

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ УУКМ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ДЕФЕКТАМИ

МЕДВЕДСКИЙ Александр Леонидович – Московский авиационный институт (государственный технический университет), доцент, к.ф.-м.н.
140002, Московская область, г. Люберцы, ул. Колхозная, д.2, кв.2; тел. 7-903 712-77-16

Aleksandr L. MEDVEDSKIY – Moscow Aviation Institute (State Technical University), associate professor, candidate of science
140002, Moscow region, Lyubertsy, Kolhoznyaya, 12-26; phone: 7-903 712-77-16.

КУРБАТОВ Алексей Сергеевич – Московский авиационный институт (государственный технический университет), аспирант
125635, г. Москва, ул. Ангарская, д.4, кв. 182; тел.: 7-963-648-73-62

Alexey S. KURBATOV – Moscow Aviation Institute (State Technical University), postgraduate
125635, Moscow, Angarskaya, 4-182; phone.: 7-963-648-73-62

Предложена методика расчета сопловых вкладышей, выполненных из УУКМ, с наличием трещины, полученной в процессе производства. Построена математическая модель испытания, проводимого с вкладышами. По результатам испытаний и математическому моделированию получены параметрические зависимости критической нагрузки от характерных размеров конструкции.

The article offers the generalized approach towards software modeling which is based on interaction graph. The given approach allows to define notation and to represent a software system according to set notation. Notation can be extended to promote detailed description. Interaction graph provides the combined usage of different models without any restriction on technologies applied during software development. The explanation how this approach can be used to represent a software system in different notations is also described in the article.

Ключевые слова: углерод-углеродные композиционные материалы, численные методы, осесимметрическая постановка.

Key words: carbon-carbon composite materials, numerical methods, axisymmetric formulation.

1. Описание исследуемой конструкции

Успешному развитию ракетных двигателей способствуют новые технологические и конструкционные решения: применение зарядов твердого горючего «коврового» типа, неохлаждаемых корпусов и сопловых блоков двигательных установок, изготовленных из стеклопластиковых и композиционных материалов и др.

В статье рассматривается прочностной расчет укороченного соплового вкладыша, выполненного из УУКМ, а также проводится математическое моделирование статического испытания вкладыша с учетом трещины. На рис. 1 представлен внешний вид исследуемого вкладыша. Вкладыш представляет собой коническую конструкцию переменной толщины, которая выполнена методом намотки. Передний и задний торцы усилены дополнительной подмоткой углеродной ткани.

На первом этапе проводилось статическое испытание данной конструкции. В качестве внешнего воз-

действия на вкладыш в осевом направлении прикладывалась сжимающая сила, и во внутренней полости создавалось избыточное давление в 1 атм. Осевая сила создавалась с помощью винтового устройства. В результате статических испытаний при действии осевой силы 5330 Н произошло разрушение вкладыша.



Рис. 1

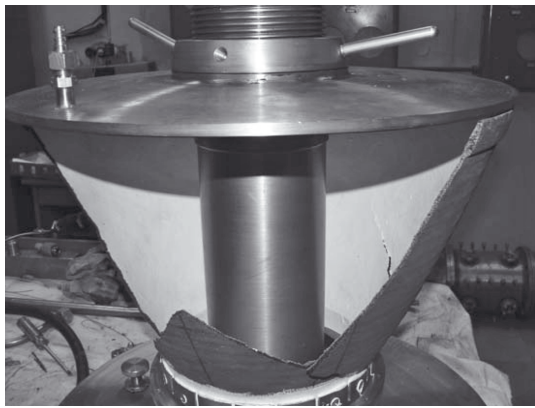


Рис. 2

На рис. 2 показан разрушенный вкладыш, винтовой механизм, создающий осевую нагрузку, и воздушный клапан, через который во внутреннюю полость подавался воздух, создающий избыточное давление. Анализ элементов вкладыша после испытаний показал, что конструкция содержала технологический дефект в виде продольной трещины длиной порядка 10 см.

В процессе математического моделирования была произведена оценка влияния трещины на прочность соплового вкладыша. Математическое моделирование проводилось средствами программного комплекса MSC PATRAN/NASTRAN на геометрической модели без трещины и с продольной трещиной 10 мм. В результате моделирования предполагалось получить

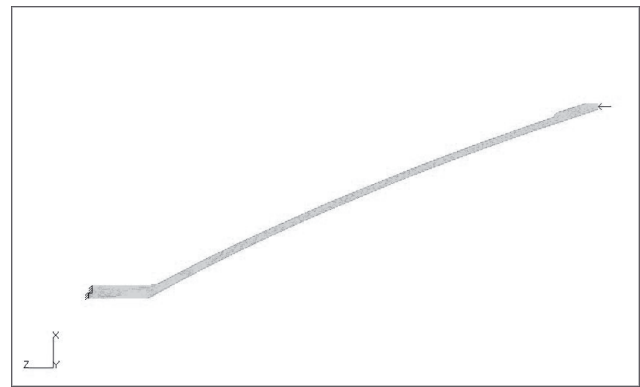


Рис. 3

значения потерь несущей способности конструкции при различных толщинах вкладыша.

2. Осесимметричная постановка задачи

В программном комплексе Nastran/Patran 2004 была построена конечно-элементная модель соплового вкладыша в осесимметричной постановке. Модель состоит из 4241 плоского треугольного элемента. На рис. 3 представлен общий вид и граничные условия.

Вкладыш жестко зашпемлен по левому торцу. К правому торцу приложена сжимающая в 5330 Н.

На рис. 4 и 5 представлены поля перемещений и напряжений по Мизесу в зоне подмотки.

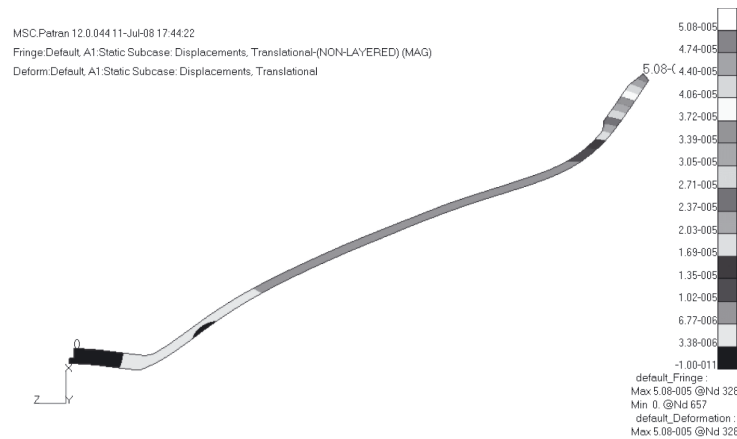


Рис. 4

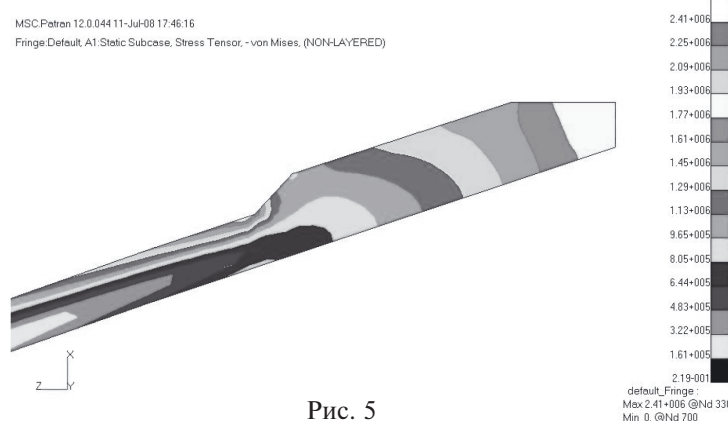


Рис. 5



Рис. 6

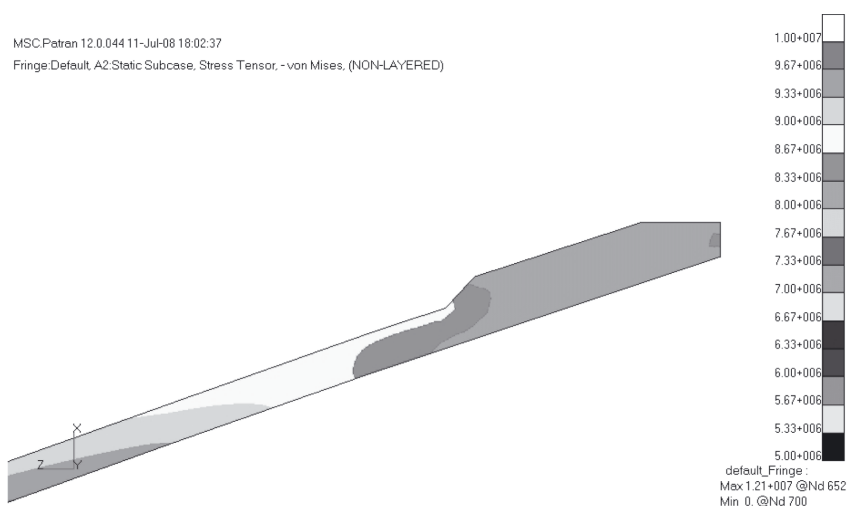


Рис. 7

Также рассматривалась задача в расширенной постановке. В этом случае вкладыш жестко зашпемлен по левому торцу. К внутренней стороне приложено давление в 100000 Па. К правому торцу приложена сжимающая в 5330 Н.

На рис. 6 и 7 представлены поля перемещений и напряжений по Мизесу в зоне подмотки.

3. Моделирование трещины

Для моделирования вкладыша с трещиной возникла необходимость построения трехмерной модели. Вкладыш моделировался плоскими многослойными четырехузловыми элементами. Моделирование трещины осуществлялось удалением из модели соответствующих конечных элементов. На рис. 8 представлен общий вид конечно-элементной модели с дефектом.

Модель имеет граничные условия и нагрузки, аналогичные осесимметричному случаю. На

рис. 9 показано поле напряжений по Мизесу в зоне трещины.

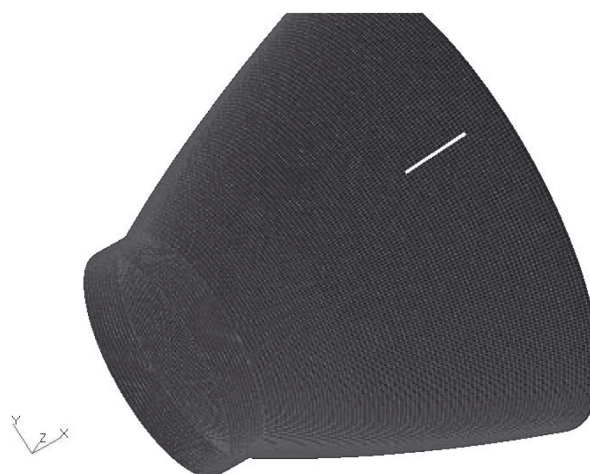


Рис. 8

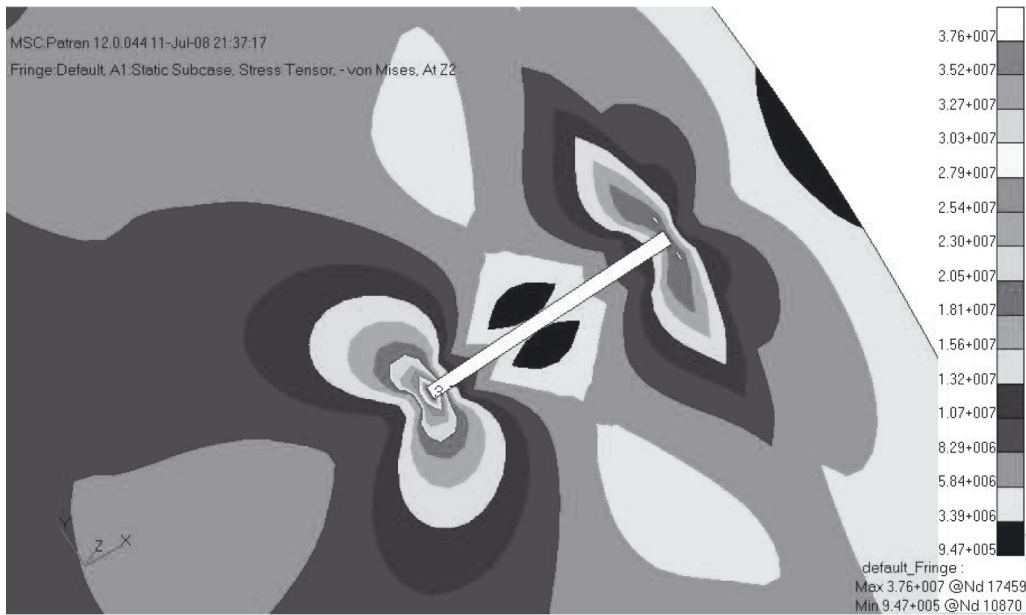


Рис. 9

4. Анализ результатов

Конечно-элементное моделирование осуществлялось для двух моделей с различными толщинами. На рис. 10 представлен график сравнения решений для моделей с трещиной и без.

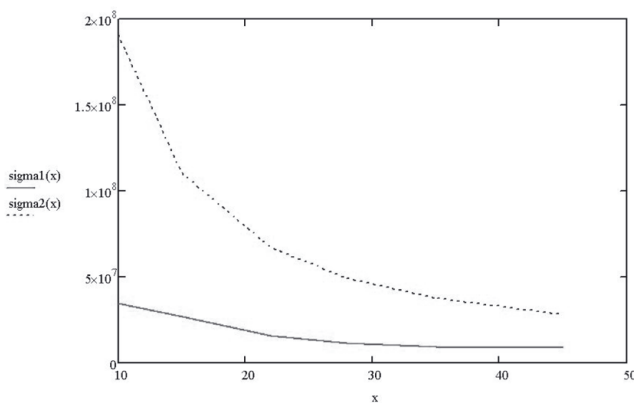


Рис. 10

На графике сплошной линией представлены значения эквивалентных напряжений в модели без трещины, пунктирной линией — в модели с трещиной в зависимости от толщины. Как следует из графика, при

увеличении толщины вкладыша разность максимальных напряжений уменьшается. Однако в диапазоне толщин от 1 мм до 2,5 мм указанная разность в напряжениях увеличивается в 10 раз. Эта разница и привела к разрушению при испытаниях образца.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта № 09-01-00731-а) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (код проекта П-422(8)).

Библиографический список

1. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.
2. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC.visualNastran for windows. — М.: ДМК Пресс, 2004.
3. Композиционные материалы: Справочник/В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин и др.; Под общ. ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. — М.: Машиностроение, 1990.

Московский авиационный институт
(государственный технический университет)