

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАНЖЕТ С ПОДПРУЖИНИВАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ

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

В 70-х годах прошлого века за рубежом появились полимерные манжеты с пружиной (spring energized seals). Вначале они использовались только в аэрокосмической и оборонной промышленности и позволили решить непростые задачи в рамках проектов Apollo, Spase Shuttle. Затем их начали применять в оборудовании для нефтяной и газовой промышленности, в других отраслях. Надо отметить, что резиновые манжеты с пружиной (так называемые сальники) для уплотнения вращающихся валов начали применяться и у нас, и за рубежом еще раньше, однако потребовалось некоторое время, чтобы уровень технологии позволил получить манжеты с пружиной, где тело манжеты изготовлено из полимеров.

Сейчас, с появлением относительно новых, высокотехнологичных материалов, с появлением новых областей применения, таких как добыча нефти из глубоких горизонтов при повышенных давлениях, температурах, агрессивности сопутствующих сред, сжижение газов, бурение в высоких широтах, сланцевая добыча газа, приобретших промышленный масштаб, эти изделия и технологии их применения вызывают повышенный интерес.

Уплотнительная манжета с подпружинивающим элементом (МПЭ) является комбинированным уплотнением и состоит из U-образного каркаса, контактирующего с уплотняемыми поверхностями, выполняющего герметизирующую функцию, а также обладающего антифрикционными свойствами, и подпружинивающего элемента, обеспечивающего гарантированное поджатие с постоянным контактным давлением краев манжеты к уплотняемой поверхности. Подпружиненные манжеты, производимые за рубежом, имеют оболочку, выполненную из термостойких полимеров, чаще всего из фторопласта, а в качестве подпружинивающего элемента применяются резиновые кольца или нержавеющие круглые или плоские пружины (рис. 1). Однако оба эти решения обладают ограниченной коррозионной стойкостью, а для резиновых колец — и ограниченной термостойкостью. Кроме того, в качестве материала пружин для повышения коррозионной стойкости приходится применять дорогие марки нержавеющих сталей, что существенно сказывается на стоимости.

Различают два типа манжет, отличающихся расположением лепестков манжеты относительно продольной оси: радиальные (рис. 1) и торцевые (рис. 2). Торцевые уплотнения применяют в основном для герметизации неподвижных

соединений, тогда как радиальные чаще используют для уплотнения пар с вращательным или возвратно-поступательным движением.

Разработанные и выпускаемые в России манжеты, защищенные патентом РФ, конструктивно похожи на выпускаемые за рубежом, но имеют некоторые отличия. Манжеты изготавливаются из фторопласта или других коррозионноустойчивых и термостойких полимеров, таких как полиэфирэфиркетон, полифениленсульфид, или композиционных материалов на их основе серии «Констафтор» и снабжаются подпружинивающими элементами в виде металлической пружины из углеродистой стали с полимерным, например фторопластовым, покрытием или сплошной герметичной полимерной оболочкой (рис. 3 а, б) или в виде резинового кольца в сплошной герметичной фторопластовой оболочке, помещаемых во внутреннюю полость манжеты (рис. 3 в). Причем подпружинивающий элемент может иметь различное сечение: круглое (рис. 3 б, в)

Рис. 1. Схематическое изображение радиальных манжет с упругими элементами

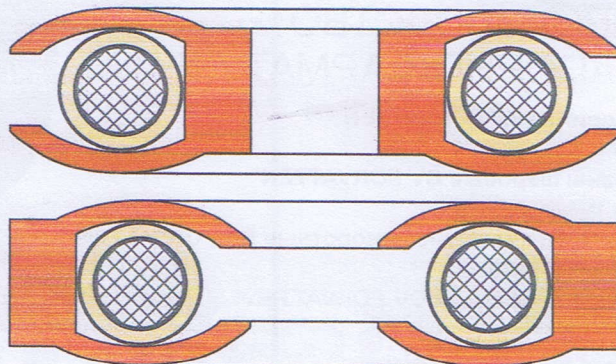
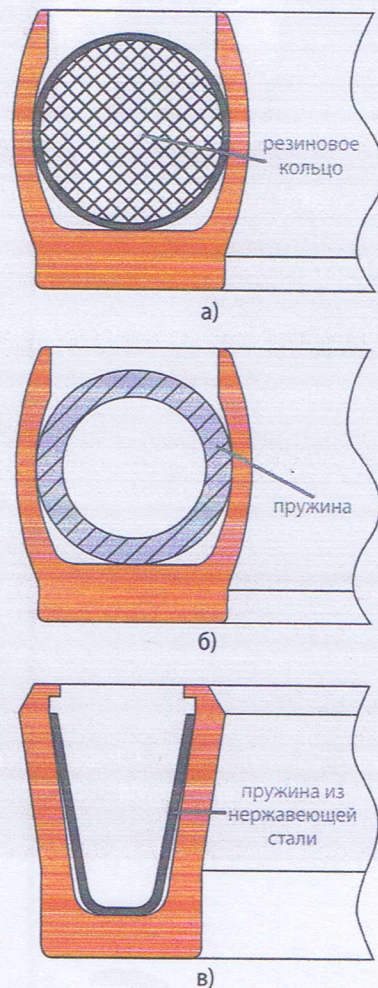


Рис. 2. Торцевые манжеты

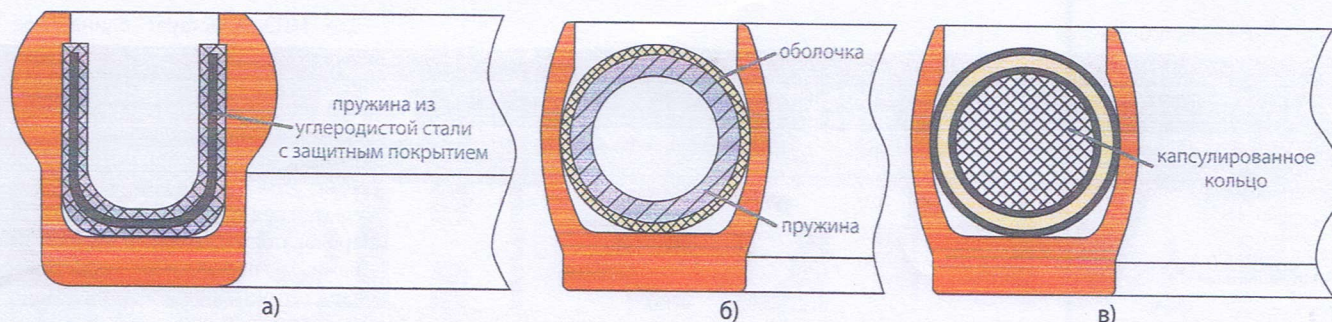


Рис. 3. Радиальные манжеты с различными подпружинивающими элементами

или в виде согнутой пластины (рис. 3 а). Поскольку пружина в силу наличия антикоррозионной защиты не подвержена действию коррозии и последующему разрушению, она поддерживает постоянное упругое усилие, разжимающее кромки и создающее контактное давление на сопрягаемых поверхностях на всем протяжении срока службы, обеспечивая повышение надежности работы уплотнительного узла. Антикоррозионное покрытие или оболочка могут изготавливаться из различных полимерных материалов, например полиэтилена, эпоксидных материалов, фторопласта и др. Реализация данного решения позволяет увеличить рабочие параметры: температуру эксплуатации от -200 °С до +260 °С; рабочее давление до 100 МПа, снизить коэффициент трения до 0,09–0,11 и получить высокую уплотняющую способность от самого низкого до высоких уровней внешнего давления за счет поддержания контактного давления подпружинивающим элементом, а кроме того, снизить стоимость манжет за счет замены дорогих марок нержавеющей стали на углеродистую сталь. Кроме того, достигается уникальная химическая стойкость, невозможная при применении в качестве подпружинивающего элемента резины или нержавеющей стали.

Важным преимуществом МПЭ является реализация эффекта самоуплотнения, то есть роста контактного давления и, соответственно, герметизирующего эффекта с ростом давления среды, поэтому манжета всегда устанавливается открытой частью против направления потока. Назначение подпружинивающего элемента — создать начальное контактное давление и поддерживать его при изменяющихся условиях. Поскольку для различных условий эксплуатации и давлений требуется создавать разное начальное контактное давление, конфигурации и геометрия используемых пружин могут быть разнообразны. Так, фирма «Saint-Gobain» предлагает шесть видов пружин, имеющих различные характеристики и поэтому рекомендуемых для разных условий эксплуатации.

Конфигурация кромок манжет также может быть различной и определяется назначением и функциями, выполняемыми манжетой и конструкцией уплотнительного узла. Возможно сочетание с грязесъемной 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 в зазор. Исследования показали, что лучшие характеристики имеют манжеты с двумя типами лепестков, форма которых определяется в первую очередь типом пружины. С помощью моделирования распределения давления на кромке уплотнения ее конфигурация оптимизирована для создания максимального усилия в зоне контакта манжеты с контртелом. Оптимальные конфигурации представлены на рис. 1, 3.

Очевидно, основополагающей, как и для всех контактных уплотнений, будет зависимость погонного усилия от деформации сжатия манжеты, то есть усилия, возникающего при поперечном сжатии манжеты при ее установке в канавку, отнесенного к единице длины периметра манжеты. На рис. 4 приведены зависимости для различных подпружинивающих элементов. Как видно, манжеты, снабженные разными подпружинивающими элементами, имеют различные зависимости погонного усилия от деформации сжатия,

и это необходимо тщательно взвешивать при выборе уплотнения. Так, рост погонного усилия, безусловно, улучшает герметичность, но способствует увеличению трения и износа уплотнения в подвижных соединениях. В неподвижных уплотнениях высокие погонные усилия могут привести к росту ползучести под нагрузкой с потерей герметичности. Таким образом, существует возможность подбирать подпружинивающие элементы с различными характеристиками, обеспечивающими большие или меньшие усилия.

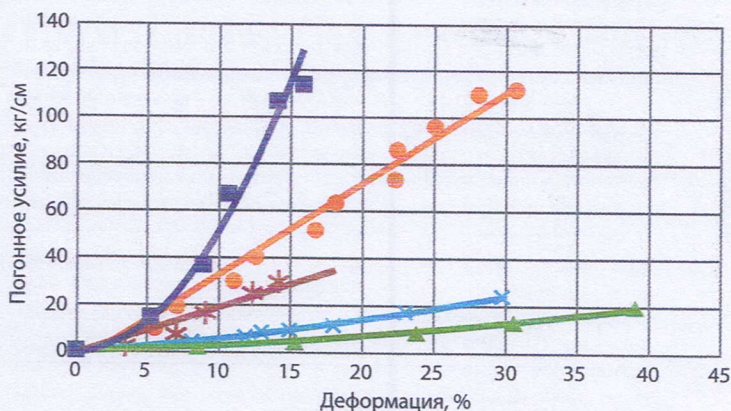


Рис. 4. Зависимость погонного усилия от деформации сжатия подпружинивающих элементов: —■— круглая пружина диаметром 5,7 мм; —●— круглая пружина в полимерной оболочке диаметром 7 мм; —▲— резиновое кольцо твердостью 70 Шор А во фторопластовой оболочке толщиной 0,4 мм диаметром 5,8 мм; —×— резиновое кольцо круглого сечения твердостью 85 Шор А; —*— U-образная плоская пружина толщиной 0,3 мм

Контактное давление, создаваемое на кромках манжеты, является основной характеристикой уплотнения, которая определяет герметичность уплотнительного узла. Проведенные нами измерения и расчеты площадок контакта при различных погонных усилиях позволили определить контактные давления, возникающие на кромках при определенных деформациях. В таблице 1 представлены величины контактного давления при 5-процентной деформации сжатия для манжет из материалов различной твердости и различных подпружинивающих элементов. Из таблицы видно, что создание нужного контактного давления на

Табл. 1. Расчетно-экспериментальные значения контактного давления МПЭ

Обозначение манжеты в соответствии с рис. 4	Контактное давление, МПа
—■— Манжета из полиэфирэфиркетона с круглой пружинкой диаметром 5,7 мм	11
—▲— Фторопластовая манжета с кольцом во фторопластовой оболочке	0,9
—×— Фторопластовая манжета с резиновым кольцом 85 Шор А	1,1
—*— Фторопластовая манжета с U-образной плоской пружинкой толщиной 0,3 мм	4,3

Табл. 2. Материалы, применяемые для изготовления манжет

Материал	Стойкость в агрессивных средах	Износостойкость	Теплостойкость, град	Коэффициент сухого трения скольжения	Максимальное давление, МПа	Стойкость
Фторопласт	+	-	200	0,08	20	+
Фторопласт усиленный	+	±	220	0,1	30	+
Сверхвысокомолекулярный ПЭ	+	+	100	0,1	50	±
Полиэфирэфиркетон	+	+	260	0,15	100	-
Полиамид	±	+	170	0,15	70	+
Полиуретан	-	+	80	0,25	40	+

«+» — хорошо; «±» — удовлетворительно; «-» — плохо

сопрягаемой с уплотнением поверхности определяется жесткостью материала манжеты и упругими характеристиками пружины или кольца и может регулироваться в широких пределах — от 0,9 до 11 МПа. Поэтому важен правильный подбор характеристик составляющих манжету элементов и соотношения размеров манжеты и посадочного места для получения оптимальных характеристик и соответствия требованиям спецификации.

Очевидно, что упругие свойства манжеты, а также ее уплотняющая способность в определенной степени зависят от материала, из которого изготовлена манжета. В ранних исследованиях [1] было определено, что основной, интегральной характеристикой, определяющей уплотняющую способность материала, является твердость и чем она ниже, тем лучше материал уплотняет. Известно, что чем мягче материал, тем легче сминаются шероховатости поверхности и заполняются каналы возможных протечек. На основании этого фторопласт, обладающий невысокой твердостью, имеет лучшие уплотняющие свойства, и поэтому он приобрел широкое применение в качестве уплотнительного материала. Но он имеет невысокую прочность и высокую ползучесть, что не позволяет применять его в высоконагруженных сопряжениях. Поэтому в качестве материала манжеты, наряду с чистым или наполненным фторопластом, используются полиэфирэфиркетон, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, полиуретан, полиамид. Для осознанного выбора материала, их преимущества и недостатки предоставлены в таблице 2.

Все приведенные материалы манжет отвечают требованиям стандарта NORSOK M-710, API 6AP.1.13., а сами манжеты отвечают требованиям герметичности в отношении внешней среды ISO 15848.

Очень важным элементом, как и для всех уплотнителей, является соотношение размеров манжет и канавок. С целью унификации мы ориентируемся на сопоставимые с применяемыми за рубежом. Они примерно одинаковы у разных производителей, что и отражает общую тенденцию к унификации. Как видно из таблицы 3, размеры сечений канавок для установки манжет определяются их диаметром. При проектировании необходимо также учитывать давление среды.

Табл. 3. Рекомендуемые размеры канавок

Диаметр вала, мм	Ширина канавки, мм	Длина канавки, мм
от 8 до 75	1,5	3–6
от 6 до 180	2,3	4–7
от 6 до 250	3,1	5–9
от 13 до 300	4,8	7–12
от 50 до 500	6,1	9–14
от 50 до 1400	9,4	13–18
от 300 до 3000	12,7	18–23

Для МПЭ действует одинаковое для всех контактных уплотнений правило — герметизирующая способность увеличивается с уменьшением шероховатости сопрягаемых поверхностей и вязкости перекачиваемой среды. При небольших давлениях жидких сред можно рекомендовать шероховатость поверхностей Ra 0,4.

Важным параметром, определяющим герметичность и выдерживаемое уплотнением максимальное давление, является, как известно, зазор между сопрягаемыми поверхностями. Понятно, что герметичность в соединении тем выше, чем он меньше, однако снижение его ведет к резкому удорожанию стоимости узла.

Разумным требованием является величина зазора в пределах 0,05–0,07 мм. Для предотвращения экструзии материала уплотнения в зазор при больших давлениях манжеты изготавливают с удлиненным хвостовиком, а также используют защитные кольца. Без защитных колец МПЭ можно применять до 60 МПа, при более высоких давлениях размеры канавки должны предусматривать установку защитных колец.

Существенным преимуществом МПЭ по отношению к резиновым подпружиненным манжетам является отсутствие залипания уплотнений при остановке оборудования, поскольку тело манжеты изготавливается из полимерного материала, имеющего низкий коэффициент трения и адгезию к металлическим поверхностям.

Необходимо также отметить присущую МПЭ в силу конструктивных особенностей стойкость к декомпрессии и уникальную химическую стойкость.

Благодаря вышеозначенному комплексу свойств манжеты с подпружинивающим элементом находят применение в наиболее ответственных узлах. Так, расширяющееся применение этих манжет вызвало налаживание их автоматизированного производства на одном из подразделений корпорации «Saint-Gobain», что, по заявлению менеджеров, приведет к замене ручного труда автоматизированным с соответствующим увеличением выпуска и улучшением качества продукции [2]. По оценкам западных экспертов, эти уплотнения хорошо зарекомендовали себя при эксплуатации в агрессивных средах, в условиях декомпрессии, при эксплуатации в средах с большими концентрациями сероводорода. Манжеты успешно применяются в пищевой и фармацевтической промышленности, поскольку материалы, используемые в манжетах, — фторопласт и нержавеющая сталь — имеют соответствующие сертификаты.

МПЭ (рис. 5) могут найти применение в производстве запорной арматуры, автомобилестроении, криогенной технике, аэрокосмической промышленности, атомном и энергетическом машиностроении. Диаметры поставляемых манжет от 20 до 1000 мм.

Волгоград, апрель 2016 года

Литература:

1. Полимерные уплотнения для экстремальных условий эксплуатации / Зерщиков К. Ю. и др. // Трубопроводная арматура и оборудование. — 2007. — № 3/30. — С. 55–56
2. Valve World, vol. 21, issue 1, 2016

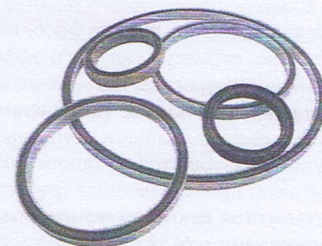


Рис. 5. Примеры манжет с подпружинивающим элементом и корпусом из фторопласта, полиэфирэфиркетона, полиамида