

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ВЫТЯЖКИ ПЛОСКОЙ ЗАГОТОВКИ

А.В. Сатонин, А.А. Бегунов, А.А. Сатонин, В.В. Шевченко

Донбасская государственная машиностроительная академия (Краматорск)

Украина

Поступила в редакцию 23.05.2008

В работе выполнено сравнение силовых параметров процесса осесимметричной вытяжки, полученных в ходе проведения экспериментальных исследований, с результатами конечно-элементного моделирования, а также оценка деформируемости и дефектообразования при вытяжке.

ВВЕДЕНИЕ

Осесимметричная вытяжка плоской заготовки является одним из наиболее широко используемых процессов как с точки зрения получения готовых металлоизделий, так и с точки зрения производства заготовок для последующих технологических операций, какими является вытяжка цилиндрических заготовок без утонения и с утонением стенки, обжим, раздача и т.д. [1 – 3]. Технологические возможности вытяжки во многом определяются механическими свойствами и штампуемостью материала заготовки, которые, в свою очередь, в значительной мере зависят от распределения остаточных напряжений.

Основная пластическая деформация при реализации процесса вытяжки сосредоточена во фланце, расположенном на плоском торце матрицы и на ее скругленной кромке. При этом, вследствие изменения текущего значения наружного радиуса фланца, расчетная схема и граничные условия зоны пластического формоизменения, а вместе с ними и, собственно, напряженно-деформированное состояние металла не является постоянными во времени.

Цель работы: сравнение силовых параметров процесса осесимметричной вытяжки, полученных в ходе проведения экспериментальных исследований, с результатами конечно-элементного моделирования, а также оценка деформируемости и дефектообразования при вытяжке.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальные исследования производили с использованием оборудования прессы усилием 2 МН, а также штамповой оснастки, общий вид и конструкция которой иллюстри-

рованы рис. 1, при этом замеру подлежали усилия на пуансоне и прижиме, а также ход пуансона. Регистрация экспериментальных данных производилась с использованием аналогово-цифрового преобразователя с последующей обработкой полученных результатов.

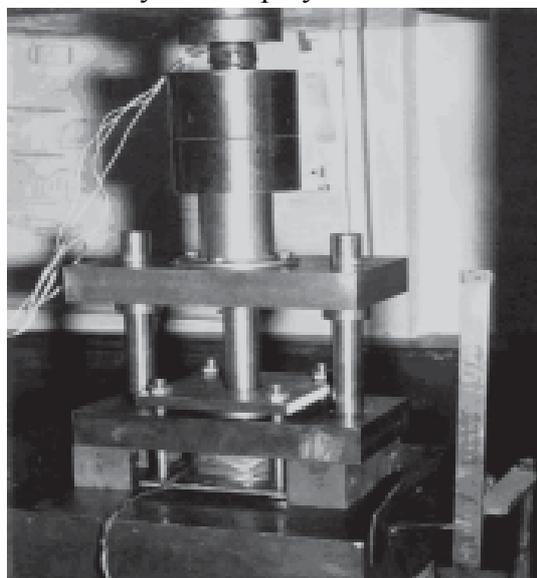


Рис. 1. Общий вид штамповочной оснастки, применяемой при проведении экспериментальных исследований процессов листовой штамповки плоских заготовок.

В качестве примеров результатов экспериментальных исследований на рис. 2 представлены распределения усилий на пуансоне и прижиме при реализации процессов осесимметричной вытяжки листовой заготовки с начальным диаметром заготовки 50 мм (см. рис. 2а) и 55 мм (см. рис. 2б).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках работы также были проведены теоретические исследования процесса вытяжки листовой заготовки с использованием пакета конечно-элементного анализа LS-DYNA,

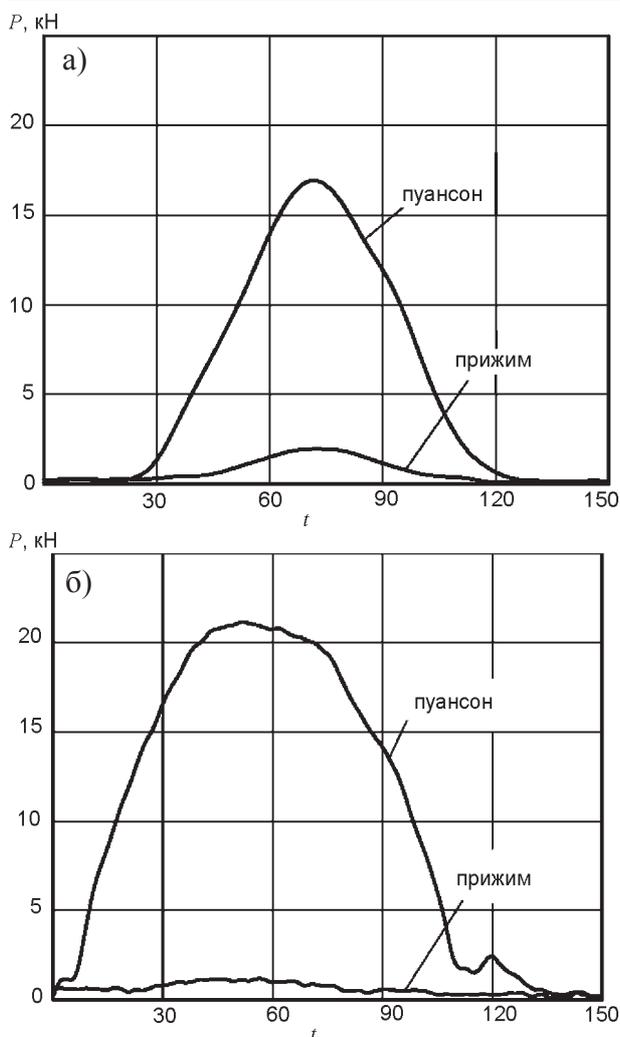


Рис. 2. Экспериментальные распределения усилий на пуансоне и прижиме при реализации процесса осесимметричной вытяжки листовой заготовки: материал – сталь 08кп, $d_n=30$ мм, $S_0 = 0,5$ мм; а) – $d_1 = 50$ мм; б) – $d_1 = 55$ мм.

предназначенного для решения задач механики деформируемого твердого тела, позволяющего проводить расчеты с использованием явного и неявного метода конечных элементов [4].

Исходная расчетная модель представлена на рис. 3. При моделировании было использовано допущение, что при вытяжке деформации инструмента пренебрежимо малы, поэтому инструмент принимали абсолютно жестким, рабочие поверхности матрицы, пуансона и прижима моделировались недеформируемыми оболочечными элементами. При моделировании листовой заготовки использовались оболочечные элементы формулировки Бельчико-Цая с редуцированной формой интегрирования и семиточечной схемой интегрирования по толщине [4]. Модель мате-

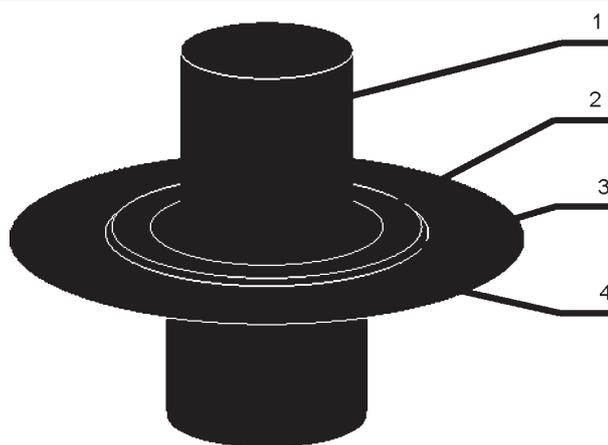


Рис. 3. Расчетная модель, 1 – пуансон, 2 – прижим, 3 – плоская заготовка, 4 – матрица.

риала заготовки – трансверсально-анизотропный упругопластический с учетом диаграммы предельных деформаций [5], которая представлена на рис. 4, и условием пластичности Хилла. Моделирование вытяжки осуществлялось путем задания перемещения пуансона и прижима.

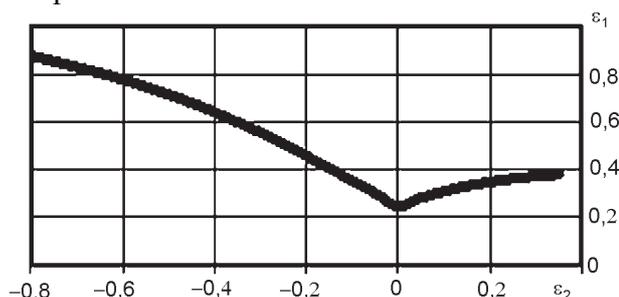


Рис. 4. Кривая предельных деформаций [7].

Поэтапные результаты моделирования вытяжки плоской заготовки представлены в таб. 1. По периметру заготовки (см. рис. 6) наблюдается складкообразование, а на участке перехода с дна в стенку стаканчика – зона утонения приводящая к отрыву дна, что наглядно иллюстрируется оценкой вытяжки (см. таб. 1) и результатами опытов (см. рис. 6).

Представленные на рис. 5а зависимости силы вытяжки от времени имеют всплески, что обусловлено использованием грубой пространственной дискретизацией и образованием складок при выходе заготовки из-под прижима и переходом их на скругленную форму матрицы, что в совокупности с отработкой контактных алгоритмов приводит к появлению выбросов на графиках сил. Отмеченное складкообразование наглядно проиллюстрировано табл. 1, а также качественно и коли-

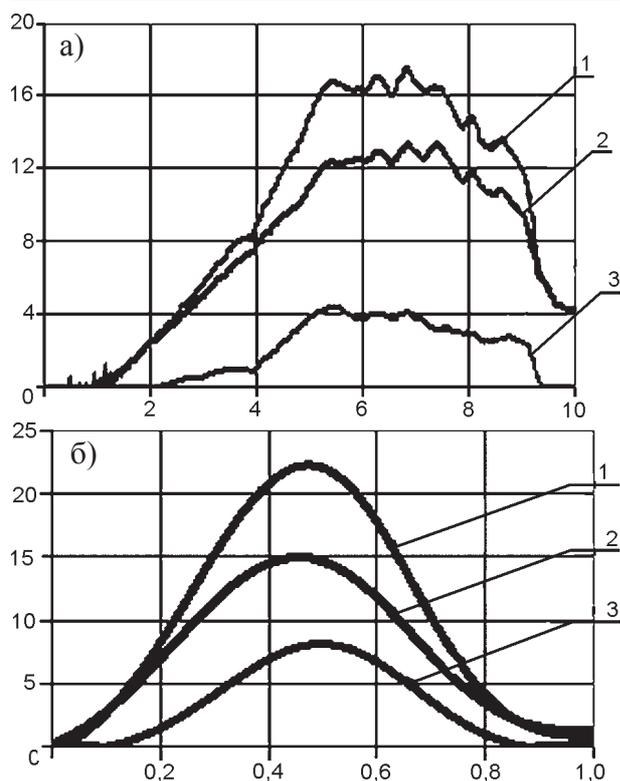
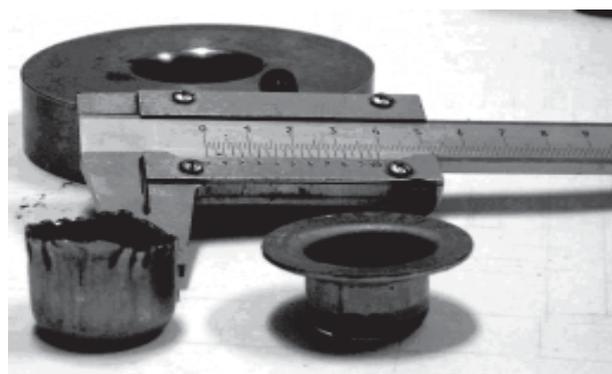
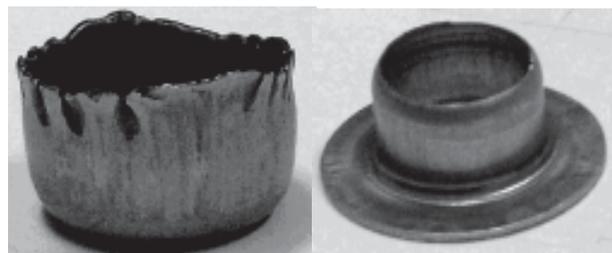


Рис. 5. Расчетные значения сил при вытяжке плоской заготовки. 1 – пуансон, 2 – прижим, 3 – матрица.

чественно (11 складок в расчетной модели, 12 на реальной – см. рис. 6) совпадает с результатами экспериментов. Более гладкие расчетные кривые сил, приведенные на рис. 5б, получены с использованием адаптивной сетки.



а)



б)

в)

Рис. 6. Виды дефектов при вытяжке.

Сравнивая расчетные и экспериментальные значения силовых параметров процесса вытяжки можно заключить, что расхождение составляет не более 10%, что свидетельствует о удовлетворительном качестве расчета, а указанное расхождение в основном связано со сложностью определения коэффициента трения на контактных поверхностях и его непостоянство во времени.

В ходе расчета проводили оценку деформируемости материала заготовки с использованием диаграммы предельных деформаций, представленной на рис. 7, там же представлено состояние заготовки на последнем этапе.

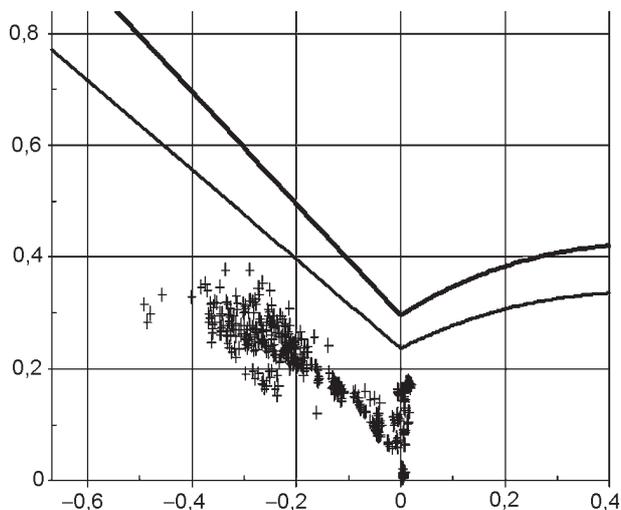


Рис. 7. Диаграмма предельных деформаций.

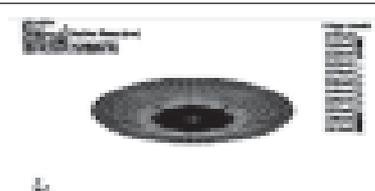
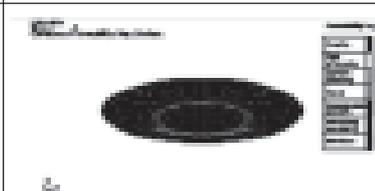
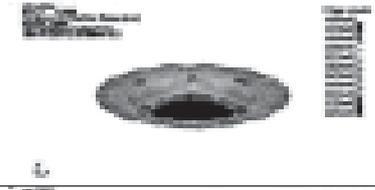
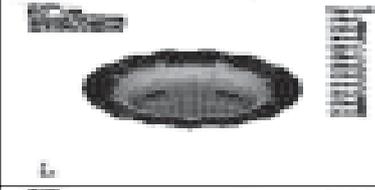
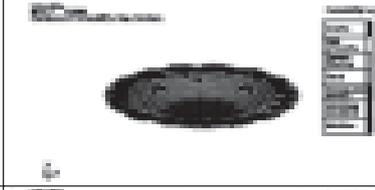
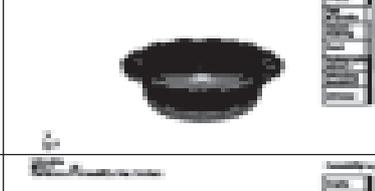
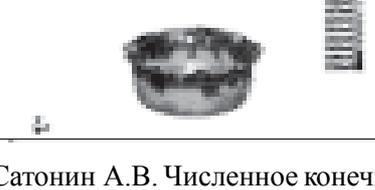
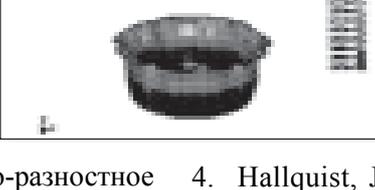
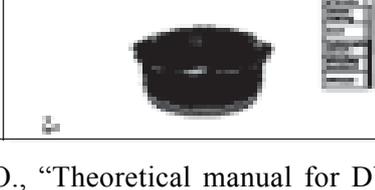
ВЫВОДЫ

В рамках работы были проведены теоретические исследования напряженно-деформированного состояния металла при реализации процесса осесимметричной вытяжки листовых заготовок с использованием пакета конечно-элементного анализа LS-DYNA, достаточная степень адекватности полученных результатов подтверждена экспериментальными данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
2. Хурани М.К., Сатонин А.А. Численное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла во фланце при вытяжке плоской осесимметричной заготовки//В зб. наук. пр. “Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні”. (Краматорськ). – 2001. – С.177-182.

Результаты моделирования по времени

t, c	Распределение напряжений по Мизесу, ГПа	Толщина оболочечных элементов, мм	Оценка вытяжки
2			
4			
6			
8			
10			

- Сатонин А.В. Численное конечно-разностное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла при реализации различных схем обработки металлов давлением// В зб. наук. пр. “Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні”. (Краматорськ). – 2001. – С. 559-565.
- Hallquist, J.O., “Theoretical manual for DYNA3D”, Livermore Software Technology Corporation//Rept. UCID-19501.
- Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд. перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ
ОСЕСИМЕТРИЧНОЇ ВИТЯЖКИ
ПЛОСКОЇ ЗАГОТІВКИ**

**О.В. Сатонін, А.А. Бегунов,
А.О. Сатонін, В.В. Шевченко**

В роботі виконано порівняння силових параметрів процесу осесиметричної витяжки, отриманих в ході проведення експериментальних досліджень, з результатами кінцево-елементного моделювання, а також оцінка деформованості та дефектоутворення при витяжці.

**THE ORETICAL AND EXPERIMENTAL
RESEARCHES OF PROCESS OF
AXIAL-SYMMETRIC EXTRACTION
OF FLAT ARTICLES**

**A.A. Satonin, A.A. Begunov,
A.A. Satonin, V.V. Shevchenko**

During the work comparison of the force condition of the axial-symmetric process drawing, obtained from the pilot studies with the results of finite-element modeling, as well as evaluation and deformability defect in forming.