

Остаточная деформация сжатия комбинированных резино-фторопластовых уплотнений

Зерщиков К. Ю., Семенов Ю. В., Талби Е. В., Кузахметова Е. К., ООО «Константа-2» г. Волгоград

Уплотнения из эластомеров, в частности кольца круглого сечения, остаются одними из наиболее востребованных на рынке уплотнительной техники. Это обусловлено целым комплексом ценных свойств, присущих резине, одним из которых является поддержание высокого уровня контактного давления при определенной деформации сжатия уплотнения и высокоэластическое восстановление формы и размеров после снятия нагрузки. Однако отсутствие универсальной агрессивностойкости к действию химических сред различной природы, малая теплостойкость в сочетании с низкой прочностью ограничивают их применение в оборудовании с высокими параметрами эксплуатации.

Этих недостатков лишены резино-фторопластовые кольца (далее — РФК). Они представляют собой комбинированные уплотнения, состоящие из эластомерного сердечника, заключенного в герметичную фторопластовую оболочку (рис. 1), в которых роль упругого элемента создается в основном эластомерным сердечником, а оболочка выполняет защитную функцию, предотвращая деградацию уплотнения от действия высоких температур, давлений и агрессивных сред.

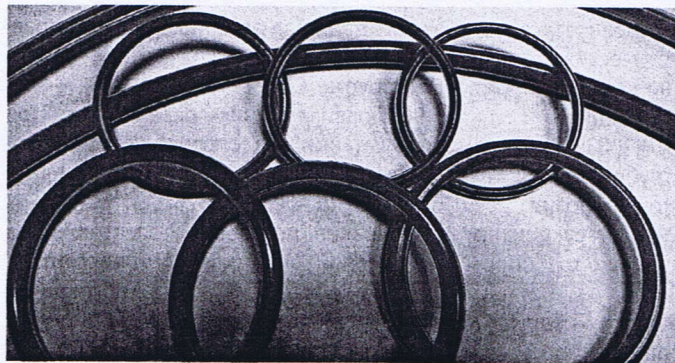


Рис. 1. Общий вид комбинированных уплотнений (РФК)

Очевидно, что для проектирования уплотнительных узлов с РФК необходимо всестороннее исследование свойств, влияющих на их уплотняющую способность. В [1, 2] были рассмотрены некоторые характеристики этих уплотнений. Здесь исследуются свойства РФК, определяющие поддержание работоспособности РФК в уплотнительных узлах в процессе эксплуатации.

Напомним, что основной характеристикой данного уплотнения является зависимость $p=f(\epsilon)$, где p — удельное усилие — усилие на единицу длины, ϵ — относительная деформация сжатия сечения кольца. На рис. 2 показана зависимость силы,

действующей на сопрягаемые с кольцом поверхности, от величины деформации сжатия кольца, что имитирует его работу в реальных условиях. В качестве сердечника из соображений теплостойкости применяли резину на основе силиконового каучука, в качестве оболочки для придания кольцу наибольшей агрессивностойкости использовали фторопласт Ф4МБ (FEP).

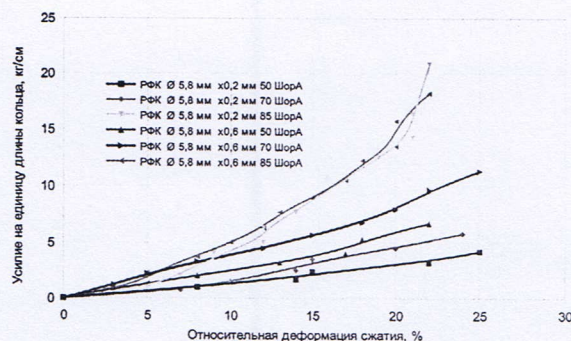


Рис. 2. Зависимость линейного усилия от деформации сжатия кольца (5,8 мм — диаметр сечения кольца; 0,2 и 0,6 мм — толщина оболочки, 50, 70, 85 Шор А — твердость резинового сердечника)

Как и следовало ожидать, усилие растет при увеличении твердости сердечника и толщины оболочки, аддитивно вносящих вклад в общую деформируемость системы сердечник-оболочка. Анализируя зависимости, можно заключить также, что угол наклона кривых, характеризующий модуль сжатия комбинированного уплотнения, растет с ростом твердости и толщины, но при твердости 85 Шор А влияние толщины оболочки нивелируется. Руководствуясь этими графиками, можно назначать параметры колец, чтобы получить необходимую начальную деформацию кольца для достижения требуемого усилия на контактных поверхностях.

На основании полученных данных и измерений площади контакта, которую определяли по величине отпечатка, оставленного образцом в деформированном состоянии, было посчитано контактное давление, действующее на контактной площадке при заданных деформациях. На рис. 3 показано как меняется контактное давление при изменении параметров РФК и его деформации. Видно, что чем выше твердость сердечника и больше толщина оболочки, тем при меньшей деформации достигается заданный уровень контактного давления. Как видно, при определенных соотношениях параметров, контактное давление может достигать значительных величин — до 8 МПа при 20 % деформации, тогда

как резина при твердости 85 Шор А и максимальной для колец 30 % деформации развивает давление 6,5 МПа. Это свидетельствует о потенциально высоком уровне уплотняющей способности РФК, так как для обеспечения герметичности согласно рекомендациям [3] необходимо начальное контактное давление в соединении 1,5—3 МПа.

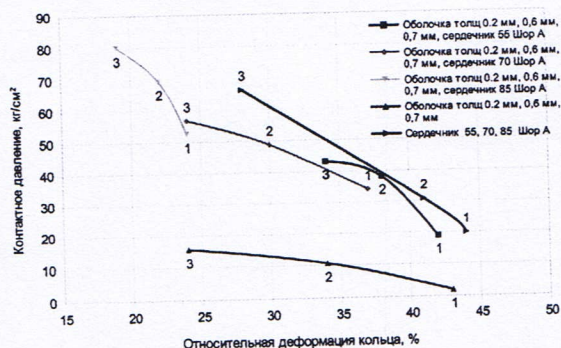


Рис. 3. Влияние основных параметров РФК на контактное давление, развиваемое уплотнением (точки 1, 2, 3 — соответствующие значения толщины оболочки или твердости сердечника)

Немаловажным является поддержание контактного давления в процессе эксплуатации, которое зависит от физических и химических процессов, происходящих с материалом уплотнения. И если влиянием химических процессов можно с большей степенью обоснованности пренебречь в силу инертности фторопластовой оболочки, то протекание физических процессов, к которым относятся, в частности, перестройки надмолекулярной структуры под действием внешних сил, накопление и релаксация напряжений в материале, находящемся в деформированном состоянии, необходимо учитывать.

Одной из характеристик, описывающих процессы релаксации напряжений в деформированном образце, является остаточная деформация сжатия (далее — ОДС). Это одно из ключевых свойств резиновых уплотнений, характеризующих динамику изменения герметизирующей способности в процессе эксплуатации. ОДС определяют по методике, рекомендуемой ГОСТ 9.029 — 78. Сущность метода заключается в том, что образцы подвергают статической деформации сжатия и по величине относительной остаточной деформации определяют способность резин сохранять эластические свойства после старения образцов в сжатом состоянии при заданных условиях. Для этого отрезки колец РФК круглого сечения, а также резиновые стержни и оболочки диаметром 5,8 мм длиной 50 мм зажимали между пластинами с фиксированным зазором s , равным 4 и 5 мм, что соответствовало 30-ти и 15-ти процентной начальной деформации и аналогично деформациям уплотнительных колец в процессе эксплуатации. Образцы выдерживали в течение 5 суток при температуре 23 ± 2 °С, разбирали и определяли высоту. Фиксировали начальное значение ОДС сразу после снятия деформации и динамику изменения остаточной деформации во времени: через 0,5; 1; 5; 11 и 120 часов, которая характеризует процесс релаксации напряжений в РФК.

Относительную остаточную деформацию сжатия C определяли по формуле:

$$C = (D_0 - D_1) / (D_0 - s) * 100 \%, (1)$$

где D_0 — диаметр сечения РФК, D_1 — остаточная высота кольца через заданный интервал времени, s — высота кольца в деформированном состоянии.

Величина C показывает относительное увеличение размера по отношению к размеру в сжатом состоянии и значит чем она меньше, тем выше упруго-эластическое восстановление после сжатия. На рисунках 4—7 представлены зависимости изменения остаточной деформации сжатия в течение времени наблюдения для отдельных компонент и РФК в целом для того, чтобы определить его эластическое восстановление и оценить вклад отдельных составляющих в этот процесс. Видно, что кривая изменения ОДС во времени носит характерный для полимерных материалов вид с резким снижением деформации после разгрузки и последующей медленной релаксацией.

ОДС резиновых сердечников (рис. 4) растет с повышением твердости. Величина ОДС сразу после разгрузки существенно различается для резин, имеющих разную твердость: от 10 % для резины твердостью 55 по Шор А до 35 % для резины твердостью 85 по Шор А. С течением времени эта разница нивелируется и максимальная ОДС не превышает 20 % для резины твердостью 85 Шор А, но общая закономерность уменьшения ОДС при снижении твердости сохраняется.

У оболочек ОДС значительно выше и сразу после разгрузки составляет 60—70 % плавно снижаясь до 40—50 % через 30 мин. Из рис. 5 видно, что ОДС оболочек несколько увеличивается с ростом толщины. Это объясняется большей жесткостью и соответственно напряжениями в оболочках большей толщины: высокий уровень действующих напряжений приводит к большим остаточным напряжениям и деформациям.

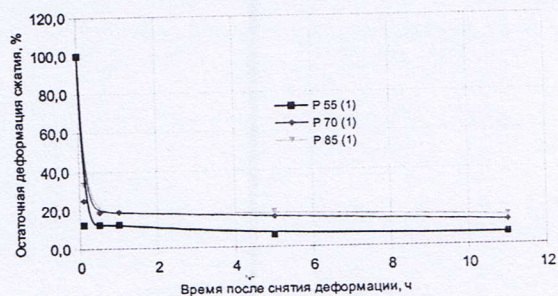


Рис. 4. Остаточная деформация сжатия резиновых сердечников различной твердости: 55, 70, 85 Шор А во времени при начальной деформации 30 %

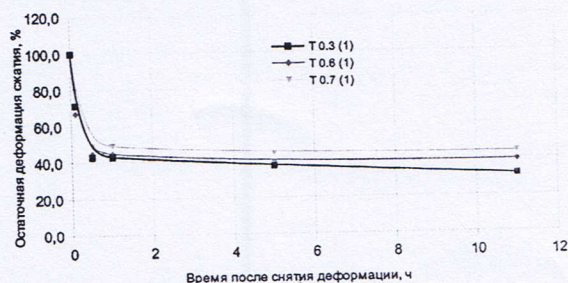


Рис. 5. Изменение остаточной деформации оболочек различной толщины: 0,3; 0,6; 0,7 мм во времени при начальной деформации 30 %

Отсутствие взаимодействия между сердечником и оболочкой приводит к аддитивности свойств комбинированного уплотнения от свойств входящих в РФК составляющих, однако эта зависимость носит непрямой характер, определяемый в основном соотношением твердости сердечника, толщины оболочки и, по-видимому, диаметром сечения кольца. Эти величины задают его жесткость и величину реакции на дефор-

мацию. В результате среднее значение начальной величины ОДС после снятия деформации составляет примерно 30 %, занимая промежуточное положение: существенно ниже, чем ОДС оболочек, но выше ОДС резинового сердечника.

В течение первых 10 мин деформация РФК снижается до приемлемого уровня — не выше 30 %, и впоследствии за 5 суток она опускается в среднем еще на 5—10 %, т. е. практически остается неизменной в дальнейшем на протяжении всего периода наблюдения. Следовательно, начальная величина ОДС может служить характеристикой упругого восстановления РФК.

Сравнение рис. 6 а) и б) показывает, что влияние твердости резинового сердечника на восстановление размера РФК после деформации выражено тем отчетливее, чем меньше толщина оболочки. ОДС нелинейно, зависит от твердости и характеризуется максимальным значением при твердости резинового сердечника 70 условных единиц.

Общий уровень остаточной деформации для РФК с оболочками толщиной 0,3 и 0,7 мм составляет примерно 30±5 %. Вероятно, для каждого диаметра сечения РФК существует своя критическая толщина оболочки, нивелирующая влияние твердости сердечника на ОДС.

Из графиков на рис. 7 видно, что уменьшение начальной деформации сжатия с 30 до 15 % приводит к существенно увеличению ОДС, особенно сильно это выражено для РФК с сердечником малой твердости. Кроме того, отмечается существенный разброс величины ОДС в зависимости от твердости резинового сердечника. Следовательно, при проектировании уплотнительных узлов необходимо размеры канавки под кольцо назначать с учетом 30 % деформации кольца.

Чтобы оценить необходимую начальную деформацию кольца для поддержания нужного уровня контактного давления, сравнили восстановление диаметра после разгрузки с начальным диаметром кольца. Искомую величину рассчитывали по формуле:

$$B = (D_0 - D_1) / D_0 * 100 \% \quad (2)$$

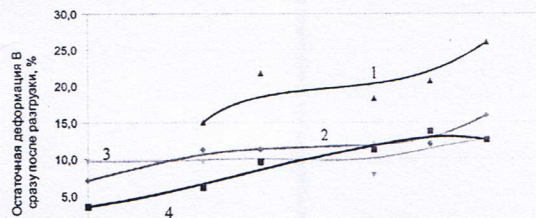


Рис. 8. Зависимость остаточной деформации РФК диаметром 5,8 мм от свойств компонентов: 1 — оболочка без сердечника; 2 — РФК с сердечником 70 Шор А; 3 — РФК с сердечником 85 Шор А; 4 — РФК с сердечником 55 Шор А

На рис. 8 видно, что остаточная деформация РФК не превышает 10 %, что при начальной деформации уплотнения в размере 30 % позволяет сохранить 80 % от первоначального контактного давления, что является неплохим показателем. Таким образом, твердость резинового сердечника и толщина полимерной оболочки являются одними из основных параметров, определяющих упругое восстановление колец. Поскольку от них зависит и величина контактного давления, обеспечиваемого кольцом, можно заключить, что эти параметры являются определяющими применимость РФК в уплотнительных узлах.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать деформации РФК порядка 30 % для создания и поддержания контактного давления заданной величины.

На основании полученных данных, можно сформулировать общие рекомендации: для небольших давлений, где уплотнительный узел подвержен динамическим нагрузкам, необходимо применять кольца с малой толщиной оболочки с сердечником твердостью до 60 Шор А. РФК большей жесткости (имеющие в своем составе сердечник большей твердости и толстую оболочку) обеспечивают большие контактные давления, но и ОДС имеют большей величины и предназначены для наиболее нагруженных соединений.

Литература:

1. Исследование эксплуатационных характеристик резиновых колец во фторопластовой оболочке. Зерщиков К. Ю., Семенов Ю. В. ТПА № 2, 2009. 83—84.
2. Комбинированные полимерные уплотнения для герметизации подвижных соединений, эксплуатирующихся в сложных условиях. Зерщиков К. Ю. Полимерные материалы. № 9, (136) 2010.
3. Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник под ред. Голубева А. И., Кондакова Л. А., М., Машиностроение, 1986.

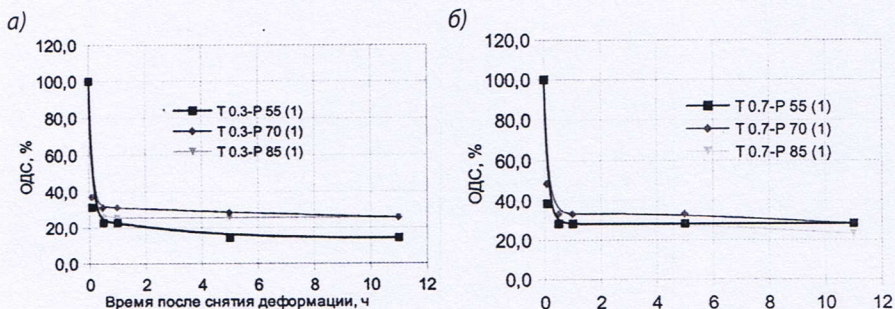


Рис. 6. Изменение остаточной деформации РФК с сердечниками различной твердости: 55, 70, 85 Шор А во времени при начальной деформации 30 % (а — толщина оболочки 0,3 мм; б — толщина оболочки 0,7 мм)

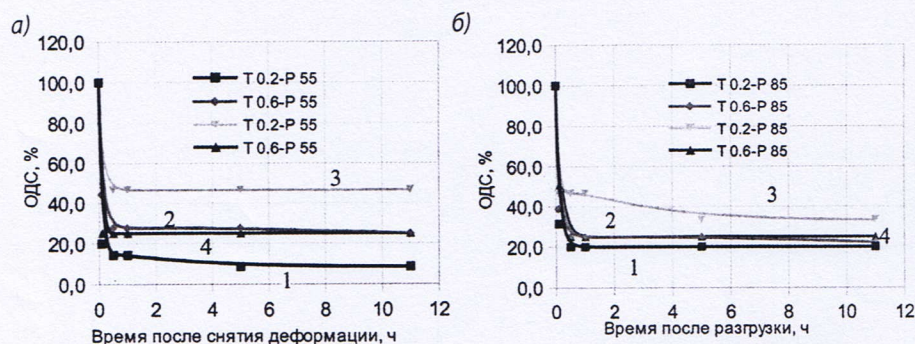


Рис. 7. Влияние величины начальной деформации сжатия на ОДС: а) РФК с сердечником твердостью 55 Шор А; б) РФК с сердечником твердостью 85 Шор А: 1, 2 — начальная деформация 30 %; 3, 4 — начальная деформация 15 %