыми, например, к шарикам подшипников:

- поле допуска на размер сферы по 10-11 качеству;
- отклонение от круглости – не более 20-50 микрометров в зависимости от диаметра сферы;
- шероховатость поверхности – R_a 0.2-0.4 мкм.

Качество сферической поверхности пробок шаровых кранов обеспечивается процессами шлифования, притирки или полирования и поверхностного пластического деформирования (обкатывание шариками и роликами) штучных заготовок.

Относительная сложность управления обкатыванием штучных заготовок с переменным диаметром и малая производительность известных способов привели к поиску и разработке нового обоснованного метода обкатывания пробок шаровых кранов в торовом желобе [1-3].

За основу нового способа принят известный в подшипниковом производстве метод одновременной доводки партии точных шаров в желобах между прижимаемыми друг к другу дисками.

Однако, сквозные отверстия и относительно большая разноразмерность диаметров пробок способствовали внесению изменений в основу нового способа и созданию нового метода финишной обработки пробок шаровых кранов.

Особенностью нового метода и устройства является осуществление поверхностного пластического деформирования, сочетающим в себе элементы обкатывания, изнашивания и истирания.

При разработке нового способа проведено:

- исследование кинематики и динамики процесса;
- решение локальной контактной задачи;
- исследование особенностей способа;
- обоснование технологических параметров обкатывания;
- разработка, изготовление, исследование и внедрение в производство специального обкатного станка;
- разработка рекомендаций по конструированию высокопроизводительного оборудования для финишной обработки пробок шаровых кранов.

Теоретическое обоснование

Из-за наличия у пробок шаровых кранов отверстия (DN) применяемая форма рабочих поверхностей желобов не коническая, а тор с сечением в виде дуги окружности. Кроме этого, допуски на диаметры пробок шаровых кранов на порядок больше допускаемых отклонений размеров шариков подшипников, поэтому для равномерного распределения усилий прижима на каждую пробку одновременно обкатываются только три детали, расположенные в сепараторе. Абразивные материалы не применяются.

Кинематика и динамика движения пробки шарового крана в торовом желобе имеют существенные особенности, и для оптимального выбора режимов и параметров обработки необходимо их теоретическое обоснование. Такое обоснование возможно путем решения контактной задачи теории упругости.

В известных работах аналогичная задача решается применительно к шарикоподшипникам, для которых основной целью является снижение износа и увеличение долговечности.

При обкатывании сферических поверхностей пробок шаровых кранов ставится обратная цель: сокращение времени обработки («износа») с получением необходимой шероховатости.

На *рис. 1* показана схема расположения пробки при обкатывании в торовом желобе.

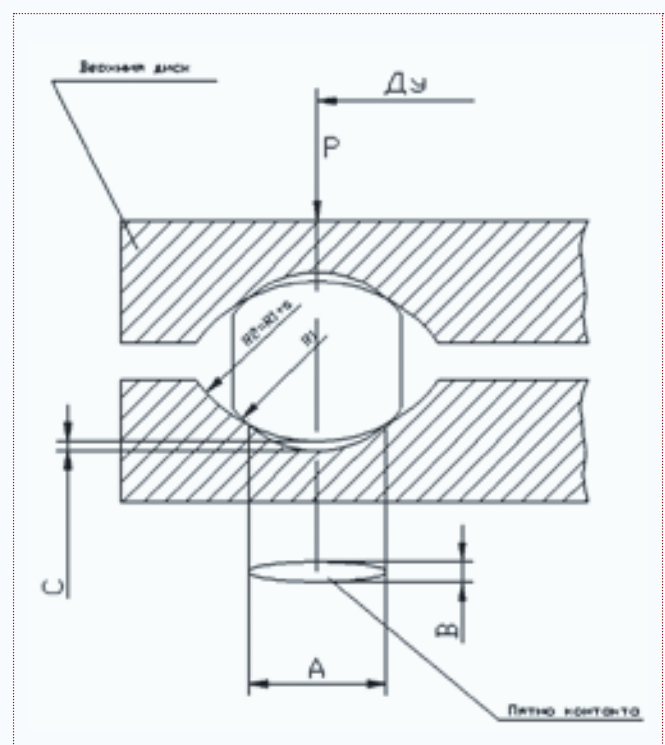


Рис. 1. Схема расположения пробки при обкатывании между двумя дисками

1. Кинематические зависимости

Линейная скорость центра пробки V_0 в относительном движении ее вокруг оси дисков (м/с):

$$V_0 = \pi D_0 n / 120000,$$

где D_0 – диаметр окружности тора по центрам пробки, мм,

n – частота вращения верхнего диска, об/мин.

Угловая скорость переносного вращения пробки вокруг оси дисков, 1/с.

$$\omega = n \pi / 60.$$

Наибольшая величина поворотного (кориолисова) ускорения, м/с²

$$a_k = n^2 D_0 / 360000.$$

Число полных оборотов пробки за один оборот сепаратора (за 2 оборота верхнего диска)

$$K_0 = D_0 / (2R_1),$$

где R_1 – радиус сферы пробки.

2. Пятно контакта

Из-за неравножесткости пробки пятно контакта в различных ее положениях будет разным. Наименьшие размеры такого пятна будут при положении пробки, показанном на *рис. 1*.

Для двух кривых поверхностей тел, имеющих модули упругости ϵ_1 и ϵ_2 , коэффициенты Пуансона E_1 и E_2 , сжимаемых силой P , пятно эллиптического контакта определяется формулами [4]:

Большая полуось эллипса

$$A_k = \mu \cdot \sqrt[3]{\frac{3P}{2(\sum \rho)} \cdot \left(\frac{1-\epsilon_1^2}{E_1} + \frac{1-\epsilon_2^2}{E_2} \right)}. \quad (1)$$

Малая полуось

$$B_k = \vartheta \cdot \sqrt[3]{\frac{3P}{2(\sum \rho)} \cdot \left(\frac{1-\epsilon_1^2}{E_1} + \frac{1-\epsilon_2^2}{E_2} \right)}. \quad (2)$$

Где μ и ϑ – коэффициенты, зависящие от соотношения радиусов кривизны поверхностей.

$\sum \rho$ – сумма кривизны соприкасающихся поверхностей с радиусами R_1 и R_2 и радиальным зазором между ними $a = R_2 - R_1$, где R_2 – радиус сечения желоба диска.

Для рассматриваемого случая

$$\sum \rho = \frac{2R_2 - R_1}{R_1 R_2} = \frac{R_1 + 2a}{R_1 (R_1 + a)}$$

Учитывая, что для стальных дисков

$$E_1 = 2 \cdot 10^4 \text{ кгс/мм}^2 \text{ и } \epsilon_1 = 0,28,$$

а для латунных пробок

$$E_2 = 10^4 \text{ кгс/мм}^2 \text{ и } \epsilon_2 = 0,32,$$

и подставляя эти значения в формулу (1) и (2), получаем расчетные размеры осей эллиптического контакта

$$A = 0,118 \mu \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{\sum \rho}}, \quad (3)$$

$$B = A \vartheta / \mu \quad (4)$$

При определении величины $\sum \rho$ необходимо учитывать следующее.

Радиус сферы сжатой деформированной пробки в точке контакта с диском будет увеличенным. Если при-

нять, что деформированное сечение пробки будет иметь форму эллипса с большой полуосью l_1 и малой l_2 , то максимальный радиус в точке касания (по геометрическим параметрам эллипса) будет равен $R_{max} = l_1^2 / l_2$.

При этом допустимо считать, что большая полуось больше радиуса несжатой пробки на величину радиальной деформации σ , а малая полуось – меньше на σ , т.е.

$$l_1 = R_1 + \sigma,$$

$$l_2 = R_1 - \sigma,$$

тогда максимальный радиус $R_{max} = (R_1 + \sigma)^2 / (R_1 - \sigma)$.

Представляя числитель этой формулы в виде $[(R_1 - \sigma) + 2\sigma]^2$, после преобразования, пренебрегая малой величиной $4\sigma^2 / (R_1 - \sigma)$, получим: $R_{max} = R_1 + 3\sigma$, т.е. радиус кривизны сжатой пробки в точке касания с диском увеличивается на тройную величину ее радиальной деформации.

Это важное соотношение позволяет сделать вывод, что влияние деформации на суммарную кривизну соприкасающихся поверхностей ($\sum \rho$) существенно только при малых зазорах между желобом и пробкой (a), соизмеримых с величиной деформации (σ).

При зазорах $a < 3\sigma$ радиус кривизны пробки почти совпадает с радиусом профиля желоба, и пятно контакта будет иметь ось A , большую, чем определенная по формуле (3).

3. Усилие давления на верхний диск

Расчетное усиление на верхний диск определяется исходя из следующего соображения. Величина C сближения контактирующих тел (пробки и желоба) от давления P должна быть равна величине натяга, требуемого для снятия микронеровности и получения шероховатости сферы пробки в пределах $R_a 0,25$.

Глубина внедрения инструмента в деталь значительно больше высоты сминаемых микронеровностей ($R_a 1,25$) и составляет (для условий поверхностного пластического деформирования) в зависимости от характера обработки и материала заготовки 0,005-0,050 мм [5].

С учетом этого принимаем для расчетов величину сближения контактирующих тел (сталь-латунь): $C = 0,01$ мм.

Сближение контактирующих тел под действием нормальной нагрузки определяется формулой [4]

$$C = \frac{2k}{\pi \mu} \cdot \left\{ \frac{3P}{2(\sum \rho)} \left[\frac{1-\epsilon_1^2}{E_1} + \frac{1-\epsilon_2^2}{E_2} \right] \right\}^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\sum \rho}{2}. \quad (5)$$

Подставляя в формулу (5) значения E_1, E_2, ϵ_1 и ϵ_2 после преобразований получим величину нормального усилия на каждую латунную пробку при обкатывании ее в торовом стальном желобе, H .

$$P = \frac{13,8}{m \sqrt{m(\sum \rho)}},$$

где $m = 2k / \pi \mu$ по таблице.

Усилие давления верхнего диска на 3 пробки равно $3P$.

4. Максимальное нормальное напряжение, МПа

$$\sigma_{max} = 3P / (200 \pi A_k B_k).$$

Выводы

Таким образом, станок-полуавтомат Д7 по финишной обработке пробок шаровых кранов (рис. 2) обеспечивает:

- одновременную обработку 6-ти латунных пробок шаровых кранов DN 25, равномерно расположенных в торowym желобе;

- одинаковые давления на каждую деталь;
- идентичные условия обработки и пробок;
- одинаковое качество сферических поверхностей (при одинаковой исходной шероховатости), несмотря на разноразмерность шаров и наличие у них отверстий, лысок и пазов;
- шероховатость сферических поверхностей с R_a 2,5 до R_a 0,2 за 35 секунд. Производительность по сравнению с традиционными способами увеличивается при этом не менее чем в 5 раз.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еренчинов Д.К., Зимин В.В. Обоснование параметров чистой обработки пробок шаровых кранов методом обкатывания. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2007, №3, 46-47с.
2. Еренчинов Д.К., Зимин В.В. Исследование особенностей чистового обкатывания пробок шаровых кранов. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2007, №12, 45-47с.
3. Еренчинов Д.К., Зимин В.В. Контактная задача теории упругости при выборе режимов обкатывания пробок шаровых кранов. *Вестник КазНТУ. Алматы*. 2007, №2. 41-46с.
4. Бейзельман Р.Д., Ципкин Б.В., Перель Л.Я. Подшипники качения. *Машиностроение*, 1972.
5. Колкер Я.Д. Чистовая обработка отверстий в чугуновых деталях холодным пластическим деформированием. Киев: Техника, 1972.