

УДК 62 – 7629(035)

Компактные клинопрофильные уплотнения для валов и фланцев гидромашин

Овандер В. Б.¹, Никитин О. Ф.^{2,*}

[*nof1936@yandex.ru](mailto:nof1936@yandex.ru)

¹Центральный научно-исследовательский институт
автоматики и гидравлики, Москва, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В представленной статье рассмотрены варианты компактных клинопрофильных уплотнений для валов и фланцев гидромашин из лёгких и прочных материалов. Проведенные исследования металлических узкокрючковых уплотнений показывают, что высокую герметичность можно получить при минимальной ширине контакта. Под действием высоких давлений РЖ на цилиндрическую поверхность компактные клинопрофильные уплотнения прогибаются и полностью прилегают к конусам посадочных мест, проскальзывая торцами по плоским поверхностям без потери герметичности. Наличие полого участка на упругой характеристике говорит о снижении контактных напряжений (давления) в случае использования компактных клинопрофильных уплотнений в подвижных соединениях, что приводит к уменьшению трения и изнашивания уплотнений.

Ключевые слова: клинопрофильное уплотнение, лёгкий прочный материал, конусное посадочное место, контактные напряжения, клапанное уплотнение с упругой кромкой

Конкурентная борьба гидропривода с электроприводом, обострившаяся в связи с появлением линейных электродвигателей (электроцилиндров) для домкратов, электроприводных рулевых машин для летательных аппаратов, электроусилителей рулей автомобилей и быстродействующих электроприводных систем стабилизации, требует от разработчиков гидроприводов реализации всех возможностей повышения их энергоёмкости. [1]. Это достигается миниатюризацией всех гидроэлементов при сохранении высокой мощности гидропривода за счет применения повышенных давлений рабочих жидкостей (РЖ) и более легких и прочных материалов. Повышению конкурентности гидропривода способствует применение пожароопасных негорючих РЖ, расширение температурного диапазона работоспособности от минус 60 до +300 °С при давлении до 40...70 МПа. [2]. Однако сочетание вышеперечисленных факторов существенно осложняет условия работы уплотнения, так как легкие сплавы металлов имеют пониженный модуль упругости и по-

вышенный коэффициент температурного расширения, что приводит увеличенным взаимным перемещениям стыкуемых деталей при работе гидропривода.

В этих условиях совершенствование традиционных эластомерных уплотнений гидроприводов идет по пути применения вспомогательных элементов - жестких и прочных антиэкструзионных колец и металлических пружин (рис. 1). [3].

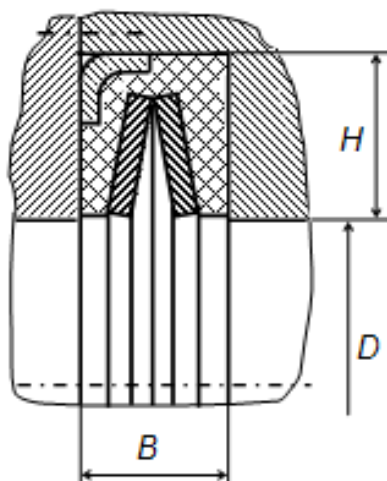


Рис.1. Резинометаллическое уплотнение фланцев

Однако такие уплотнения сложны в производстве и имеют повышенные габариты (для фланцев каналом с диаметров 50 мм размеры поперечного сечения уплотнения равны 7,5 x 5 мм).

Наиболее просты и компактны цельнометаллические уплотнения, которые решают проблемы работоспособности гидроприводов при вышеуказанных давлениях и уплотнениях. Однако они пока не получили широкого применения из-за более жестких требований к качеству поверхностей деталей гермосоединения. Современные технологии металлообработки решают эти проблемы. Примером этого может служить все более широкое применение ниппельных соединений труб с врезающимся металлическим кольцом.

К компактным цельнометаллическим уплотнениям фланцев следует отнести конструкцию с двумя неразрезными кольцевыми пружинами (рис. 2). [4]

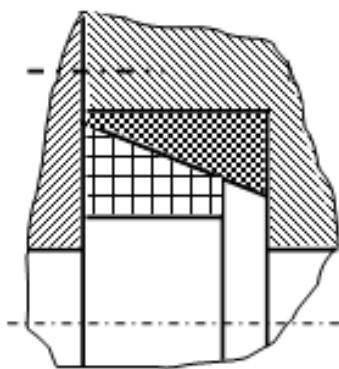


Рис.2. Фланцевое уплотнение с кольцевыми пружинами

В отличие от традиционных уплотнений, сжимаемых сечению в посадочном месте, такие уплотнения работают за счет сжатия или растяжения по периметру, что позволяет использовать жесткие материалы и существенно снизить размеры сечения. Высокая герметичность таких уплотнений достигается при высоте микронеровностей контактных поверхностей не более 0,6...0,8 мкм. Благодаря достаточному упругому ходу и эффекту передачи давления РЖ на контактные поверхности эти уплотнения по сравнению с металлическими прокладками допускают повышенные деформации фланцев и их осевые смещения. Проскальзывание плоского торцового уплотнения по фланцу обеспечивает сохранение герметичности и при радиальных взаимных перемещениях фланцев.

К недостаткам двухкольцевого пружинного уплотнения следует отнести наличие двух деталей с герметичным стыком между ними и его чувствительность к перекосу осей или непараллельности контактных поверхностей фланцев. Эти особенности снижают надежность такого уплотнения и сферы его применения, повышают габариты сечения и себестоимость.

Другим типом контактных металлических уплотнений является клапанное уплотнение с упругой кромкой (рис.3). [5]

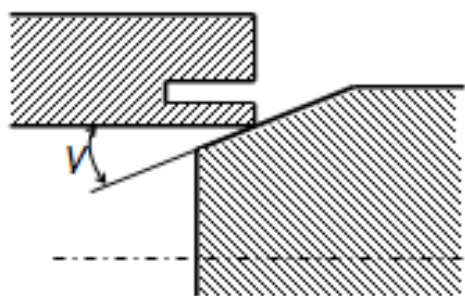


Рис.3. Клапанное уплотнение с упругой кромкой

Тонкостенная упругая кромка с линейным контактом по конической поверхности ответной детали способна герметично стыковаться с ней при значительных отклонениях формы и взаимного расположения и перекосах осей деталей стыка при невысоких контактных давлениях. Кроме этого линейный контакт способствует минимизации габаритов уплотнения. Также как и в двухпружинных уплотнениях фланца угол γ конической поверхности рекомендуется назначать больше угла трения стыкуемых материалов. Как и для кольцевых пружин его принимают равным 20° , а шероховатость контактных поверхностей не выше $Ra\ 0,2$ мкм.

Оптимальным материалом для таких уплотнений считается бериллиевая бронза БрБ2, отличающаяся хорошими антифрикционными свойствами [6] - коэффициент сухого трения по твердой стали 0,12, на мягкой стали 0,18; коэффициент термического расширения как у инструментальных сталей; износ при трении в парах БрБ2 - БрБ2 или БрБ2 - нержавеющая сталь в условиях сухого трения не наблюдается при нагрузке до $0,75\sigma_{02}$. Бронза БрБ2 имеет пониженный по сравнению со сталями модуль упругости $E \approx 100$ ГПа и вы-

сокие допустимые напряжения σ_{02} до 1 ГПа, при этом её упругие деформации могут достигать 1% от начального размера, а пластические деформации до 2%.

Опыт эксплуатации металлических узкокрючковых уплотнений показывает, что высокую герметичность можно получить при минимальной ширине контакта. Габариты таких уплотнений определяется, в основном, необходимостью перекрытия зазора между стыкуемыми деталями и размерами элементов, генерирующих контактные давления в уплотнении, и обеспечивающих его антиэкструзионную стойкость. Поэтому при применении в уплотнении кольцевых пружин из прочных и упругих материалов размеры их поперечного сечения могут приближаться к размерам уплотняемых зазоров и, в основном, определяться удобством изготовления сборки уплотнительного узла.

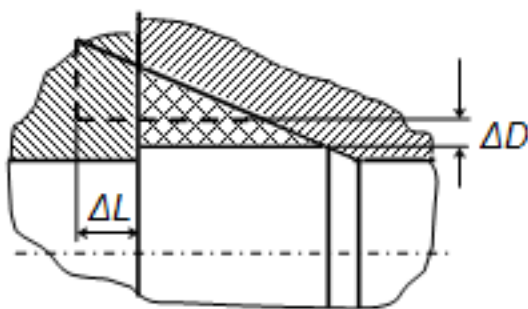


Рис.4. Фланцевое клинопрофильное уплотнение

Предложенная конструкция клинопрофильного уплотнения (КПУ) (рис.4) представляет собой комбинацию клапанного уплотнения с упругой кромкой с уплотнением в виде кольцевой пружины, что позволяет сохранить все высокие параметры этих уплотнений и обеспечить поперечного сечения менее 1x2 мм при внутреннем диаметре 50 мм.

Несмотря на малые размеры сечения КПУ обладает свойством "течезащищенности", так как благодаря клиновидной форме сечения они малочувствительны к деформациям фланцев, края которых - плоские прокладки полностью теряют герметичность. [7]

Вариант с наружной конической поверхностью предназначен для фланцевых соединений, а с внутренней конической поверхностью - для соединений вал - крышка.

При соединении фланцев КПУ обжимается конусом в расточке одного из фланцев, а во втором случае растягивается на фаске вала. Углы γ конических поверхностей на фланце и на валу принимаются равными 20° , как рекомендуется для кольцевых пружин. Угол конической поверхности β на кольцах выполняется на $1...2^\circ$ меньше, для того чтобы начальный натяг на конусе происходил на лишь на части кольца вблизи острой кромки. Упругая характеристика кольцевой пружины должна быть более пологой.

Под действием высоких давлений РЖ на цилиндрическую поверхность КПУ они прогибаются и полностью прилегают к конусам посадочных мест, проскальзывая торцами по плоским поверхностям без потери герметичности. Наличие полого участка на упругой характеристике снижает контактные напряжения (давления) в случае использования КПУ в подвижных соединениях, уменьшая трение и их изнашивание.

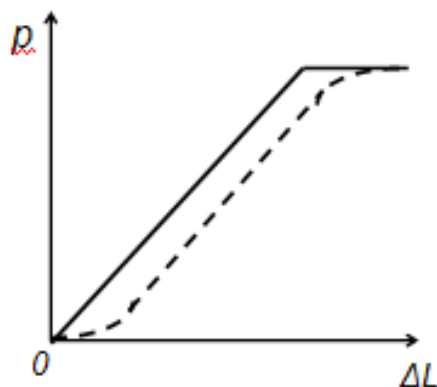


Рис.5. Упругие характеристики кольцевой пружины с конусами $\beta=\gamma=20^\circ$ и уменьшенными конусами $18^\circ=\beta<\gamma$

Величина максимального упругого хода КПУ в радиальном направлении (деформация по диаметру) определяется максимальной упругой деформацией используемого в них материала, зависящего от соотношения допустимых напряжений к модулю упругости. Для КПУ из бериллиевой бронзы БрБ2 деформация составляет 1% от диаметра кольца. Максимальный осевой упругий ход при угле конуса $\gamma = 20^\circ$ больше диаметрального хода в 1,4 раза, т.е. составляет 1,4% от диаметра кольца.

Погонные силы начального (соответственно) контактного давления (напряжения) $\bar{p}$ [Н/см] на периметре среднего кольца конической поверхности КПУ при $\beta = \gamma = 20^\circ$ определяется соотношением

$$\bar{p} = 2FE \frac{\Delta D}{D^2},$$

где F - площадь поперечного сечения КПУ, см^2 ; E - модуль упругости материала, Н/см^2 ; ΔD - деформация среднего диаметра, см; D - средний диаметр кольца КПУ, см.

Расчеты по этой формуле при $E = 100 \text{ ГПа}$ показывают, что каждый мм^2 площади сечения кольца при максимальной упругой деформации $\Delta D = 0,05 \text{ см}$ при $D = 5 \text{ см}$ создает $\bar{p} \approx 400 \text{ н/см}$.

Погонные силы начального контактного давления на торце КПУ при $\gamma = 20^\circ$ примерно в 3 раза меньше, так как создаются за счет проскальзывания его конической поверхности по конусу ответной детали.

Поэтому в случае использования КПУ с качестве уплотнения вала оно будет работать как торцовое уплотнение, удерживаясь неподвижно на валу силами трения, бóльшими чем на торце. Полученные значения $\bar{p}$ даже при такой минимальной величине сечения $\approx 1 \text{ мм}^2$ КПУ многократно превышают погонные силы ($\sim 10 \text{ кН/см}$), необходимые для обеспечения герметичности в быстроходных торцовых уплотнениях валов с металлическими парами трения. Следовательно, КПУ из бронзы для обеспечения герметичности могут иметь размеры сечения на уровне нескольких миллиметров, а их габариты определяются, в основном, условиями удобства изготовления и монтажа.

Для снижения контактных давлений можно использовать вместо бронзы наиболее прочные и упругие пластмассы, например полиэфирэфиркетон (РЕФК) с модулем упругости $E = 4 \text{ ГПа}$ и $\sigma_0 = 116 \text{ МПа}$. КПУ из этого материала имеют увеличенный в 3 раза упругий ход и пониженные в 25 раз при равных размерах контактные нагрузки.

Особым свойством КПУ является способность образовывать бесступенчатую поверхность с конусной фаской на валу (рис. 4, б). Это свойство используется при применении КПУ в неполноповоротных гидродвигателях, где по цилиндрической поверхности КПУ скользит уплотнение лопасти статора, разделяющий прямоугольные кольцевые рабочие камеры этих гидродвигателей (рис. 6). [8]

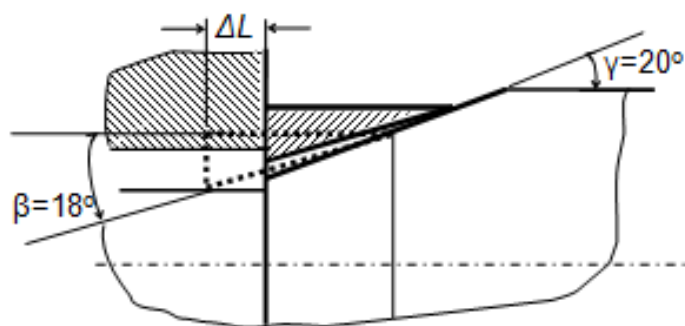


Рис.6.Клинопрофильное уплотнение вала

Испытания КПУ с размерами сечения $2 \times 0,7 \text{ мм}$ и диаметрами 28, 40 и 60 мм в неполноповоротных гидродвигателях подтвердили их высокую герметичность при давлении РЖ до 26 МПа и скорости скольжения до 0,1 м/с. [9].

Применение КПУ в неполноповоротных гидродвигателях позволяет использовать для корпусных деталей гидродвигателей. Это повышает энергоемкость и конкурентоспособность гидродвигателей. Возможны и другие области применения КПУ - многоканальные фланцевые соединения, уплотнения тихоходных гидрошарниров и заслонок.

Список литературы

1. Электроцилиндры - вызов пневматике и гидравлике. Приводная техника // Конструктор - машиностроитель. 2014. №2. С.16.
2. Корнюшенко С.И. Насосы сверхвысокого давления // Строительная техника и технологии. 2014. №3. С. 118-123.
3. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.Б. Овандер, В.В. Гордеев и др.; под общ.ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.
4. Башта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов. М. Машиностроение. 1967. 474 с.
5. Громов Л.Н. Пат. №675242 Российская Федерация. 2012.

6. Д.В. Гречихин, О.В. Толмачев, С.Д. Топольняк и А.И. Хаймович. Применение бериллиевой бронзы в качестве материала опор скольжения // Химическое и нефтегазовое машиностроение, № 6, 2008г. с.44 - 47.
7. Jan Kasprzyk, Radoslaw Sieczkowski, члены ESA. Течезащищенность прокладок фланцевых соединений // АрматуроСтроение. 2015. № 6. С. 54-56.
8. Овандер В.Б. Поворотный гидродвигатель: патент 2072427 Российская Федерация. 1997.
9. Овандер В.Б. Лопастные неполноповоротные гидродвигатели - конкуренты гидроцилиндров // Гидравлика и пневматика. 2007. № 25-29. С. 8,9.

Compact Wedge-Profiled Sealings for Shafts and Hydro-machine Flanges

V.B. Ovander¹, O.F. Nikitin^{2,*}

[*nof1936@yandex.ru](mailto:nof1936@yandex.ru)

¹Central Research Institute of Automation and Hydraulics,
Moscow, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: wedge-profiled sealings, lightweight durable materials, conical seat, contact stress, valve seal with elastic edge

The paper considers some compact wedge-profiled seals for shafts and flanges of hydraulic machines made from light and durable material. Studies of the narrow-edged metal seals show that high tightness can be obtained with a minimum width of the contact. Under the high pressure of working fluid on the cylindrical surface, the compact wedge-profiled seals sag and completely adhere to the cones of seats, with ends slipping across the flat surfaces with no loss of integrity. The hollow portion available in the elastic characteristic enables us to reduce the contact stress (pressure) when compact wedge-profiled seals are used in movable joints, reducing friction and their wear.

References

1. Electric cylinder - a call of Pneumatics and Hydraulics. *Konstruktor - mashinostroitel' designer-mechanical engineer*, 2014, no.2, p.16. (in Russian).
2. Korniyushenko S.I. Ultra High Pressure Pumps. *Stroitel'naya tekhnika i tekhnologii = Construction Equipment and Technologies*, 2014, no.3, pp.118-123. (in Russian).
3. Kondakov L.A., Golubev A.I., Ovander V.B., Gordeev V.V. i dr. *Uplotneniya i uplotnitel'naya tekhnika* [Seals and sealing techniques]. Moscow, Mashinostroenie Publ.,1986, 464 p. (in Russian).
4. Bashta T.M. *Gidravlicheskie privody letatel'nykh apparatov* [Hydraulic actuators of aircraft]. Moscow, Mashinostroenie Publ.,1967, 474 p. (in Russian).
5. Gromov L.N. Patent RF, no №675242, 2012. (in Russian).
6. Grechihkin D.V., Tolmachyov O.V., Topolnyak S.D., Haymovich A.I. . Application of beryllium bronze as a material for foot of glissag. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie = Chemical and Petroleum Engineering*, 2008, no. 6, pp. 44-47. (in Russian).

7. Jan Kasprzyk, Radoslaw Sieczkowski, члены ESA. Течезащищенность прокладок фланцевых соединений // Арматуростроение. 2015. № 6. С. 54-56.
8. Ovander V.B. *Povorotnyi gidrodivigatel'* [Rotary hydraulic motor]. Patent RF, no. 2072427, 1997. (in Russian).
9. Ovander V.B. Turn vane actuators are competitors to the cylinders. *Gidravlika i pnevmatika*= *Hydraulics and Pneumatics*, 2007, no.25-29, pp.8-9. . (in Russian).