

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОТБОРТОВКИ-ФОРМОВКИ В СИСТЕМЕ LS-DYNA

© 2006 Е.Г. Демьяненко, С.Ф. Тлустенко, И.П. Попов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Определение оптимальных параметров технологических процессов формообразования тонкостенных оболочек двигателей летательных аппаратов по критерию разнотолщинности. Моделирование и исследование технологических операций отбортовки-формовки с использованием метода конечных элементов

Количество технологических процессов формообразования тонкостенных оболочек (камеры сгорания, сопла, насадки и др.) связано с определением оптимального соотношения ряда их параметров при выбранном способе изготовления. При этом может быть снижено общее количество элементов конечного изделия, изготавливаемого из листового материала сваркой, за счет более рационального разделения его на элементы, исходя из возможности и удобства штамповки. Исследования операций отбортовки – формовки за ряд переходов с промежуточными отжигами показало, что детали имеют некоторую разнотолщинность, характер изменения которой представлен на рис. 1.

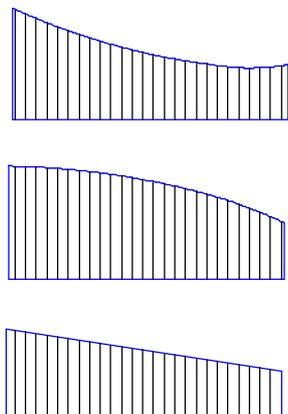


Рис. 1. Характер изменения толщин тонкостенных оболочек, получаемых способом раздачи

Разнотолщинность деталей, получаемых способом раздачи, достаточно велика, и зависит в значительной степени от изменяющихся в некоторых пределах свойств материала исходной заготовки, а также применяемой оснастки. При раздаче на сегментных растяжных пуансонах наблюдается

характер разнотолщинности, представленной на рис. 2.

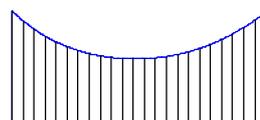


Рис. 2. Характер изменения толщин тонкостенных оболочек, получаемых способом раздачи на растяжных пуансонах

Деталь, получаемая на разжимных пуансонах раздачей, в дальнейшем калибруют. Способ хорош тем, что для штампов такой конструкции не требуется большой открытой высоты, однако разнотолщинность деталей велика.

Одним из способов изготовления тонкостенных оболочек является вытяжка с последующим обжимом-формовкой или с последующим обжимом - формовкой-отбортовкой эластичной средой. Характер изменения толщин тонкостенных оболочек, получаемых вытяжкой с последующим обжимом-формовкой, показан на рис. 3.

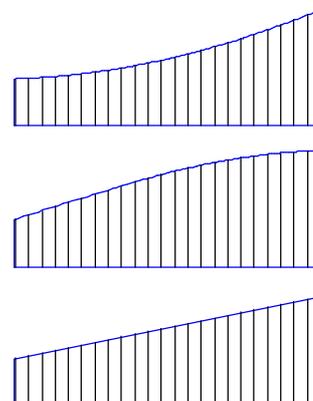


Рис. 3. Характер изменения толщин тонкостенных оболочек, получаемых вытяжкой с последующим обжимом-формовкой

Требуется установить оптимальное соотношение основных параметров взаимоназначенных процессов для обеспечения минимальной разнотолщинности изделий. Предлагается методика проектирования оптимальных технологических процессов с использованием компьютерного моделирования.

Для решения задач листовой штамповки можно применять как оболочечные, так и объёмные конечные элементы. Считается, что объёмные элементы при значительном количестве элементов по толщине дают наиболее точные результаты при решении, однако оболочечные элементы дают значительную экономию в количестве элементов, а, следовательно, и в скорости решения задачи. Учитывая вышеуказанные факторы, при моделировании процесса применялись оболочечные конечные элементы.

Для моделирования в LS-DYNA доступны более 100 различных элементов. Для решения задачи был выбран элемент с формулировкой SHELL163 – оболочечный элемент с 4 узлами, возможностью изгиба и пружинения. Элемент имеет 12 степеней свободы в каждом узле: перемещения, ускорения и скорости в направлениях по осям x , y , z , а также вращения вокруг осей x , y , z .

Для решения любой физической задачи любым численным методом сначала следует построить геометрическую модель детали, тела или области. Это обычно один из самых трудоёмких этапов в решении прикладных задач. Препроцессор Ansys позволяет переносить исходную геометрию из других САД-систем. Поэтому геометрия для моделируемого процесса была перенесена из системы Компас 3D при помощи формата IGS.

Для того чтобы сократить количество элементов, при решении осесимметричной задачи достаточно рассмотреть $\frac{1}{4}$ объёма. Для учёта осевой симметрии в этом случае необходимо задавать соответствующие граничные условия.

Особенностью LS-DYNA является необходимость разбиения на конечные элементы даже абсолютно твёрдых тел. Для сокращения количества конечных элементов жёсткие тела (оснастку) удобно представлять в виде поверхностей (оболочек), непо-

средственно контактирующих с заготовкой. Каждая оболочка имеет дискретную толщину и все расчёты производятся относительно срединной поверхности. В расчёте толщина оболочек в условиях контакта с твёрдыми телами (пуансон, матрица, прижим, выталкиватель), принималась равной 0,5 мм (в общем случае она может быть любой). Полученная с учётом этого геометрическая модель показана на рис. 4.

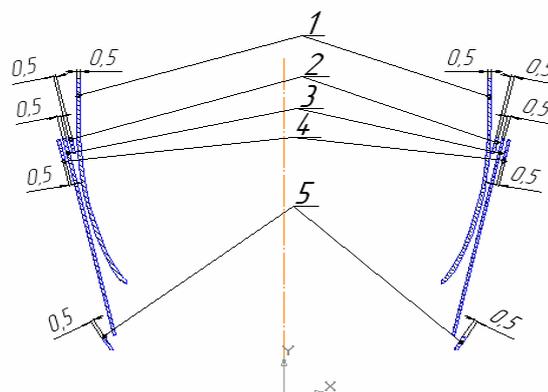


Рис. 4. Геометрическая модель, 1- пуансон, 2- прижим, 3- заготовка, 4 – матрица, 5 – выталкиватель.

Для заготовки были использованы физические свойства, соответствующие стали 12X18H10T:

Плотность - 7900 кг/м³
 Модуль упругости – $2 \cdot 10^5$ МПа
 Коэффициент Пуассона - 0,3
 Предел текучести - 216 МПа

Поведение материала заготовки описывается билинейной кривой деформирования (рис. 5), начинающейся в начале координат с положительными значениями деформаций и напряжений. Наклон первого участка определяется исходя из упругих характеристик материала. В точке, соответствующей пределу текучести, кривая продолжается вдоль второго угла, определяемого касательным модулем, имеющим те же единицы измерения, что и модуль упругости.

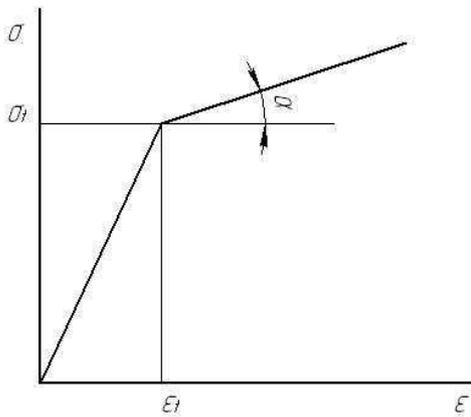


Рис. 5. Билинейная кривая деформирования

Экспериментально установлено, что данная модель удовлетворительно описывает деформации большинства металлов.

Модель материала матрицы, прижима, пуансона и выталкивателя – твёрдое тело. Определение оптимальных параметров процесса отбортовки - формовки деталей оптимальной формы проводилось при различных соотношениях $S_{заг.}$ и f . Было установлено, что наиболее благоприятное сочетание по критерию минимальной разнотолщинности обеспечивается при:

$$S_{заг.} = 0.506 \text{ мм};$$

$$f = 0.128;$$

$$P = 1220 \text{ МПа};$$

где P - модуль упругости;

$S_{заг.}$ - толщина заготовки;

f - коэффициент трения.

По полученным результатам сравним разнотолщинность деталей.

При этом конечно-элементная сетка существенным образом может влиять на качество получаемых результатов. Обычно более мелкое разбиение даёт лучшие по точности результаты. Однако аппроксимация модели большим количеством маленьких элементов приводит к системе алгебраических уравнений большого порядка, что может сказаться на скорости выполнения расчёта.

Оценить качество конечно-элементной модели можно последовательным решением нескольких задач с различным количеством элементов. Если решение (максимальные перемещения и напряжения) перестают заметно меняться при использовании более густой сетки, то можно считать, что дос-

тигнут оптимальный уровень дискретизации и дальнейшее увеличение дискретизации сетки нерационально.

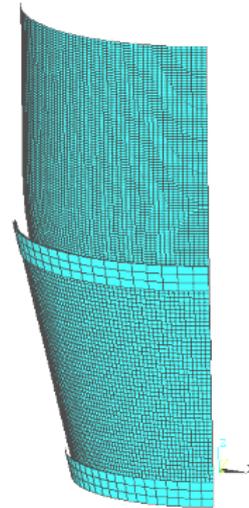


Рис. 6. Оптимальная конечно-элементная модель

При разбиении физической модели на конечные элементы использовалось упорядоченное разбиение на четырёхугольные элементы с оптимальным размером КЭ. В таблице 1 указано количество КЭ для компонентов исследуемой физической модели. Изображение модели с разбиением на конечные элементы приведено на рис. 6.

Таблица 1. Количество КЭ в модели

Наименование	Количество КЭ
Заготовка	3600
Пуансон	10800
Матрица	100
Прижим	100
Выталкиватель	100

Для построения задачи использовался тип трения – «автоматический, поверхность-поверхность». Этот тип трения позволяет учитывать толщины оболочек. В качестве контактирующих поверхностей были выбраны следующие компоненты:

- заготовка – пуансон
- заготовка – матрица
- заготовка – прижим
- заготовка – выталкиватель.

Поскольку толщина заготовки во время процесса меняется, были установлены дополнительные опции, учитывающие это изменение.

Для создания контактных условий в LS-DYNA предусмотрено множество опций.

Как правило, задача не требует переопределения значений параметров, которые выставляются «по умолчанию», кроме коэффициента трения.

Изображения деталей с обозначением толщин показаны на рис. 7 (для процесса с большим коэффициентом трения $f = 0,128$) и на рис. 8 (для такой же детали с меньшим коэффициентом трения $f = 0,1$).

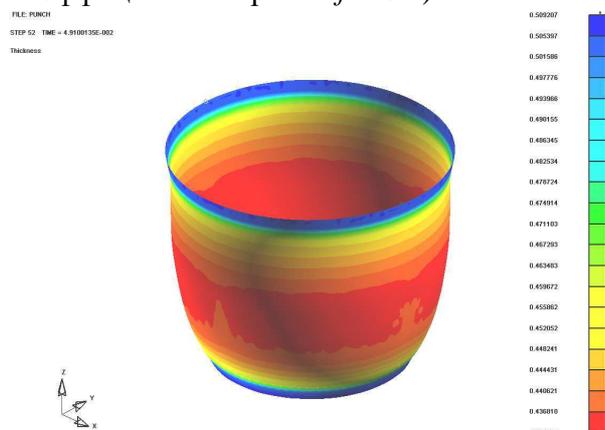


Рис. 7. Деталь с изображением толщины при $f = 0,128$, $S_{заг} = 0,506$ мм

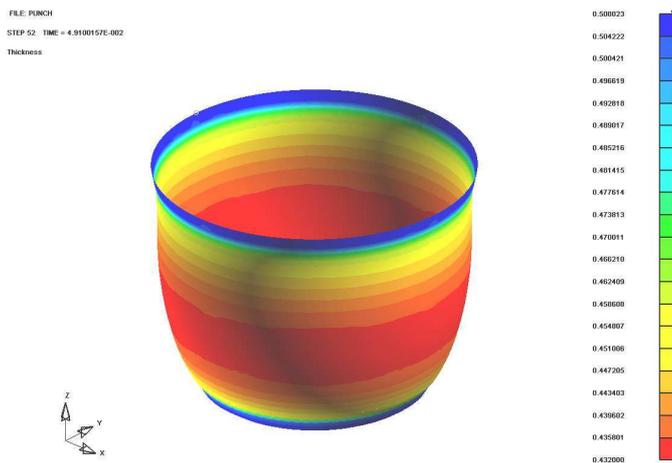


Рис. 8. Деталь с изображением толщины при $f = 0,1$, $S_{заг} = 0,506$ мм

Таким образом, можно сделать следующий вывод: полученные инженерным методом оптимальные параметры процесса отбортовки-формовки деталей оживальной формы обеспечивают наименьшую разнотолщинность деталей при расчете процесса в программном комплексе LS-DYNA по предлагаемой методике.

THE ANALYSIS OF THE CRIMP SEAL - FORMING PROCESS IN THE LS – DVNA SYSTEM

© 2006 E.G. Demeyanenko, S.F. Tlustenko, I.P. Popov

Samara State Aerospace University

The determination of optimal characteristics of technologic processes of production of thin-walled envelopes of air and space craft engines connected with the providing of several requirements to obtained items. You may wish to see the technique of the operation's calculation of crimp seal – forming of blank parts by the data of minimal variations in thickness of obtained parts group.