

УДК 629.7.067:629.7.036.3-19:669.018

А.А. СЕРГЕЕВ, В.Т. ШЕПЕЛЬ

ОАО «НПО «Сатурн», Рыбинск, Россия

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КОМПОЗИТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ АВИАЦИОННОГО ГТД

Представлены результаты экспериментальных исследований по определению оптимальной конструкции акустических панелей авиационного газотурбинного двигателя (ГТД) из композиционного материала на основе оценки их повреждаемости посторонними предметами. Проведен анализ требований АП-33, CS-E в части защиты от посторонних предметов, таких как град, лед. Для решения поставленной задачи использовались несколько образцов панелей с различной конструкцией обшивки из стеклопластика по количеству слоев препрега, расположения волокон стекловолокна и толщины сотовой конструкции. Методика проведения эксперимента заключалась в обстреле с различными скоростями панелей шариком льда диаметром 25 мм.

Ключевые слова: авиационный двигатель, ударная нагрузка, акустические панели, композиты.

Введение

Важнейшим вопросом, решаемым при создании нового двигателя, является обоснование выбора оптимальных по характеристикам прочности, технологичности и эксплуатационным свойствам конструкционных материалов для деталей ГТД, обеспечивающих достижение заданных параметров двигателя при одновременном повышении надежности и ресурса. Применение композиционных материалов является одним из наиболее инновационных и перспективных методов создания компонентов современного газотурбинного двигателя. Композиты находят применение в тех случаях, когда потребности в высокой прочности и значительном техническом ресурсе должны сочетаться с минимальной массой двигателя. Создание таких конструкций стало возможным благодаря успехам в области комбинирования свойств материалов путем выбора способа выкладки препрега и различных методов его дальнейшей обработки давлением и температурой.

Нормы летной годности АП-33, CS-E предъявляют жесткие требования к повреждаемости элементов двигателя посторонними предметами [1, 2]. Акустические звуковые панели особенно подвержены воздействию небольших камней, града и льда, срывающегося с замковых соединений лопаток вентилятора и кока. В связи с этим демонстрация соответствия достаточной прочности панелей по непробиваемости является одним из обязательных требований при сертификации. Поскольку теоретические способы оценки влияния ударного воздействия на акустическую панель из композиционных материалов отсутствуют, то **целью настоящей работы** яв-

ляется обобщение опыта проведения натурных испытаний по выбору наиболее рациональной конструкции панелей в части стойкости к попаданию посторонних предметов.

1. Объекты испытаний

Акустическая панель состоит из трех слоев: две обшивки из стеклопластика, между которыми находится слой из алюминиевых сот. Внутренняя обшивка звукопоглощающей панели, воспринимающая ударное воздействие постороннего предмета, перфорирована и имела различное количество слоев у различных образцов. Перфорация применяется с целью усиления шумоглушающих свойств акустических панелей. Внешняя обшивка для всех образцов имела три слоя стеклопластика и не была перфорирована.

Объектом испытаний являлись фрагменты акустических панелей размером $200 \times 200 \times 16$ с допуском $\pm 0,5$ мм. Кроме этого испытываемые образцы имели следующие отличия:

– часть образцов не имела перфорации на внутренней обшивке;

– часть панелей имела структуру с направлением волокон стеклопластика внутренней обшивки $90^\circ \times 0^\circ$, другая $90^\circ \times 45^\circ \times 0^\circ$.

Слой стеклоткани выкладывались следующими способами:

1. Направление волокон всех слоев чередуется с поворотом на 90° (рис. 1, а).

2. Направление волокон чередуется с поворотом на 45° (рис. 1, б).

Образцы также различались количеством слоев стеклопластика внутренней обшивки: 3, 6 и 9 слоев.

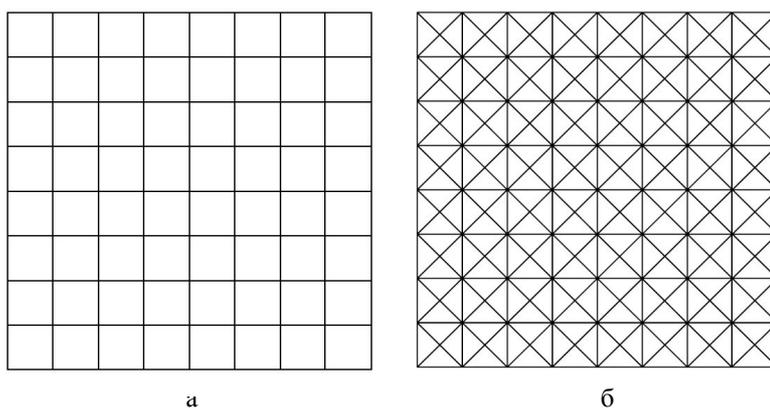


Рис. 1. Схема расположения направления волокон стеклоткани
а – $90^\circ \times 0^\circ$; б – $90^\circ \times 45^\circ \times 0^\circ$

2. Экспериментальная часть

Испытательная установка представляла собой пневматическую пушку, снабженную необходимым оборудованием для осуществления выстрела шариком льда диаметром 25 мм в образец, жестко зафиксированный в приспособлении. Указанный шарик льда позволяет в эксперименте получать предельные значения кинетической энергии 110 Дж, соответствующие максимальной кинетической энергии,

воспринимаемой акустической панелью при попадании града или льда в двигатель в эксплуатационных условиях.

Образец устанавливался на приспособление таким образом, чтобы расстояние между наружной поверхностью образца и установочной плоскостью приспособления было равным $2,5 \pm 0,3$ мм. Конструкция устройства для закрепления позволяет обеспечить нужный угол положения образцов по отношению к выстрелу (рис. 2).

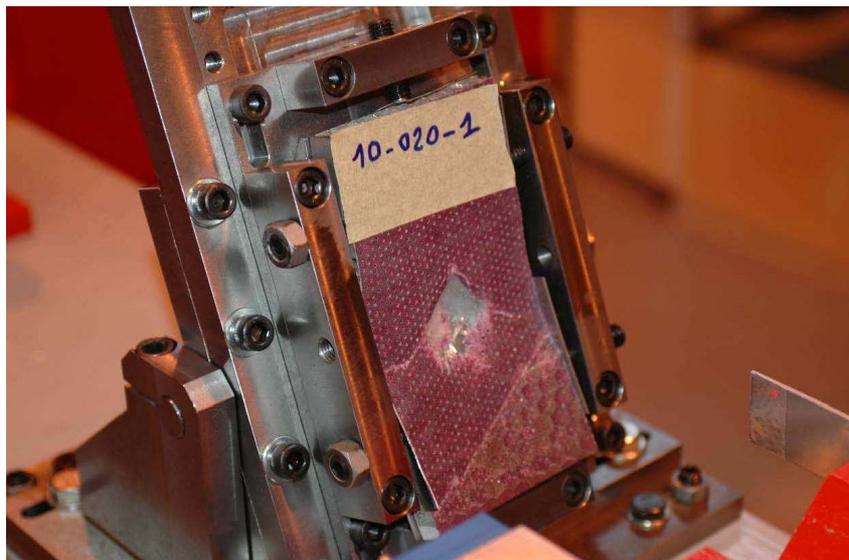


Рис. 2. Разрушенная акустическая панель после испытаний

Порядок проведения испытаний был следующим:

- образец устанавливался под углом 45 градусов (угол попадания льда, который срывается от кока, или от лопаток вентилятора при работе двигателя) к оси пушки;
- выстрелы производились в центр образца;
- выстрелы выполнялись ледяными шариками массой 10 грамм с последовательным увеличением скорости от 20 до 220 м/с и контролем глубины повреждения с остановкой испытаний при достижении

максимально допустимых повреждений;

- классифицировались повреждения (вмятины, трещины) и проводился их обмер.

Всего было произведено 23 выстрела.

За параметр максимально допустимой повреждаемости принималось повреждение с глубиной вмятины большей, чем 0,5 мм. Для этого случая определялась кинетическая энергия, приводящая к такому повреждению в условиях аналогичных работы двигателя. Испытания проводились в два этапа. На первом этапе в качестве объекта испытаний использовались

акустические панели с толщиной обшивки в 3 слоя и толщиной сотовой конструкции 30 мкм, на втором этапе использовались усиленные панели с толщиной алюминиевых сот равной 40 мкм.

Для сравнения прочности акустической панели с перфорацией и без перфорации в образцы были выполнены выстрелы с одинаковой скоростью и проведена оценка полученных повреждений.

3. Обсуждение результатов

В результате проведенных экспериментов были получены следующие виды повреждений:

1. Вмятина без разрыва. Такое повреждение не влияет на прочностные свойства акустической панели, но может привести к незначительному снижению коэффициента полезного действия компрессора.

2. Вмятина без разрыва, но с подмятием слоя алюминиевых сот. Такое повреждение допускает дальнейшую эксплуатацию акустической панели.

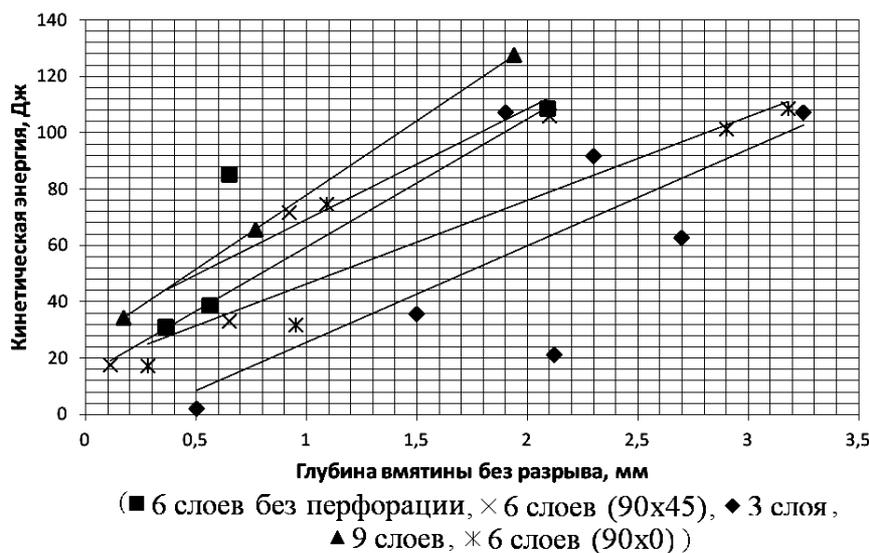
3. Вмятина без разрыва с расслоением покрытия из стеклопластика. Дальнейшее использование таких образцов может привести к разрушению слоя

стеклопластика и его попаданию в проточную часть двигателя.

4. Вмятина без разрыва с отслоением слоя стеклопластика от слоя алюминиевых сот. Допустимость данного типа повреждаемости панели зависит от площади повреждения. Большая площадь отслоения может привести к отрыву внутреннего слоя стеклопластика и разрушению панели.

5. Разрыв слоя стеклопластика с разрушением сотовой конструкции. Дальнейшее использование такой панели в эксплуатации недопустимо.

На основе полученных результатов испытаний можно сделать вывод, что все анализируемые панели независимо от наличия перфорации и количества слоев выдерживают удар шарика льда, летящего со скоростью 220 м/с, без нарушения целостности внутренней обшивки. При больших скоростях выстрела акустическая панель, получает повреждения, не допускающие ее дальнейшего использования (рисунок 2). При одинаковом количестве слоев и скорости выстрела, на панелях с перфорацией были получены вмятины большей глубины, чем на панелях без перфорации.



- 6 слоев и схемой расположения волокон $0^\circ \times 90^\circ$;
- 3 слоя стеклопластика.

Заключение

1. На основе анализа экспериментальных результатов испытаний наибольшую скорость удара, необходимую для получения повреждения с глубиной вмятины 0,5 мм, удалось достигнуть для образца сотовой панели с внутренней перфорированной 9-ти-слоистой обшивкой с ориентацией слоёв $0^\circ \times 90^\circ$, но эти панели ЗПК имеют неудовлетворительные весовые характеристики.

2. Установлено, что максимальная скорость удара при глубине вмятины 0,5 мм и при отсутствии отслоения сот от наружной обшивки достигнута для образца сотовой панели с 9-ти-слоистой перфорированной наружной обшивкой и направлением волокон $0^\circ \times 90^\circ$.

3. На всех образцах панелей после дефектации было обнаружено подмятие сотового наполнителя, независимо от скорости удара шариком льда.

4. Большое значение при разработке стойких к ударному воздействию акустических панелей имеет технологический процесс их изготовления, в кото-

ром основную роль играет применение автоклавного формирования, которое увеличивает прочностные свойства получаемых образцов, уменьшает пористость, но при этом увеличивает финансовые затраты на изготовление.

5. Важным является сочетание применяемых материалов, препрегов и клеев, обладающих необходимыми свойствами адгезии, для предотвращения отслаивания и расклеивания, и соблюдение стабильности технологического процесса при работе с ними.

6. Наилучшими свойствами в плане стойкости к ударному воздействию града и льда и приемлемыми весовыми характеристиками обладают 6-ти-слоистые с перфорированной внутренней обшивкой и направлением волокон $0^\circ \times 45^\circ \times 90^\circ$ панели.

Литература

1. *Авиационные правила, ч. 33 (АП-33). Нормы летной годности двигателей воздушных судов [Текст]. – Межгосударственный авиационный комитет (МАК), 2004. – 52 с.*

2. *Certification Specifications for Engines (CS-E) [Text]. – European Aviation Safety Agency (EASA), 2007. – 193 p.*

Поступила в редакцию 20.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Теоретическая механика и сопротивления материалов» С.А. Букатый, Рыбинским государственный авиационный технологический университет, Рыбинск, Россия.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УШКОДЖУЄМОСТІ КОМПОЗИТНИХ АКУСТИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ АВІАЦІЙНОГО ГТД

А.А. Сергеев, В.Т. Шепель

Подано результати експериментальних досліджень по визначенню оптимальної конструкції акустичних панелей авіаційного ГТД, виготовлених з композитного матеріалу на основі оцінки їх ушкоджуємості сторонніми предметами. Проведено аналіз вимог АП-33, CS-E у частині захисту від сторонніх предметів, таких як град, лід. Для вирішення поставленої задачі використовувались декілька зразків панелей з різною конструкцією обшивки із склопластику за кількістю шарів препрега, розташування волокон скловолокна та товщини сотової конструкції. Методика проведення експерименту складалась в обстрілі панелей кулькою льоду діаметром 25 мм з різними швидкостями.

Ключеві слова: авіаційний двигун, непробиваємість, акустичні панелі, композити.

EXPERIMENTAL STUDY OF DAMAGING OF COMPOSITE ACOUSTIC PANELS OF AVIATION GAS-TURBINE ENGINES

A.A. Sergeev, V.T. Shepel

Experimental results are given for optimum design of gas-turbine engine acoustic panels made from composite materials based on analysis of their damaging by foreign objects. Airworthiness standards AP-33, CS-E are reviewed with regard to protection from foreign objects such as hail, lining being different in number of prepreg layers, glass-fiber flow and honeycomb thickness. The method of testing is shooting of panels with 25 mm diameter hail stones at different velocities.

Key words: aviation engine, containment, acoustic panels, composite materials.

Сергеев Артем Андреевич – инженер конструктор КО «Компрессор» ОАО «НПО «Сатурн», Рыбинск, Россия, e-mail: artemsergeev@mail.ru.

Шепель Вячеслав Тимофеевич – начальник КО «Сертификация авиационных ГТД и промышленных ГТУ» ОАО «НПО «Сатурн», Рыбинск, Россия, e-mail: sshapel@yandex.ru.