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, приходиться 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 ≈ 5%-10% с экспериментальными данными.

Формообразование методом обтяжки – один из наиболее распространѐнных методов изготовления крупногабаритных обшивок в самолѐтостроении. Обтяжка заключается в натяжении на поверхность жѐсткого 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 счѐт перемещения зажимов по определѐнным 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 ресурсоѐмкостью;

• включение в модель определений для учѐта 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).

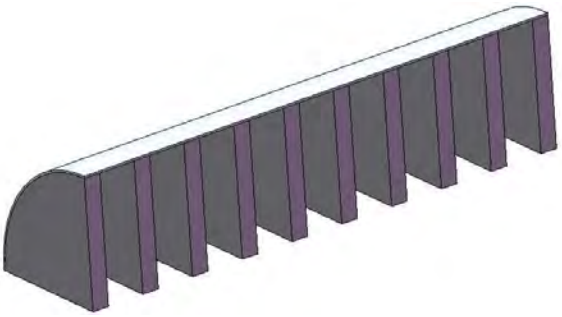

рис. 1. Модель многосекционного пуансона.

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 даѐт лишь приближѐнное решение, которое при определѐнных 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

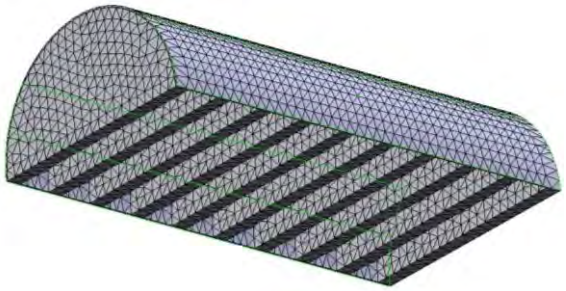

рис. 2. Схема разбиения модели методом конечных элементов (сетка).

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 кгс/см^2, что соответствует 2,25 МПа, а на верхнюю грань, выделенную серым цветом действует давление P=20 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.

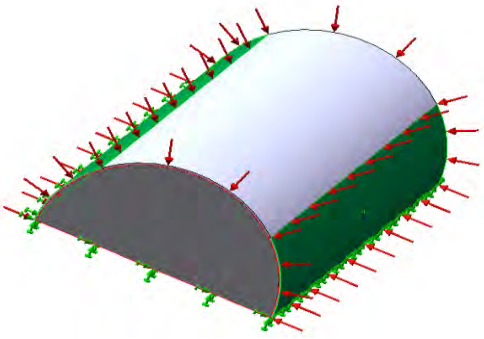

рис. 3.Схема ограничения и нагрузки.

В экспериментальном анализе на жесткость были рассмотрены 3 материала пуансона, технические характеристики, которых приведены в таблице1.

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 натурного процесса формообразования отличаются от расчетно-экспериментальных на 5 % - 10%.