ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ РЕССОРЫ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЛЕГКОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО САМОЛЕТА «ЯСТРЕБ» С-012

© 2012 К.В. Пересыпкин, Н.М. Степанов, В.М. Шахмистов

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

Поступила в редакцию 22.10.2012

Перед авторами статьи стояла задача уменьшить жесткость рессоры легкого самолета, выполненной из полимерных композиционных материалов, при сохранении ее прочности и геометрии. В статье приводится процесс решения этой задачи с применением конечно-элементного моделирования, а так же сравнение характеристик, полученных в результате проектирования с их исходными значениями и результатами испытаний реальных конструкций, изготовленных с учетом полученных данных. Ключевые слова: рессора, легкий многоцелевой самолет, полимерные композиционные материалы, прочность, жесткость, испытания, конечно-элементное моделирование

На большинстве современных легких самолетов (Че-23, Че-27, А-33 и др.) стойки шасси изготавливаются из композиционных материалов. В их же число входит и легкий многоцелевой самолет «Ястреб», который был спроектирован также и для сельскохозяйственных работ, а значит, рессора должна обеспечивать посадку на неподготовленную площадку, грунт или даже пашню. Исходная рессора, обладая достаточной прочностью, слишком жестка, что приводит к местным деформациям конструкции самолета в зоне крепления рессоры. То есть, при перепроектировании рессоры, основной задачей было уменьшить жесткость агрегата, сохранив или увеличив его прочность, при этом форма и размеры рессоры должны были остаться прежними, чтобы не создавать новую оснастку.

Рессора представляет собой конструкцию, выполненную из двух частей, склеенных между собой. Каждая часть рессоры изготавливается из стеклопластика методом холодного формования. Исходные рессоры изготавливались из двух типов стеклоткани Т-10 и Т-25. Для уменьшения жесткости рессоры, в первую очередь было решено отказаться от высокомодульной ткани Т-25. А для определения количества слоев ткани в каждой из частей рессоры, было решено прибегнуть к моделированию конструкции в конечноэлементной системе NASTRAN (рис. 1). Кроме того, проектные исследования проводились с целью уменьшить жесткость рессоры при сохранении внешних размеров, обеспечить нужную величину поглощения энергии при посадке, обеспечить необходимую прочность и, по возможности, уменьшить массу.

Одна из характерных особенностей конструкции такого типа – неравнопрочность материала (рис. 2). Это связано с тем, что при изгибе внешние слои ткани испытывают большие деформации, а внутренние – маленькие (рис. 2). А при использовании одного материала так же распределяются и напряжения. Таким образом, жесткость рессоры можно уменьшить, обеспечив одинаковый уровень напряжений по строительной высоте материала рессоры.

Стеклоткань в исходных рессорах выкладывалась в одном направлении (основой вдоль рессоры). При этом не использовалось одно из основных достоинств композиционных материалов. Известно, что модуль упругости стеклопластика зависит от угла укладки ткани, при этом изменяются и прочностные характеристики. Однако за-



Рис. 1. Модель рессоры

Пересыпкин Константин Владимирович, инженер кафедры летательных аппаратов. E-mail: peresypkin@mail.ru Степанов Николай Михайлович, инженер межкафедрального конструкторского бюро летательных аппаратов. E-mail: stepanov.nickolaj@gmail.com

Шахмистов Владимир Михайлович, кандидат технических наук, руководитель межкафедрального конструкторского бюро летательных аппаратов. E-mail: skb1@ssau.ru



Рис. 2. Распределение нормальных деформаций по строительной высоте рессоры при ее изгибе

висимости характеристик упругости и прочности от укладки различны. Поэтому, меняя угол укладки можно получить композит с нужными свойствами. В частности, меняя угол укладки по строительной высоте рессоры, можно получить равнопрочную конструкцию.

Для упрощения раскроя ткани было принято решение разделить строительную высоту обеих половинок рессоры на 3 равных слоя, в каждом из которых выкладывать стеклоткань со своим углом. Исследования показали, что для данного поперечного сечения и нагрузок желаемые результаты достигаются при использовании 30-ти слоев ткани T-10. Десять внешних слоев укладываются под $\pm 30^{\circ}$ (наименьший модуль упругости), средние слои $\pm 20^{\circ}$, внутренние слои - 0° (максимальный модуль упругости) (рис. 3).



Рис. 3. Распределение напряжений по строительной высоте новой рессоры



Рис. 4. Деформация сечений рессоры

Следующая важная особенность, выявленная благодаря использованию конечноэлементного моделирования, это деформация поперечного сечения рессоры при нагружении (рис. 4).

На прямых участках рессоры сечение вследствие нелинейных эффектов (больших перемещений) стремится вогнуться внутрь (принять форму восьмерки), а в изогнутой части рессоры – наоборот, выгибается наружу (принимает «Ообразную» форму). В обоих случаях клеевые швы, соединяющие половинки рессоры, могут испытывать разрывающие нагрузки, недопустимые для такого типа соединения. При увеличении нагрузки возможна потеря устойчивости в сжатых зонах рессоры.

Для решения этих проблем было решено поставить вертикальные перегородки, которые препятствовали бы этим перемещениям. После чего, результаты расчетов показали, что на прямых участках достаточно поставить по одной стенке, а на изогнутом участке 3 стенки (рис. 5).



Рис. 5. Усиливающие вертикальные стенки



Рис. 6. Деформирование рессоры при стояночных нагрузках



Рис. 7. Деформирование рессоры при эксплуатационных нагрузках



Рис. 8. Результаты расчета

После этого был проведен окончательный расчет рессоры.

Для наглядности достигнутых результатов, была посчитана рессора, все слои ткани которой уложены основой вдоль ее оси.







Рис. 10. Напряжения в волокнах ткани в центральной части рессоры при разных способах укладки

Для удобства, основные характеристики обоих вариантов расчета сведены в табл. 1, 2 и 3.

С учетом рекомендаций и изменений, полученных в результате расчета, была изготовлена рессора. Сначала выклеивались отдельно верхняя и нижняя части рессоры, каждая в своей матрице, обе состояли из 30 слоев ткани T-10, внешние 10 слоев под углом 30°, средние 10 слоев под углом 20°, и внутренние 10 слоев – вдоль оси рессоры (0°). После подготовки и вклейки пенопластовых вкладышей, части были склеены между собой.

Для испытания рессоры был разработан и изготовлен специальный стенд.



Рис. 11. Внешний вид рессоры



Рис. 12. Испытательный стенд

	Комбинированная укладка	Однонаправленная укладка	Изменение, %
h _a =	0,35 м	0,32 м	-8,57
P ₃ =	8110 H	8882 H	9,52
n _a = P _a /G	2,07	2,26	9,18
h _{max}	0,524 м	0,48 м	-8,40
P _{max}	10453 H	11499 H	10,01
N _{max}	2,67	2,93	9,74
Максимальные напряжения			
в волокнах наружного слоя	234 Mna	200 Мпа	23,93
центрального сечения	204 Willa	230 101114	
рессоры			

Таблица 1. Сравнение характеристик рассчитанных рессор



Таблица 2. Напряжения в слоях рессоры при комбинированной укладке

Нагружалась рессора шпильками, которые подтягивались снизу гайками. Величина нагрузки снималась динамометром, на котором висела рессора. Нагружение проводилось ступенчато, через каждые 100 кг измерялось перемещение. Таким образом, рессора была нагружена до 1500 кг. Результаты испытаний сведены в диаграмму, для наглядности на этой же

		-
Toput Set 2 Sa 7 4 Time 0.74 Conjunt Set 2 Sa 7 4 Time 0.74 Contour Lam Ply1 XNormal Ste ss	400. 300. 100. -100. -200. -200. -300. -400.	Верхняя оболочка. Наружный слой
117 117 117 117 117 117 117 117	400. 300. 200. - 100. - 200. - 200. - 300. - 400.	Верхняя оболочка. Средний слой
-741 250 7 Output Set & Sase 74 Time 0.74 Contput. Lan Ry7X Normal Stress	400 300 100 -100 -200 -300 -400	Верхняя оболочка. Внутренний слой
211 211 Output Set Xase 74 Time 0.74 Contour: Lam Pyl X Normal Stress	400. 300. 200. 100. -100. -200. -300. -400.	Нижняя оболочка. Наружный слой
200 293 OutputSet&gase 74 Time 0.74 ContourLamPy4 XNormal Stress	400. 300. 200. 100. -100. -200. -300. -400.	Нижняя оболочка. Средний слой
23.5 245. Oxfput Set Qase 74 Time 074 Contour Lam Ply7X Norme1S tress	400. 200. 100. -100. -200. -200. -300. -400.	Нижняя оболочка. Внутренний слой

Таблица 3. Напряжения в слоях рессоры при однонаправленной укладке

диаграмме показана кривая, полученная в конечно-элементном расчете.

Небольшое расхождение теоретической и экспериментальной кривой обусловлено тем, что в реальных условиях рессора нагружается немного по-другому: нагрузка прикладывается не к оси, а к колесу, не учтен прогиб самого стенда, не учтен ход динамометра.

Тем не менее, изготовленная рессора получилась менее жесткой, чем предыду-

щая, выдержала нагрузку, достижимую в реальных условиях лишь при посадке с двукратной перегрузкой, а, кроме того, стала легче на 3 кг.

Работоспособность рессоры доказана успешными испытаниями в составе самолета. Работа рессоры в режимах взлета и посадки полностью подтвердили состоятельность проведенной работы.



Рис. 13. Начало испытания рессоры (предварительная нагрузка 100 кг)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. MSC/NASTRAN – Quick Reference Guide. Файл документации



Рис. 14. Деформация рессоры при нагрузке 1500 кг



Рис. 15. Сравнение результатов

DESIGN OPTIMIZATION OF LEAF SPRING MADE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS OF LIGHT MULTIPURPOSE AIRCRAFT "YASTREB" S-012

© 2012 K.V. Peresypkin, N.M. Stepanov, V.M. Shakhmistov

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University)

The authors set out to reduce the rigidity of the leaf spring of a light aircraft, made of polymer composite materials, while maintaining its strength and geometry. The paper presents the process of solving this problem with the use of finite element modeling, as well as comparison of characteristics derived from the design to their original values and test results of real structures made with the data obtained.

Key words: leaf spring, light multipurpose aircraft, polymer composite materials, strength, stiffness, tests, finite element modeling

Konstantin Peresypkin, Engineer of Flying Machines Department. E-mail: peresypkin@mail.ru Nikolai Stepanov, Engineer of Inter-Chair Design Bureau of Flying Machine. E-mail: stepanov.nickolaj@gmail.com Vladimir Shakhmistov, Candidate of Technics, Head of Inter-Chair Design Bureau of Flying Machines. E-mail: skb1@ssau.ru