

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ УПЛОТНЕНИЙ В АРМАТУРОСТРОЕНИИ

Зерщиков К. Ю., Слепокуров Н. А., ООО «Константа-2», г. Волгоград

Кольца круглого сечения, манжеты из эластомеров являются наиболее универсальными и используемыми контактными уплотнениями. Их отличает высокая герметизирующая способность, простота установки и эксплуатации. Они применяются для герметизации как подвижных, так и неподвижных соединений. Механизм герметизации, пределы применения их хорошо известны и подтверждены десятилетиями эксплуатации [1]. Однако используемые в настоящее время эластомерные уплотнения не всегда отвечают отдельным или

комплексу условий эксплуатации. Так, они обладают избирательной или ограниченной стойкостью к воздействию агрессивных сред, невысокой морозо- и теплостойкостью, высоким коэффициентом трения в сочетании с низкой износостойкостью. Эти недостатки резиновых колец побуждают искать альтернативные варианты для уплотнительных узлов трубопроводной арматуры, насосных и компрессорных агрегатов. Одним из решений для нивелирования указанных выше недостатков эластомерных уплотнений является применение комбинированных уплотнений. Комбинированными будем называть уплотнения, сочетающие в себе различные компоненты и (или) материалы. Применение комбинированных уплотнений позволяет в значительной степени преодолеть отмеченные выше недостатки эластомеров и создать комплекс с высоким сопротивлением агрессивному воздействию сред, теплостойкостью, морозостойкостью, низким коэффициентом трения, высокой эластичностью. Рассмотрим различные варианты комбинированных уплотнений и их применение в уплотнительных узлах.

Одной из разновидностей являются резинофторопластовые уплотнения различной конфигурации (рис. 1). Существующая технология позволяет изготавливать разные варианты, однако наиболее широко применяемыми на данный момент являются резинофторопластовые кольца круглого сечения (РФК), иначе называемые капсулированными кольцами по аналогии с зарубежным обозначением (Encapsulated O-ring). РФК могут эксплуатироваться в широком диапазоне внешних воздействий: температуры от -70 до $+250$ °С, давления от вакуума до 50 МПа, скорости взаимного перемещения сопрягаемых поверхностей до 10 м/сек, высокоагрессивные среды. Разработанная технология позволяет получать резинофторопластовые уплотнения

практически любого диаметра с герметичными оболочками из фторопластов Ф-4МБ или Ф-50 (аналоги Teflon FEP, PFA) с толщиной оболочки от 0,2 до 2 мм, с диаметром сечения до 20 мм. Возможность получить уплотнения не только круглого, но и

прямоугольного, трапецеидального и других сечений существенно расширяет области применения. Использование оболочек большой толщины и сердечника повышенной твердости позволяет применять данные уплотнения в высоконагруженных узлах при наличии вращательного и возвратно-поступательного перемещений. Необходимо отметить практически полное отсутствие газопроницаемости и набухания в физически и химически активных средах, а также эффекта декомпрессии при переменных давлениях. Прочностные испытания колец показали отсутствие нарушений герметичности при деформациях до 80 %. Необходимо помнить, что контактное давление, а следовательно и герметизирующая способность уплотнительного узла в значительной степени определяются геометрией посадочного места. Это объясняется тем, что реализация эффекта самоуплотнения в узлах с РФК в значительной степени зависит от правильного проектирования установочных мест. Применение метода конечных элементов для расчета и проектирования РФК вкупе с экспериментальной проверкой характеристик герметичности позволяет создавать уплотнительные узлы высокой надежности и с длительным сроком эксплуатации.

РФК могут применяться как самостоятельно, так и в сочетании с дополнительными элементами, улучшающими характеристики герметичности и трения. На рис. 2 представлены варианты применения РФК в сочетании с фторопластовыми элементами. Применение РФК вместо резиновых колец в данной комбинации позволяет поднять эксплуатационные характеристики уплотнений, в частности температуру, рабочее давление, а также не обращать внимания на среды, в которых они эксплуатируются. Показанные комбинированные уплотнения применяются в гидро- и пневмоцилиндрах исполнительных механизмов, предназначенных для работы в сложных условиях, при повышенных температурах и давлениях, в вакууме и загрязненных средах (рис. 3).



Рисунок 1 – Различные варианты исполнения резиновых колец во фторопластовой оболочке



Рисунок 2 – Комбинированные уплотнения с РФК в качестве упругого элемента

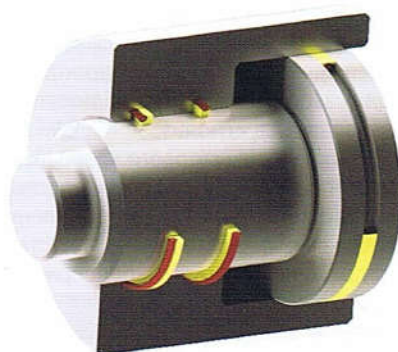


Рисунок 3 – Комбинированные уплотнения в узлах гидро- и пневмоцилиндров, а также насосно-компрессорного оборудования

Вышеперечисленные возможности РФК определяют перспективность их применения в торцовых уплотнениях, на что указывалось еще в работе [2]. На рис. 4 показано применение РФК в качестве подвижных и неподвижных уплотнений в конструкции торцового уплотнения насосов. Здесь основным преимуществом является отсутствие эффекта «залипания» в периоды остановов оборудования, а также низкий коэффициент трения скольжения и исключительная агрессивностойкость уплотнений.



Рисунок 4 – Применение РФК в конструкции торцового уплотнения насосов

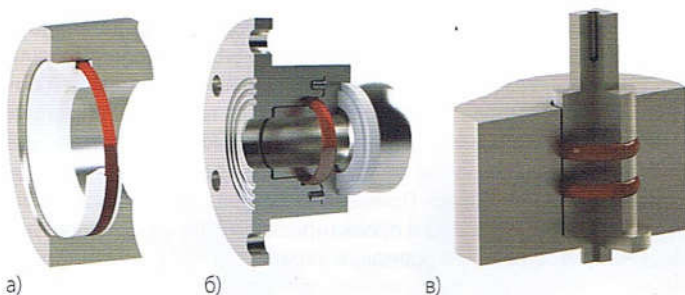


Рисунок 5 – Примеры применения резиновых колец во фторопластовой оболочке в уплотнительных узлах трубопроводной арматуры

Перспективно использование РФК в трубопроводной арматуре. Их применяют в качестве уплотнения седел в шаровых кранах с плавающей пробкой (рис. 5а) и пробкой в опорах (рис. 5б). Это универсальное решение, поскольку позволяет комплектовать седловые уплотнения из фторопласта и композитов на его основе, полиэфирэфиркетона, создавая комплекс, устойчивый при высоких и низких температурах и давлениях без ограничения на среды, для транспортировки которых предназначена арматура. Для повышения надежности запорной арматуры от выбросов во внешнюю среду рекомендуется замена резиновых колец на РФК в штоковых уплотнительных узлах (рис. 5в). При этом снижаются моменты для управления арматурой, появляется возможность повысить температуру эксплуатации до +250 °С при сохранении высокой способности противостоять воздействию рабочих сред.

Проведенные исследования подтверждают возможность применения РФК в качестве основного уплотнительного элемента в конструкциях запорной арматуры. Известно несколько патентов, где предполагается использование РФК в качестве основного седлового уплотнения шарового крана [3, 4] (рис. 6). Наличие упругого элемента в виде резинового сердечника в составе РФК поддерживает постоянное контактное давление на сопрягаемой с шаром-пробкой поверхности даже в отсутствие давления среды и не требует применения пружин, подверженных коррозионному разрушению. Фторопластовая оболочка защищает упругий элемент, обеспечивая превосходную стойкость к любым средам.

На рис. 7а показано применение РФК в конструкции предохранительного клапана, предназначенного для эксплуатации в составе контейнер-цистерн для перевозки агрессивных сред. Трехлетний опыт эксплуатации показал высокую надежность

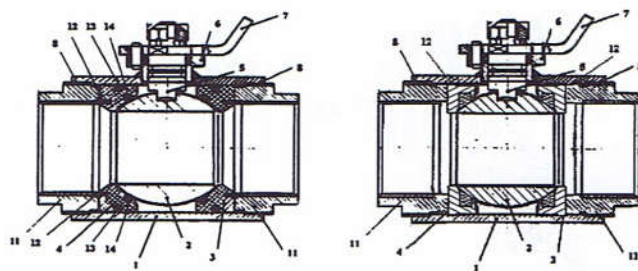


Рисунок 6 – Применение РФК для уплотнения шара-пробки в кранах с плавающей пробкой: 1 – корпус, 2 – пробка, 3 – седло с РФК, уплотняющим пробку

данного конструктивного решения. Корпус клапана выполнен из полимерного композита на основе полифениленсульфида, пружины защищены оболочкой из фторопласта, в результате наряду с высокой герметичностью (класс А) достигается стойкость практически ко всем агрессивным агентам. Более высокая жесткость и прочность по сравнению с эластомерными кольцами в сочетании с эффективным демпфированием при высокой частоте срабатывания позволяют применять РФК в запорных клапанах (рис. 7б).

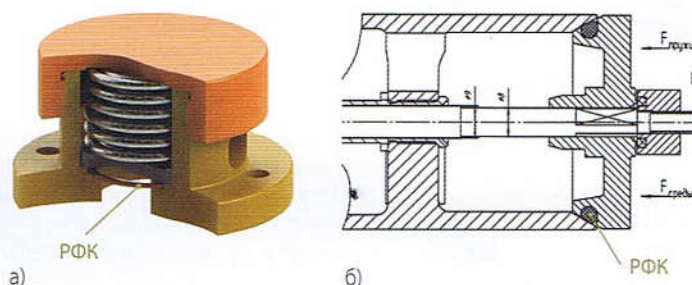


Рисунок 7:

а) предохранительный клапан из полимерного композиционного материала с уплотнительным элементом РФК; б) запорный клапан с резинофторопластовым уплотнителем

Еще одним вариантом является применение РФК в качестве уплотнений штоков и дисков в дисковых затворах (рис. 8). Низкий коэффициент трения скольжения 0,1–0,2 при сухом трении скольжения и до 0,03 при трении с наличием жидких сред позволяет снизить момент управления в широком интервале нагрузок, причем с ростом давления коэффициент трения снижается.

Однако для качественного и надежного функционирования очень важно правильно спроектировать уплотнительный узел. На рис. 9а показан пример неправильного применения РФК в конструкции седлового уплотнения шарового крана. Из-за неверной конструкции места установки – отсутствия пространства для его деформации при сборке и слишком большого зазора в сопряжении под воздействием давления среды – произошло разрушение кольца из-за экструзии в зазор. Правильным решением для таких узлов является применение РФК совместно с защитными кольцами из композитов на основе фторопласта, а при больших давлениях – из полиэфирэфиркетона, как показано на рис. 9б.

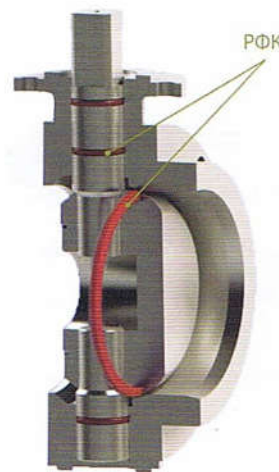


Рисунок 8 – Дисковый затвор с резинофторопластовым уплотнением диска



Рисунок 9:

а) разрушение кольца в результате ошибки при проектировании канавки; б) рекомендуемая конструкция седлового уплотнения

При всех очевидных преимуществах резиновых колец во фторопластовой оболочке у них есть одно слабое место – минимальная температура их эксплуатации ограничена пределом -70°C , что определяется температурой стеклования самого морозостойкого силоксанового каучука – ниже этой температуры он теряет эластичность. Ниже этой температуры уплотнение после деформации не восстанавливается и контактное давление на сопрягаемых поверхностях не поддерживается, соответственно теряется герметичность соединения.

Активно развивающаяся в настоящее время индустрия сжиженного газа и водородной энергетики предполагает эксплуатацию оборудования при предельно низких температурах: до -200°C , а в отдельных случаях при температурах, близких к абсолютному нулю. Для надежной герметизации подвижных и неподвижных соединений при этих температурах применяются комбинированные уплотнения – манжеты с подпружинивающим элементом (МПЭ) (рис. 10а). Наличие стальной, как правило нержавеющей пружины обеспечивает поддержание контактного давления во всем интервале температур от -250 до $+300^{\circ}\text{C}$, а полимерная оболочка обеспечивает «мягкий» контакт с контртелом. В результате герметичность класса А согласно ГОСТ 9544 поддерживается во всем диапазоне температур и давлений от 0 до 100 МПа. Несмотря на то, что пружины для поддержания коррозионной стойкости изготавливаются из нержавеющей стали или спецсталей, они подвержены воздействию среды и со временем теряют свои упругие свойства, приводя к нарушению герметичности узла. Альтернативным и подчас более экономичным решением является применение О- или U-пружин во фторопластовой оболочке (рис. 10б, в). Сплошная фторопластовая оболочка предотвращает коррозионное разрушение упругого элемента и обеспечивает герметичность О- или U-кольца, пружина поддерживает постоянное начальное контактное давление, а за счет способа установки в канавку реализуется эффект самоуплотнения при приложении внешнего давления. Среди полимерных материалов известны несколько марок, работоспособных и неохрупчивающихся при этих температурах: фторопласты и сверхвысокомолекулярный полиэтилен, и именно они применяются в качестве оболочек для пружин. На рис. 10г показан вариант применения U-пружин во фторопластовой оболочке в узле уплотнения штока трубопроводной арматуры.

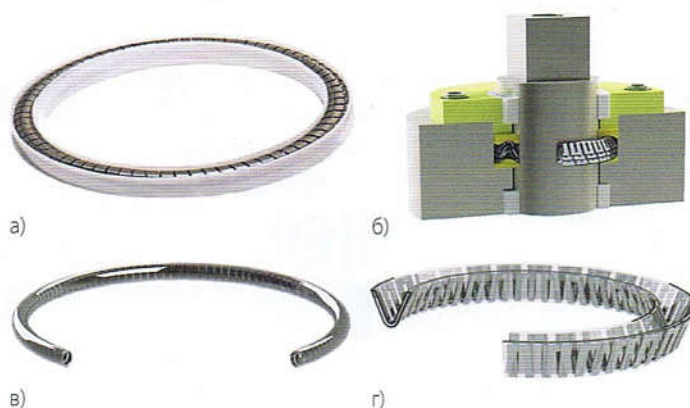


Рисунок 10 – Комбинированные уплотнения с пружиной во фторопластовой оболочке для криогенных применений:

а) в манжете с подпружинивающим элементом; б) применение U-пружин в штоковом уплотнении; в) O-пружина во фторопластовой оболочке; г) U-пружина в оболочке



Рисунок 11 – Некоторые конструктивные решения для трубопроводной арматуры, предназначенной для эксплуатации при экстремально высоких и низких температурах

Рассмотренные выше варианты применения комбинированных уплотнений показывают, что существующие материалы и технологии делают возможным изготовление уплотнительных узлов различного назначения с заранее заданными свойствами по стойкости к внешним воздействиям. Имеющиеся сегодня в арсенале расчетные методы, в первую очередь метод конечных элементов, предоставляют проектировщикам широкое поле для применения этих решений в конкретных конструкциях. Так, на рис. 11 показано возможное решение для шаровых кранов, предназначенных для криогенной техники и транспорта водорода.

Заключая, можно с уверенностью утверждать, что комбинированные резино- и металлофторопластовые уплотнения обладают высоким потенциалом применения в арматуростроении.

Волгоград, февраль 2024 года

Список литературы:

1. А. И. Голубев, Л. А. Кондаков, В. В. Гордеев и др. Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник. М.: Машиностроение, 1994.
2. Майер Э. Торцовые уплотнения. М.: Машиностроение, 1978.
3. Патент на полезную модель Российской Федерации № 45171 МПК F16K5/06 от 07.12.2005 г.
4. Патент на полезную модель Российской Федерации № 124345 МПК F16K5/06 от 20.01.2013 г.