

ВЛИЯНИЕ НИЗКОСКОРОСТНЫХ УДАРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ОСТАТОЧНУЮ ПРОЧНОСТЬ ЛАМИНАТНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СЖАТИИ

Зебзеев А.А.^{1,2}, Торопицина А.В.¹, Маклаков Д.В.¹.

¹АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, Россия

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, ударные повреждения, предел прочности при сжатии после удара, остаточная прочность образцов при сжатии.

Области применения современных полимерных композиционных материалов (ПКМ) с каждым годом расширяются, сейчас их применяют практически во всех отраслях. В отличие от металлических деталей, в процессе эксплуатации, сборки, транспортировки, монтаже и регламентных работах полноразмерные конструкции из ПКМ наиболее уязвимы к образованию внешних дефектов в результате воздействия внешних источников. Применительно к авиационной технике, повреждения могут возникать из-за попадания внешних источников (камни, град, обломки деталей, болты и т.д.), что приводит к снижению эксплуатационных и прочностных характеристик. Поэтому, при обосновании прочности авиационной конструкции необходимо учитывать возможные места и виды повреждений, связанные со случайным повреждением в условиях эксплуатации. При определении степени повреждения для оценки остаточной прочности в любой момент эксплуатации должны учитываться возможность первоначального обнаружения повреждения и его последующего роста под действием переменных нагрузок.

При проведении прочностных испытаний конструкции выполняется ряд подготовительных работ, в т.ч. нанесение ударных повреждений, которые могут быть обнаружены соответствующими методами контроля в условиях эксплуатации.

Для проведения работ поставлены стандартные образцы из ПКМ, которые представляют собой толстостенную (толщина более 5 мм) плоскую ламинатную конструкцию. Рассмотрены две партии образцов:

- первая партия образцов имела гибридную конструкцию – т.е. состояла из двух композитных материалов: тканого и однонаправленного;
- вторая партия – не гибридные (состоят из однонаправленного композитного материала).

Геометрия образцов в соответствии с требованиями ASTM D7136 [1] и ASTM D 7137 [2].

Для нанесения ударных повреждений использовался вертикальный копер башенного типа, для этого образцы были поделены на группы не менее 6 шт. в каждой. Для каждой группы соответствовало определенное значение энергии удара. Начальное значение соответствовало 6,7 Дж на 1 мм толщины образца ([1]), далее энергия удара увеличивалась с определенным шагом для каждой группы образцов до получения сквозного пробоя. После окончания работ по нанесению ударных повреждений на образцы проведены обмеры геометрических характеристик получившихся повреждений и выполнен неразрушающий контроль методом активной термографии. Следует отметить, что при энергии удара в более чем в 2 раза превышающей первоначальный уровень энергии удара (6,7 Дж на 1 мм толщины) для гибридных образцов методом неразрушающего контроля выявлено отслоение одного материала от другого по месту их контакта.

После нанесения повреждений образцы испытаны на сжатие для оценки остаточной прочности, условия испытаний – RTD (нормальные лабораторные условия) и ETW (влагонасыщенные образцы при повышенной температуре). Испытания проводились в соответствии с требованиями стандарта ASTM D7137 [2]. После проведения испытаний выполнена статистическая обработка результатов испытаний, определено среднее значение,

стандартное отклонение и коэффициент вариации для всех групп образцов. Построены графики зависимостей предела прочности при сжатии (для разных условий, RTD и ETW), глубины повреждения и площади повреждения (визуальной и полученной методами НК) от энергии удара. На рис. 1 (а), (b) приведены результаты испытаний, на рис. 2 (а), (b) представлены получившиеся графики для образцов одинаковой толщины (гибридные и не гибридные образцы).



Рисунок 1 – Результаты испытания образцов на сжатие после удара (для энергий удара 6,7 Дж на 1 мм толщины): а) гибридные образцы; б) не гибридные образцы

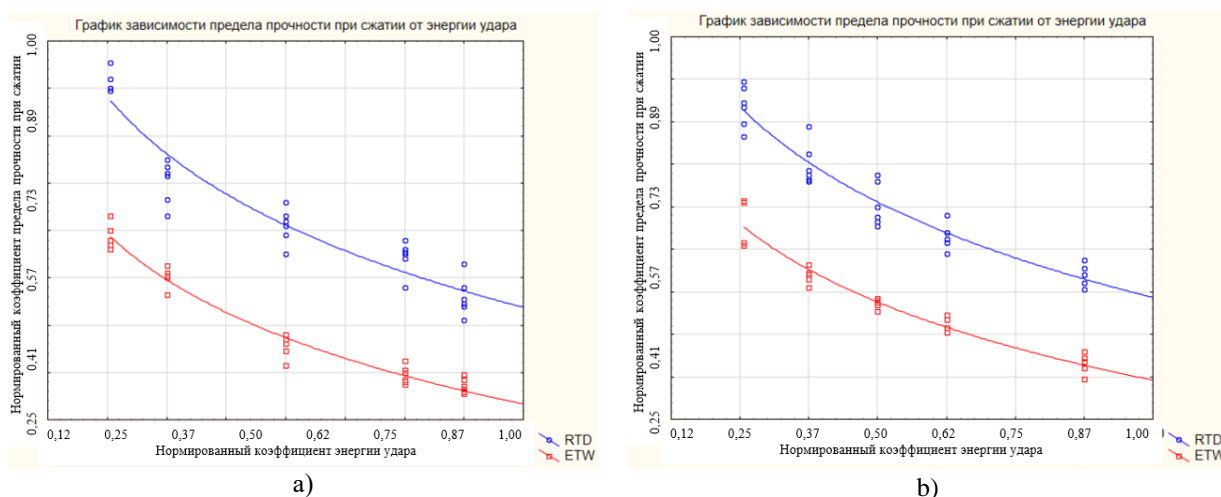


Рисунок 2 – Типичные графики зависимости для образцов (синяя линия - RTD, красная линия - ETW): а) гибридные образцы; б) не гибридные образцы

По результатам работ по нанесению ударных повреждений установлено, что:

- визуально видимая площадь повреждения на не гибридных образцах больше, чем на гибридных образцах на 5-10%;
- площадь повреждений, зафиксированных методом неразрушающего контроля на не гибридных образцах меньше, чем на гибридных образцах в среднем в 2-2,5 раза.

По результатам работ по испытанию на сжатие после удара установлено, что:

- предел прочности при сжатии после удара для образцов, испытанных в условиях ETW, меньше, чем для образцов, испытанных в условиях RTD в среднем на 30-40 %;
- пределы прочности при сжатии после удара для гибридных и не гибридных образцов схожи и отличаются друг от друга на не более чем 5%.

По результатам проделанной работы определено влияние ударных повреждений на остаточную прочность образцов из ПКМ при сжатии, выполнена статистическая обработка результатов испытаний и построены графики зависимостей полученных характеристик.

Список литературы

1. ASTM D7136. Standard Test Method for Measuring the Damage Resistance of a Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composite to a Drop-Weight Impact – 2015.
2. ASTM D7137. Standard Test Method for Compressive Residual Strength Properties of Damaged Polymer Matrix Composite Plates – 2017.

Сведения об авторах

Зебзеев Александр Алексеевич (Пермь, Россия) – аспирант ПНИПУ, кафедра АД. Инженер отдела КО-2992, АО “ОДК-Авиадвигатель” (e-mail: zebzeev-aa@avid.ru)

Торопицина Анна Владимировна (Пермь, Россия) – заместитель начальника отдела КО-2992, АО “ОДК-Авиадвигатель”.

Маклаков Данила Валентинович (Пермь, Россия) – начальник бригады КО-2992, АО “ОДК-Авиадвигатель”.

EFFECT OF LOW-VELOCITY IMPACT DAMAGE ON THE RESIDUAL COMPRESSIVE STRENGTH OF POLYMER COMPOSITE LAMINATE SPECIMENS

Zebseev A.A.^{1,2}, Toropitsina A.V.¹, Maklakov D.V.¹.

¹JSC "UEC-Aviadvigatel", Perm, Russia

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Keywords: polymer composites materials, impact damage, ultimate compressive strength after impact, residual compressive strength of specimens.

The article describes the compression test results of standard specimens of laminates made of polymer composites after impact.