

предположение, что либо угол установки стабилизатора был превышен лётчиком, либо центровка была более задняя. Наилучшая сходимость на участке набора высоты от 0 до 120 метров достигается при центровке 30%.

Моделирование участка разгона самолёта при взлёте и участка набора высоты демонстрирует достаточную степень сходимости с результатом записи полётных параметров. Таким образом, можно считать, что математическая модель самолёта Ил-76 адекватно отражает характеристики самолёта типа Ил-76ТД.

Самолёт Ил-76ТД, борт 4L-GNI выполнял взлёт из аэропорта Джинна (Карачи). Погодные условия не создавали предпосылок к нестабильной работе силовых установок или потери тяги. Самолёт при взлёте имел перегруз порядка 5 т. Скорости подъёма передней стойки и скорости отрыва самолёта затянуты. Вероятно, что лётчик умышленно затянул взлётные скорости, зная о перегрузе. Самолёт разогнался до скорости 275 км/ч, после чего лётчик отклонил штурвал на себя, для отрыва передней стойки. Отрыв самолёта произошёл на скорости 295 км/ч, после чего лётчик сбалансировал самолёт в наборе высоты с постоянной скоростью 310 км/ч. Через 37 секунд после отрыва произошёл отказ 4-го двигателя, высота в этот момент составляла 120 метров. Для парирования кренящего момента возникшего из-за отказа двигателя, лётчик повернул штурвал на максимальную величину. Одновременно с этим лётчик использовал педаль для парирования

момента рысканья, создаваемого несимметричностью тяги. Несмотря на верные действия лётчика, моментов создаваемых аэродинамическими поверхностями самолёта, было недостаточно, для борьбы с моментом крена.

Необходимо отметить, что самолёт изначально проектировался с возможностью парирования отказа одного двигателя. Поэтому сам факт отказа двигателя не мог привести к созданию моментов, которые невозможно было бы парировать элеронами и интерцепторами.

В данном случае появление избыточного момента крена можно объяснить разрушением части секций закрылков, расположенных непосредственно за двигателем. В этом случае, из-за потери подъёмной силы на правом полукрыле, возникает дополнительный кренящий момент. Расчёты показали, что для получения таких  $\Delta Y$  и  $\Delta M_x$  достаточно разрушить ~20% закрылков на одной консоли крыла. Принимая во внимание, что закрылки расположены непосредственно за двигателем и разрушение двигателя и пожар могли повлечь за собой повреждение секций закрылков, данное развитие ситуации вполне вероятно. Момент крена возрастал со временем, предположительно из-за того, что закрылки продолжали разрушаться в процессе полёта. Парировать такие возмущения, с учетом падения скорости и малой высоты, было практически невозможно.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБРАЗОВАНИЯ РАВНОПРОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПАКЕТАХ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

© 2012 Вашуков Ю.А.

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)», Самара

## **OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF FORMATION OF CONNECTIONS ON PACKAGES FROM DIVERSE MATERIALS IN AVIATION DESIGNS**

© 2012 Vashukov Y.A.

The model and design procedure for definition of a critical tightness and the intense condition are offered at formation connections on packages from diverse materials in aviation designs

При проектировании и создании авиационных конструкций одной из ответственных задач является обеспечение прочности и надежности узлов соединений из разнородных материалов (композит - однородный материал), через которые передаются все нагрузки, воспринимаемые несущей конструкцией. Объясняется это тем, что отверстия под крепежные элементы в композиционных материалах являются концентратором напряжений, с поверхности которых, как правило, зарождаются усталостные трещины. Для композиционных материалов (КМ) резкая анизотропия прочности, малое относительное удлинение при их разрушении и практическое отсутствие пластической деформации вызывает затруднение в применении традиционных соединениях, при выполнении которых возникают деформации, превосходящие допустимые для данных материалов.

Разработан способ постановки втулки, заключающийся в осевом пластическом сжатии подкрепляющего элемента с образованием на границе соединения переменного поля радиальных сжимающих напряжений. Это позволяет значительно снизить радиальные растягивающие напряжения на границе «подкрепляющий элемент-листовая заготовка» при эксплуатационных нагрузках и сохранить, тем самым, клеевую прослойку между стенкой отверстия в листовой заготовке и подкрепляющей втулкой.

Имеется ряд критериев прочности, позволяющие оценить предельное состояние для упругих ортотропных и однородных материалов. Однако в этих критериях не учитываются такие особенности композитов, как различная прочность на растяжение и сжатие. В работе предложено использовать критерий прочности Дж. Марина, учитывающий эту особенность.

Для определения прочностных характеристик предложено проводить испытания на статическое растяжение

образцов и на смятие болтовых соединений пластин из этого материала. При статическом растяжении определяли прочностные характеристики по главным осям  $R_{p1}$  и  $R_{p2}$ . Испытания болтовых соединений позволяют получить удельные характеристики на смятие по главным осям  $R_{сж1}$  и  $R_{сж2}$  и определить значение критического натяга  $U_r$  для данного материала.

При испытании болтовых соединений с целью определения анизотропии прочностных характеристик также производилось варьирование направлением вырезки образцов, диаметром крепежного отверстия, отношением геометрических параметров отверстия и образца. В результате обобщения экспериментальных данных построены поверхности максимальных напряжений, соответствующих уровню разрушающей нагрузки. Они представляют собой трехмерные диаграммы зависимости номинальных напряжений от угла вырезки образца, а также геометрических и конструктивных параметров соединения. По полученным результатам можно построить диаграмму анизотропии, по которой можно оценить напряженное состояние в образце при промежуточных значениях параметров. По известным геометрическим параметрам пластины и нагрузки  $P$  определялась величина номинальных напряжений смятия и значение коэффициент запаса прочности.

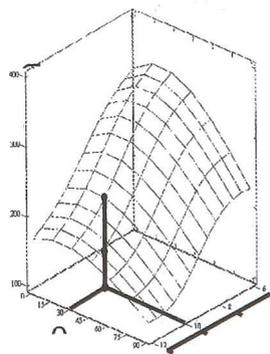


Рис. 1. Диаграмма анизотропии прочностных свойств болтового соединения

Поверхности максимальных напряжений могут позволить решать не только задачу о нахождении коэффициента запаса прочности, но и обратные задачи:

- нахождение допустимых значений напряжений в пластине из КМ в зоне крепежного отверстия по известным коэффициенту запаса прочности, типоразмеру крепежного элемента и моменту предварительной затяжки;

- определение оптимальных параметров материала по уровню и направлению нагружения, параметрам крепежного элемента конструктивным параметрам;

- оптимизация отдельных параметров крепежного элемента по уровню и направлению нагружения соединения;

- оптимизация конструктивных параметров соединения.

В работе проведены исследования напряженно-деформированного состояния по контуру болтового соединения с подкреплением пластинки из КМ в случае действия силы  $Q$ , приложенной к болту, уставленному в отверстие втулки, и силы  $P$ , приложенной к заготовке. Решение этой задачи выполнялось с помощью метода конечных элементов. Использовалась система MSC/NASTRAN. Адекватность разработанной конечно-элементной модели проверялась путем сравнения результатов конечно-элементных расчетов с аналитическим решением для тестового случая. Анализ результатов конечно-элементных расчетов и аналитического решения показал высокую сходимость результатов.

С целью создания равнопрочных соединений разработан способ постановки крепежного элемента и получение пакета из разнородных материалов с предварительно полученными подкрепленными силовыми точками, имеющими одинаковый ресурс. Полученное механическое точечное соединение имеет одинаковую вероятность разрушения элементов пакета, а также повышенную несущую способность за счет подкрепления.

Проведенные исследования показали, что разработанный способ постановки втулки значительно снижает напряженное состояние по периметру отверстия с подкреплением и увеличивает несущую способность силовой точки, а разработанная конечно-элементная модель и методика расчета высокую сходимость результатов. Это позволяет с высокой точностью определять напряженное состояние по контуру силовой точки в анизотропных композиционных материалах.

В результате проведенных научных исследований и опытно-конструкторских работ создана широкая гамма устройств многоразового использования с силовым приводом из сплава ТН-1. К данным устройствам относится серия малогабаритного ресурсосберегающего прессового оборудования с силовым приводом из сплава с памятью формы. Результаты указанных НИОКР были использованы для создания механизированного оснащения, предназначенного для постановки подкрепляющей втулки.

## **ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД**

© 2012 Вдовин Р. А., Смелов В. Г.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)

## **VIRTUAL SIMULATION AND EXPERIMENTAL TESTING PROCESS CASTING PARTS OF ENGINES**

© 2012 Vdovin R. A., Smelov V.G.