

Мембраны на основе непрерывно-армированных материалов для запорной арматуры и насосов

К.Ю. Зерщиков (ООО «Константа-2»)

В химической, энергетической и других отраслях промышленности применяются запорная арматура и насосы с мембранными исполнительными элементами. Мембраны предназначены для разделения сред и обеспечения перемещения границы раздела при минимальном перепаде давления Δp . Они преобразуют либо воздействие Δp в перемещение w диафрагмы, либо перемещение рабочего органа в перепад давления [1].

В агрессивных средах нет альтернативы мембранам, изготовленным из фторопласта. Фторопласт, обладая уникальной химической стойкостью, в то же время имеет высокую жесткость, низкую прочность и подвержен ползучести под нагрузкой, особенно при повышенных температурах, что обуславливает низкую долговечность и сужает диапазон применения. Различные варианты исполнения комбинированных и композиционных мембранных уплотнений, нивелирующих отрицательные свойства фторопласта, основываются на интуитивных оценках и не имеют под собой научно обоснованной концепции. Поэтому актуальной является задача определения наиболее существенных факторов, определяющих работоспособность мембран.

Наиболее важными вопросами, возникающими при конструировании исполнительных механизмов, являются определение перестановочного усилия мембраны, а также прогибов мембраны в зависимости от действующего усилия [2]. Эти параметры во многом определяются величиной D , называемой жесткостью оболочки при изгибе:

$$D = E\delta^3 / 12(1 - \mu^2),$$

где E – модуль упругости при растяжении; δ – толщина оболочки; μ – коэффициент Пуассона.

В работе [2] отмечается, что при расчете мембран из полимерных, а тем более композиционных материалов, следует предварительно как можно точнее определять упругие константы, так как их значения в значительной степени определяют правильность получаемых решений. Для этого по диаграммам растяжения (рис. 1) были определены модуль упругости и предел текучести материалов, применяемых для изготовления мембран. По этим показателям рассчитаны характеристики, определяющие работоспособность мембран.

Для армированной мембраны толщиной 1 мм $E = 1000$ МПа и, полагая $\mu = 0,5$, получим $D = 1,1$; для фторопластовой мембраны толщиной 2 мм при $E = 200$ МПа $D = 8,9$, т.е. в 8 раз выше. Соответственно выше усилие или давление, необходимое для перестановки, что, по-видимому, и приводит к низкой работоспособности такой мембраны.

Для проверки исследовали зависимость усилия, необходимого для перестановки мембраны из положения 2 в положение 1 и в обратном направлении (рис. 2), имитирующей процесс открытия и перекрытия потока жидкости в вентиле при движении штоцера.

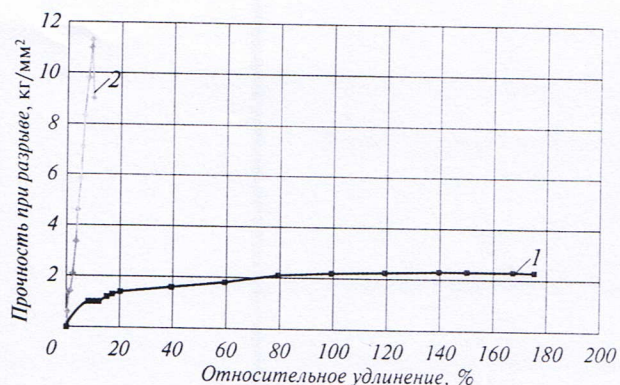


Рис. 1. Диаграммы растяжения фторопласта (1) и армированного фторопласта (2)

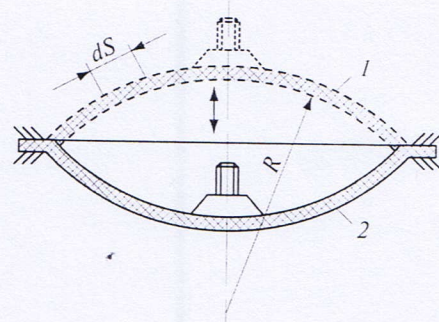


Рис. 2. Схема проведения циклических испытаний мембран

На рис. 3 видно, что это усилие примерно в 2 раза больше для мембраны, имеющей большую жесткость, соответственно выше затрачиваемая на перестановку энергия, определяемая площадью под кривой. В процессе циклического нагружения эта энергия рассеивается в материале, увеличивая дефектность структуры, что в конечном итоге и обуславливает низкую циклическую прочность и долговечность мембран, обладающих большей жесткостью.

В процессе циклического нагружения элемент купола dS (см. рис. 2) претерпевает многократные изгибные деформации. Неметаллические мембраны не способны воспринимать изгибающие моменты, поэтому напряжения от изгибающих моментов много меньше растягивающих напряжений [2]. Уравнения механики деформируемых сред дают для элементарной площадки dS следующее значение амплитудных деформаций [3]:

$$\varepsilon = \delta / 2R, \quad (1)$$

где δ , R – соответственно толщина и радиус мембраны.

Отсюда, в частности, следует, что деформации, а значит, и напряжения, возникающие в куполе в процессе пе-

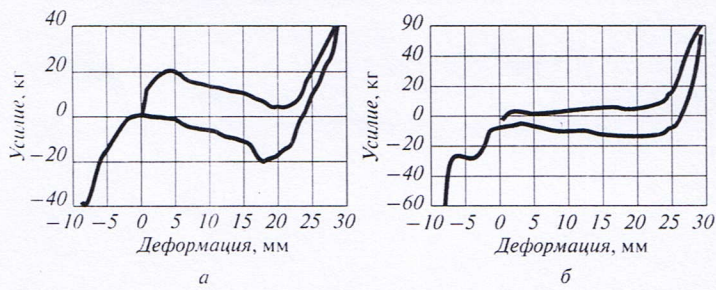


Рис. 3. Диаграммы перестановки мембран:
 а – фторопластовая мембрана толщиной 2 мм;
 б – армированная фторопластовая мембрана толщиной 1 мм

рестановок, будут тем меньше, чем меньше его толщина и больше радиус изгиба.

Рассчитаем допустимые давления при эксплуатации мембраны. Так как мембрана представляет элемент сферического купола, жестко защемленный по краям и нагруженный давлением p , представляется возможным воспользоваться зависимостью, полученной для напряжений, возникающих в оболочке под действием давления. Согласно работе [4], под действием давления p в оболочке возникают напряжения

$$\sigma = pR/2\delta,$$

откуда

$$p = 2\sigma\delta/R. \quad (2)$$

При плоском напряженном состоянии условие прочности будет выполнено при $\sigma < [\sigma]$, где $[\sigma] = \sigma_2/k$; σ_2 – предел текучести материала мембраны; k – коэффициент запаса.

Рассчитаем максимальные давления, при которых могут эксплуатироваться мембраны, имеющие радиус сферы $R = 100$ мм из армированного материала и без армирования. Принимая $k = 2$, получим для фторопласта $[\sigma] = 5$ МПа, для армированного фторопласта – $[\sigma] = 50$ МПа. Тогда для фторопластовой мембраны толщиной 2 мм $p_{\max} = 0,25$ МПа и для армированной мембраны толщиной 1 мм $p_{\max} = 1$ МПа.

Сравнивая выражения (1) и (2), видим, что увеличение толщины и уменьшение диаметра приводит к снижению действующих напряжений, т.е. к росту рабочих характеристик, тогда как усталостная прочность при этом падает. Таким образом, при проектировании мембран с целью повышения ресурса и рабочих параметров необходимо искать компромисс между геометрическими параметрами и физико-механическими свойствами, опираясь на выражения (1) и (2).

Основываясь на полученных решениях, ООО «Константа-2» выпускает армированные фторопластовые мембраны, обладающие повышенной долговечностью. Их отличительной особенностью является присутствие армирующего элемента – стеклоткани определенной плотности, адгезионно связанной с фторопластовой основой (рис. 4). За счет армирования достигается увеличение предела текучести композиционного материала в 10 раз (с 10 до 100 МПа), устраняется ползучесть под нагрузкой. Повышение прочности позволяет снизить толщину мембраны в 1,5–2,5 раза, что в свою очередь снижает жесткость и увеличивает ресурс со 150 до 9 000 циклов от-

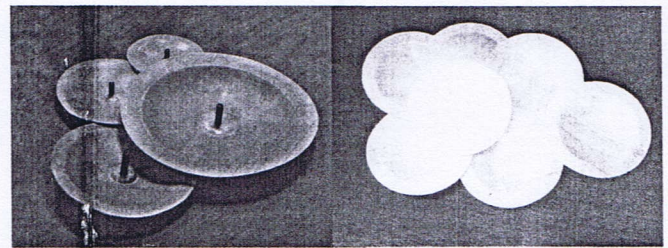


Рис. 4. Фторопластовые армированные мембраны производства ООО «Константа-2»

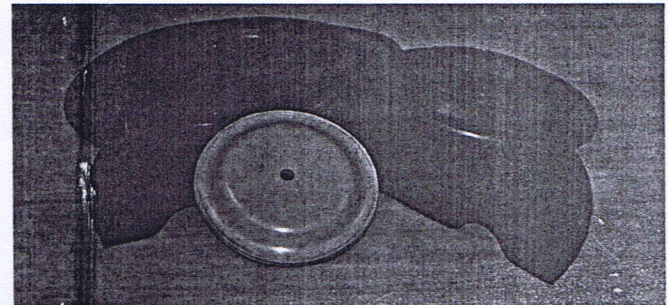


Рис. 5. Мембраны из эластомеров для сред средней степени агрессивности

крыто – закрыто. Это дает возможность эксплуатировать их при недостижимых ранее параметрах: давлению до 5 МПа, температуре до 250°C, при наличии сред высокой агрессивности. Таким образом, существенно повышаются рабочие характеристики мембран без существенного изменения их стоимости и экономических показателей.

Изложенные принципы во многом справедливы и при проектировании резиновых армированных мембран. В силу высокой эластичности и низкой жесткости они имеют большие ресурсы, обладают высокой герметизирующей способностью. Однако из-за большого различия модулей упругости резины и армирующей ткани основным фактором, определяющим рабочие характеристики (в первую очередь, рабочее давление), является адгезионная прочность в системе резина–кордткань. Для арматуры и насосов, работающих при давлении до 1,6 МПа и температуре не выше 200°C в средах средней степени агрессивности, мембраны изготавливаются из эластомеров или армированных эластомеров на основе различных каучуков: бутадиен-нитрильного (NBR), гидрированного бутадиен-нитрильного (HNBR), фтористого (FPM) и других (рис. 5).

Применяемые технологии позволяют производить мембраны различной конфигурации максимальным размером до 800 мм.

Областями применения мембран являются предприятия машиностроения, производящие запорную арматуру и насосы для энергетики, газо- и нефтедобычи, нефтеперерабатывающей, химической, пищевой промышленности.

Список литературы

1. Голубев А.И., Кондаков Л.А., Гордеев В.В. и др. Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник. М.: Машиностроение, 1994.
2. Феодосьев В.И. Упругие элементы точного приборостроения. М.: Оборонгиз, 1949.
3. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. М.: Наука, 1975.
4. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1976.