

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CAE - СИСТЕМЫ LS-DYNA

©2018 Николенко К.А., Вишнякова Н.А., Никонов Д.А.

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева», г. Самара, Россия

Приведен порядок выполнения компьютерного моделирования процесса формообразования толстостенных крутоизогнутых отводов методом проталкивания в гарантированный зазор матрицы с последующим осевым сжатием. Описан механизм формообразования, произведен анализ напряженно-деформированного состояния. Доказана удовлетворительная сходимость результатов.

Ключевые слова: крутоизогнутый отвод, компьютерная модель, ANSYS/LS-DYNA, механизм формообразования, напряжения.

Большой спрос на изделие «крутоизогнутый отвод» возникает при прокладывании трубопроводов в различных сферах промышленности (нефтегазовая, химическая), при прокладывании теплотрасс и других инфраструктурных магистралей. Существуют десятки способов получения этой детали, которые имеют существенные минусы (сложное оборудование, высокая трудоемкость технологии и так далее). Необходимо разработать новый способ штамповки толстостенных крутоизогнутых отводов и проверить возможность формообразования с помощью моделирования с применением CAE-систем [1, 2, 4, 9]. Разработанный способ должен сократить затраты на изготовление изделий за счет упрощения конструкции оснастки и возможности автоматизации производства [8,10].

В работе представлены результаты компьютерного моделирования процесса фор-

мообразования толстостенного отвода в разработанном устройстве [3,5, 6, 7] (рис. 1, патент № 134459, МПК В21С 37/29). Моделирование выполнено в программном продукте ANSYS/LS-DYNA. Устройство для формообразования толстостенных отводов состоит из нижнего основания 1, на которое установлен цилиндрический пуансон 2. На пуансон 2 установлена направляющая втулка 3, которая имеет возможность перемещаться вертикально относительно пуансона 2. На верхнем торце втулки 3 закреплена нижняя полуматрица 4. На верхнем основании 5 устройства установлена верхняя полуматрица 6. Верхнее основание 5 устройства снабжено упором 7, в котором неподвижно закреплена жесткая оправка 8. При соединении между собой полуматриц 4 и 6 на поверхности разъема полуматриц образуется фильера, по своей геометрии соответствующая геометрии готового крутоизогнутого отвода.

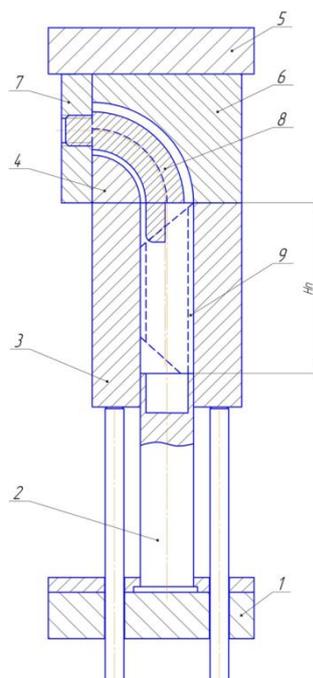


Рисунок 1 – Устройство для формообразования толстостенных крутоизогнутых отводов методом проталкивания в гарантированный зазор матрицы с последующим осевым сжатием: нижнее основание, 2- цилиндрический пуансон, 3 – направляющая втулка, 4 – нижняя полу-матрица, 5 – верхнее основание, 6 – верхняя полуматрица, 7 - упор, 8- жесткая оправка.

Рассмотрим компьютерное моделирование процесса формообразования.

Моделируется процесс формообразования толстостенных крутоизогнутых отводов проталкиванием в гарантированный зазор матрицы с последующим осевым сжатием. Цель моделирования: определить напряженно-деформированное состояние и выявить особенности процесса формообразования крутоизогнутых отводов.

Моделирование осуществлялось в три этапа:

1. подготовка геометрии заготовки и оснастки в Unigraphics NX;
2. аппроксимация сеткой полученной геометрии в ANSYS;
3. получение решения в программном продукте LS-DYNA.

Геометрия заготовки и оснастки и конечно-элементная сетка представлены на рисунке 2. Геометрические размеры детали: толщина стенки - 3 мм, наружный диаметр заготовки - 57 мм; относительный радиусгиба (отношение радиусагиба по средней поверхности к диаметру) – 1,5. Вся геометрия заготовки и оснастки строилась относительно плоскости симметрии, проходящей через

максимальный и минимальный радиусыгиба.

При моделировании процесса использовались два типа элемента: Thin Shell 163 (оболочка) для заготовки и Solid 164 (твёрдое тело) для оснастки. В LS-DYNA данные параметры определяются картами ELEMENT_SHELL и ELEMENT_SOLID соответственно. Для задания свойств материалов и характеристик процесса была выбрана система единиц - СИ. Модель материала Bilinear Kinematic применялась для заготовки (в LS-DYNA это карта MAT_PLASTIC_KINEMATIC), выполненные из стали 20 со следующими свойствами: плотность – 7800 кг/м³; модуль упругости – 2,0·10⁵ МПа; коэффициент Пуассона – 0,26; предел текучести – 250 МПа. Модель материала оснастки - абсолютно твердое тело Rigid Material (карта MAT_RIGID). Свойства материала оснастки соответствуют стали У8: плотность - 7800 кг/м³; модуль упругости – 1,95·10⁵ МПа; коэффициент Пуассона – 0,3.

Изменение формы и размеров заготовки происходит за счет перемещения пуансона с постоянной скоростью. Это движение описывает кривая перемещения. Кинематиче-

ская нагрузка в LS-DYNA задается картой DEFANE_CURVE. Расстояние, пройденное пуансоном, зависит от размеров изделия и составляет 0,18 м. В моделируемой задаче скорость перемещения пуансона - 1 м/с.

Взаимодействие заготовки и оснастки определено картой

CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE. Коэффициент трения по Кулону одинаковый для всех контактных пар – 0,1. В качестве контактирующих поверхностей были выбраны следующие основные компоненты: заготовка – толкатель; заготовка – матрица; заготовка – оправка, заготовка – упор.

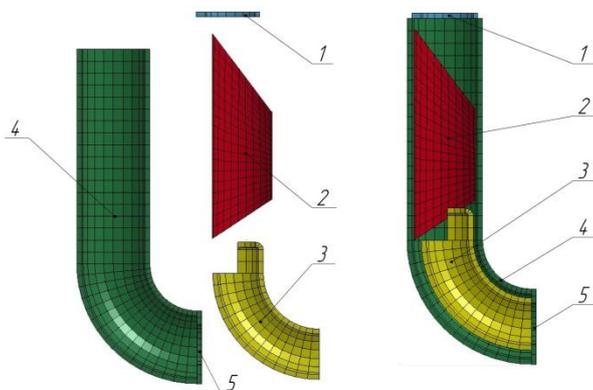


Рисунок 2 – Конечно-элементная сетка на заготовке и оснастке: 1 - толкатель, 2 - заготовка, 3 - оправка, 4 – матрица, 5 - калибрующий упор

Результаты моделирования представлены в виде эпюр интенсивности напряжений, деформаций и изменения толщины (рис. 3-5). Эпюры представлены на двух характерных стадиях процесса формообразования: формообразование перемещением в гарантированный зазор жесткой инструментальной оснастки и калибровка изделия давлением в торец.

Проведем анализ напряженно-деформированного состояния и изменения толщины в процессе формообразования.

Рассмотрим эпюры интенсивности деформаций на стадии формовки. Здесь видно,

что на всех трех образующих преобладают сжимающие деформации. Самое большое сжатие находится на выходном торце и достигает значения 25,43%, однако на минимальной образующей присутствуют и растягивающие деформации на входном и выходном торцах, при этом их величина варьируется в пределах 16-18% (рис. 3).

На стадии калибровки в меридиональном направлении величина сжатия резко возрастает. Если на стадии формовки на среднем и минимальной образующих деформации были близки к нулю, то сейчас их значения достигают 21,29% (рис. 3).

Интенсивность деформации на стадии формовки

Интенсивность деформации на стадии калибровки

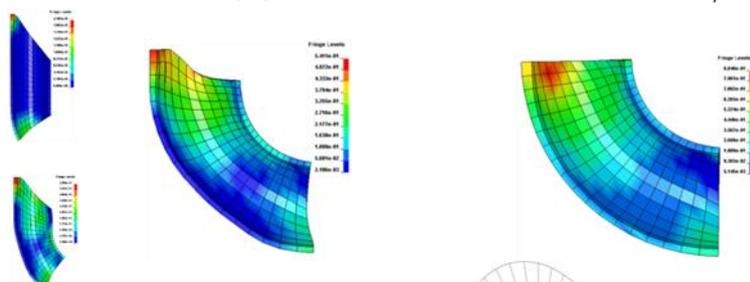


Рисунок 3 – Эпюры интенсивности деформаций на стадии формообразования и калибровки, %

При формообразовании наблюдается следующее распределение толщины (рис. 4).

Утолщение наблюдается на трех образующих по максимальному, минимальному и

среднему радиусугиба. На максимальной образующей вблизи торца с передающим усилием наблюдается наибольшее значение порядка 49,23%. На минимальной образующей оно равно 15,47% (рис. 4). На стадии

калибровки деформации по толщине продолжают увеличиваться по всей длине заготовки, на торце, передающим усилие, оно составляет 73,11% (рис. 4).

Деформации по толщине на стадии формовки

Деформации по толщине на стадии калибровки

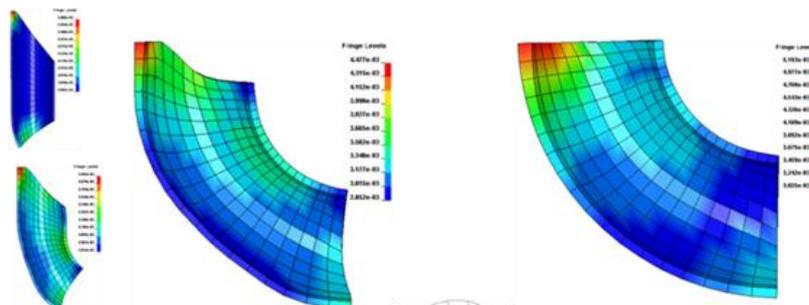


Рисунок 4 – Эпюры изменения толщины на стадии формообразования и калибровки, мм

На стадии формовки наибольшие отрицательные напряжения находятся на максимальной образующей вблизи входного торца -395 МПа, в то же время на минимальном радиусегиба наблюдается противоположная картина. Наибольшие положительные напряжения находятся на минимальной обра-

зующей и составляют 192 МПа (рис. 5). На стадии калибровки по всей длине заготовки наблюдаются только отрицательные напряжения, что объясняется осевым сжатием. На максимальной образующей у входного торца величина сжатия достигает -470 МПа (рис. 5).

Напряжения на стадии формовки

Напряжения на стадии калибровки

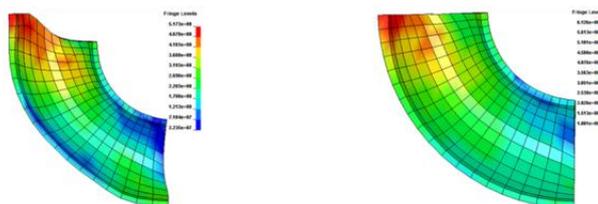


Рисунок 5 - Эпюры интенсивности напряжений на стадии формообразования и калибровки, МПа

Таким образом, опасное сечение, подверженное разрушению, может возникнуть на торце с передающим усилием, так как здесь наблюдаются наибольшие значения деформаций и напряжений по сравнению с остальными участками заготовки.

Проведем экспериментальную проверку результатов моделирования.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях. Основными задачами исследования являются: практическая апробация разработанного устрой-

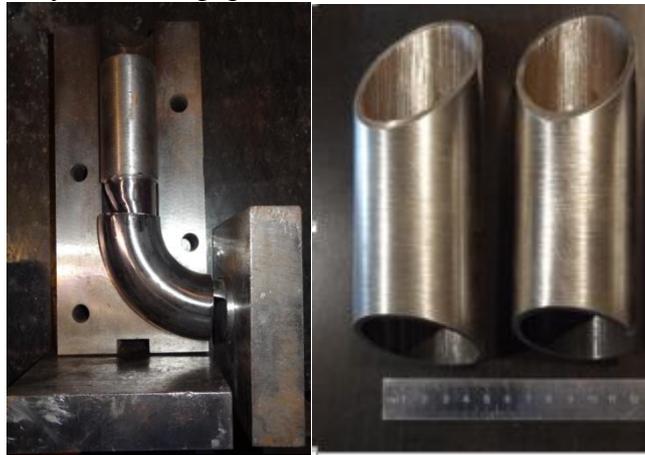
ства, отработка конструкции штамповой оснастки для формообразования крутоизогнутых отводов; проверка достоверности результатов компьютерного моделирования.

Для проведения экспериментальных исследований подготовлена серия заготовок диаметром 53 мм, толщиной 3 мм, длина заготовки 170 мм, угол скоса торца передающего усилия 53 градуса, угол скоса выходного торца 31 градус, материал сталь 20. В лабораторных исследованиях использовался гидравлический пресс усилием 32 т. Перед

формообразованием рабочую поверхность штампа покрывался лаком. Заготовку также покрывали лаком, после чего смазывали машинным маслом или графитовой смазкой.

Для определения величины изменения толщины и расчета последующей деформа-

ции применялась стойка с индикатором часового типа. Для определения свойств материалов проводились стандартные испытания на растяжения (рис.6).



а

б



в

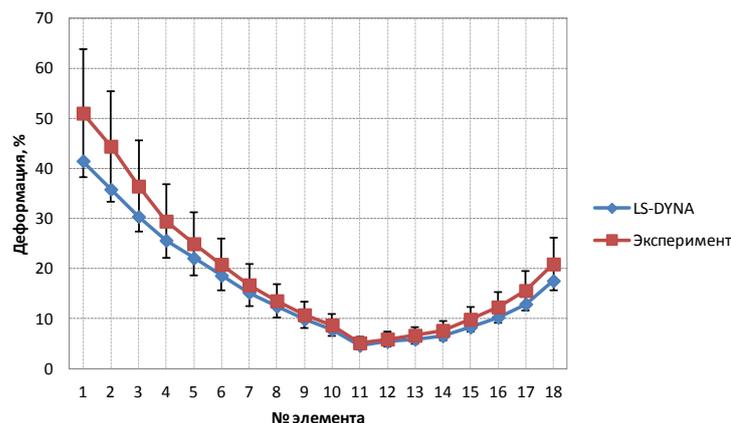
г

Рисунок 6 – Экспериментальная проверка результатов моделирования: а – экспериментальная штамповая оснастка; б – заготовка; в – деталь на первой стадии процесса формообразования – формообразование заготовки до касания выходного торца калибрующего пояска; г – деталь на второй стадии – формообразование заготовки с калибровкой давлением в торцы

Результаты исследований представлены в виде графиков сравнения деформации по толщине в эксперименте с деформацией по

толщине, полученной в результате моделирования (рис.7).

Образующая по максимальному радиусугиба, R_{max}



Образующая по минимальному радиусугиба, R_{min}

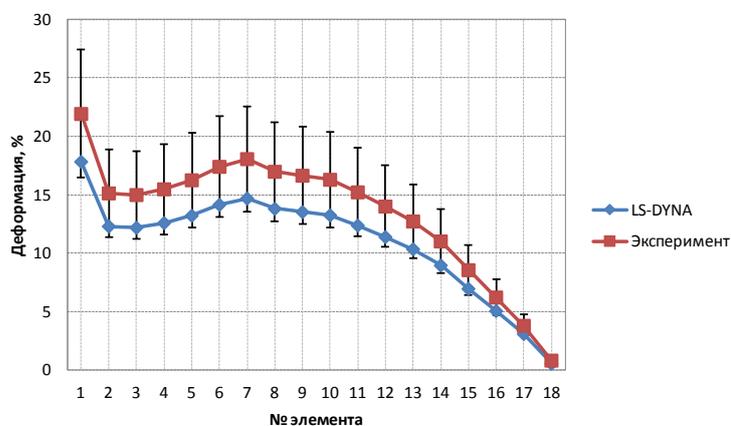


Рисунок 7 – Графики сравнения результатов компьютерного моделирования в программном продукте ANSYS/LS-DYNA с результатами экспериментальных исследований

Отклонение результатов компьютерного моделирования в средних сечениях от данных эксперимента не превышает 10%, что говорит о достоверности построенной модели. Данная компьютерная модель сократит время, необходимое для проектирования и отработки конструкции промышленной штамповой оснастки, а также упростит составление методики проектирования технологического процесса.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. По результатам компьютерного моделирования был выполнен анализ напряжен

но-деформированного состояния и изменения толщины. В результате установлена возможность формообразования изделия из стали 20 с размерами, соответствующими ГОСТу на изделие.

2. Выполнено проектирование и изготовление экспериментальной штамповой оснастки. Проведены экспериментальные исследования. Подтверждена достоверность построенной компьютерной модели. Полученные результаты используются для разработки методики проектирования технологического процесса и отработки конструкции промышленной штамповой оснастки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гречников Ф.В., Ерисов Я.А. Математическая модель анизотропного упругопластического материала. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. ака-

- демьенко С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2011. № 6 (30). С. 73-80.
2. Демьяненко Е.Г., Глустенко С.Ф., Ионов И.П. Анализ технологических процессов отторгован формовки в систему LS-DYNA // Вестник СГАУ им. ак. Королева. 2006 №2-1(10), С.282-285.
3. Демьяненко Е.Г. Исследование способа формообразования деталей бочкообразной формы // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2014 №2. С.72-76.
4. Маслов В.Д., Николенко К.А. Моделирование процессов листовой штамповки в программном комплексе ANSYS/LS-DYNA; Учебное пособие. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. 80 с.
5. Маслов В.Д., Попов И.П., Николенко К.А., Попов А.Д. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов: Пат. RU 72649 U1 (РФ). 2008.
6. Попов И.П., Маслов В.Д., Николенко К.А., Брусин В.Д., Михеев В.А., Хритин А.А. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов: Пат. RU 2294807 C1 (РФ). 2007.
7. Попов И.П., Маслов В.Д., Николенко К.А., Формообразование тонкостенных крутоизогнутых отводов в жестких инструментальных штампах // Заготовительное производство в машиностроении. 2007. № 1. С. 23-26.
8. Хаймович И.Н., Хаймович А.И. Проектирование и реализация системы автоматизированного проектирования штамповки компрессорных лопаток из титановых сплавов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2015. № 2. С. 37-43.
9. CADFEM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cadfem-cis.ru> (дата обращения 27.03.2017)
10. Khaimovich I.N . Computer aided design of blank forging production facilities for aircraft engine compressor blades // Russian Aeronautics. 2014.N 2. С. 169-174.

RESEARCH OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ANGLE PIPES FORMATION USING CAE-SYSTEMS OF LS-DYNA

© 2018 K.A. Nikolenko, D.A. Nikonov, N.A. Vishnyakova

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The results of computer modeling and experimental research of the formation process of the pipe. Method of shaping - pushing into the guaranteed gap tooling. Satisfactory convergence of the results is proved.

Keywords: computer model, ANSYS / LS-DYNA, mechanism of formation, stress, deformation, thickness, experimental studies.