

УДК 621.777

Компьютерное моделирование процесса вытяжки детали типа «стакан» из плоской заготовки

В.В. Румянцев, Е.В. Цветкова
Череповецкий государственный университет
rumyantsev@chsu.ru

Румянцев В.В., Цветкова Е.В. Компьютерное моделирование процесса вытяжки детали типа «стакан» из плоской заготовки. В статье обоснован выбор программного комплекса для компьютерного моделирования в трехмерной постановке процессов вытяжки детали типа «стакан» из плоской заготовки. Приведены допущения, принятые при моделировании, описана методика моделирования с учетом реальных механических свойств алюминия и свинца. Исследованы закономерности формоизменения заготовок, характер изменения толщины стенки стакана, определены усилия, действующие на пуансон и матрицу, исследованы компоненты напряженно-деформированного состояния заготовки, обоснован выбор конструкции рабочего инструмента - матрицы с конической рабочей частью.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, вытяжка, формоизменение, напряженно-деформированное состояние.

Введение

Вопросам компьютерного моделирования процессов обработки металлов давлением (ОМД) уделяется значительное внимание в современном машиностроении [1,2]. Одним из таких процессов является вытяжка, позволяющая получить за счет пластической деформации плоских заготовок большое количество полых деталей разнообразной формы, отличающихся друг от друга как очертанием в плане, так и формой боковых стенок [3].

Моделирование процесса вытяжки традиционно проводится либо аналитическими методами, либо численными методами, однако задача практически всегда ставится в двумерной постановке [4,5], не учитывающей все особенности формоизменения металла и его напряженно-деформированного состояния.

Цель данной статьи - промоделировать процессы вытяжки детали типа «стакан» из плоской заготовки, рассматриваемые в трехмерной постановке.

В работе решаются следующие задачи: моделирование формоизменения заготовки и ее напряженно-деформированного состояния в случае вытяжки цилиндрического стакана из плоской алюминиевой заготовки; моделирование формоизменения заготовки и ее

напряженно-деформированного состояния в случае вытяжки цилиндрического стакана из плоской свинцовой заготовки.

В качестве инструментария для решения задач выбран программный комплекс DEFORM-3D, широко применяемый для моделирования различных процессов ОМД (см., например, [6-8]) с использованием метода конечных элементов, позволяющий отследить процесс формоизменения изделия с учетом сложности граничных условий, сложности зависимостей реальных механических свойств указанных выше металлов [9] от искомых параметров состояния и оценить конечный результат.

Моделирование вытяжки детали типа «стакан» из плоской алюминиевой заготовки

При моделировании рассматривались процессы, протекающие лишь в одной четверти круглой заготовки. Было принято допущение, что в других трех четвертях процессы протекают аналогичным образом. Данное допущение обусловлено тем, что сам объект имеет две плоскости симметрии, при моделировании постоянно происходит перестроение сеточной модели, а при работе с целой круглой заготовкой это может привести к ошибкам и сбоям в программе, что негативно

повлияет на адекватность модели. Кроме того, такой подход значительно экономит машинное время, затрачиваемое на моделирование. Также было принято допущение, что матрица и пуансон представляют собой абсолютно жесткие тела, в результате исследовались только процесс формоизменения и напряженно-деформируемое состояние заготовки.

В качестве объекта моделирования была выбрана заготовка диаметром 80 мм и толщиной 2 мм. Предварительно были рассчитаны геометрические характеристики пуансона и двух матриц: с закругленной рабочей кромкой и с конической рабочей частью, с использованием Autodesk Inventor Professional 2010 разработаны их трехмерные модели (рис.1,2). Наличие матриц двух типов позволило провести сравнение усилий, действующих на них в процессе вытяжки заготовки, и выбрать наиболее эффективный вариант их конструкции, который и был использован в дальнейшем при моделировании процесса. В качестве материала заготовки рассматривался Aluminium 1100 – американский аналог алюминия А0. На основе указанных исходных данных были рассчитаны технологические параметры вытяжки: диаметр готового изделия, коэффициент вытяжки, усилие и работа деформации [10]. Обосновано условие применения вытяжки за одно движение пуансона без использования прижима.

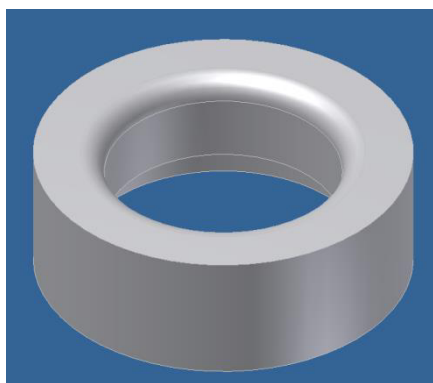


Рисунок 1 – 3D-модель матрицы с закругленной рабочей кромкой

В DEFORM-3D была сгенерирована качественная сетка, состоящая из 84025 элементов с минимальным размером 0,34 мм (рис.3). Задача решалась при постоянной скорости движения пуансона 2 мм/с, которая была получена экспериментальным путем на лабораторном прессе.

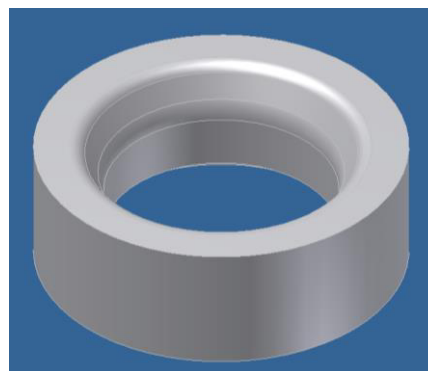


Рисунок 2 – 3D-модель матрицы с конической рабочей частью

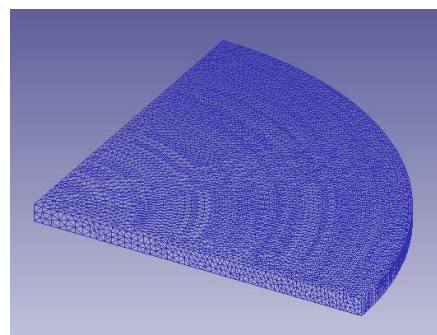


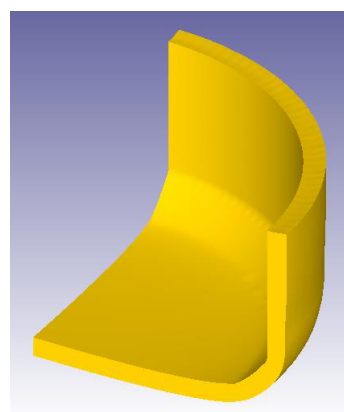
Рисунок 3 – Конечно-элементная модель заготовки.

Коэффициент трения принимался равным 0,12 [4]. Был выбран способ задания шага моделирования с фиксированным перемещением инструмента на постоянную величину 0,2 мм. Количество шагов моделирования для матрицы с закругленной рабочей кромкой составило 130, для матрицы с конической рабочей частью – 165. На рис. 4 представлены отдельные шаги моделирования. На нем наглядно показано, что в процессе вытяжки разрушения материала не происходит, а сама деталь – стакан – имеет стенки, равномерные по толщине [10].

Для выбора наилучшего варианта матрицы были построены графики изменения усилия, действующего на пуансон и матрицу на протяжении всего моделируемого процесса. Эти графики представлены на рис. 5,6. При использовании матрицы с закругленной рабочей кромкой усилие, действующее на пуансон, на 53 шаге достигает максимального значения 3570 Н, а при использовании матрицы с конической рабочей частью оно составляет 3060 Н на 82 шаге. При использовании матрицы с закругленной рабочей кромкой усилие, действующее на матрицу, на 53 шаге достигает максимума в

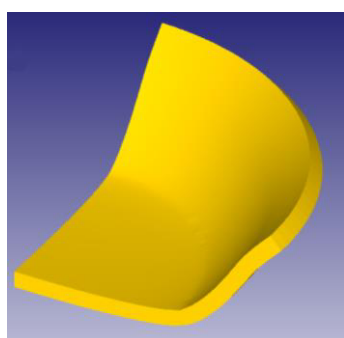
4430 Н, а при использовании матрицы с конической рабочей частью оно составляет 4080 Н на 82 шаге.

Анализ графиков позволил выявить, что максимальные значения усилий наблюдаются, когда материал начинает затягиваться в рабочую часть матрицы. При использовании матрицы с закругленной рабочей кромкой усилия больше, чем во втором случае, поэтому в качестве рабочего инструмента при дальнейшем моделировании напряженно-деформированного состояния была принята матрица с конической рабочей частью.

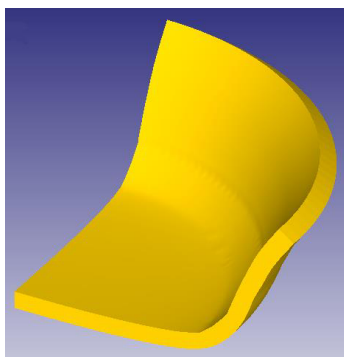


г)

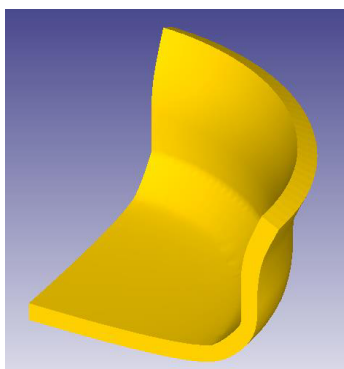
Рисунок 4 – Процесс формоизменения изделия:
а) шаг 60; б) шаг 82; в) шаг 116; г) шаг 165
(готовое изделие).



а)

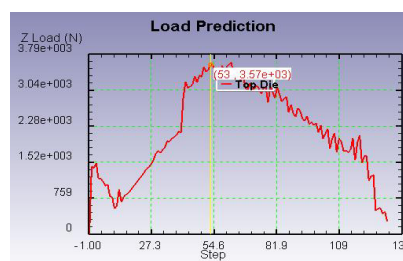


б)

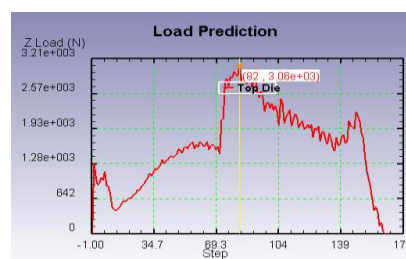


в)

На рис. 7 показано распределение напряжений и деформаций в момент действия на инструмент максимальных усилий. Максимальное напряжение на 82 шаге составляет 111 МПа, а максимальная деформация – 0,339 мм. Наибольшее напряжение наблюдается в месте перехода стенки в дно стакана. Это наиболее опасное сечение с точки зрения отрыва дна, однако полученные напряжения не превышают предел прочности алюминия [9].



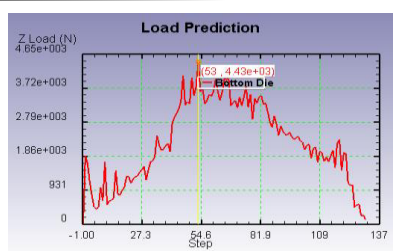
а)



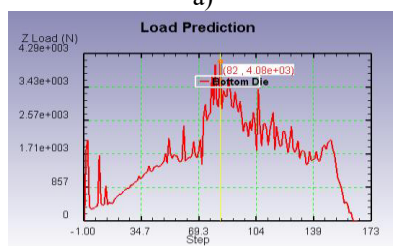
б)

Рисунок 5 – Графики изменения усилия, действующего на пуансон:

- а) при использовании матрицы с закругленной рабочей кромкой; б) при использовании матрицы с конической рабочей частью.



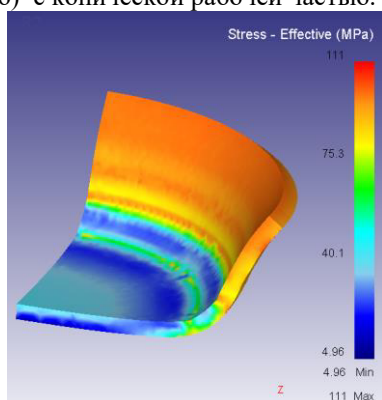
а)



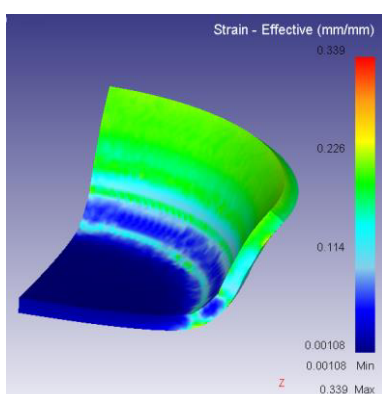
б)

Рисунок 6 – Графики изменения усилия, действующего на матрицу:

- а) с закругленной рабочей кромкой;
- б) с конической рабочей частью.



а)



б)

Рисунок 7 – Распределение напряжений а) и деформаций б) в момент действия на инструмент максимальных усилий.

Для исследования изменения толщины стенки стакана при вытяжке на поверхности

заготовки было взято 34 точки и отслежено их смещение в готовом изделии. На рис. 8 изображено размещение этих точек на поверхности готового изделия, а на рисунке 9 – кривая изменения толщины стенки в различных частях стакана при вытяжке. При этом по оси абсцисс отложены точки

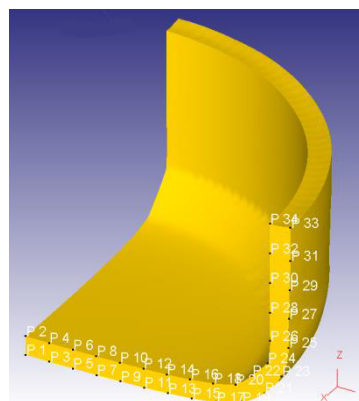


Рисунок 8 – Размещение отслеживаемых точек в готовом изделии

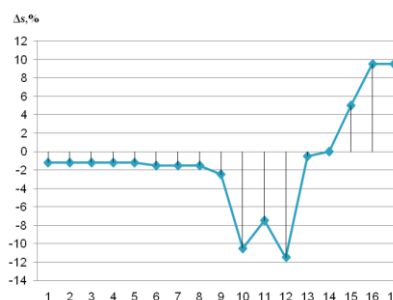


Рисунок 9 – Кривая изменения толщины стенки в различных частях стакана при вытяжке

на боковой поверхности изделия в развернутом виде, а по оси ординат – соответствующие отклонения от начальной толщины материала в процентах. Как видно на рис.8, наибольшее утонение 11,5% происходит в месте перехода стенки стакана в его дно, а по мере приближения к верхней кромке толщина материала непрерывно увеличивается, достигая 9,5%, что соответствует достигаемым на практике значениям [10]. Максимальное значение толщины края, согласно результатам моделирования, составило 2,19 мм, что не превышает допускового значения и свидетельствует об адекватности созданной компьютерной модели.

Моделирование вытяжки детали типа «стакан» из плоской свинцовой

заготовки

Для решения данной задачи модели пуансона и матрицы с конической рабочей частью были взяты такими же, как и при вытяжке алюминиевого стакана. Модель вновь представляла собой четверть заготовки диаметром 80 мм и толщиной 2 мм, в качестве материала рассматривался свинец.

На основе указанных исходных данных были рассчитаны технологические параметры вытяжки в данном случае: диаметр готового изделия, усилие и работа деформации, коэффициент вытяжки. Усилие и работа деформации оказались на порядок ниже, чем в случае формоизменения алюминиевой заготовки, что связано с различием механических свойств этих материалов [9]. Вновь моделировалась вытяжка за одно движение пуансона без использования прижима.

В DEFORM-3D сгенерирована произвольная сетка, состоящая из 84122 элементов с минимальным размером 0,34 мм. Решение проводилось при постоянной скорости движения пуансона 2 мм/с. Был выбран способ задания шага моделирования с фиксированным перемещением инструмента на постоянную величину 0,2 мм, количество шагов моделирования составило 175.

На рис. 10 представлено полученное в результате моделирования готовое изделие. Оно аналогично стакану, вытягиваемому из алюминия (см. рис. 4), в процессе вытяжки заготовки из свинца разрушения материала не

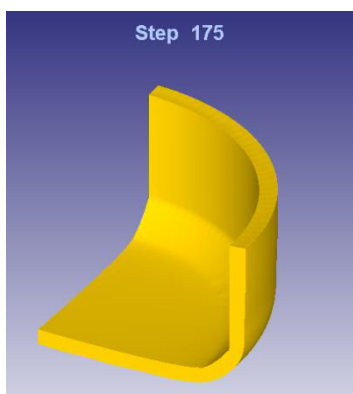
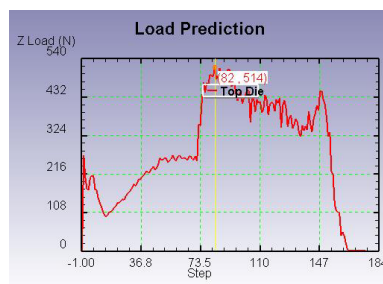


Рисунок 10 – Результат формоизменения изделия из свинца

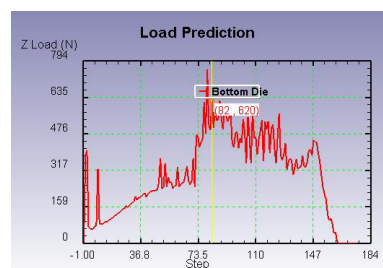
происходит, стакан имеет стенки, равномерные по толщине.

Графики изменения усилия, действующего на пуансон и матрицу на протяжении всего процесса вытяжки,

приведены на рис.11. Максимальные значения



а)



б)

Рисунок 11 – Графики изменения усилия:

а) действующего на пуансон; б) действующего на матрицу

усилий наблюдаются на 82 шаге моделирования и составляют 514 Н для пуансона и 620 Н для матрицы.

Распределение напряжений в деформируемой заготовке в момент действия на инструмент максимальных усилий показано на рис.12. Максимальное напряжение составляет 22,1 МПа, оно наблюдается в месте перехода стенки в дно стакана. Указанное напряжение не превышает предела прочности

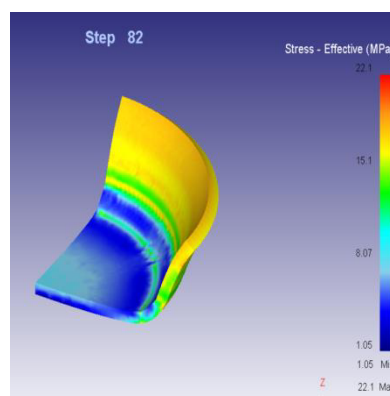


Рисунок 12 – Напряженное состояние деформируемой заготовки на 82 шаге моделирования

свинца, условие целостности заготовки в процессе вытяжки обеспечивается.

Распределение деформаций в момент действия на инструмент максимальных усилий (рис.13) позволяет выявить максимальную деформацию заготовки, равную 0,338 мм.

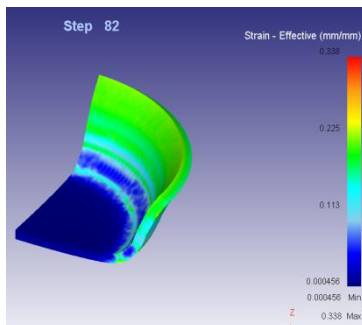


Рисунок 13 – Деформированное состояние заготовки на 82 шаге моделирования.

Аналогично случаю с алюминиевой заготовкой, исследован характер изменения толщины стенки стакана при вытяжке. Согласно результатам моделирования, максимальное значение толщины края составило 2,2 мм, что не превышает допустимого значения и свидетельствует об адекватности созданной компьютерной модели.

Выводы

В данной работе рассмотрены вопросы компьютерного моделирования процесса вытяжки детали типа «стакан» из плоских алюминиевых и свинцовых заготовок. Для решения поставленных задач рассчитаны технологические параметры операций, определены исполнительные размеры рабочего инструмента, представлены его трехмерные модели. В результате моделирования процесса вытяжки детали типа «стакан» с помощью пакета DEFORM-3D был обоснован выбор матрицы с конической рабочей частью, исследован характер изменения толщины стенки стакана, определены усилия, действующие на пуансон и матрицу, а также исследованы компоненты напряженно-деформированного состояния заготовки.

Работа имеет не только научное, но и прикладное значение – выявленные закономерности формоизменения, результаты моделирования могут быть использованы для разработки технологических процессов вытяжки плоских заготовок из цветных металлов и для создания элементов штамповой оснастки, реализующей эти процессы.

Литература

1. <http://sapr.ru/article/18271> САПР и Графика. - 2007 №10. - Режим доступа: <http://sapr.ru/article/18271>. - Александр Сидоров. Настоящее и будущее моделирования процессов обработки металлов давлением.
2. Бузлаев, Д.В. Применение системы DEFORM для моделирования технологических процессов обработки металлов давлением/Д.В. Бузлаев, В.А. Кропотов, А.А. Сахарчук, А.А. Харламов. – М.: ТЕСИС, 2001. - 13 с.
3. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. - Л.: Машиностроение, 1979. – 520с.
4. Шляпугин А.Г., Цыкорин Д.А. Исследование процесса вытяжки в коническую матрицу с помощью программы DEFORM-2D // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, Т. 15, № 6-1, 2013. - с. 262 – 266.
5. <http://technomag.bmstu.ru/doc/100816.html> Наука и образование: Элект. науч. изд. - 2008 №7. - Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/100816.html>. - Соловьев Б.М. Разработка технологического процесса вытяжки детали типа «стакан» с использованием программного комплекса RAM-STAMP.
6. <http://sapr.ru/article/7481> САПР и Графика. - 2003 №6. - Режим доступа: <http://sapr.ru/article/7481>. Андрей Харламов, Андрей Уваров. DEFORM - программный комплекс для моделирования процессов обработки металлов давлением.
7. Скрипаленко М.М., Сидоров А.А., Баженов В.Е., Скрипаленко М.Н., Иванов И.А. О возможности применения DEFORM для моделирования сквозных технологических процессов производства металлопродукции. В кн. Труды международного форума «Инженерные системы». - М.: Макс пресс, 2012. - с. 214-218.
8. Аксененко А. Ю., Коробова Н.В., Дмитриев А.М. Анализ различных методов разработки процесса изготовления корпусных деталей комбинированным выдавливанием.// Компьютерные исследования и моделирование, Т. 6, № 6, 2014. - с. 967-974.
9. Штанов Е.Н. Цветные металлы и сплавы: справочник. - Н. Новгород: Вента-2, 2001. - 277 с.
10. Цветкова Е.В. Моделирование операции вытяжки детали типа «стакан» с целью разработки штамповой оснастки лабораторного гидравлического прессы. В кн.: Гагаринские чтения – 2016: XLII Международная молодёжная научная

конференция: Сборник тезисов докладов: В 4 т.
- М.: Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет), 2016. - Т.3, с.79-80.

Румянцев В.В., Цветкова Е.В. Компьютерное моделирование процесса вытяжки детали типа «стакан» из плоской заготовки. В статье обоснован выбор программного комплекса для компьютерного моделирования в трехмерной постановке процессов вытяжки детали типа «стакан» из плоской заготовки. Приведены допущения, принятые при моделировании, описана методика моделирования с учетом реальных механических свойств алюминия и свинца. Исследованы закономерности формоизменения заготовок, характер изменения толщины стенки стакана, определены усилия, действующие на пуансон и матрицу, исследованы компоненты напряженно-деформированного состояния заготовки, обоснован выбор конструкции рабочего инструмента - матрицы с конической рабочей частью.

Ключевые слова: Компьютерное моделирование, вытяжка, формоизменение, напряженно-деформированное состояние.

Rumyantsev V.V., Tsvetkova E.V. Computer simulation of process of an extract of a detail of the "body" type from flat workpiece. The choice of a program complex for computer simulation in three-dimensional statement of processes of an extract of a detail of the "body" type from flat workpiece is reasonable in the article. The assumptions adopted in the simulation are presented, the simulating technique is described with allowance for the real mechanical properties of aluminum and lead. Mechanism of forming of workpieces, the behavior of change of thickness of a edge of a body are investigated, the forces acting on a cupping punch and a matrix are defined, components of the stress-strain state of workpiece are investigated, the choice of a construction of the operating tool - a matrix with a conical working section - is reasonable.

Keywords: Computer simulation, extract, forming, stress-strain state.

Статья поступила в редакцию 12.2.2017
Рекомендована к публикации д-ром тех. наук В.Н. Павлышом