

ПРОЧНОСТЬ И ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

УДК 629.7.03.5; 629.7.017.1

МЕХАНИЗМ РАЗВИТИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛОПАСТЕЙ ВОЗДУШНОГО ВИНТА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Небелов Е.В.^{1*}, Потоцкий М.В.^{2**}, Родионов А.В.^{2***}, Горский А.Н.¹

¹ Центр обеспечения расследования авиационных происшествий госавиации
Центрального научно-исследовательского института ВВС МО РФ,
ЦОРАП, ул. Аэродромная, 3, к.5, Щелково, Московская обл., 141103, Россия

² Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

* e-mail: nebelov77@mail.ru

** e-mail: pmv1973@yandex.ru

*** e-mail: samolet31@rambler.ru

Рассматривается механизм развития повреждения материала по толщине лопасти воздушного винта из композиционных материалов в результате воздействия высокоскоростных твердых частиц. Представлены результаты экспериментов, полученные при исследовании ударной стойкости лопастей АВ-112 воздушного винта силовой установки военно-транспортного самолета Ил-112.

Ключевые слова: лопасть воздушного винта, боевые повреждения, поражающие элементы, композиционный материал.

Введение

В настоящее время в эксплуатации находятся самолеты, оснащённые турбовинтовыми (ТВД) и турбовинтовентиляторными (ТВВД) двигателями. Достижения в авиационном материаловедении позволили осуществить переход от воздушных винтов (ВВ) с металлическими лопастями к ВВ и винтовентиляторам (ВВе) с лопастями из композиционных материалов, которые находят широкое применение в конструкции перспективных силовых установок летательных аппаратов. Применение ВВ и

ВВе такой конструкции позволяет при сохранении прочностных характеристик лопастей существенно снизить вес силовой установки (СУ) и воздушного судна (ВС) в целом.

Повреждений лопастей воздушного винта из композиционных материалов

Лопасть ВВ и ВВе из композиционного материала представляет собой многокомпонентную многослойную конструкцию, которая воспринимает весь спектр эксплуатационных нагрузок. Как изве-

стно, в эксплуатации элементы конструкции ВС, в том числе СУ, могут быть повреждены посторонними предметами (ПП). Такими ПП являются предметы аэродромной засоренности (камни, куски бетона и битума и т.п.), птицы, а для ВС, которые эксплуатируются в районе боевых действий, — ещё и поражающие элементы боеприпасов (снаряды, пули, осколки).

Боевые повреждения изделия военной техники вызываются воздействием на него оружия противника и сопутствующих факторов. В результате воздействия поражающих элементов боеприпасов на элементы конструкции ВС возникают как одиночные, так и множественные боевые повреждения следующих видов: сквозные (перебитие, пробоина, сквозная трещина), поверхностные (скол, кратер, откол, выбоина, несквозная трещина, царапина), подповерхностные (внутренняя трещина, расслоение).

Механизм возникновения и развития боевого повреждения элементов конструкции ВС, выполненных из металла, может быть представлен в общем случае следующим образом. В момент соударения средства поражения с обшивкой в материале детали возникают ударные волны, распространяющиеся в толщу материала. В результате резкого торможения поражающего элемента (пуля, снаряд, осколок) и давления ударной волны в материале детали возникают упругая и остаточная деформации — объёмный или поверхностный наклеп. По мере проникновения поражающего элемента (ПЭ) в толщу материала в материале обшивки возрастают силы сопротивления, и происходит выделение тепла, возникающего под действием сил трения при контакте ПЭ и материала детали. Совокупное комплексное воздействие механического, газодинамического, температурного импульсов на материал детали ведет к образованию деформаций, пробоин, вмятин или отколу материала со стороны свободной поверхности деталей, что наблюдается особенно часто у деталей силового набора, выполненных из магниевых и алюминиевых сплавов. Действие температурного импульса оказывает влияние на распределение объёмных изменений материала в зоне контакта и распределение напряжений в этой зоне [1].

После пробития обшивки на детали набора воздействуют основной ПЭ и поток вторичных осколков, образовавшихся в результате возможного дробления основного элемента и отколовшихся частичек обшивки. Изменившееся положение и состояние основного элемента в сочетании с образовавшимся потоком вторичных осколков вызывает увеличение площади контакта и размеров механических

повреждений деталей набора по сравнению с повреждениями обшивки. При этом собственные свойства материала деталей определяют не только степень сопротивления разрушению, но и форму, и зону развития самого разрушения.

Таким образом, в результате комплексного воздействия поражающих факторов боеприпасов на деталях планера образуются механические повреждения, которые могут быть обнаружены визуально-оптическими методами неразрушающего контроля с оценкой линейных размеров. Повреждения в виде микротрещин, внутренних трещин и расслоений материала могут выявляться методами неразрушающего контроля, выбор вида которых определяется конструктивно-технологическими характеристиками деталей.

Наряду с чисто механическими повреждениями элементов конструкции при воздействии ПЭ происходят изменения и физико-механических свойств материала, связанные с появлением остаточных напряжений.

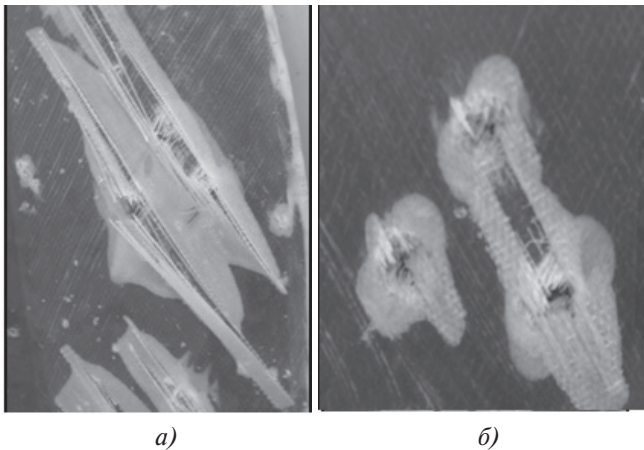
В результате воздействия средств поражения по лопасти ВВ (ВВе), в конструкции которых применяются углепластиковые или стеклопластиковые оболочки, происходит полное или частичное нарушение сплошности материала следующих видов:

— одиночные сквозные и несквозные повреждения в виде расслоений по толщине, отслоений лент, коробления, вспучивания, трещин, кратеров, разрывов, вырывов как внешних, так и внутренних слоев композиционного материала;

— множественные сквозные повреждения пулями или осколками разорвавшихся снарядов в виде расслоений по толщине, разрывов, вырывов как внешних, так и внутренних слоев композиционного материала.

При проникновении ПЭ в материал лопасти ВВ перед ПЭ образуется волна деформации, разделяющая упругий материал оболочки и приводящая к расслоению его по толщине, отслоению лент с видимой деформацией сотовой сетки стеклопластика или лент углепластика. При движении ПЭ внутри лопасти за ним образуется полость, которая за счет сжимаемости материала может затягиваться после прохождения ПЭ. Снижение скорости ПЭ в процессе преодоления преграды приводит к возрастанию зоны деформации, что проявляется в увеличении масштабов повреждения оболочки со стороны выходного отверстия, как по размерам пробоины, так и по расслоению материала по толщине и площади оболочки (рис. 1).

В результате воздействия средств поражения на лопасть, выполненную из композиционного материала, происходит сквозное пробитие стеклопла-



а) б)

Рис. 1. Повреждение лопасти из композиционного материала: а — повреждение лопасти в месте входного отверстия; б — повреждение лопасти в месте выходного отверстия

тиковой оболочки лопасти, пенопластового наполнителя и лонжерона из углепластика. Со стороны входа ПЭ пробоина имеют форму, близкую к форме миделевого сечения ПЭ, с ровными краями, с зоной пластической деформации по периметру пробоины в виде расслоения первых трех слоев оболочки лопасти. Со стороны выхода ПЭ на оболочке лопасти изменяется форма и возрастают размеры пробоины. Площадь повреждения оболочки на выходе в несколько раз превышает площадь по-

вреждений на входе (рис. 2). Конструкция лопасти в области пробоины разрушается на всю толщину между оболочками с деформированием в продольном и поперечном направлении относительно строительной оси лопасти ВВ.

Кинетическая энергия ПЭ расходуется на нарушение сплошности преграды и вытеснение части материала преграды в стороны и вперед в направлении движения, сообщение ускорения разрушенным частицам преграды (вторичный поток осколков), нагрев среды и осколков, сотрясение среды. При этом впереди движущегося внутри преграды ПЭ распространяется волна деформации, а за ним образуется несмыкающаяся полость (пробоина) [2].

В общем случае изменение энергии, переданной материалу оболочки из композиционного материала поражающим элементом по мере проникновения в многослойную тканую преграду, происходит по схеме, условно названной «крест-колокол». Эта схема отображает изменение энергии, переданной ПЭ материалу оболочки лопасти ВВ из композиционного материала. Она показывает, что в плоскости каждого слоя во взаимодействии последовательно вовлекаются (напрягаются) в двух взаимно перпендикулярных направлениях совокупности нитей слоев оболочки, ширина которых уве-

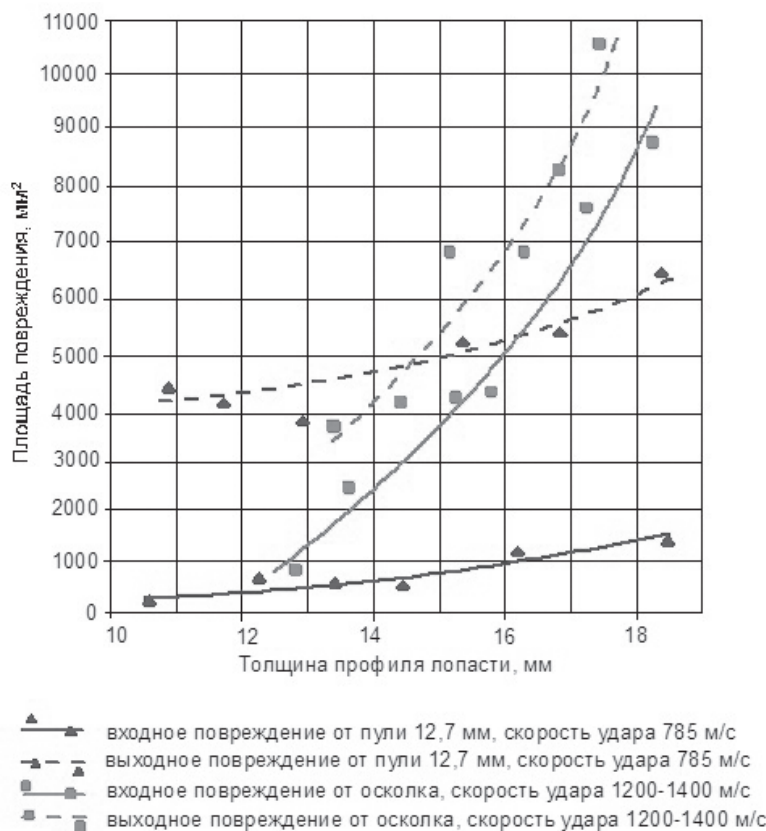


Рис. 2. Зависимость площади видимых повреждений оболочки от толщины профиля лопасти воздушного винта

личивается от первого к последующим слоям (рис. 3).

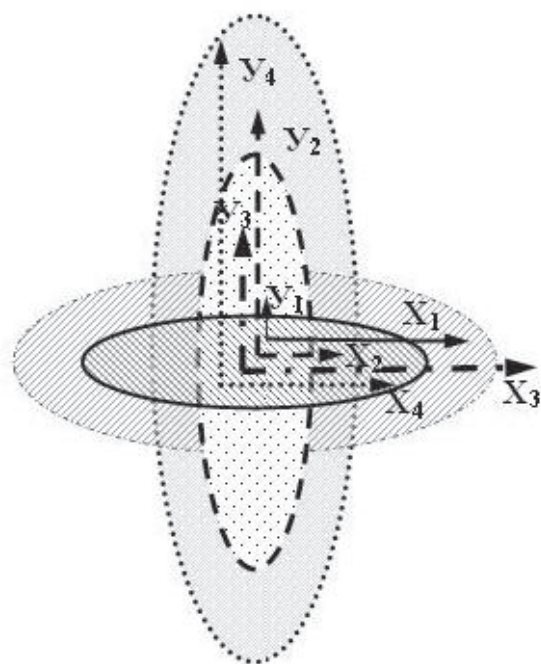


Рис. 3. Схема изменения энергии, переданной поражающим элементом материалу оболочки лопасти ВВ из композиционного материала: X_1, Y_1 — координаты первого слоя стеклоткани; X_2, Y_2 — координаты второго слоя стеклоткани; X_3, Y_3 — координаты третьего слоя стеклоткани; X_4, Y_4 — координаты четвертого слоя стеклоткани

спериментальными исследованиями, проведенными в ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» на кафедре «Конструкция авиационных двигателей». Результаты экспериментальных исследований соударения поражающего элемента с лопастью ВВ из композиционного материала были представлены графически в виде зависимостей между такими параметрами, как скорость осколка, толщина лопасти, угол соударения. На рис. 4 приведен пример фазовой диаграммы, характеризующей поведение типового осколка снаряда в форме куба при ударе по композитной лопасти в области лонжерона, при различных углах подлета и скоростях соударения. Результат соударения (пробивание, застревание или рикошет) для данной толщины лопасти в месте удара определяется скоростью и углом соударения ПЭ с оболочкой лопасти ВВ. Для конкретного ПЭ и мишени (лопасти ВВ) по результатам экспериментов можно получить и более сложные фазовые диаграммы, которые могут использоваться в конструкторских разработках.

Выводы

В проведенном экспериментальном исследовании воздействия поражающих элементов на лопасти ВВ установлено, что энергия существующих средств поражения при вероятных условиях их при-

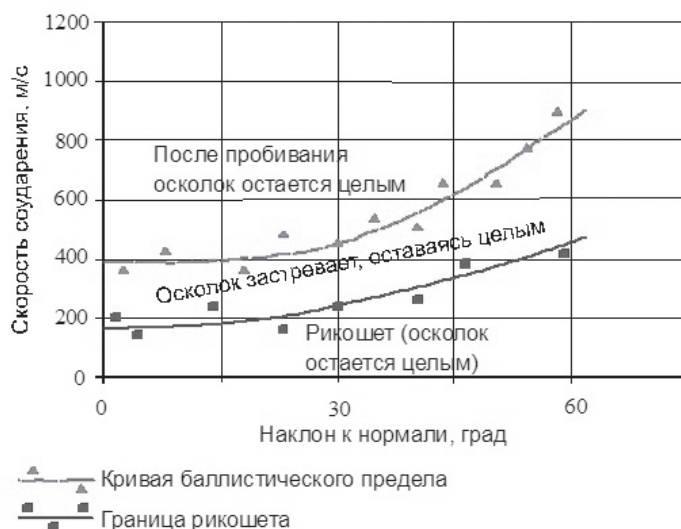


Рис. 4. Фазовая диаграмма, характеризующая результат соударения ПЭ (осколка) с лопастью ВВ

Результаты разрушающего действия ПЭ при соударении с лопастью ВВ из композиционного материала определяются кинетической энергией ПЭ, углом подлета ПЭ к оболочке лопасти, толщиной лопасти, а также материалом оболочки и заполнителя полостей лопасти [3]. Это подтверждено эк-

менения достаточна для сквозного пробития лопасти ВВ с последующим нанесением различного вида повреждений всем элементам конструкции ВС, включая агрегаты планера, бортового оборудования и электросети, находящиеся на траектории основного ПЭ и потока вторичных осколков.

*Исследование выполнено
при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 13-08-0072.*

Библиографический список

1. Богданов М.А., Горский А.Н., Круглов В.В., Нескоромный Е.В., Потоцкий М.В., Четвердин М.Ю. Применение технических средств волоконно-оптических линий связи для определения истинных деформаций в волокнистых полимерных композиционных материалах, применяемых в самолетостроении // Перспективы развития авиационных комплексов: Труды ВВИА им. Н.Е. Жуковского. М., 2008. С. 116-121.
2. Богданов М.А., Горский А.Н., Евдокимов А.А., Нескоромный Е.В., Потоцкий М.В. Методика проведения экспериментальных исследований повреждаемости лопастей воздушных винтов и винтовентиляторов из композиционных материалов при воздействии боевых поражающих средств // Перспективы развития авиационных комплексов: Труды ВВИА им. Н.Е. Жуковского. М., 2008. С. 109-115.
3. Богданов М.А., Горский А.Н., Нескоромный Е.В., Потоцкий М.В. Подход к определению повреждения посторонними предметами лопастей винтов и винтовентиляторов силовых установок военно-транспортных самолетов с учетом центробежных и газовых сил. // Перспективы развития авиационных комплексов: Труды ВВИА им. Н.Е. Жуковского. М., 2008. С. 122-138.

MECHANISM OF DAMAGE PROPAGATION TO THE PROPELLER BLADES OF COMPOSITE MATERIALS WITH EXPOSED DAMAGING ELEMENTS

Nebelov E.V.^{1*}, Potockii M.V.^{2}, Rodionov A.V.^{2***}, Gorskii A.N.¹**

¹ Center of the accident investigations of the state aircraft «Central Research Institute of the Air Force» of the Russian Defense Ministry,

3/5, Aerodromnaya str., Shchelkovo, Moscow region, 141103, Russia

² Moscow Aviation Institute (National Research University),

MAI, 4, Volokolamskoe shosse, Moscow, A-80, GSP-3, 125993, Russia

* e-mail: nebelov77@mail.ru

** e-mail: pmv1973@yandex.ru

*** e-mail: samolet31@rambler.ru

Abstract

The article discusses the importance of the problem of reducing the life cycle of the propeller (propfans) because of foreign objects and elements of the weapons hits during combat operations connected with protected propeller blades (propfans) from exposure to particulate matter.

Classification of combat damaged items of military equipment caused by the impact of a weapon of the enemy and related factors is considered.

The paper describes the mechanism of formation and further damages evolution of propeller blades (propfan) made of composite material with the defeat of the elements of weapons.

The results of multiple damage simulated with the help of software CAE ANSYS / LS-DYNA are shown. These results clearly show that there is a change of the physical and mechanical properties of the material associated with the formation of bulk or surface hardening, which leads to the appearance of residual stresses, which is confirmed by experimental data. Also,

there are the results of multiple injuries received in experimental studies of impact resistance with blade AV-112 propeller propulsion system of military-transport aircraft IL-112, which shows that the striking element is overcoming obstacles in the form of layers of fiberglass, increases the deformation zone that appears in a large area of the opposing barrier damage as size holes, and on the thickness of the material bundle and exfoliation area tape on the exit side.

The article shows the dependence of the area of separation against thickness of the bundle composite propeller blade resulting from an experiment and an example of the phase diagram characterizing the behavior fragments of the projectile in the form of a cube when struck by the blade in the composite spar at various angles of approach. The result is determined by the collision of impact velocity and the angle of the meeting.

In the article the authors point out the adequacy of the emergence and development of damage to the propeller blades (propfans) made from composite

material with the defeat of the elements of weapons, confirmed by the results of calculations and experimental studies conducted in VUNTS Force “VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin “in the department “Design of Aircraft Engines”.

Keywords: blade propeller, combat damage, submunitions, composite material.

References

1. Bogdanov M.A., Gorskii A.N., Kruglov V.V., Neskromnyi E.V., Pototskii M.V., Chetverdin M.Yu. *Trudy VVIA im. N.E. Zhukovskogo "Perspektivy razvitiya aviatsionnykh kompleksov"*. Moscow, 2008, pp. 116-121.
2. Bogdanov M.A., Gorskii A.N., Evdokimov A.A., Neskromnyi E.V., Pototskii M.V. *Trudy VVIA im. N.E. Zhukovskogo "Perspektivy razvitiya aviatsionnykh kompleksov"*. Moscow, 2008, pp. 109-115.
3. Bogdanov M.A., Gorskii A.N., Neskromnyi E.V., Pototskii M.V. *Trudy VVIA im. N.E. Zhukovskogo "Perspektivy razvitiya aviatsionnykh kompleksov"*. Moscow, 2008, pp. 122-138.