

## ИСПЫТАНИЕ ТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЗАЩИТЕ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Дударев А.С., Кускова С.Д. (ПНИПУ, г. Пермь, Россия)  
Тел. +7(342)-239-12-24; E-mail: [ktn80@mail.ru](mailto:ktn80@mail.ru)

**Abstract:** *The problem of experimental testing of anti-ballistic woven materials. The method of testing at high-speed impact of woven aramid fibers. Represented industrial equipment for ballistic testing of samples of tissue.*

**Key words:** *high velocity impact, ballistics, anti-ballistic material, woven material, aramid fiber, blade, striking the element, the shield.*

Одной из важных задач в современном авиационном двигателестроении является защита корпуса авиационного двигателя от внутренних механических повреждений, вызванных обрывом лопаток ротора [1].

Существует два известных подхода к решению задачи защиты корпуса. В первом случае это использование толстостенного корпуса вентилятора из сплавов титана и др. Во втором случае задача решается, за счёт применения комбинированного тканого корпуса вентилятора из легких сплавов (алюминий, титан) с добавлением нитей высокомодульных волокон. Конструкции второго типа допускают прохождение лопатки через алюминиевый (титановый) компонент, а затем происходит удержание лопатки в оболочке из волокон, причём существуют конструкции защитных оболочек, как с использованием отдельных не переплетенных непропитанных нитей, так и переплетенных в виде ткани [2].

Примером использования тканой защиты корпуса в конструкции двигателя служит двигатель США AS907 корпорации Honeywell [3]. Конструкция защитной обшивки вентилятора включает в себя многослойные тканые материалы (рис.1).



Рис. 1. Турбовентиляторный двигатель с тканой защитой модели AS907, корпорации Honeywell

В связи с уникальными прочностными свойствами арамидных волокон [4], является перспективным использование таких тканых материалов в защите от

поражающих элементов. Но без соответствующих испытаний по определению механических свойств невозможно рассчитать и смоделировать взаимодействие материала с поражающим элементом. Поэтому, на сегодняшний день, актуальной задачей является исследование поведения ткани при высокоскоростном ударе.

С целью выполнения защиты авиационного двигателя от внезапного обрыва лопатки, необходимо выполнить комплекс работ, включающий:

- уточнение исходных данных о скорости и массе поражающего элемента;
- определение методики испытаний с целью получения характеристик монослоя или отдельных арамидных волокон при высокоскоростном ударе;
- моделирование высокоскоростного удара;
- проведение верификационных экспериментов высокоскоростного удара;
- проектирование конструкции тканой защиты, с проработкой способов закрепления тканых материалов с корпусом газотурбинного двигателя (ГТД);
- изготовление тканой защиты.

Современные ГТД имеют колеса диаметром около 2 м с лопатками, развивают угловую скорость 5000 об/мин, что означает, линейная скорость лопатки при случайном обрыве может достигать 513 м/с.

Методику испытаний баллистических материалов и кривые деформирования при различных скоростях (рис. 2), можно рассмотреть на примере испытаний бронезилетов и бронепакетов [5].

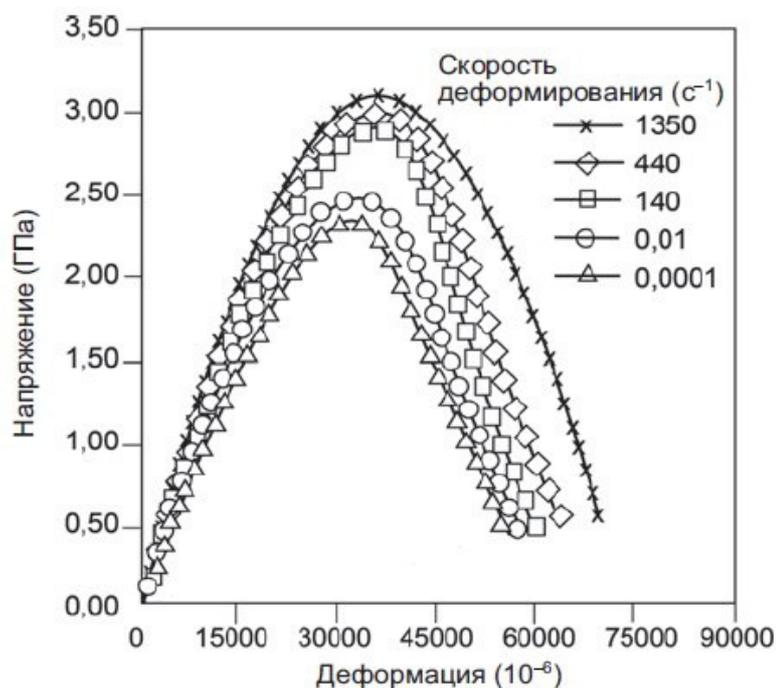


Рис. 2. Диаграмма напряжение-деформация при различных скоростях деформирования

Бронематериал, согласно [5] испытывают с помощью испытательной пушки ANSI. Скорость поражающего элемента (пули) определяют при помощи двух независимых часов (хронометров), синхронизированных с фотоэкранами [5], и скоростью считают среднее значение полученных значений. Для определения положения в пространстве, используется скоростная видеосъемка. Видео позволяет определить положение тела в определенный момент времени в определенном месте

траектории, позволяет наблюдать в динамике взаимодействие тел, а так же позволяет определять скорость движения тела на видимом участке траектории.

В работе [6] приводится описание экспериментов баллистических испытаний, в котором для моделирования полета поражающего элемента использована пушка, а измерение остаточной скорости проводится с использованием фрикционного гасителя. При попадании в него поражающего элемента гаситель смещался на некоторое расстояние в соответствии с законами сохранения импульса, энергии и сухого трения.

В США баллистические испытания проводятся с использованием газовой пушки – установки NASA [7,8], обстреливание происходит стальным поражающим элементом по кольцу, обмотанному кевларовой нитью. Весь ход испытания фиксируется с помощью высокоскоростных камер. Объем газовой пушки  $0.35 \text{ м}^3$ , длина ствола 12.2 м, с внутренним диаметром 20.32 см. Поражающий элемент представляет собой прямоугольник из нержавеющей стали, 10,2 см длиной 5,1 см с высотой 0,8 см, с массой 320 г. В качестве газа-вытеснителя используется гелий.

Стенд в ПНИПУ (РФ, г. Пермь) [9], позволяет моделировать высокоскоростные удары различными поражающими элементами (стальной шар, кусок льда, биоматериалы) по образцам из различных материалов.

Для определения характеристик арамидных тканей была разработана методика испытаний в лабораторных условиях на базе вышеуказанного стенда. Стенд включает в себя: пневматическую пушку, высокоскоростные камеры, хронометр, защитный экран, поворотный стол, общий вид стенда приведен на рис. 3. Для испытания тканых высокомодульных материалов авторами разработана технологическая оснастка, которая дополняет и расширяет возможности стенда.

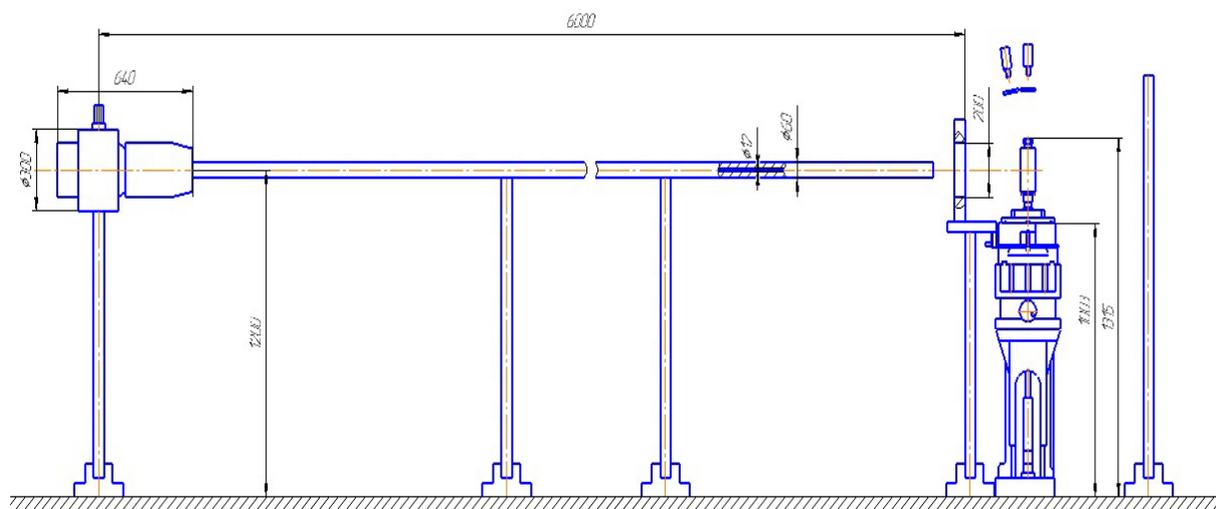


Рис. 3. Схема установки испытаний

Для образцов тканых материалов размерами полос шириной 160 мм спроектированная технологическая оснастка устанавливается на поворотный стол и представляет собой приспособление для закрепления тканых образцов. Приспособление состоит из двух стоек с барабанами. В приспособлении на каждый барабан образец ткани наматывается и закрепляется с помощью клиньев. Болты служат для фиксации барабана в определенном положении, после закрутки динамометрическим ключом предварительного натяжения испытуемого образца материала на необходимый крутящий момент.

Момент удара фиксировался с помощью трёх высокоскоростных видеокамер NEC. Видеокамеры устанавливались таким образом (одна сверху, над образцом в технологической оснастке, другая сбоку под углом к вектору скорости поражающего элемента), чтобы запечатлеть величину деформации по приложенному рядом мерительному инструменту. После дифференцирования перемещений были построены графики зависимости напряжения от деформации, при различных скоростях деформации.

Такие данные необходимы при проектировании тканой защиты новых авиационных двигателей при назначении толщины и количестве слоев тканых материалов, а также в ходе верификационных работ.

**Список литературы:** 1. Авиационные правила. Часть 33. Нормы летной годности двигателей воздушных судов / Межгосударственный авиационный комитет. М.: Авиаиздат, 2004. – 48 с. 2. Крундаева А.Н. Разработка метода расчёта удержания оборвавшейся лопатки ГТД комбинированным корпусом с намоткой из непропитанных арамидных нитей // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Рыбинск.: Рыбинский гос. авиационный техн. ун. им. Соловьёва П.А., 2014. – 16 с. 3. William, J. Model simulation for ballistic tests, engine fan blade-out, and generic engine [Текст] / The FAA J. William Hughes Technical Center COTR was Donald Altobelli // Explicit finite element modeling of multilayer composite fabric for gas turbine engine containment systems: Reha Gomuc, 2003. – part 4. P. 32-36; 4. Чу Т.-В., Ко Ф. «Тканые конструкционные композиты», 1991 г. С. 3-15, 24-30. 5. Бхатнагара А. Легкие баллистические материалы // М: Техносфера, – 2011. – 392 с. 6. Долганина Н.Ю. Оценка баллистического предела и прогиба многослойных тканевый пластин при ударе индентором // Вестник ЮУрГУ, № 10, 2010. С. 2-3. 7. Rajan, S.D. Explicit Finite Element Analysis Modeling of Multilayer Composite Fabric for Gas Turbine Engine Containment Systems [Текст] / S.D. Rajan, B. Mobasher, S. Sankaran, D. Naik, and Z. Stahlecker // Phase II, Part 1: Fabric Material Tests and Modeling, FAA report, DOT/FAA/AR-08/37,P1. – 2009. – С. 214-241; 8. Rajan, S.D. Explicit finite element modeling of multilayer composite fabric for gas turbine engine containment systems / S.D. Rajan, B. Mobasher, Z. Stahlecker, S. Bansal, D. Zhu, M. Morea and K. Dhandapani // Phase III, part 2: 129 Arizona state university fabric material tests. – 2011. – 560 с.; 9. Нихамкин М.Ш., Воронов Л.В., Любчик О.Л. Моделирование методом сглаженных частиц повреждения посторонними предметами полый лопатки вентилятора газотурбинного двигателя // «Труды МАИ». Выпуск № 71, 2013. С. 1-21.