

УДК 624.046.3

Расчет напряженно-деформированного состояния и оценка потери устойчивости двухслойного кольца при охлаждении до криогенных температур

Егоров Антон Витальевич

antegor177@mail.ru

Васильев Федор Алексеевич^(*)

fedorxx@inbox.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проведен расчет напряженно-деформированного состояния двухслойного кольца, состоящего из алюминиевой оболочки, слоя теплоизоляции (пенопласта) и клеевого соединения между ними. Пенопласт приклеен на алюминиевую оболочку снаружи. Проведено исследование нелинейного поведения алюминиевого кольца в процессе равномерного охлаждения двухслойной конструкции до криогенных температур. Расчеты показали, что алюминиевое кольцо теряет устойчивость с образованием отслоений от теплоизоляционного покрытия вблизи технологического отклонения.

Ключевые слова: двухслойное кольцо, температурные деформации, потеря устойчивости, метод конечных элементов, отслоения теплоизоляционного покрытия

Введение. В настоящее время разработка криогенных топливных систем представляет актуальность, поскольку планируется применение кислород-водородных разгонных блоков. Основным элементом для хранения криогенного компонента топлива является топливный бак. В связи с экстремально низкими температурами эксплуатации, к баку предъявляется ряд требований, связанных с поддержанием необходимой температуры, обеспечением герметичности, а также сохранением прочности и устойчивости конструкции в условиях эксплуатации [1].

В процессе охлаждения двухслойной конструкции бака происходит отслоение алюминиевой оболочки от пенополиуретана и возникает воздушный зазор, снижающий эффективность теплозащиты бака.

Материалы и методы; результаты. В данной работе ставится задача оценить на примере двухслойного кольца возможность расслоения за счет разных коэффициентов линейного температурного расширения и локальной потери устойчивости металлического кольца в результате частичного разрушения клеевого слоя. Принимается допущение о наличии технологического отклонения [2] в металлическом кольце в виде участка с уменьшенной толщиной. Это ведет к образованию неоднородных деформаций и локальной потере устойчивости во время равномерного охлаждения конструкции с 293 К до 20 К [3, 4].

Расчет проводится методом конечных элементов с использованием твердотельных конечных элементов в динамической постановке; контакт между металлическим и теплоизоляционным кольцами в зоне разрушенного клеевого слоя принят с односторонней связью типа SURFACE_TO_SURFACE.

Расчет подтвердил локальную потерю устойчивости алюминиевого кольца и появление воздушного зазора при охлаждении конструкции.

Заключение. Исходя из результатов, полученных для двухслойного кольца, можно сделать вывод о том, что тонкостенная обечайка криогенного топливного бака аналогичным образом может локально терять устойчивость, в результате чего снизится несущая способность бака, а также возникнут отслоения теплоизоляционного покрытия, которые приведут к нарушению температурного режима криогенного компонента топлива. Для предотвращения подобного явления, необходимо применить дополнительные конструктивные решения, например, использовать упругую сдавливающую сетку или слой композитного материала. Сдавливание дополнительным упругим слоем не допустит разрушения клеевого соединения в местах больших радиальных перемещений металлической оболочки.

Список источников

- [1] Мишин В.П., Карраск В.К., ред. *Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов*. Москва, Машиностроение, 1991, 416 с.
- [2] Егоров А.В., Егоров В.Н. Устойчивость нагретого кольца в жесткой обойме. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2019, № 3, с. 62–77.
<https://doi.org/10.18698/0236-3941-2019-3-62-77>
- [3] Юранев О.А. Исследование различных способов захолаживания криогенных топливных баков изделий ракетно-космической техники. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2018, № 3, с. 50–57.
<https://doi.org/10.18698/0236-3941-2018-3-50-57>
- [4] Лукьянова Э.А., Сулягин Е.В., Сухачева О.В., Сыровец М.Н., Тупицын Н.Н., Федоров В.И., Хаспеков В.Г. *Способ заправки жидким водородом топливного бака ракетно-космической системы*. Патент № 2284951 РФ, 2006.