

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЖЕСТКОСТИ МНОГОСЕКЦИОННОГО ПУАНСОНА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Я.В. Тарасов, соискатель

127 Военный завод, г.Воронеж, Россия

В статье рассмотрен анализ исследования жесткости многосекционного пуансона, изготовленного из различных материалов, в процессе формообразования методом обтяжки при заданных параметрах и технологии процесса и приведены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния процесса.

Конструктивными особенностями деталей летательных аппаратов является их большие габариты, недостаточная жесткость, сложность проектирования геометрических обводов.

Начиная с этапа предварительного проектирования, проблема оптимизации основных параметров изделия неразрывно связана с решением задач проектирования поверхностей сложных форм, а также проектированием и изготовлением технологической оснастки: шаблонов и пуансонов. При этом к оснастке предъявляются различные требования:

- достаточная жесткость и прочность;
- обеспечение необходимых объемов, ограниченных поверхностью изделия и размеров (площадей) поперечных сечений (компоновочные и конструктивные требования);
- легкость в технологическом сопровождении при изготовлении оснастки поверхностей сложных форм.

Проектирование таких поверхностей предоставляет немалые трудности, приходится решать целый ряд оптимизационных задач по увязке, зачастую взаимопротиворечащих требованиям изготовления оснастки, технологии и конструкции.

Целью работы является экспериментальный анализ жесткости оснастки – многосекционного пуансона, при заданных экспериментальных нагрузках.

Математическая модель предназначена для проведения расчетно-экспериментального анализа в процессе формообразования методом обтяжки при заданных параметрах и технологии процесса.

Степень достоверности и обоснованности результатов расчетов обеспечивается точностью совпадения $\approx 5\%-10\%$ с экспериментальными данными.

Формообразование методом обтяжки – один из наиболее распространенных методов изготовления крупногабаритных обшивок в самолетостроении. Обтяжка заключается в натяжении на поверхность жесткого пуансона первоначально плоской заготовки, зажатой на двух противолежащих краях в зажимные устройства. Размеры стороны заготовки обычно находятся в пределах 1000–8000 мм, толщина 1–10 мм.

В ходе процесса пуансон неподвижен, а формообразование осуществляется за счёт перемещения зажимов по определённым траекториям.

В последнее время вопрос ставится о технологии изготовления жесткого пуансона, как вариант рассматривается изготовление пуансона из различных особо прочных материалов допускающих хорошую обработку и точность изготовления.

В рамках работы была смоделирована комплексная модель многосекционного пуансона по экспериментальным данным проведенного ранее процесса формообразования обтяжки с помощью CAD-CAE системы SolidWorks и совместно с CAE системой [ABAQUS](#) проведен расчетный анализ.

Рассмотрен ряд вопросов, связанных с построением модели, проведены дополнительные численные эксперименты, получены рекомендации по конечно-элементному моделированию процесса обтяжки.

В числе прочих были рассмотрены следующие проблемы:

- выбор типа и размера конечных элементов, дающий наиболее выгодный компромисс между адекватностью/точностью результатов и ресурсоёмкостью;
- включение в модель определений для учёта ряда физических эффектов, оказывающих влияние на ход и результат процесса;
- вопросы эффективности и автоматизации процесса подготовки моделей.

Рассмотрим модель многосекционного (оболочечного) пуансона (см. рис.1), разработанную в CAD-системе SolidWorks с применением трех различных материалов, а затем, в приложении COSMOSWorks проведем расчетно-экспериментальное исследование с использованием метода конечных элементов (МКЭ).

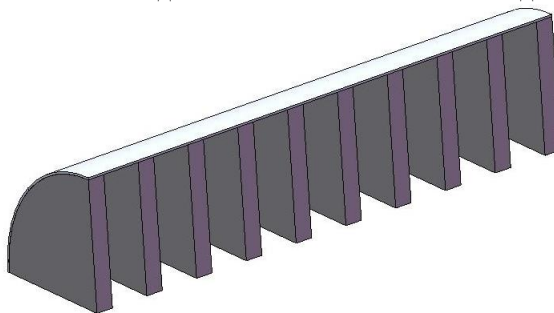


рис. 1. Модель многосекционного пуансона.

В работе используем геометрическую модель прототипа, пуансона, на котором изготавливают обшивку самолета. Многосекционный пуансон выполнен из секций с внутренним ребром жесткости, соединенных по поперечному и продольному стыкам, проходящим по внутреннему ребру жесткости, которые соединены

крепежными деталями. Поперечные стыки расположены по обеим сторонам от продольного стыка и разнесены. Такая конструкция составного пуансона позволяет исключить опорную раму большой жесткости, снизить трудоемкость ее изготовления, уменьшить не только общую металлоемкость составного пуансона, а и отдельных его секций, упрощает конструкцию и позволяет из унифицированного набора секций собирать составной пуансон для различных по форме деталей.

Для получения близкого к экспериментальным данным результата необходимо правильно построить сетку из конечномерных элементов и соответственно применить граничные условия. Реализация этих условий предполагает изменение жесткости модели, осуществляются они через непосредственную модификацию или же посредством ввода вспомогательных «жестких» конечных элементов, которые фактически приводят к появлению в модели абсолютно жесткого виртуального объекта. Как следствие, в месте, где этот объект взаимодействует с «реальными» деталями (фактически, в зоне приложения описанных граничных условий), возможно появление теоретически бесконечных деформаций (напряжений).

Выбор размера элементов в первую очередь диктуется соображениями последующего использования получаемых результатов. Так, если необходимо получить распределение деформации в некоторой области, то, очевидно, для этого необходимо использовать, скажем, хотя бы 10–15 элементов в каждом из направлений по этой области. В противном случае результаты будут слишком грубыми. Как известно, метод конечных элементов даёт лишь приближённое решение, которое при определённых условиях сходится к искомому. Можно сказать, что решение будет приближаться к искомому с уменьшением размеров конечных элементов.

В качестве оптимального конечномерного элемента для построения сетки был выбран тетраэдр (4-х точечный элемент).

Информация о сетке модели

| | |
|-------------------------|-----------------|
| Тип сетки: | Тетраэдрическая |
| Используемое разбиение: | Стандартный |
| Размер элемента: | 56.477 mm |
| Допуск: | 2.8239 mm |
| Количество элементов: | 29375 |
| Количество узлов: | 51968 |

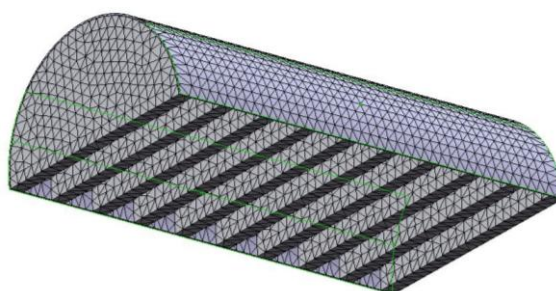


рис. 2. Схема разбиения модели методом конечных элементов (сетка).

Назначение граничных условий производится в привязке к геометрической модели. Пуансон, нижними секциями лежит на столе пресса, таким образом, нижняя часть пуансона закреплена по всем степеням свободы. На боковые грани, они выделены зеленым цветом (см. рис.3), действует давление $P=23 \text{ кгс/см}^2$, что соответствует 2,25 МПа, а на верхнюю грань, выделенную серым цветом действует давление $P=20 \text{ кгс/см}^2$, что соответствует 1,96 МПа. Величины нагрузки взяты из практического процесса формообразования, вследствие которого были получены результаты, с которыми будут сравнены результаты расчетно-экспериментального анализа.

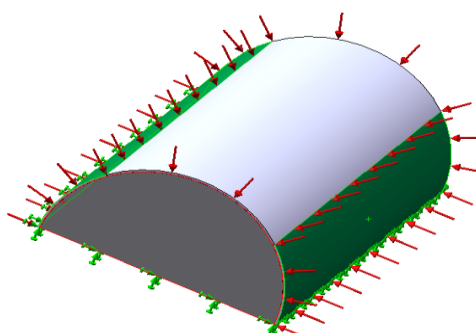


рис. 3.Схема ограничения и нагрузки.

В экспериментальном анализе на жесткость были рассмотрены 3 материала пуансона, технические характеристики, которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

| Свойство | Значения | | |
|---|-------------|--------|-----------------------|
| | Сталь | Дерево | Высокопрочный пластик |
| Модуль упругости, Н/м ² | 2.1e+011 | 3e+009 | 2.4e+009 |
| Коэффициент Пуассона | 0.28 | 0.29 | 0.35 |
| Модуль сдвига, Н/м ² | 7.9e+010 | 3e+008 | 8.9e+008 |
| Массовая плотность, кг/м ³ | 7800 | 160 | 1200 |
| Предел прочности при растяжении, Н/м ² | 7.2383e+008 | | 5.1702e+008 |
| Предел текучести, Н/м ² | 6.2042e+008 | 2e+007 | 2.0681e+008 |

Контакт между поверхностью заготовки и оснасткой определяется таким образом: допускается взаимное проникновение элементов, обеспечивается лишь не проникновение узлов сквозь поверхность.

Выводы:

Расчетно-экспериментальный анализ исследования жесткости оснастки в процессе формообразования методом обтяжки позволяет:

- 1) Оценить напряженно-деформированное состояние модели пуансона;
- 2) Выбрать наиболее прочный материал для изготовления жесткой оснастки;
- 3) Выбрать оптимального вида сетку конечных элементов, что в дальнейшем послужит оптимизацией результатов расчета.

Ниже приведены результаты экспериментального анализа.

Таблица 2

| Материал | Смещение макс. | Напряжение макс. | Напряжение мин. |
|----------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Сталь | 0.230484 мм | 1279.73 кгс/см ² | 6.379 кгс/см ² |
| Дерево | 16.0669 мм | 1273.75 кгс/см ² | 6.34407 кгс/см ² |
| Пластик | 19.3076 мм | 1227.45 кгс/см ² | 5.62998 кгс/см ² |

Таким образом, при максимальном напряжении, мы получили минимальное смещение.

Результаты, полученные в ходе натурального процесса формообразования отличаются от расчетно-экспериментальных на 5 % - 10%.