

**Деградация упругих свойств углепластика и её влияние на эффективность  
клеевого ремонта авиационных конструкций**

**Научный руководитель – Ципенко Антон Владимирович**

***Федотов Алексей Александрович***

*Аспирант*

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Москва, Россия

*E-mail: alexey.a.fedotov@inbox.ru*

Вопрос внедрения экономически целесообразных методов поддержания и восстановления лётной годности воздушных судов, планер которых выполнен из алюминиевых сплавов и полимерных композиционных материалов (ПКМ), встаёт всё более остро в связи с ростом стоимости единичного экземпляра воздушного судна и стоимости его эксплуатации. Среди существующих технологий ремонта авиационных конструкций наибольшую эффективность демонстрируют процедуры клеевых ремонтов композитными заплатами. Работая совместно с отремонтированным элементом, ремонтная заплата подвергается тем же нагружающим факторам и, следовательно, будет демонстрировать сходную картину усталостной деградации свойств [4].

Для обеспечения срока активной эксплуатации воздушного судна в 20-30 лет необходимо обладать устойчивыми моделями разрушения ПКМ и надёжными методиками оценки их усталостной долговечности. Сложность реализации таких моделей и методик объясняется гетерогенной природой изделия из ПКМ с большим числом вариантов структуры при широком диапазоне механических свойств композитных конструкций. Попытки обобщить имеющиеся результаты экспериментов привели исследователей к выводу, что для получения достоверной информации о поведении конструкции при усталостном (циклическом) нагружении необходимо проводить серию экспериментов с образцами требуемой структуры из интересующего материала, произведённого по выбранной технологии [1-2].

Большое количество исследований посвящено изучению изменения предела прочности композитных образцов при циклическом нагружении, тогда как изменению модуля упругости уделено меньше внимания. Для тканых композитов модуль упругости будет меняться гораздо заметнее, чем для композитов, изготовленных из однонаправленной ленты [3]. Модуль упругости материала заплата будет одним из определяющих параметров при проектировании процедур клеевых ремонтов. Для получения картины деградации упругих свойств углепластика, предполагаемого к использованию при производстве клеевых ремонтных заплат, была проведена серия экспериментов для исследования: (а) изменения модулей продольной и поперечной упругости углепластиковых образцов под действием циклической нагрузки при температурах  $-60^{\circ}\text{C}$ ,  $+23^{\circ}\text{C}$ ,  $+80^{\circ}\text{C}$ , (б) изменения коэффициента Пуассона под действием циклической нагрузки при тех же температурах. Деградация модулей упругости оценивалась по отношению к модулю упругости на первом цикле нагружения при указанных значениях температуры.

Полученная информация об изменении модуля упругости применена в расчётном алгоритме для проектирования клеевых ремонтных соединений. Данные по деградации модуля упругости позволяют получить более достоверный результат по эффективности клеевого ремонта и назначить корректные интервалы инспекций установленной ремонтной заплата.

### Источники и литература

- 1) Семин М.И., Стреляев Д.В. Расчеты соединений элементов конструкций из композиционных материалов на прочность и долговечность. М., ЛАТМЭС, 1996.
- 2) Степнов М.Н., Чернышев С.Л., Ковалев И.Е., Зимин А.В. Характеристики сопротивления усталости. Расчетные методы оценки. М., Технология машиностроения, 2010.
- 3) Daggumati S., De Baere I., Van Paepegem W., Degrieck J., Xu J., Lomov S.V., Verpoest I. Fatigue and post-fatigue stress-strain analysis of a 5-harness satin weave carbon fibre reinforced composite // Composites Science and Technology. 2013. № 74. Pp. 20-27.
- 4) Moreira R.D.F., de Moura M.F.S.F., Figueiredo M.A.V., Fernandes R.L., Gonçalves J.P.M. Characterisation of composite bonded single-strap repairs under fatigue loading // International Journal of Mechanical Sciences. 2015. № 103. Pp. 22-29.