

Г. М. БАРТЕНЕВ, В. А. ЛЕПЕТОВ и В. И. НОВИКОВ

**СТАТИЧЕСКОЕ СЖАТИЕ РЕЗИНОВЫХ ПЛОСКИХ
КОЛЬЦЕВЫХ ПРОКЛАДОК**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 4 IX 1953)

1. В практике уплотнений фланцевых соединений широко применяются плоские кольцевые резиновые прокладки. Такие прокладки, будучи нагружены затяжкой болтов, завинчиванием крышек и т. п., испытывают в условиях эксплуатации сжатие при постоянной величине деформации. При этом, вследствие релаксационных процессов, свойственных резине, напряжение в материале прокладок, значительное в момент начального затяга, вскоре снижается, а затем достигает практически неизменного состояния. Начальное напряжение материала прокладки определяет усилие затяга, необходимое при монтаже уплотнения, а величина напряжения, устанавливающаяся во времени, решает эффект уплотнения.

Подобная статическая деформация резины имеет место и в ряде других применений резиновых технических изделий. Отсюда исследование статических деформаций резины имеет широкое практическое значение, а определение статических модулей резины необходимо для проведения соответственных инженерных расчетов.

2. Как показано (1, 2), статическая деформация резины в случае чистого сжатия следует зависимости

$$\sigma = E\varepsilon = E(1 - \lambda), \quad (1)$$

где σ — истинное напряжение; ε — относительное сжатие; λ — кратность деформации ($\lambda = L/L_0$); E — модуль резины (модуль материала), зависящий от режима деформации; в данном случае статический модуль, зависящий от времени сжатия.

Уравнение (1) сохраняет свое значение и для случая чистого растяжения (когда $\varepsilon = \lambda - 1$); величина E имеет то же значение, что и при сжатии.

Обычно принимаемое в инженерных расчетах условное напряжение f может быть определено из зависимости

$$\sigma = \lambda f \quad (2)$$

или

$$f = E \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}. \quad (3)$$

Поскольку определение величины деформации ε достаточно просто, уравнение (3) позволяет по известному модулю материала E рассчитать условное напряжение (удельную нагрузку на прокладку). Отсюда по известной величине опорной поверхности прокладки S_0 возможно рассчитать общую нагрузку F , отвечающую заданной деформации ε .

Однако деформация чистого сжатия предполагает возможность свободного скольжения резины по опорным плитам. В реальных же

условиях применения уплотнительных прокладок при наличии так называемого сухого трения подобной возможности не имеется. Поэтому сжатые прокладки испытывают сложное напряженное состояние. Этому сложному напряженному состоянию соответствует общая внешняя нагрузка F и деформация прокладки ε .

Было показано (1), что вместо рассмотрения особенностей сложного напряженного состояния при сжатии резины возможно ввести понятие о „расчетном напряжении“ σ , и тогда между последним и деформацией ε для образцов цилиндрической формы имеет место зависимость

$$\sigma = E_{сж}\varepsilon, \quad (4)$$

аналогичная зависимости (1) для чистого сжатия, но с иным по величине модулем $E_{сж}$, зависящим не только от режима деформации, но и от габаритов образца.

3. Принимаемый в качестве характеристики влияния габаритов образца так называемый коэффициент формы Φ есть отношение площади опорной поверхности цилиндрического образца или прокладки к боковой поверхности (3). В общем виде коэффициент формы цилиндрических образцов или изделий дается уравнением

$$\Phi = \frac{D-d}{4L_0}, \quad (5)$$

где D — внешний диаметр, d — внутренний диаметр, L_0 — высота образца (или толщина прокладки) до нагружения.

Было показано, что формула, связывающая $E_{сж}$ и E , имеет вид

$$E_{сж} = E(1 + a\Phi), \quad (6)$$

где a — постоянная, зависящая от коэффициента трения резины по опорной поверхности. Наши опыты показали, что уравнение (6) приложимо и для плоских фланцевых прокладок. Следовательно, наряду с E — статическим модулем материала — можно говорить о $E_{сж}$ — модуле прокладки — и использовать его для расчетных целей.

Экспериментальная часть

Исследуемые прокладки изготовлялись из трех видов резин на каучуке СКС-30. Составы резин I, II и III приводятся в табл. 1 в весовых частях.

Размеры прокладок изменялись в широких пределах: толщина от 3 до 8 мм; внешний диаметр от 60 до 102 мм; ширина от 6 до 24 мм. Коэффициент формы (по (5)) изменялся при этом в пределах от 0,4 до 4,0.

Испытание на сжатие производилось при обычной температуре (20°) на специальном рычажном прессе со стальными плитами при наличии сухого трения между резиной и металлом.

На рис. 1 приведены полученные в этих опытах кривые релаксации напряжения при сжатии на 17% прокладок из резины I и II одинаковых габаритов с $\Phi = 4$. Как следует из рис. 1, за первые

15 мин. происходит наиболее резкое падение напряжения; равновесие устанавливается через 2 часа. Величина „напряжения“ σ рассчитывалась

Таблица 1

	I	II	III
Каучук	100	100	100
Сера	3	3	3
Стеарат цинка	2	2	2
Меркаптобензотиазол	1	1	1
Сажа	0	25	70

по формуле (2). Для всех времен от 1 мин. и выше наблюдается пропорциональность между расчетным напряжением и величиной сжатия. Эта пропорциональность имеет место в пределах разброса данных ($\pm 10\%$) для прокладок с любым коэффициентом формы Φ (рис. 2). Каждая точка на приведенном графике соответствует отдельно взятой прокладке, испытанной на релаксацию напряжения при заданном сжатии повторно несколько раз. Напряжение, приведенное на графике для каждой прокладки, является усредненным значением напряжений, полученных при этих испытаниях. Такое усреднение мы считали вполне законным, так как различие между напряжениями, полученными несколько раз на одной и той же прокладке, было значительно меньше, чем разброс данных, относящихся к различным прокладкам из той же резины и с тем же коэффициентом формы. Предел пропорциональности для прокладок из ненаполненной резины I лежит при 40—50%, для прокладок из наполненной резины снижается до 20—30%.

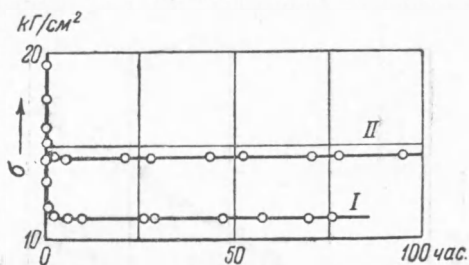


Рис. 1. Кривые релаксации «расчетного напряжения» для прокладок из резины I и II с коэффициентом формы $\Phi = 4$ при сжатии 17%

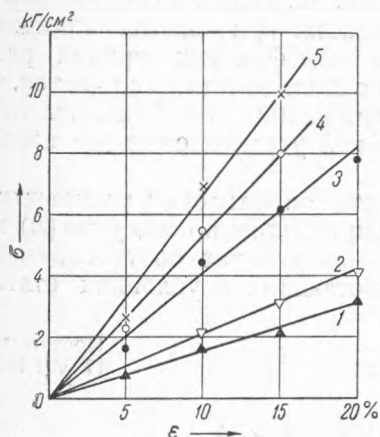


Рис. 2. Зависимость «расчетного напряжения» от сжатия прокладок из резины I с коэффициентами формы: 1— $\Phi = 0,4$; 2—0,75; 3—1,9; 4—2,8; 5—3,7. Продолжительность испытания 30 мин.

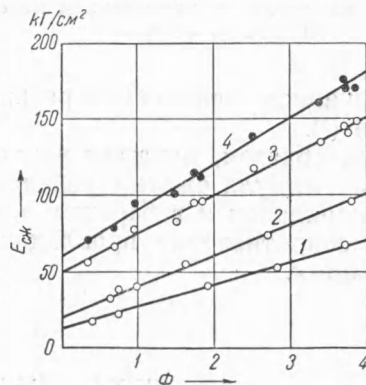


Рис. 3. Зависимость статического модуля сжатия прокладок от коэффициента формы: 1—резина I, продолжительность 30 мин.; 2—II, 30 мин.; 3—III, 2 часа; 4—III, 1 мин.

Из наклона прямых (рис. 2) можно определить модуль сжатия прокладок $E_{сж}$. Из сказанного выше следует, что этот модуль имеет смысл константы с допуском, лежащим в пределах $\pm 10\%$. Зависимость модуля прокладки от коэффициента формы для резины I видна из того же рис. 2. Аналогичная картина наблюдается и для других исследуемых резин.

Зависимость модуля $E_{сж}$ от коэффициента формы Φ для прокладок из исследуемых резин приведена на рис. 3. Экстраполяция этих зависимостей на ось ординат, где $\Phi = 0$, дает значения модуля чистого сжатия E (модуля материала). Так, при 1-минутной статической деформации модуль E для резины I равен 17 кг/см², а для резины II 25 кг/см². При 30-минутной статической деформации для резины I

$E = 13,5 \text{ кг/см}^2$, для резины II $E = 20 \text{ кг/см}^2$. Прямые определения этих модулей при чистом сжатии цилиндрических образцов дают те же значения.

Сводный график (рис. 4) в координатах $E_{сж}/E$ и Φ показывает применимость формулы (6) для исследуемых прокладок. По наклону

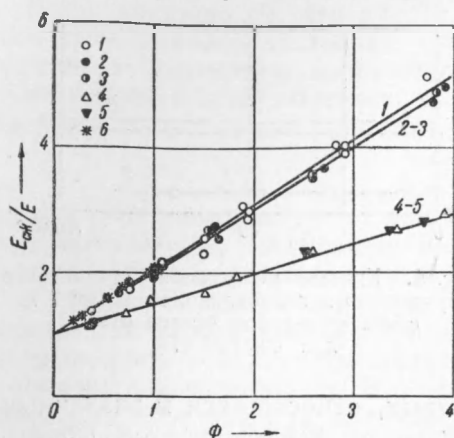


Рис. 4. Зависимости между отношением модуля прокладки к модулю резины и коэффициентом формы: 1 — резина I, статическая деформация 1 мин. и 2 часа; 2 — II, 30 мин.; 3 — II, 1 мин.; 4 — III, 2 часа; 5 — III, 1 мин.; 6 — сплошные цилиндрические образцы из резины с наполнением менее 50 вес. ч. сажи

прямым на этом графике можно определить коэффициент a . Так как отношение $E_{сж}/E$ не зависит от длительности статической деформации, то и коэффициент a не зависит от времени. Величина коэффициента a составляет: для резины I 1,05, резины II 1,01 и резины III 0,49. Эти данные показывают, что условия скольжения резины по металлу изменяются в зависимости от величины наполнения.

Поскольку показано (1), что для резин, наполненных 50 вес. ч. сажи коэффициент a весьма близок к 1, то из приведенных данных следует, что при наполнениях сажей, превышающих 50 вес. ч., условия скольжения прокладок при сжатии изменяются и коэффициент трения резины по стали заметно снижается. Факт снижения коэффициента трения

с увеличением наполнения резины сажей установлен также прямыми опытами (4).

Таким образом, показана возможность определения расчетным путем $E_{сж}$ — модуля сжатия резиновых прокладок по модулю (E) материала прокладок и габаритам прокладок, а также соответствующего расчета сопротивления прокладок, работающих в условиях статического сжатия.

Поступило
17 VII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. М. Бартенев, В. И. Новиков, ДАН, 91, № 5 (1953). ² Г. М. Бартенев, ДАН, 84, 689 (1952). ³ В. А. Лепетов, Тр. МИТХТ им. Ломоносова, в. 4 (1953). ⁴ С. Б. Ратнер, В. Д. Сокольская, ДАН, 86, 121 (1952).