

КОМБИНИРОВАННЫЕ УПЛОТНЕНИЯ РАСШИРЯЮТ ГОРИЗОНТЫ

Зерщиков К. Ю., Слепокуров Н. А.,

ООО «Константа-2»

Современное арматуростроение использует все имеющиеся в настоящее время типы и виды уплотнений, которые изготавливаются из широкого круга материалов. Так, резиновые уплотнения имеют наилучшие характеристики герметичности, но избирательную или плохую морозостойкость, химическую стойкость, прочность. Полиуретаны – разновидность резины – обладают неплохой прочностью, отличной износостойкостью и уплотняющей способностью, но низкой тепло- и химостойкостью. Пластмассы отличаются высокой прочностью и теплостойкостью, химическая стойкость, но невысокие герметизирующие свойства. Фторопласт – разновидность пластмасс, материал, обладающий уникальной химостойкостью, хорошей герметизирующей способностью, но низкой прочностью и высокой ползучестью. Металлические уплотнения обладают высокой теплостойкостью и прочностью (а значит, могут применяться при самых экстремальных условиях), но крайне низкой герметизирующей способностью и посредственной коррозионной стойкостью.

Безусловно, негативные свойства материалов можно в той или иной степени нивелировать конструктивным исполнением уплотнительного узла. Можно таким образом спроектировать уплотнительный узел, что в нем будут последовательно установлены несколько различных уплотнений с разными функциями. Очевидно, однако, что это вызовет увеличение размеров и удорожание узла, поэтому этот путь не всегда приемлем. Отличие комбинированных уплотнений именно в сочетании нескольких функций в одном изделии. За счет этого упрощается и облегчается конструкция, снижаются усилия или моменты, необходимые для управления.

Комбинированные уплотнения, так же как и композиционные материалы, представляют собой суперпозицию разнородных элементов и материалов, объединенных конструктивно и обладающих в силу этого новым или значительно улучшенным комплексом свойств. При создании этих уплотнений пытаются добиться синергетического эффекта и получить характеристики, недостижимые при применении уплотнений традиционной конструкции.

Манжеты являются одним из основных типов контактных уплотнений. Главными показателями работоспособности манжет, безусловно, являются показатели герметичности и долговечности. Основными характеристиками герметичности являются величина протечек при заданном давлении, а также максимальное давление среды, которое манжета выдерживает без протечек или при заданной их величине. По этим показателям манжеты с подпружинивающими элементами (МПЭ) имеют выдающиеся значения: температура эксплуатации до +250 °С; давление среды до 100 МПа; стойкость в условиях декомпрессии; исключительная стойкость к высокоагрессивным средам, в том числе к высоким концентрациям сероводорода; работоспособность при криогенных температурах; низкий коэффициент трения и коэффициент линейного теплового расширения; отсутствие залипания уплотнений при остановке оборудования.

МПЭ представляют собой сочетание полимерной оболочки, как правило U-образной формы, выполняющей в основном функцию контактного уплотнения, и пружинящего компонента, служащего для создания начального контактного давления. Применение полимерной оболочки позволяет решить ряд задач: снизить трение, повысить степень защиты от агрессивности среды, стойкость к давлению и увеличить срок эксплуатации. Использование при изготовлении оболочки различных композиционных материалов позволяет дополнительно расширить диапазон применения манжет. Конфигурация кромок манжет также может быть различной и определяется назначением и функциями, выполняемыми манжетой и конструкцией уплотнительного узла. В частности, возможно сочетание с грязеъемной функцией, тогда кромки манжеты выполняются с острыми краями, обеспечивающими задержку загрязнений – острая грань на торцах манжеты работает как скребок для защиты от абразивных частиц. Для высоких давлений применяют удлиненные манжеты, чтобы снизить вероятность экструзии материала в зазор. Применение пружинящих элементов различного типа, из разных материалов, дает возможность варьировать контактное давление на уплотняющих поверхностях и добиваться желаемого герметизирующего эффекта. Исследования показали, что лучшие характеристики имеют манжеты, у которых есть два типа лепестков, форма которых определяется в первую очередь типом пружины. Оптимальные конфигурации представлены на рис. 1. Для возвратно-поступательного движения больше применяют манжеты с O-пружиной (рис. 1а), а для вращательного – манжеты с V-пружиной (рис. 1б).

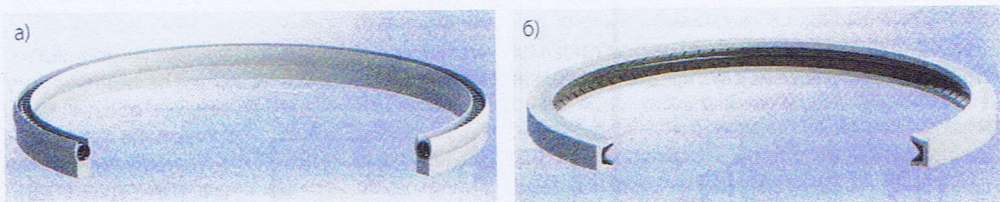


Рисунок 1 – Основные типы манжет с подпружинивающим элементом: а) манжета с витой O-пружиной радиальная; б) манжета с V-пружиной торцевая

Рекомендуемые области применения МПЭ:

- глубоководное бурение и добыча полезных ископаемых;
- в качестве уплотнений в шаровых кранах и шиберных задвижках, дисковых затворах, клапанах, регулирующей арматуре;
- для уплотнения неподвижных и подвижных соединений в парах с возвратно-поступательным и вращательным движением;
- низкое значение КТЛР и сохранение эластичности материала при криогенных температурах обусловило широкое использование МПЭ в оборудовании для переработки СПГ.

Еще одной разновидностью комбинированных уплотнений являются фторопластовые седла с интегрированным резиновым уплотнением (рис. 2). Это многофункциональное уплотнение пробки-шара в шаровых кранах позволяет увеличить надежность функционирования уплотнительного узла за счет поддержания постоянного контактного давления и реализации эффекта самоуплотнения на сопрягаемых поверхностях. Герметичность в любом положении пробки обеспечивается за счет сочетания в

нем уплотнения между седлом и корпусом крана и перманентного поджатия седла к пробке. При этом упрощается конструкция, уменьшается расход материалов и соответствующим образом снижается стоимость изготовления. Заменой нескольких элементов на комбинированный уплотнитель достигается снижение логистических и эксплуатационных расходов.

В зависимости от условий эксплуатации и применяемых материалов используют наиболее производительные технологии многокомпонентного литья полимерного композита и термоэластопласта или привулканизации в процессе литья резинового уплотнения к основе из полимерного композиционного материала.

Рекомендуемые диапазоны применения по температуре – от -70 до $+250$ °С, по давлению – до 50 МПа.

Кольца различных сечений из резины являются наиболее распространенным типом уплотнений в силу дешевизны, универсальности, при высокой герметизирующей способности. Но, как было отмечено ранее, физико-механические и теплофизические свойства резины снижают потенциал их применения. Универсальным решением, позволяющим нивелировать недостатки резиновых колец и расширить области их применения, являются кольца в полимерной, чаще во фторопластовой, оболочке.

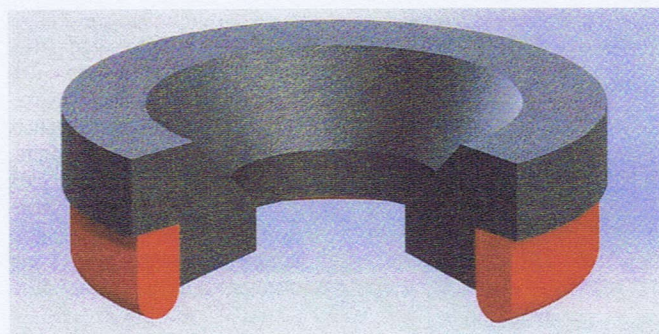


Рисунок 2 – Многофункциональное уплотнение шара-пробки с интегрированным уплотнительным элементом

Основные характеристики колец во фторопластовой оболочке:

- 1) уникальная химическая стойкость в растворах кислот и щелочей, сильных окислителях, всех видах нефтепродуктов, растворителях при температурах до $+250$ °С;
- 2) возможность применения при сухом трении скольжения при скоростях относительного перемещения до 3 м/сек, а при наличии смазки – до 10 м/сек;
- 3) низкий коэффициент трения скольжения (0,1–0,2) позволяет использовать уплотнения в парах вращательного и возвратно-поступательного движения, работающих без смазки;
- 4) уплотнители могут эксплуатироваться при давлениях до 20 МПа, а с применением защитных колец – до 50 МПа;
- 5) возможность эксплуатации при низких температурах (до -70 °С) без потери герметичности;
- 6) отсутствие газопроницаемости и набухания в средах, а также эффекта декомпрессии при повышенных давлениях.

Наиболее широко распространены кольца круглого сечения. Однако на данный момент разработана технология, дающая возможность получать уплотнения не только круглого, но и прямоугольного, треугольного, овального, трапециевидального и других сечений, что существенно расширяет области применения РФК (рис. 3).

С помощью конечно-элементной модели проведена симуляция поведения РФК в канавке при приложении давления, и на основании полученных данных сформулированы общие рекомендации: для небольших давлений, где уплотнительный узел подвержен динамическим нагрузкам, для подвижных соединений необходимо применять кольца с малой толщиной

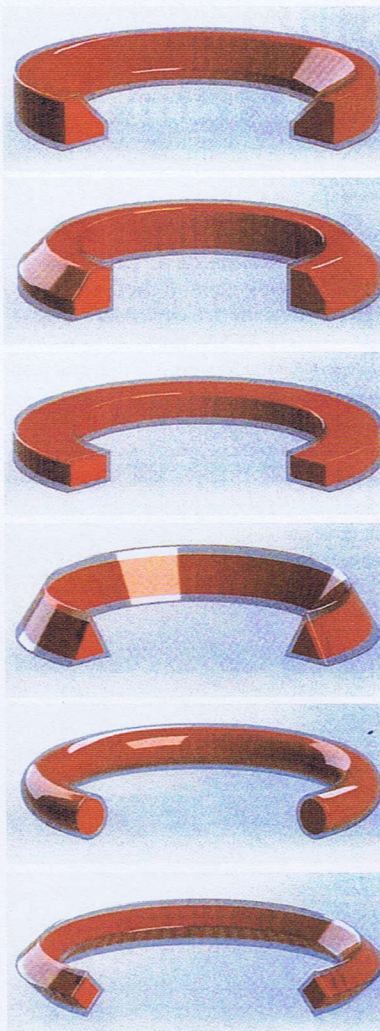


Рисунок 3 – Возможные конфигурации уплотнений во фторопластовой оболочке

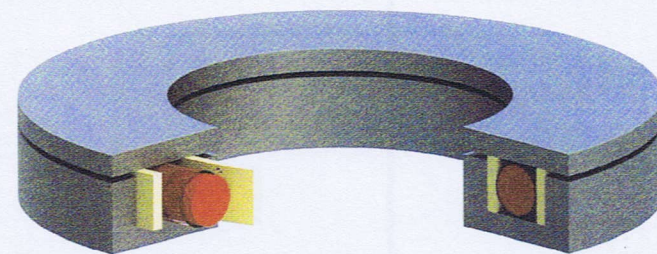


Рисунок 4 – Установка РФК в канавках для уплотнения при высоком (до 50 МПа) давлении среды при возможном реверсе давления

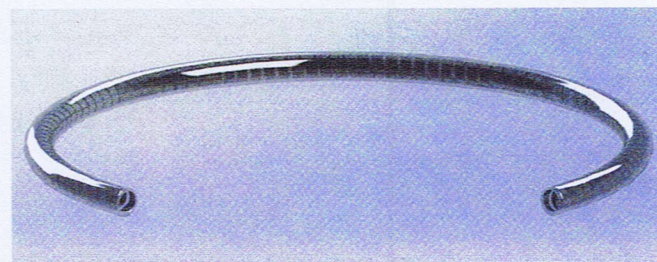


Рисунок 5 – Уплотнение на основе пружинящего элемента во фторопластовой оболочке

оболочки с сердечником невысокой твердости. РФК большей жесткости (имеющие в своем составе сердечник большей твердости и более толстую оболочку) обеспечивают большие контактные давления и предназначены для наиболее нагруженных и неподвижных соединений.

При установке РФК, эксплуатирующихся при давлениях более 20 МПа, для предохранения от выдавливания оболочки в зазор рекомендуется применять защитные кольца. Ширина канавки при использовании защитных колец увеличивается на толщину колец. Защитные кольца изготавливают из композитов на основе фторопласта или других термостойких полимеров. При установке защитных колец в канавки необходимо учитывать направление действия давления (рис. 4).

Присутствие в РФК резинового сердечника не позволяет применять их при криогенных температурах.

Чтобы снизить порог применения уплотнений до криогенных температур, в качестве упругого элемента используют стальные пружины определенной конструкции (рис. 5). Наличие ассортимента стальных пружин, имеющих большой диапазон упругих характеристик, предоставляет изготовителям криогенного оборудования широкие возможности варьировать диапазон применения как по давлению – от вакуума до 20 МПа, так и по температурам – от -200 до $+250$ °С.

Ужесточающиеся требования к наличию утечек в окружающую среду требуют применения высоконадежных прокладочных уплотнительных элементов при создании единой системы из трубопроводов, емкостных сооружений и насосных агрегатов. Комбинируя различные материалы, можно существенно повысить эксплуатационные характеристики и надежность функционирования даже такого консервативного уплотнительного элемента, как прокладка (рис. 6–8). Присутствие в прокладках упругих элементов позволяет исключить их обслуживание после установки. Одновременно сочетание различных элементов и материалов в прокладках расширяет диапазон их применения как по температурам (от -200 до $+300$ °С), так и по давлению (до 200 МПа).

Мембраны, находясь в несколько обособленном положении, тем не менее являются наиболее надежными уплотнениями для

разъединения сред. Показанные на рис. 9 исполнения мембран предназначены для решения наиболее сложных задач, возникающих при проектировании трубопроводной арматуры и насосов критических параметров. Задачами являются либо увеличение рабочего давления или давления срабатывания мембран, либо повышение стойкости к воздействию контактирующих сред, либо повышение температуры эксплуатации, либо увеличение долговечности при одновременном воздействии всех вышеперечисленных факторов. Например, за счет сочетания эластичного резинового основания, воспринимая нагрузку от привода, и защищенного со стороны воздействия рабочей среды фторопластовым покрытием (рис. 9а) удастся достичь надежной долговременной эксплуатации в коррозионно-активной среде при температурах до 200 °С. Мембраны, в конструкции которых применена композиция на основе перемежающихся слоев фторопласта и стеклоткани, работают при давлениях до 10 МПа, высоких амплитудах колебаний и показывают долговечность в 10^6 циклов «открыто-закрыто» (рис. 9б).

Комбинированные уплотнения, как никакие другие, предоставляют возможности решать наиболее сложные задачи уплотнительной техники в условиях знакопеременных нагрузок,

термоциклирования, обеспечивая при этом высокую надежность уплотнительных узлов. Это особенно важно в жестких условиях эксплуатации при освоении сложных залежей полезных ископаемых, в условиях возросших требований по минимизации утечек в окружающую среду, минимизации углеродного следа, декарбонизации производственных процессов. Высокая долговечность комбинированных уплотнений делает их необслуживаемыми, позволяя значительно уменьшить затраты на сервис.

Здесь представлен небольшой перечень современных решений. К сожалению, как и во многих других отраслях, мы в лучшем случае повторяем зарубежные конструкции уплотнений или уплотнительных узлов, а в худшем – покупаем готовые. Поэтому важно наладить взаимодействие между проектировщиками и изготовителями, чтобы задачи и возможности взаимно транслировались. Кроме того, необходимо, чтобы появились испытательные базы, где будет возможно обкатывать новые конструктивные и материаловедческие решения и предлагать потенциальному заказчику практически готовый к употреблению продукт.

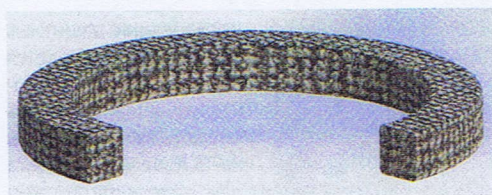


Рисунок 6 – Графитофторопластовые и резинофторопластовые прокладки для уплотнения крышек и штоков трубопроводной арматуры

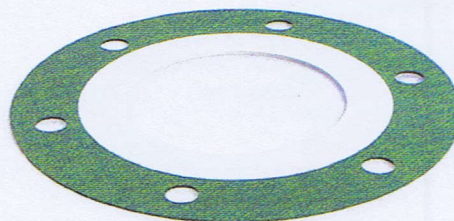
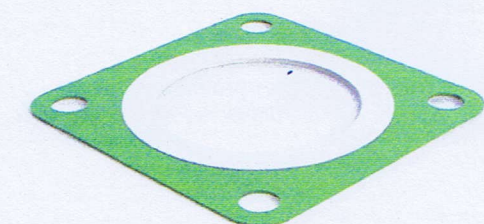
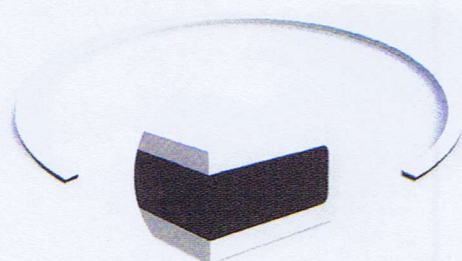


Рисунок 7 – Комбинированные уплотнения паронит-фторопласт для герметизации мест установки трубопроводной арматуры

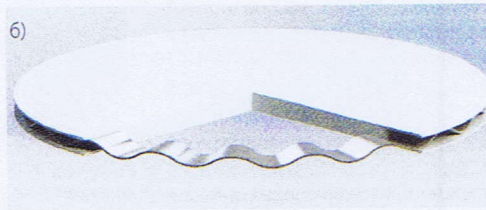


Рисунок 8 – Металлофторопластовые уплотнения с упругими элементами различной конфигурации для герметизации ответственных узлов нефтехимического оборудования

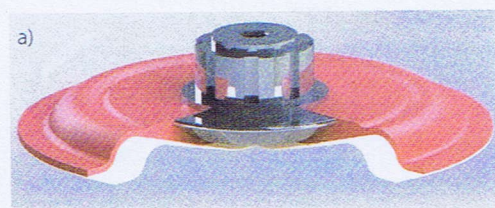


Рисунок 9 – Конструктивное и материальное исполнение мембран, предназначенных для наиболее сложных условий эксплуатации