

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАТИВНЫХ СВОЙСТВ РЕЗИНОВЫХ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ КОЛЕЦ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Новосёлов Ю. Н., Хмелёв В. В.
ОАО Научно-производственное объединение «Искра»,
г. Пермь, Пермский край, Россия

Герметизация большинства разъёмных соединений ракетных двигателей (РД) производится с помощью резиновых уплотнительных колец, к достоинствам которых можно отнести следующие свойства: высокая эластичность, прочность, низкий модуль упругости, обеспечивающие при малых нагрузках плотный контакт сопрягаемых поверхностей, а также низкая газо- и водопроницаемость, стойкость к некоторым агрессивным средам и т. д. Однако, наряду с положительными свойствами, резиновые уплотнения имеют склонность к необратимым изменениям, являющимся результатом взаимодействия резины с внешней средой. К основным неблагоприятным факторам относятся: воздействие кислорода, приводящее к окислительным реакциям; положительная температура, обуславливающая процесс термостарения; отрицательная температура, приводящая к стеклованию резин и невозможности эксплуатации при пониженных температурах; агрессивная среда, приводящая к химическому разрушению резины.

Основным показателем, характеризующим работоспособность уплотнительных колец, является относительная остаточная деформация сжатия \sum_{ocm} , определяемая по ГОСТ 9.029 - 74 «Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Методы испытаний на стойкость к старению под действием статической деформации сжатия» расчётным путём по результатам измерения параметров сечения колец после снятия деформации сжатия:

$$\sum_{ocm} = \frac{h_0 \square h_2}{h_0 \square h_1}, \quad (1)$$

где: h_0 , h_1 , h_2 – характерные параметры сечения уплотнения до деформации, в деформированном состоянии и после снятия деформации, соответственно.

По своей сути \sum_{ocm} отражает невосстановимую часть деформации, которая накопилась в процессе эксплуатации кольца в деформированном (сжатом) состоянии. Согласно ГОСТ 9.713-76 «Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Методы прогнозирования изменения свойств при термическом старении предельное значение \sum_{ocm} , при котором допускается эксплуатация уплотнений, составляет 80%.

По результатам натурного хранения и лабораторных исследований кинетики старения по показателю \sum_{ocm} для некоторых каучуков установлена двухстадийная модель процесса (два неконкурирующих процесса). Методы ускоренных испытаний на климатическое старение»:

$$\sum_{ocm} = \sum_{пред} \square \otimes_1 \exp(\square K_1 |) \square \otimes_2 \exp(\square K_2 |), \quad (2)$$

$$K_1 = K_{01} \exp\left\{ \square \frac{E_1}{RT} \right\}, \quad K_2 = K_{02} \exp\left\{ \square \frac{E_2}{RT} \right\},$$

где: $\sum_{ост}^{пред}$ - предельное значение $\sum_{ост}$; \odot_1 , \odot_2 - коэффициенты, характеризующие стадии процессов, $\odot_1 + \odot_2 = \sum_{ост}^{пред}$; K_1 и K_2 - константы скорости двух

неконкурирующих процессов; E_1 , E_2 - энергии активации процессов; R - универсальная газовая постоянная; T - температура; t - время.

Ускоренные испытания уплотнений проводятся с целью оценки их работоспособности в течение срока службы РД в более короткие сроки. При этом имитируется деформированное состояние уплотнений в имитаторах посадочных мест, комплекс климатических внешних воздействующих факторов и проводится проверка герметичности давлением, равным рабочему при функционировании изделия. Воспроизводятся следующие климатические факторы, воздействующие в течение жизненного цикла изделия: повышенная температура, пониженная температура, перепады температур (сезонные, суточные, при транспортировании), термостарение. Проверка герметичности проводится как при положительной температуре, так и при отрицательной, в случае, когда функционирование изделия возможно при температуре ниже нуля.

Продолжительность режима термостарения определяется из условия равенства глубины изменения свойств характерного показателя $\sum_{ост}$ при термостарении в реальных (натурных) условиях эксплуатации и в имитируемых условиях эксплуатации при ускоренных испытаниях:

$$\sum_{ост} = \sum_{ост}$$

(3)

Зависимость для расчёта продолжительности режима термостарения получается подстановкой в выражение (3) соответствующих соотношений для $\sum_{ост}$ вида (2). При этом в качестве температуры принимается: для условий ускоренных испытаний - температура испытаний, для условий натурной эксплуатации - эквивалентная температура, определяемая по ГОСТ 9.707.

Таким образом, изложенные методические подходы позволяют оценить работоспособность уплотнений в течение сроков службы РД по результатам исследования деформативных свойств после ускоренных испытаний и натурной эксплуатации в составе РД. Расчётные оценки по формуле (2) позволяют с достаточной долей уверенности прогнозировать сохранение работоспособности уплотнений.