

УДК 629.735.017

ББК 658-048.403

С 58-036.008.08

В.В. Буланов, А.Г. Дибир

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены вопросы обеспечения надежности изделий при проектировании и производстве силовых элементов конструкции из композиционных материалов.

Развитие летательных аппаратов, повышение эффективности и расширение сфер их применения, усложнение конструкций и увеличение числа функциональных систем невозможно без решения проблемы надежности на всех стадиях жизненного цикла изделий авиационной техники: научных исследований, проектирования, производства, отработки и доработки, эксплуатации.

Надежность не является свойством, которое можно придать готовому изделию, и обеспечивается комплексом мер, принимаемых на всех этапах, от создания изделия до его эксплуатации [1].

Основное отличие композиционных материалов (КМ) от металлов заключается в том, что КМ - это материал конструкции, свойства которого закладываются и реализуются в процессе производства. Поэтому для изделий из КМ наиболее важны этапы проектирования и производства. При правильном подходе к решению проблемы надежности на этих двух этапах можно недостатки КМ обратить в достоинства специальными конструкторскими и технологическими приемами. Например, КМ плохо работают на сжатие (расслоение, смятие несущих слоев и т.п.) в отличие от растяжения, поэтому для элементов конструкции, испытывающих воздействие повторно-переменных нагрузок, можно использовать решение, которое уже давно найдено и применяется в живой природе: в растущем дереве наружные слои растянуты, а внутренние сжаты. То есть в сжатой зоне элемента необходимо создавать предварительное растяжение таким образом, чтобы слои материала в этой зоне при деформировании всегда были растянуты либо напряжения сжатия не превышали разрушающих (допускаемых).

На наш взгляд, возможности КМ в настоящее время не используются в полной мере по причине консерватизма мышления инженеров-расчетчиков и инженеров-конструкторов, воспитанных на традиционных материалах, с одной стороны, и чрезмерно увлеченных в создании интегральных конструкций из КМ, с другой.

Разработчики конструкций из КМ, проектировавшие ранее аналогичные изделия из металла, обнаруживают, что при обеспечении прочности конструкция получается не только легкой, но и более гибкой, чем металлическая. Требования по жесткости обеспечить сложнее, особенно для конструкций с малой строительной высотой: лонжеронов, кессонов крыльев, балок и т.п. Например, перспективная замена стальной трубчатой штанги токоприемника троллейбуса на изготовленную из стеклопластика с сохранением габаритных размеров обеспечивает восприятие нагрузки при трехкратном уменьшении массы, но требования жесткости невозможно обеспечить даже при выполнении стеклопластиковой штанги в виде сплошного стержня. Для рационального применения КМ это необходимо учитывать на самых ранних стадиях проектирования. В определенной степени здесь может быть полезен опыт создания конструкций из дерева - природного КМ - для применения соответствующих конструктивно-силовых схем.

Кроме того, необходимо учитывать, что для КМ характерна тесная связь, единство конструкторских и технологических решений. Поэтому не всегда привлекательное конст-

рукторское решение является приемлемым, если оно не подкреплено соответствующим технологическим. Приведем в качестве примера (на этом примере наиболее просто проверить приемлемость и эффективность предлагаемого решения в эксплуатации) известное конструкторское решение для легкоатлетического шеста [2], в котором для повышения удельных характеристик стеклопластиковой трубчатой конструкции предлагается дополнительно применить органопластик. Последний имеет более высокие, чем у угле- и стеклопластика удельные характеристики при растяжении, но практически непригоден для работы на сжатие. В шесте, который можно будет изгибать при выполнении спортсменом прыжка только в одной плоскости и только в одном направлении, предлагалось применить стеклопластик в сжатой зоне и органопластик в растянутой, что должно гарантировать уменьшение массы на 20%. Для изготовления этого шеста следует использовать полимерный КМ, который содержит армирующий тканевый наполнитель полосчатого строения, состоящий из сгруппированных в полосы органо- и стекловолокон заданной ширины. Данная ткань, пропитанная связующим, для формования конструкции шеста наматывается на коническую оправку и после термообработки должна обеспечить требуемое размещение материала.

Типовое сечение шеста и схема расположения витков в слоях показаны на рис. 1. Внутренний слой 1 из КМ на основе пропитанной смолой ЭДТ-10 спирально намотан встык органопластиковой ленты. Средний слой 2, 3 состоит из нескольких витков гибридного, армированного стеклоорганотканью КМ, образующего два симметрично расположенных относительно плоскости изгиба Y , неразрывно связанных между собой сектора P (растяжения) и C (сжатия), являющихся соответственно органопластиковой частью КМ с центральным углом $180-200^\circ$ и стеклопластиковой частью с центральным углом $180-160^\circ$. Наружный слой 4 из КМ на основе органопластиковой ленты намотан встык спиралью встречной спирали внутреннего слоя. Для гибридного КМ, армированного стеклоорганотканью, специальными мерами обеспечено постоянство толщины и жесткости $E_{стп} = E_{оп}$. Однако формирование показанного на рис. 1 сечения, к сожалению, возможно лишь теоретически. Практически в процессе намотки и термообработки неизбежны смещения, а, следовательно, требуемая по сечению и длине шеста структура материала не будет достигнута. Это конструкторско-технологическое решение можно использовать при проектировании и изготовлении, например, лопасти несущего винта вертолета, испытывающей более сложное напряженно-деформированное состояние.

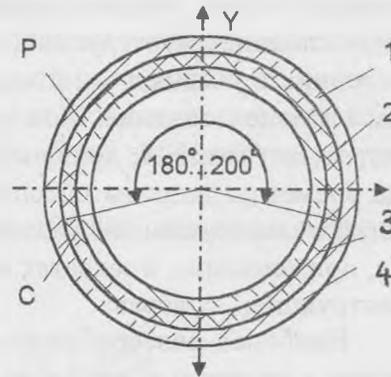


Рис. 1. Типовое сечение шеста

Стремление к созданию конструкций, обладающих высокой степенью интегральности, и соответственно сложной структурой КМ приводит к эффекту коробления. Устранение этого нежелательного явления в интегральной конструкции из КМ требует проведения соответствующих работ, которые приведут к снижению остаточных напряжений. Так, для обшивок стабилизатора самолета Boeing-737 с I-образными подкреплениями уменьшение коробления было достигнуто путем замены слоев ленты из углепластика на углеткань во внешних полках подкрепляющих элементов. С увеличением степени интегральности конструкции из КМ объем исследований, необходимых для уменьшения эффекта коробления, весьма значителен.

По нашему мнению, сложные конструкции из КМ следует проектировать с учетом возможности проведения сборочных операций. Кроме того, для снижения эффекта коробления необходимо при проектировании исследовать возможность использования в процессе изготовления изделий специальных мер, направленных на уменьшение остаточных технологических напряжений. В качестве одной из таких мер предлагается при изготовлении изде-

ля до этапа термообработки исключить адгезионную связь между функционально различными частями композитной конструкции, имеющими различную структуру, а, следовательно, различные коэффициенты линейного температурного расширения. Так, в композитной панели, фрагмент которой показан на рис. 2, обшивки 1, изготовленные из слоев КМ с укладкой слоев арматуры $\pm 45^\circ$, подкреплены полосами 2 из слоев однонаправленного КМ. Для устранения адгезионной связи между ними полосы 2 перед размещением в материале обшивок 1 покрывают разделителем 3. При этом

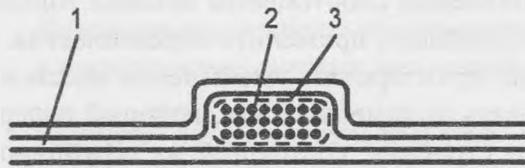


Рис. 2. Сечение панели

на этапе проектирования, естественно, следует позаботиться о том, чтобы соединительные элементы данной панели учитывали отсутствие указанной адгезионной связи. Кроме того, введение разделителя между функционально различными частями КМ в конструкции окажет положительное влияние на живучесть последней.

Наибольшие неприятности конструкторам доставляет проблема соединения КМ с металлом. Несмотря на большое число работ, посвященных этому вопросу, эффективного и приемлемого решения до сих пор не найдено. Этим и объясняется, что при создании гибридной конструкции планера вертолета Ка-50 практически не получено выигрыша в весе.

Необходимо пересмотреть подход к проблеме соединения КМ с металлом. При соединении металлических частей конструкции с композитными чаще всего применяют типы соединений, которые ранее использовались для сборки конструкций из металла, причем часто для осуществления сборки части из КМ в зоне соединения дополняют металлическими элементами, что не всегда оправдано с точки зрения надежности. Предлагается при проектировании сложных конструкций, содержащих как металлические, так и композитные части, в последних применять минимальное количество металлических элементов или вообще избегать их использования. При этом металлические части конструкции, к которым присоединяются части из КМ, должны содержать элементы крепления частей из КМ, причем указанные элементы должны обеспечивать кинематическую связь металлической и композитных частей с максимальным увеличением площади их контакта в соединении на основе принципов, применяемых в захватах испытательных машин, или типов соединений, применяемых в конструкциях из дерева.

Наиболее целесообразным, на наш взгляд, является замена металла в закладных элементах и прокатных профилях на КМ. Технология производства таких элементов разработана, не слишком сложна и может выполняться на имеющемся оборудовании. При этом в композитных частях не потребуется выполнять отверстия и нагрузка не будет передаваться локально. Поэтому применение соединений такого типа позволит повысить надежность конструкции.

Далеко не полный анализ вопросов, связанных с использованием КМ в силовых элементах конструкции, показывает, что соблюдение основного требования – обеспечения надежности изделий – невозможно без разработки новых конструкторско-технологических решений.

Список литературы

1. Комаров А.А. Надежность воздушных судов. – К.: КМУГА, 1997. – 414 с.
2. Пат. 20500879 Россия. Спортивный шест для прыжков в высоту и полимерный композиционный материал для его изготовления / И.И. Петров, Е.И. Тимофеев, В. П. Бабич и др. – № А 63 В 5/06; Заявлено 14.11.89; Опубл. 27.12.95, Бюл. № 36.

Стаття надійшла до редакції 11 липня 2000 року.