

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ОБРЫВА СЕКТОРА РАБОЧЕГО КОЛЕСА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Маслова И.Л., Кузьмин М.И., Шенгалъс А.А., Себелев А.А.
ФГАОУ ВО «СПбПУ», г. Санкт-Петербург, maslova_il@spbstu.ru

Ключевые слова: виртуальный испытательный стенд, динамические испытания, прочностные испытания, обрыв сектора рабочего колеса.

Моделирование виртуальных динамических испытаний, в частности обрыва лопатки или сектора рабочего колеса газотурбинного двигателя (ГТД), является трудоёмким процессом подготовки данных и проведения расчётов [1]. Для данного вида испытаний требуется использование высокоадекватных математических моделей, способных с высоким уровнем точности описать поведение конструкций на опасных режимах работы. Одним из важнейших факторов, влияющим на адекватность модели, являются свойства материалов, которые должны учитывать зависимость прочностных свойств от температуры и скоростей деформации, характерных для высоких скоростей деформации при соударении [2].

Целью настоящей работы является анализ и сравнение подходов к моделированию материалов для виртуальных высокоскоростных прочностных испытаний на разрушение части рабочего колеса осевого компрессора ГТД.

Инженерами Центра компетенций НТИ «Новые производственные технологии» разработана полномасштабная модульная структура конечно-элементной модели ГТД для динамических виртуальных испытаний. Приведённая частота вращения ротора турбокомпрессора достигает 107%. Виртуальные испытания выполнены с помощью системы конечно-элементного анализа LS-DYNA на базе цифровой платформы разработки и применения цифровых двойников CML-Bench®.

Расчёты сектора рабочего колеса проведены для первой ступени осевого компрессора для двух наборов параметров математических моделей материалов. В первом случае использовались параметры математических моделей, определённых при валидации по результатам натуральных квазистатических испытаний на растяжение. Во втором случае параметры математических моделей дополнены зависимостью от скорости деформации для описания поведения материалов при высокоскоростном нагружении.

На рис. 1 представлены результаты моделирования обрыва сектора ротора, составляющего одну треть для первой ступени осевого компрессора, для двух вариантов параметров математических моделей материалов.

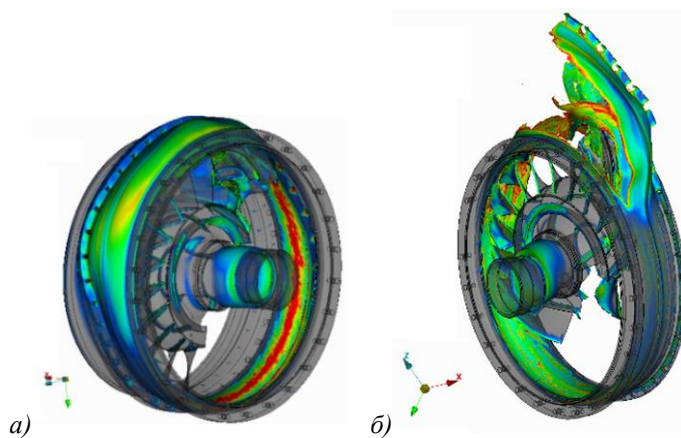


Рисунок 1 – Распределение эквивалентных пластических деформаций в рабочем колесе первой ступени осевого компрессора в конце расчёта обрыва сектора при использовании математических моделей материалов:

а – валидированных по квазистатическому одноосному растяжению,

б – дополненные зависимостью от скорости деформации

Из результатов моделирования обрыва сектора рабочего колеса первой ступени осевого компрессора следует, что учёт зависимости параметров математических моделей материалов от скорости деформации принципиально влияет на результат динамических испытаний. При использовании математических моделей материалов, валидированных по результатам квазистатических испытаний, материалы проявляют повышенную пластичность, что выражается в повышенных деформациях статорных деталей и малыми областями разрушения элементов. При учёте зависимости параметров математических моделей материала от скорости деформации наблюдается повышение жёсткости конструкции, что, в свою очередь, приводит к тому, что вылетающие фрагменты сектора рабочего колеса пробивают корпус.

В результате анализа подходов к созданию математических моделей материалов рекомендуется проводить натурные высокоскоростные испытания материалов. Например, испытания можно провести на установке разрезного стержня Гопкинсона-Кольского [3]. По результатам испытаний, необходимо уточнять и валидировать математические модели материалов.

Список литературы

1. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. ОАО «Авиадвигатель». Пермь: 2006. 398 с.
2. Kelly Carney, Paul Du Bois, Kivanc Sengoz, Leyu Wang, Cing-Dao Kan. Development of a generalized Yield surface for isotropic, pressure-insensitive metal plasticity with differing tension, compression and shear Yield strengths. Final Report. U.S. Department of transportation, Springfield, 2020. 141 p.
3. S.T. Marais, R.B. Tait, T.J. Cloete and G.N. Nurick. Material testing at high strain rate using split Hopkinson pressure bar. Latin American J. of Solids and Structures 1(3), 2004. 319-339 p.

Сведения об авторах

Маслова И.Л., инженер, Центр НТИ СПбПУ. Область научных интересов: статическая и динамическая прочность, топологическая оптимизация.

Кузьмин М.И., инженер, Центр НТИ СПбПУ. Область научных интересов: динамическая прочность, оптимизация.

Шенгалъс А.А., ведущий инженер, Центр НТИ СПбПУ. Область научных интересов: атомное и общее машиностроение.

Себелев А.А., к.т.н., начальник отдела перспективных разработок в двигателестроении, ПИШ СПбПУ. Область научных интересов: газовая динамика, тепломассообмен в газотурбинных двигателях.

STUDY TO DEVELOPE MATERIAL MODEL FOR TURBINE ENGINE ROTOR FRAGMENT CONTAINMENT

Maslova I.L., Kuzmin M.I., Shengals A.A., Sebelev A.A.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia,
maslova_il@spbstu.ru

Keywords: virtual test bench, dynamic test, strength test, fan case containment test.

This study presents an analysis and comparison of material model approaches for turbine engine impeller fragment containment. Tests were carried out for two material models. The first material model is validated for quasi-static uniaxial tension, and the second material model is supplemented with a dependence on the strain rate. In the first case, plasticity and deformation are enlarged, and element destruction occurs in a small area. In the second case, the model rigidity is increased so the impeller fragments break the case. As a result, taking into account the material model dependence on the strain rate fundamentally affects the containment test results.