



*Е.Н. Кашигин, канд. техн. наук (ООО НПЦ «АНОД», г. Нижний Новгород);  
К.Ю. Зерщиков, канд. техн. наук, Ю.Л. Калмыкова (ООО «Константа-2», г. Волгоград)*

## Конструкции и способы изготовления фторопластовых сильфонов

В настоящее время сильфоны из фторопласта широко используются для компенсации вибраций, теплового расширения, углового, радиального и осевого смещений элементов оборудования, защиты несущих металлических деталей от воздействия агрессивной среды.

Рассмотрим конструкции существующих сильфонов из фторопласта с точки зрения их прочности, способов соединения с другими деталями, оптимального использования свойств материалов и способов их изготовления. Наиболее важными параметрами для сильфона являются форма гофра (рис. 1), определяющая выдерживаемое давление, толщина стенки гофра и рабочая (радиальная) ширина гофра [1], а также способ крепления сильфона к другим деталям (рис. 2). Анализ конструкций с сильфонами из фторопласта показал, что выдерживаемое ими давление в основном зависит от прочности сильфона. В торцовых уплотнениях с сильфонами из фторопласта допускаемое рабочее давление в значительной степени зависит от температуры [2]: для уплотняемого вала диаметром 50 мм при температуре

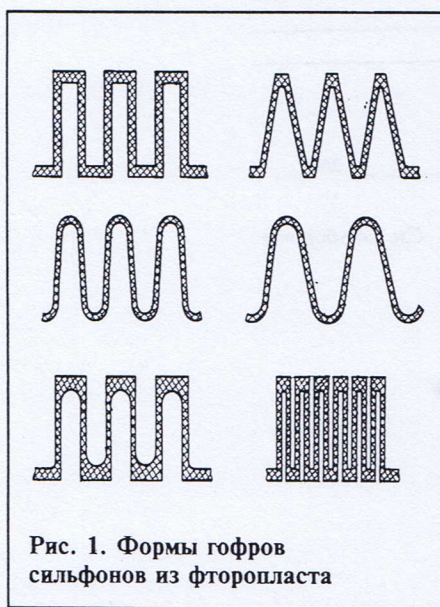
20 °С максимальное давление достигает 1,0–1,2 МПа, а при температуре 120 °С — 0,2–0,3 МПа (рис. 3). Наиболее часто используемый диапазон внутренних диаметров сильфонов 20–150 мм. Увеличение диаметра уплотняемого вала от 25 до 76 мм приводит к снижению рабочего давления на 50 % (от 1,0 до 0,5 МПа). Однако в ряде случаев необходимы сильфоны, выдерживающие большие давления. В этих случаях сильфоны изготавливают из более прочных фторопластов, например фторопласта 40, или сильфон армируют снаружи металлической втулкой и в гофр вставляют резиновые кольца, что резко снижает допускаемые угловые и радиальные смещения сильфона.

Сильфоны из фторопласта наиболее часто изготавливают методом резания (рис. 4), а также используют литые под давлением, экструзию, выдавливание из тонкостенных труб и сварку из диафрагм [3–7]. Сильфоны длиной до 150 мм изготавливают методом резания из фторопластовых втулок

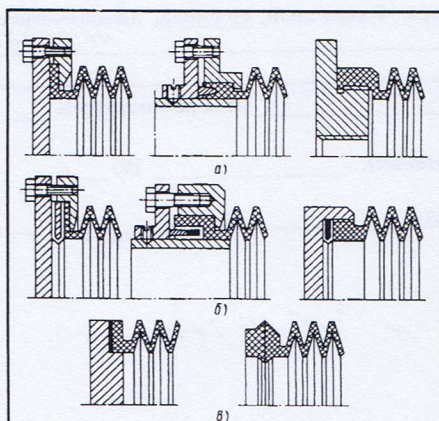
или круга. Такое ограничение связано со сложностью технологического процесса изготовления и допусками отклонения толщины стенки гофра. Условные внутренние диаметры изготавливаемых таким способом сильфонов — 15–400 мм. При изготовлении сильфонов методом резания эффективность использования материала около 50 % и менее.

Методом литья под давлением изготавливают сильфоны из фторопластов 4МБ, 40, 40ЛД, 42ЛД, 30, 2 и 2М [8]. Для получения сильфонов используют термопластавтоматы, например KUASV [5]. Температура переработки фторопласта 270–320 °С, удельное давление 150 МПа, выдержка под давлением 5–30 с при продолжительности цикла 5–20 мин.

В настоящее время широкое распространение получили машины и линии для производства гладких и гофрированных труб и сильфонов из фторопластов методом экструзии. В отечественной промышленности применяется линия для производства труб из фторопласта-4Д диаметром 10–50 мм [6].

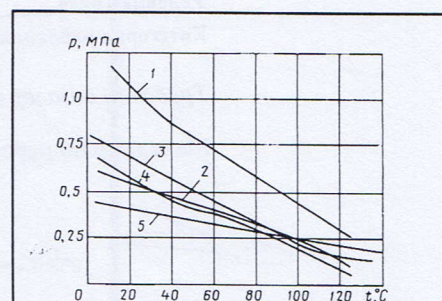


**Рис. 1. Формы гофров сильфонов из фторопласта**



**Рис. 2. Способы крепления сильфонов:**

*а* – жесткое крепление механическим способом (класс I); *б* – мягкое крепление с использованием упругих деталей (класс II); *в* – соединение клеями, сваркой или иными неразъемными способами (класс III)



**Рис. 3. Зависимости изменения допускаемого давления  $p$  от температуры  $t$  для торцовых уплотнений (диаметр вала 50 мм) различных фирм:**

*1* – «Кранер Пакинг» (тип KF);  
*2* – «Хемикал энд Повер Продукт»;  
*3* – «Кранер Пакинг» (тип 10); *4* – «ФЕБ Герете унд Пумпенбау» (тип GN 64.11);  
*5* – «Пасифик Витц»

Фирма «Райфенхойзер» (Германия) изготавливает установку, производящую гофрированные трубы с внутренними диаметрами 50, 65, 80, 100 и 125 мм, состоящую из двухчервячного экструдера ВТ-80-16R и машины для формования на трубах гофров давлением нагретой среды. Производительность машины выпускают фирмы «Мано» и «Технион» (Италия) и другие [7], производительность установок — 0,1–12 м/мин.

Фторопластовые сильфоны диаметром 300 мм и более изготавливают методом вырезки и формовки отдельных диафрагм гофра с последующей их сваркой по внутреннему и наружному контурам. Например, фирма «ПАМПУС» (Германия) выпускает сильфоны диаметром 800 мм и более [4].

Рассмотрим метод изготовления сильфонов из порошка фторопласта прессованием в специальных формах. На первом этапе проводится прессование из порошка изделия соответствующей конфигурации, а на втором — термообработка спрессованного изделия. Основная трудность при изготовлении сильфона методом прямого прессования — неравномерность распределения плотности материала по высоте сильфона до и после термообработки (рис. 5) и, как следствие, возникновение трещин в готовом изделии. Для устранения трещин в готовом изделии необходимо обеспечить получение материала равномерной плотности по сечению сильфона, а также толщины стенки гофра с минимальными отклонениями. В этих целях принудительное уплотнение промежуточных порций засыпки порошка фторопласта-4 необходимо производить вручную, так как промежуточное уплотнение с помощью пуансона не допускается в связи с тем, что по плоскостям контакта частей сильфона возникают трещины и расслоения.

Разработанный процесс изготовления сильфона состоял из следующих стадий:

- последовательная засыпка разнотолщинных слоев;
- поэтапное уплотнение вручную;
- укладка знаков для формования гофрированной части сильфона;
- статическое прессование заготовки;
- спекание.

В процессе прессования в сильфоне возникают упругие и высокоэластичные напряжения, которые проявляются: первые — при снятии давления прессования, вторые — в процессе хранения и при спекании заготовки.

Макронапряжения являются следствием разной степени уплотнения и неоднородного упругого восстановления. После снятия усилия они растягивают участки различной степени уплотнения, возникают напряжения различных знаков, что приводит к появлению зародышей трещин. Неравномерная релаксация макронапряжений в заготовке в процессе спекания также приводит к появлению в готовом изделии трещин и расслоений. Для снятия этих напряжений в рассматриваемом технологическом процессе изготовления сильфонов было введено: поэтапное ручное уплотнение отдельных заранее рассчитанных порций насыпки материала и термическая обработка готового изделия по специально подобранному режиму.

В результате проведенных обработок технологического процесса было достигнуто равнонапряженное состояние материала сильфона на всех его участках (фланцах, гофрах и т.д.).

Большое влияние на прочность сильфона оказывает состояние поверхностей, особенно стенок гофра как наиболее нагруженного элемента сильфона.

При изготовлении точением их состояние невозможно проконтролировать и трудно выполнить, особенно на внутренних поверхностях. В предлагаемом способе изготовления оно определяется состоянием поверхности деталей оснастки, которая легко контролируется при их изготовлении.

Как показали проведенные ранее исследования [1, 2], оптимальная толщина стенки гофра, обеспечивающая заданные давление, осевую, угловую и циклическую прочность, составляет 1,5 мм. Разработанная оснастка обеспечивала точность изготовления толщины стенки гофра в пределах от  $-0,1$  до  $+0,2$  мм, что вполне соответствовало точности при изготовлении методом точения.

Проведенные испытания изготовленных данным способом сильфонов показали их высокую надежность, заданную прочность по давлению, осевой, угловой и циклической долговечности, а также достаточную конкурентоспособность при изготовлении партиями более 100 сильфонов.

#### Список литературы

1. Кашигин Е.Н., Попов Н.Ф., Шетулов Д.И. Конструкции торцовых уплотнений с сильфонами из фторопласта / Сер. Общеотраслевые вопросы развития химической промышленности. М.: НИИТЭХИМ, 1978. Вып. 12 (142). 37 с.
2. Кашигин Е.Н. Фторопластовые сильфоны торцовых уплотнений // Информационный листок. Горький, 1977: ЦНТИ. № 241–77. С. 4.
3. Волосин Я.П., Попов Б.И. Опыт изготовления сильфонов из фторопласта // Химическое и нефтяное машиностроение. 1970. № 3. 37 с.
4. Faltenbalge aus PTFE // Information für die Chemische Industrie «Pampus» Heft C1' 67. 21–22.
5. Сильфоны из фторопласта 42ЛД // Информационный листок № 0018-76. ЦНТИ-ХИМНЕФТЕМАШ, 1975.
6. Диденко В., Савенков А. Линия для производства труб диаметром от 10 до 50 мм из фторопласта-4Д // Экспресс-информация о работе НИИ и КБ отрасли. Сер. ХМ-2. ЦНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1976. № 3. С. 15–16.
7. Степочкина М.П. Экспресс-информация о конференциях, совещаниях, выставках. Сер. ХМ-2. ЦНТИ-ХИМНЕФТЕМАШ, 1975. № 1.
8. Фторуглеродные пластики. Каталог-справочник. Черкассы: НИИТЭХИМ, 1974. С. 80.

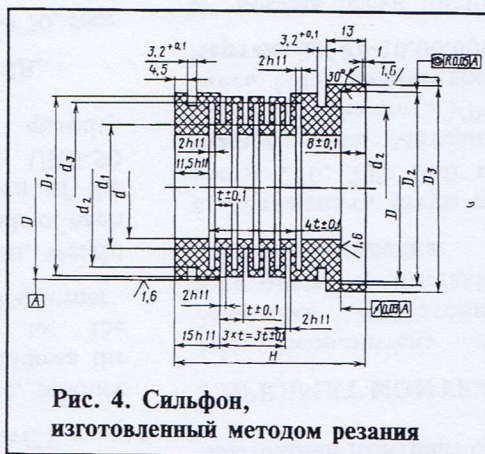


Рис. 4. Сильфон, изготовленный методом резания



Рис. 5. График распределения плотности материала по высоте сильфона:

I – верхняя часть; II – средняя часть; III – нижняя часть; ▨ – до термообработки; ▩ – после термообработки