

Краткое описание работы
«Технология испытаний полного комплекса механических свойств
высокопрочных ортотропных стекло- и углепластиков авиационного
применения», выполненной в 2014 году и представленной на соискание
премии «Авиастроитель года» 2014 г.
в номинации «За создание новой технологии»

Широкое распространение высокопрочных стекло- и углепластиков в современных авиационных конструкциях, важнейшая их особенность, заключающаяся в том, что все физико-механические свойства таких композитов формируются на стадии формования, относительно невысокая климатическая стойкость обусловили необходимость создания пригодных для использования в производственной практике методов испытаний, позволяющих с достаточно высокой точностью определить механические свойства материала. Как известно, ортотропная симметрия высокопрочных композитов, используемых в несущих авиационных конструкциях, характеризуется девятью материальными константами, что отличает такие материалы от металлов, упругие свойства которых полностью характеризуются модулем Юнга и коэффициентом Пуассона. Другим отличием от металлов является резкое различие упругих свойств ортотропных композитов при растяжении и сжатии, что обусловлено значительно меньшей жесткостью матрицы по сравнению с армирующим стекло- или углеволокном. Эта характеристика стекло- и углепластиков играет важнейшую роль при изгибных деформациях крыла, лопасти и т.п. Использование принятых в мировом инженерном сообществе для испытания механических свойств ортотропных композитов стандартов ASTM, рекомендаций международных профессиональных обществ не позволяет с достаточной точностью определить такие важнейшие характеристики материалов, как модуль сдвига в плоскости, модули межслойного сдвига, поперечные модули Юнга. Учитывая важность надежного определения перечисленных свойств материалов в производственных условиях, в течение

последних 5 лет инженерно-техническим коллективом Центральной Заводской Лаборатории (ЦЗЛ) ОАО «Роствертол» совместно с Лабораторией Механики авиационных систем и технологий Южного научного центра РАН был выполнен цикл НИОКР, позволивший в значительной степени устранить недостатки названных стандартов. Данный цикл НИОКР включал в себя выполнение работ в рамках двух плановых НИОКР РАН, проектов Российского фонда фундаментальных исследований 13-08-90912, 14-08-31612, 15-08-00849, договора № 579 по заказу ОАО «Роствертол», результаты которых использовались при выполнении договора МИ-11-1746-01 по заказу ОАО МВЗ им. М.Л. Миля. Все экспериментальные исследования выполнялись в ЦЗЛ на материалах, используемых в Лопастном производстве ОАО «Роствертол», под руководством заместителя директора, доктора технических наук М.Б.Флека при непосредственном участии ведущего инженера ЦЗЛ Л.В. Чинчяна, начальника Научно-исследовательского отдела Ю.Б. Рубцова, главного специалиста 7 отделения ОАО МВЗ им. М.Л. Миля кандидата технических наук В.Н. Аксенова. Теоретические работы, включая методы численной обработки с целью уточнения и выработки правильной трактовки результатов испытаний, выполнялись заведующим лабораторией Южного научного центра РАН доктором технических наук С.Н.Шевцовым и главным научным сотрудником доктором физико-математических наук А.Н. Соловьевым.

Особенностью авиационных конструкций из высокопрочных ортотропных композитов, полученных методами намотки или выкладки с последующим отверждением в прессформе и / или в автоклаве, является то, что эти детали имеют форму оболочек, кривизна поверхности которых в двух взаимно-перпендикулярных направлениях существенно различна. В частности, кривизна лонжерона несущего винта в продольном и поперечном направлениях различается в десятки раз. Это обстоятельство затрудняет вырезку стандартных образцов для определения поперечного модуля. Рекомендованное стандартами

изготовление специальных пластин для вырезки образцов не обеспечивает получения объективных данных, т.к. характеристика намотки и отверждения пластин всегда существенно отличается от режимов изготовления натуральных деталей.

Для тех случаев, когда вырезка стандартных образцов из технологических припусков или специально изготовленных опытных деталей невозможна, разработана методика конечно-элементного анализа напряженного состояния образца в испытаниях на растяжение, позволяющая выбрать его геометрию, обеспечивающую максимально возможную точность получения данных о продольном и поперечном модулях с учетом эффекта ослабления за счет конечной длины волокон, несущих испытательную нагрузку.

Для испытаний модуля сдвига в плоскости предложена специальная симметричная форма образцов, изготовлена и применяется в практике лаборатории специальная оснастка, исключая боковую реакцию испытательной машины, которая искажает результаты измерений, а также итерационная методика последовательного уточнения результатов с использующая конечноэлементный анализ напряженного состояния в центральной части симметричного образца с двумя вырезами (аналогичного стандартному по методу Иосипеску) и значения деформаций, измеряемых с помощью тензорозетки. Разработанная и внедренная в практику лаборатории технология измерений характеризуются точностью, на 25-30% превышающей технологию, рекомендуемую стандартом ASTM.

Для испытаний наиболее трудных для определения модулей межслойного сдвига предложена технология последовательного определения модулей. Известные методы оценки этих модулей, основанные на испытании трехточечным короткобалочным изгибом и кручении длинных образцов прямоугольного сечения, имеют общий недостаток, заключающийся в том, что эти методы не позволяют непосредственно определить модуль межслойного

сдвига. В первом случае регистрируемое напряженно-деформированное состояние испытуемого образца кроме модуля межслойного сдвига зависит от продольного (или поперечного) модуля, а во втором – от модуля сдвига в плоскости. Причем при выделении вклада модуля межслойного сдвига погрешность его определения составляет около 50 %, что недопустимо для промышленного метода контроля. Это обстоятельство обусловило отсутствие соответствующего стандарта. При последовательном определении согласно разработанной технологии, вначале продольного (поперечного) модуля с использованием высокоточных экстензометров точность его определения составляет порядка 2%. При обработке результатов испытания трехточечным короткобалочным изгибом за счет корректного учета деформации упругой системы испытательной машины и использования предварительно определенного продольного (поперечного) модуля точность определения модуля межслойного сдвига удалось повысить до 7-10% при высокой воспроизводимости результатов испытания. Такая численная обработка результатов испытания производится по специально разработанной компьютерной программе.

Для испытаний призматических образцов на сжатие, осложненных невозможностью использования экстензометров из-за малой длины испытуемой области (для исключения потери устойчивости при сжатии) и значительной величиной испытательных нагрузок, разработана специальная оснастка и численная методика реконструкции величин касательного, секущего модулей и разрушающих напряжений, обеспечивающая исключение влияния деформаций упругой системы испытательной машины Galdabini, что обеспечило повышенную точность и воспроизводимость результатов, недоступную при использовании технологий испытаний, рекомендуемых действующими стандартами.

Высокая точность, разрешающая способность, воспроизводимость результатов при использовании разработанных технологий испытаний подтвердили эффективность их использования при производстве конструкций из высокопрочных стекло- и углепластиков как для мониторинга качества процессов формования, так и для оценки климатической стойкости образцов материалов, предварительно подвергнутых экспозиции в камерах температура-влажность и температура-солевой туман.