

УДК 678.057.94

**РАСЧЁТ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
АВТОКЛАВНОЙ ОСНАТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАНЕЛЕЙ
ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Садыкова В. О., Куркин Е. И.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Производство панелей крупноразмерных агрегатов авиационных конструкций из композиционных материалов в ряде случаев осуществляется методом вакуумной ифузии с использованием горячего формования с помощью автоклавной оснастки. Оснастка изготавливается из углепластика и состоит из рамы и формообразующей поверхности. Данная работа посвящена определению жёсткости и прочности автоклавной оснастки с помощью моделирования её нагружения методом конечных элементов в системе ANSYS. Анализ её напряженно-деформированного состояния под действием силы тяжести производился в условиях комнатной температуры при +22°C.

Конструкторская геометрическая модель автоклавной оснастки преобразована к виду поверхностной геометрической модели, являющаяся основой для конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния оснастки. С помощью CAD-модуля ANSYS DesignModeler устранены технологические зазоры в конструкторской модели автоклавной оснастки, упрощена или удалена геометрия крепёжных элементов, не влияющих на жёсткостные и прочностные характеристики модели. Ряд объектов сложной формы представлены объёмными телами. Регулярная зона конструкции автоклавной оснастки описаны с помощью поверхностной геометрии. Проведенное преобразование геометрической модели позволило после импорта в ANSYS Mechanical создать конечно-элементную модель для оценки различных случаев нагружения.

Поверхностная геометрическая модель оснастки хорошо подходит для создания конечно-элементной модели оболочечными элементами, так как в основном конструкция изготовлена из листовых материалов. Сочетание оболочечных элементов в регулярной зоне с объёмными твёрдотельными элементами в местах несущего крепежа сложной геометрии позволило эффективно моделировать напряженно-деформированное состояние крупноразмерных оснасток, подбирая необходимую толщину их стенок и учитывая возможность изготовления оснасток из композиционных материалов, – для минимизации температурных деформаций.

Исследовано напряженно-деформированное состояние при основных случаях нагружения оснастки. Исходя из условий эксплуатации оснастки, случаев её транспортировки при равномерном и неравномерном подвесе за рым-болты, установки на неровный пол перед нивелировкой опор и её рабочего положения при расположении на полу на всех опорах, произведён выбор расчётных случаев и способов нагружения.

При моделировании нагружения исследуемого объекта жёсткость его конструкции определялась путём определения в ней перемещений, а прочность – напряжений. Полученные согласно расчётам значения перемещений и напряжений сопоставлялись с допускаемыми.

Первым был рассчитан случай установки оснастки на всех опорах при действии на неё силы тяжести. Максимальные перемещения при этом не превышают 0,2 мм, а эквивалентные напряжения не превышают 15 МПа, что удовлетворяет требованиям жёсткости и прочности.

Вторым проведен расчёт напряжённо-деформированного состояния при установке оснастки на три опоры. Этот случай актуален при установке оснастки на неровный пол при нивелировке остальных опор. Максимальные перемещения не превышают 0,2 мм, а эквивалентные напряжения не превышают 60 МПа, что также удовлетворяет требованиям жёсткости и прочности.

Третьим рассчитан случай подвеса оснастки на траверсе за рым-болты. Максимальные перемещения при этом не превышают 0,3 мм, а эквивалентные напряжения не превышают 30 МПа, что удовлетворяет требованиям жёсткости и прочности.

Четвёртым проведен расчёт напряжённо-деформированного состояния при подвесе оснастки на траверсе с учётом неравномерности натяжения строп. Максимальные перемещения в этом случае превышают 4 мм, что говорит о низкой крутильной жёсткости оснастки, вызванной отсутствием диагональных связей в её силовой схеме. Эквивалентные напряжения, возникающие в конструкции, не превышают 150 МПа, а их максимум расположен на стальных элементах конструкции, поэтому можно сделать вывод об удовлетворении оснастки требованиям прочности при данном случае нагружения.

Для увеличения крутильной жёсткости было рассмотрено два варианта корректировки конструкции оснастки: добавление диагональных связей и установка раскосных стенок.

Диагональная связь позволила снизить максимальные перемещения в конструкции до 2 мм. Она организована с помощью добавления в конструкцию оснастки по главным диагоналям блоков рамы пластин, сечение которых соответствует сечению подкрепляющих продольных элементов в верхней части оснастки.

Установка раскосных стенок позволила снизить максимальные перемещения до 1 мм. Она организована с помощью установки раскосных стенок в конструкцию, толщина которых соответствует толщине остальных элементов конструкции. Это обеспечивает совпадение технологического процесса для всех элементов конструкции автоклавной оснастки. Раскосные стенки присоединяются как к боковым стенкам автоклавной оснастки, так и к её нижней плите.

Анализ полученных результатов показал, что при основных случаях нагружения оснастка удовлетворяет требованиям прочности и жёсткости. В случае подвеса на траверсе с учётом неравномерности натяжения строп исходная конструкция автоклавной оснастки имеет низкую жёсткость на кручение. Усиление крутильной жёсткости оснастки можно увеличить двумя способами.

Первый способ предполагает добавление диагональных пластин по главным диагоналям типовых блоков оснастки. Этот вариант позволяет снизить максимальные перемещения при подвесе за три из четырех строп до 2 мм. Масса дополнительных элементов при этом составляет примерно 8% от массы исходной оснастки.

Второй способ предполагает установку диагональных перегородок (раскосных стенок) из пластин толщиной, аналогичной толщине остальных элементов оснастки. Такой способ позволяет обеспечить максимальные перемещения в пределах 1 мм, что удовлетворяет требованиям жёсткости. Такой способ позволяет существенно увеличить крутильную жёсткость оснастки, но требует большого количества материала. Даже с учётом использования в раскосных стенках отверстий облегчения, аналогичных основной части оснастки, масса раскосных стенок доходит до 35 % от массы исходной оснастки.