

УДК 539

Л. В. АВТОНОМОВА, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;
С. В. БОНДАРЬ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;
А. В. СТЕПУК, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;
И. Д. ПРЕВО, науч. сотр., ОИЦ ЧАО «У.П.Э.К.», Харьков

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗГИБА ПЛАСТИНЫ ПОДВИЖНЫМ ПУАНСОНОМ НА ОСНОВЕ МКЭ

Рассмотрена задача численного моделирования изгиба круглой пластины подвижным пуансоном со свободными и закрепленными краями в трехмерной постановке. Приведена разрешающая система уравнений математической постановки. Численно контактная задача реализован с помощью пакета LSDYNA.

Ключевые слова: математическое моделирование, пуансон, контактная задача, пластические деформации, конечный элемент, потеря устойчивости. In the paper, analysis of electromagnetic forming is considered for the bound.

Описание проблемы. Математическое моделирование процесса формоизменения листового металла при обработке давлением является актуальной задачей, так как позволяет гарантировать и прогнозировать параметры точности изготовления (заданных геометрических размеров) полых детали любой формы из плоской заготовки. Процесс формообразования представляет собой результат пластической деформации, при которой происходит смещение значительной части обрабатываемого металла по высоте изделия. При больших уровнях деформации и малой толщине материала заготовок возможно возникновение такого напряженно-деформированное состояния, которое может приводить к образованию трещин, разрыву металла, складок, волнистости на участках заготовки, то есть потери устойчивости заготовки второго типа при ее формоизменении. Т.к. напряженно-деформированное состояние заготовки и интенсивность упрочнения меняются в процессе формоизменения, то точно определить формы и размеры заготовки в момент начала потери ее устойчивости затруднительно. С появлением мощных численных комплексов как ABACUS, DEFORM, LSDYNA стало возможным решение нелинейных задач определения напряженно-деформированного состояния при больших пластических деформациях для объемных тел конечных размеров. Однако только корректная математическая постановка такой задачи позволяет избежать неприятности при ее реализации.

Постановка и численная реализация задачи. При проектировании и моделировании различных процессов ОМД методы моделирования с помощью метода конечных элементов используются для широкого класса задач, в отличие от экспериментальных исследований или теоретического анализа. В данной работе рассматривается численное моделирование процесса изгиба круглой пластины лежащей на жестко закрепленной матрице, на которую действует подвижный пуансон.

В численной модели трехмерной контактной задачи штамповки пуансоном плоского диска используется теория течения [1]. Упругими деформациями в этом случае можно пренебречь в силу их малости по сравнению с пластическими. Для описания поведения материала заготовки используется модель несжимаемого жесткопластического тела. В этом случае математическая постановка задачи включает систему уравнений:

Уравнение движения

$$\sigma_{ij,j} + \rho \frac{dv_i}{dt} = 0. \quad (1)$$

Кинематические соотношения

$$\dot{\varepsilon} = \frac{v_{ij} + v_{ji}}{2}. \quad (2)$$

Определяющие уравнения

$$\sigma_{ij} = \frac{2\bar{\sigma}}{3\dot{\varepsilon}_{ij}} \dot{\varepsilon}_{ij}. \quad (3)$$

Условие несжимаемости $v_{ii} = 0$.

Уравнение теплопроводности

$$\rho c \dot{T} = (k_l T_{,i})_{,i} + \beta \bar{\sigma} \dot{\varepsilon}. \quad (4)$$

Уравнение сопротивления деформации для жесткопластического материала

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\bar{\varepsilon}, \dot{\varepsilon}, T), \quad (5)$$

где $\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}, v_i$ – тензоры напряжений, скоростей деформации и вектор скорости, соответственно,

$\bar{\sigma}, \bar{\varepsilon}, \dot{\varepsilon}$ – интенсивности напряжений, деформаций и скоростей деформаций,

T – температура,

β – коэффициент преобразования энергии деформации в тепло (0.9-0.95),

C – теплоемкость,

k_l – теплопроводность.

В контактных зонах производится учет трения по закону объединяющему модели Зибеля и Кулона [2]:

$$F_t = \mu \bar{\sigma} \left(1 - e^{-\frac{1,25\sigma_n}{\bar{\sigma}}} \right) / \sqrt{3}, \quad (6)$$

где μ – коэффициент трения,

σ_n – нормальное контактное давление.

В такой модели контакта можно учесть и влияние низких контактных давлений, и постоянную силу трения. Значение коэффициента трения μ для различных пар контактных материалов приведены в работе [2].

Дискретизация уравнений (1-4) производится на основе метода конечных элементов. Пуансон рассматривается как абсолютно жесткое тело при расчете деформирования заготовки. Автоматическая генерация конечно-элементной сетки для нелинейных и нестационарных процессов ОМД обеспечивает оптимальное распределение плотности сетки с мелкими элементами в областях с большими градиентами деформаций.

На рис. 1 представлена расчетная схема. Решается нелинейная трехмерная контактная задача с учетом трения. Зоны контакта: пуансон – центр пластины; пластина – ребра матрицы. Диаметр исходной заготовки (круглой пластины) составлял 25 мм, а толщина 4.7 мм.

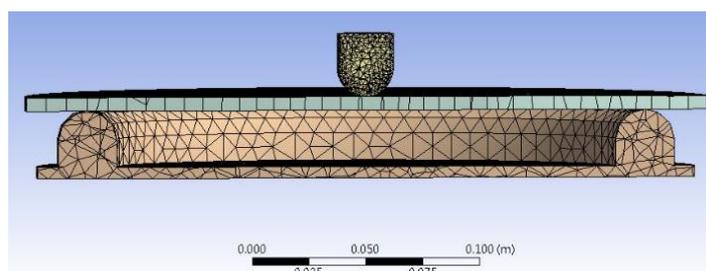


Рис. 1. – Конечно-элементная модель

Для построения модели и последующего анализа результатов моделирования использовался постпроцессор LS-PREPOST в составе пакета LS-DYNA. При разбиении модели использовались 8-узловые конечные элементы, как кубической формы, так и в форме тетраэдра. Общее количество узлов составило 6769 и 18205 элементов. В процессе моделирования в месте интенсивного формоизменения конечные элементы сильно деформировались за счет резкого изменением направления течения металла. Для улучшения сходимости результатов в процессе расчета выполнялась h -адаптивная перестройка конечно-элементной сетки. При достижении граничных значений деформаций, сетка перестраивается и происходит усреднение данных предыдущего шага расчета по новым элементам разбивки, причем перестройка сетки интенсивнее происходит в местах больших пластических деформаций.

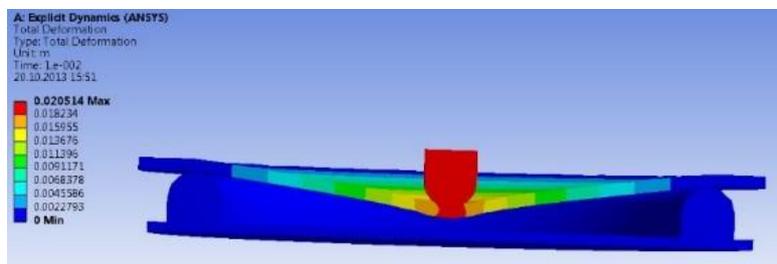


Рис. 2 – Деформация пластины с закрепленными краями

Следует отметить, что при решении контактной задачи с трением для пластины на ребрах матрицы считается, что края пластины закреплены и основание матрицы жестко закреплено. Если же края пластины свободны, то

при некоторой величине прогиба, значении скорости перемещения пуансона и усилия наблюдается потеря устойчивости (рис. 3).

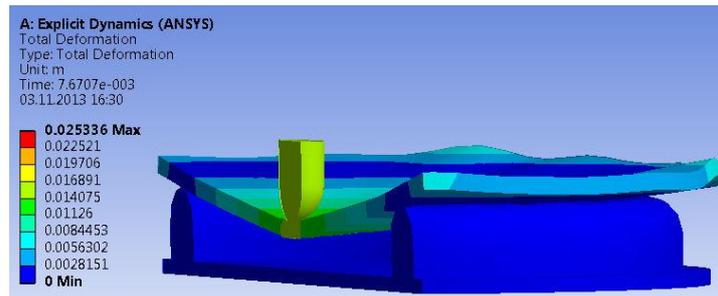


Рис. 3 – Деформация пластины со свободными краями

Выводы. Моделирование процесса деформирования круглой пластины при помощи пакета LS-DYNA с использованием r-адаптивной перестройки конечно-элементной сетки наиболее точно отображает изменение геометрии модели и распределение полей напряжений и деформаций. Трехмерное конечно-элементное моделирование процесса изгиба пластины показало достаточность учета вязко-пластического течения металла для обеспечения получения заданной формы и геометрии заготовки (пластины). Чтобы получить заданный прогиб и радиус в центре пластины, нужно подбирать скорость движения пуансона. Для получения заданной кривизны краев пластины, огибающей матрицу, необходимо задание корректных контактных условий, т.е. необходимо решать контактную задачу для подбора изгибающих нагрузок. При численном расчете была получена форма деформированной пластины заготовки, которая соответствует наблюдаемой на практике деформации заготовки. Конечный результат в значительной мере зависит как от формы пуансона, так и от трения в зоне контакте и свойств деформируемого материала. Точную форму деформации металла при ОМД в целом обеспечивает оптимальная позиция детали и пуансона. Необходимо рассматривать 3-мерную постановку задачи, т.к в осесимметричной постановке задачи для обеспечения заданных геометрических размеров при изгибе пластины пуансоном необходимо решать дополнительную задачу потери ее устойчивости.

Список литературы: 1. O. C. Zienkiewicz, Flow formulation for numerical solution of metal forming processes. In Numerical analyses of forming processes (Ed. J.F.T. Pittman, O.C.Zienkiewicz, R.D.Wood and J.M.Alexander), 1984, pp. 1-44. 2. А. Н. Леванов, В. Л. Колмогоров, С. П. Буркин и др, Контактное трение в процессах ОМД, Москва, 1976. 3. Петров А. П., Галкин В. И., Палтиевич А. Р. «Особенности применения конечно-элементного анализа процессов обработки металлов давлением и перспектив прогнозирования структуры и свойств изделий» // Технология машиностроения. М.:2007 №8.

Поступила до редколегії 04.11.2013

УДК539

Особенности моделирования изгиба пластины подвижным пуансоном на основе МКЭ / Автономова Л. В., Бондарь С. В., Степук А. В., Прево И. Д. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 42 (1015). – С. 3-7. Бібліогр.: 3 назви.

Розглянуто задача чисельного моделювання вигину круглої пластины рухливим пуансоном з вільними і закріпленими краями в тривимірній постановці. Приведена вирішуюча система рівнянь математичної постановки. Чисельно контактна задача реалізована за допомогою пакету LSDYNA

Ключові слова: математичне моделювання, пуансон, контактне завдання, пластичні деформації, кінцевий елемент, втрата стійкості.

The problem of numerical simulation of the bending circular plate with free and fixed edges in three-dimensional setting is considered. System of mathematical equations in formulation includes in boundary conditions and moving punch. The contact problem is implemented applying the software LSDYNA for FEM models.

Keywords: mathematical simulation, punch, contact problem, the plastic deformation, finite element.

УДК 621.73.06-52

И. С. АЛИЕВ, докт. техн. наук, проф., ДГМА, Краматорск;

П. Б. АБХАРИ, канд. техн. наук, доц., ДГМА, Краматорск;

О. А. ЖУКОВА, аспирант, ДГМА, Краматорск.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ И СИЛОВОГО РЕЖИМА ПРОЦЕССА БОКОВОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье описано применение процессов холодной объемной штамповки (ХОШ), позволяющее резко сократить расход металла при обеспечении необходимого уровня качества. С помощью конечно-элементного моделирования был изучен силовой режим процесса бокового выдавливания и формоизменение при двусторонней подаче с вариацией межосевого расстояния отростков и скоростей деформирования, что позволило сделать вывод о зависимости усилия деформирования от межосевого расстояния.

Ключевые слова: штамповка, боковое выдавливание, отростки, силовой режим, моделирование, межосевое расстояние.

Одной из главных проблем развития машиностроения на современном этапе развития является повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции, обусловленной ее качеством и стоимостью. Традиционными методами изготовления деталей на предприятиях машиностроения – это литье или горячая объемная штамповка с последующей механической обработкой резанием.

Применение процессов холодной объемной штамповки (ХОШ) позволяет резко сократить расход металла при обеспечении необходимого уровня качества. Эффективность таких современных процессов ХОШ, как поперечное (радиальное и боковое) выдавливание тем выше, чем сложнее форма штампуемой детали [1-3].

При штамповке выдавливанием достигается максимальное приближение формы, размеров и качества поверхностей исходной заготовки к соответствующим параметрам готовой детали. Заготовки, полученные холодным пластическим деформированием обладают, благодаря упрочнению металла, повышенной прочностью, износостойкостью и надежностью [4].

Целью является повышение эффективности процессов штамповки деталей с боковыми отростками на основе развития математических моделей бокового выдавливания и разработка рекомендаций по проектированию технологических процессов и штамповой оснастки.