

УДК 629.7.02

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

© Спирина М.О., Куркин Е.И.

e-mail: maryspirina@gmail.com

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва, г. Самара, Российская Федерация*

Проектирование пространственных, высоконагруженных конструкций представляют собой сложный, итерационный процесс, основанный на высокоточном математическом моделировании. При проектировании изделия одним из основных этапов является выбор силовой схемы конструкции [1, 2, 3]. При выборе силовой схемы, удовлетворяющей заданным требованиям, может быть использован метод топологической оптимизации конструкции на основе модели тела переменной плотности, которое представляет собой пространство проектирования [4, 5, 6]. Применение топологической оптимизации при проектировании сложных, пространственных конструкций позволяет сократить массу изделия, спроектировать конструкцию удовлетворяющую граничным условиям. Уменьшение массы конструкции без ухудшения прочностных свойств возможно путем замены традиционного материала на композитные. Проектирование пространственно-нагруженных конструкций из полимерных композиционных материалов успешно реализовано в авиационной технике [7, 8]. Целью данной работы является определение эффективности использования топологической оптимизации при проектировании сложных пространственно-нагруженных конструкций, на примере оценки различных вариантов конструкций кронштейна.

При создании новой формы кронштейна первым этапом выполнялась топологическая оптимизация. Тело переменной плотности создавалось с учётом ограничений, накладываемых способом закрепления, и сил, действующих в соответствии с заданными случаями нагружения. Результат топологической оптимизации представляет собой геометрию, состоящую из элементов сетки (фасет). Полученную конструкцию невозможно изготовить традиционными способами, поэтому производилась её обработка и сглаживание. Выполнялся прочностной расчёт каждого варианта конструкции и его доработка в соответствии с результатами расчёта. Разработан вариант конструкции для изготовления методом инъекционного литья из композиционных материалов, армированными короткими высокопрочными волокнами. В конструкции учтены технологические ограничения, накладываемые методом изготовления. Во избежание технологического дефекта «непролива» толщины такого варианта конструкции подбирались с помощью параметрической оптимизации.

При оценке эффективности использования топологической оптимизации рассмотрено три варианта конструкции кронштейна: исходная конструкция; конструкция, полученная в результате топологической оптимизации без её последующей обработки; конструкция, подготовленная для изготовления методом литья под давлением из короткоармированного композиционного материала.

Оценка эффективности проектирования конструкции проводилась с помощью безразмерных критериев. Величину и протяженность действия внутренних усилий в конструкции оценена с помощью силового фактора G [4, 9]: $G = \int_V \sigma_{ekv} dV$, который

может быть приведен к безразмерному виду, путем нормирования на характерный линейный размер L и силу F : $C_k = \frac{G}{F \cdot L}$ [10]. Безразмерный коэффициент C_k может служить критерием весового совершенства конструкции – чем меньше значение, тем эффективнее (более короткий путь и при меньших напряжениях) конструкция передает нагрузку [10]. Технологическое совершенство конструкции может быть оценено с помощью безразмерного коэффициента $\varphi = \frac{V\sigma^{\text{lim}}}{G}$ [10].

Расчеты безразмерных критериев показали, что топологическая оптимизация конструкции позволила в 3,8 раза увеличить весовую эффективность конструкции. Использование конструкций из короткоармированных композитов позволяет сохранить высокую эффективность конструкции, но требует учёта технологических ограничений, приводящих к появлению мало нагруженного материала. Тем не менее, переход к технологии литья под давлением не более чем на 10% понизил технологическое совершенство конструкции и позволил улучшить общую эффективность изделия.

Представленный метод оценки весовой эффективности конструкций позволил в безразмерном виде количественно оценить результат топологически оптимальных конструкций и количественно оценить влияние технологических ограничений на эффективность выпускаемой продукции.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-31-20071 мол_a_вед.

Библиографический список

1. Комаров В.А., Кузнецов А.С. Выбор облика летательного аппарата с использованием технологии многодисциплинарной оптимизации: электрон. учеб. пособие/ Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королёва (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (7 Мбайт). - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
2. Головченко Я.О. Выбор рациональных конструктивно-силовых схем агрегатов самолета из композитов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии № 63, 2014. – С. 5-11
3. Редько А.А. Выбор в первом приближении конструктивно-силовой схемы крыла на этапе эскизного проектирования // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии № 62, 2013. – С.13-20
4. Комаров В.А. Проектирование силовых схем авиационных конструкций / Актуальные проблемы авиационной науки и техники. М.: Машиностроение, 1984. С. 114–129.
5. Комаров В. А., Рациональное проектирование силовых авиационных конструкций: дисс, докт. техн.наук.– Московский авиац. ин-т– Москва, 1976.– 329 с.
6. Komarov V.A., Boldyrev A.V., Kuznetsov A.S., Lapteva M.Yu. Aircraft design using a variable density model // Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An Int Journal, 84 (3) (2012), pp. 162-171.
7. 1st PEEK thermoplastic structural component in the A350 //: <http://bloga350.blogspot.com/2015/10/1st-peek-thermoplastic-structural.html>
8. Stepashkin A.A., Chukov D.I., Senatov F.S., Salimon A.I., Korsunsky A.M., Kaloshkin S.D. 3D-printed PEEK-Carbon Fiber (CF) composites: Structure and thermal properties // Composites Science and Technology. – 2018
9. Комаров В.А. Весовой анализ авиационных конструкций: теоретические основы // Полет. 2000. – С. 31–39.
10. Комаров В.А. Безразмерный критерий силового совершенства конструкций //Механика твердого тела, №4, 2018 – С. 34 - 47.