

Технология и технологические машины



ДАЕВА
Наталья Николаевна
аспирант кафедры
«Машиностроительные
технологии»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УДК 621:658.011

Теоретические и экспериментальные исследования процессов разделения листового металла эластичными средами¹

Н.Н. Даева

Рассмотрен процесс вырубki тонколистовой заготовки эластичным инструментом в открытом контейнере. Построены конечно-элементные модели, описывающие процесс разделения заготовки эластичным рабочим инструментом. Проведены теоретические расчеты и построены картины полей перемещений, деформаций и напряжений.

Ключевые слова: вырубка, пробивка, эластичный инструмент, тонколистовая заготовка, открытый контейнер.

The article deals with the process of sheet steel cutting by an elastic tool in an open container. Finite element models describing the process of separation by a flexible working tool are constructed. Theoretical calculations are carried out and displacement fields pictures, deformations and stresses are obtained.

Keywords: cutting, elastic tool, sheet steel, open container.

Использование полимеров в качестве инструмента для получения деталей из тонколистовых заготовок становится все более актуальным в авиационной промышленности и машиностроении, так как

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию Министерства науки и образования РФ в рамках госбюджетной темы № тп-НИЧ 22 «Разработка теории вырубki и пробивки эластичной средой».

производство заинтересовано в получении качественного тонколистового материала, обладающего различной геометрией и сравнительно низкой ценой. Данный способ получения заготовок полностью отвечает указанным выше требованиям и позволяет снизить металлоемкость и стоимость технологической оснастки по сравнению с процессом изготовления деталей в инструментальных штампах. Он является эффективным при выпуске до 5...10 тыс. деталей в год. Поэтому на сегодняшний день вырубка — пробивка полиуретаном применяется в основном в единичном и мелкосерийном производстве.

Эластичным инструментом в основном получают детали из алюминиевых сплавов: нервюры, шпангоуты и их детали, диафрагмы, стенки, перегородки, полупатрубки. Конструктивно такие детали представляют собой плоские стенки с бортами по краям, с отбортованными отверстиями, с элементами жесткости.

В настоящее время наибольшее распространение получила вырубка и пробивка в закрытом контейнере, который позволяет создать достаточно большое давление эластичной средой на заготовку (до 300 МПа), однако эффективность применения данного метода ограничена как геометрическими размерами получаемой детали, так и размерами самих контейнеров.

Использование в качестве инструмента эластичной среды не заключенной в контейнер позволяет еще больше снизить затраты на штамповую оснастку. Однако этот процесс в теоретическом плане изучен слабо, поэтому применение эластичного инструмента в разделительных операциях с эластичной средой, находящейся в открытом объеме, пока широкого распространения не получило.

Автором сделана попытка математического моделирования процесса вырубki листовой заготовки с применением в качестве инструмента эластичной среды, не заключенной в контейнер.

На рис. 1 представлена геометрическая модель процесса вырубki тонколистовой заготовки эластичным инструментом, в которой рабо-

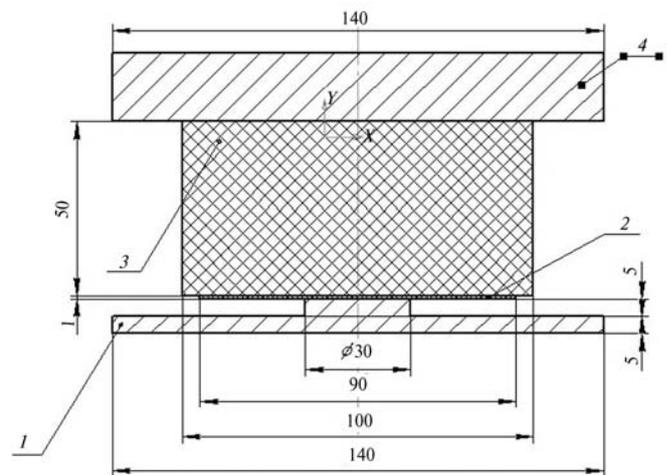


Рис. 1. Геометрическая модель контактной задачи:

1 — матрица (сталь У-10); 2 — алюминиевый лист (АД-1); 3 — эластичная оболочка (СКУ-7Л); 4 — плита (сталь 35)

чий инструмент ограничен только верхней и нижней плитами.

На рис. 2 изображена математическая конечно-элементная модель, которая выполнена по геометрической модели, приведенной на рис. 1. Вследствие осевой симметрии рассмотрена только правая часть модели.

Исследование процесса вырубki тонколистовой заготовки в открытом контейнере проводилось с помощью конечно-элементного пакета ANSYS/LS-DYNA, позволяющем моделировать процессы разрушения материалов, а также учитывать существенные нелинейно-

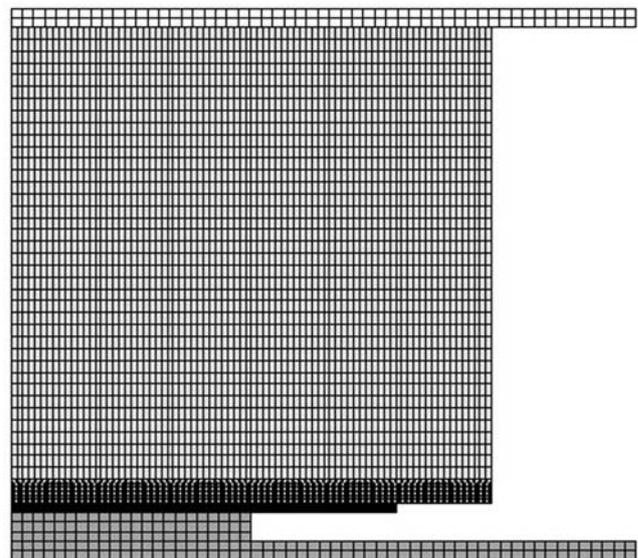


Рис. 2. Математическая конечно-элементная модель

сти, которые возникают при учете реальных свойств материалов и геометрических параметров процесса [1].

В результате решения поставленной задачи были приняты некоторые допущения. Во-первых, необходимо было учесть нелинейности свойств материала полиуретана и заготовки, поэтому для упрощения расчетов было принято, что подвижная матрица и неподвижный пуансон моделировались абсолютно жесткими материалами. Поведение материала эластичного инструмента (полиуретана) было описано моделью Муни–Ривлина, для которой задавались два параметра C_0 и C_1 , однозначно характеризующих значение плотности энергии объемной деформации полиуретана. Для полиуретана SKU-7 ПФЛ $C_0 = 2,5$ МПа и $C_1 = 4,5$ МПа. Плотность полиуретана $3\ 000$ кг/м³ [1].

Во-вторых, в расчете необходимо было моделировать разрушение материала заготовки. Исследование литературных источников показало, что наиболее целесообразным подходом к изучению процессов разрушения материалов при процессах обработки давлением считается феноменологический критерий накопления повреждений В.Л. Колмогорова [2, 3]. Для описания процессов разрушения необходимо знать диаграмму пластичности материала, которая связывает величину предельной деформации сдвига от жесткости напряженного состояния, коэффициент напряженного состояния (коэффициента Лодэ) и температуру. При моделировании процессов ОМД в каждый момент времени по диаграмме пластичности вычисляется предельная деформация сдвига, суммируется с накопленной к этому времени деформацией и определяется, исчерпал пластичность элемент материала или нет. В пакете ALSYS/LS-DYNA единственной моделью материала, учитывающей критерий разрушения Колмогорова является модель Джонсона–Кука (модель материала № 15 по классификации материалов LS-DYNA — *MAT JOHNSON COOK) [1].

При решении задачи было принято, что температура в течение процесса вырубki не меняется, а деформация осуществляется с небольшими скоростями. Эти допущения позволили использовать билинейную изотропную упруго-

пластическую модель для описания поведения материала заготовки при деформировании (рис. 3, а) со следующими механическими характеристиками: напряжение текучести $\sigma_T = 30$ МПа; модуль упругости первого рода $E = 1,0 \cdot 10^5$ МПа; модуль упрочнения $E_y = 110$ МПа; коэффициент Пуассона $\nu = 0,31$; плотность $\rho = 2\ 710$ кг/м³. Диаграмма пластичности алюминиевого сплава АД-1 представлена на рис. 3, б.

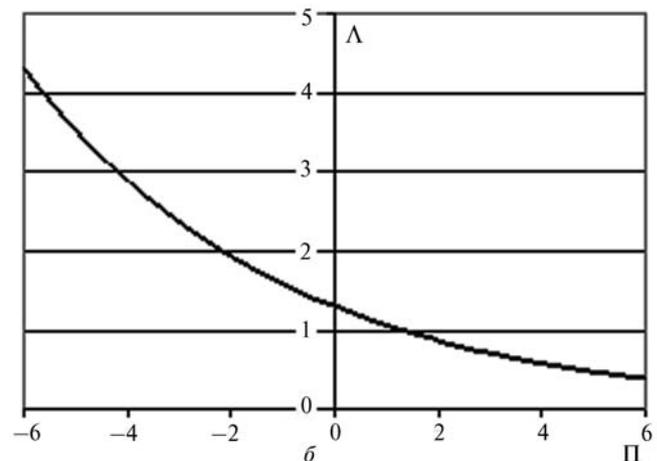
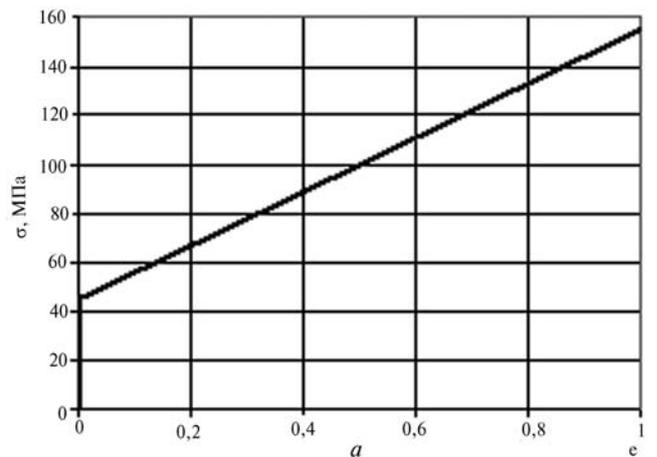


Рис. 3. Механическая характеристика (а) и диаграмма пластичности (б) алюминиевого сплава АД-1:
 Λ — предельная степень деформации сдвига;
 Π — жесткость напряженного состояния

Результаты решения в виде четырех основных этапов разделения тонколистового металла полиуретаном представлены на рис. 4.

В момент времени $T = 0$ (рис. 4, а) начинается внедрение режущей кромки в материал заготовки и формируется очаг пластической деформации. В момент времени $T = 0,013$ с (рис. 4, б) происходит развитие пластического сдвига в за-

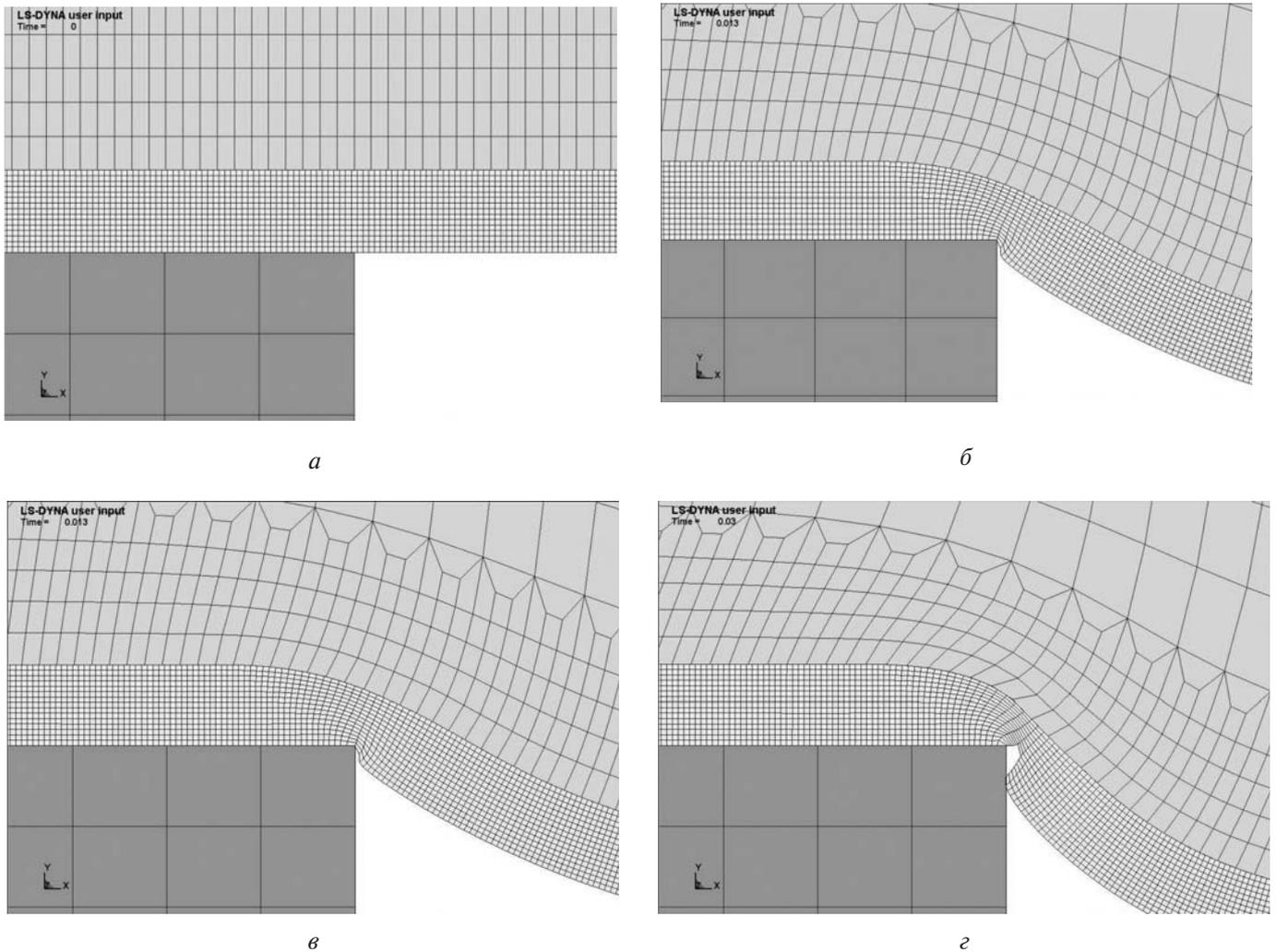


Рис. 4. Этапы разделения в соответствующие моменты времени:
 а — $t = 0,0$; б — $t = 0,13$; в — $t = 0,03$; г — $t = 0,031$

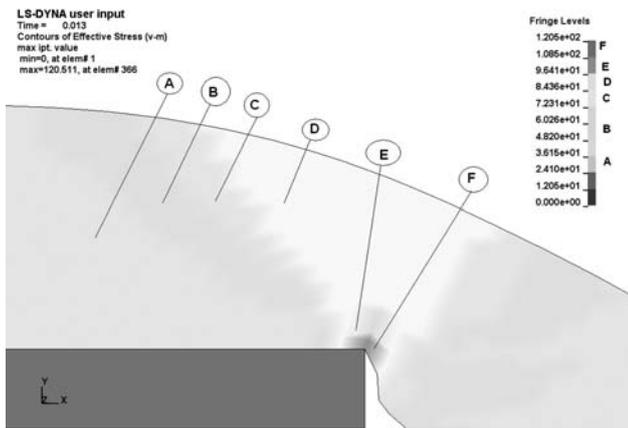
готовке. К моменту времени $T = 0,03$ с (рис. 4, в) напряжение пластического сдвига достигает максимального значения и происходит зарождение трещины, после чего к моменту времени $T = 0,031$ с (рис. 4, г) происходит окончательное разрушение заготовки (скол).

Поля распределения максимальных касательных и эквивалентных напряжений в листовой заготовке в различные моменты времени представлены на рис. 5.

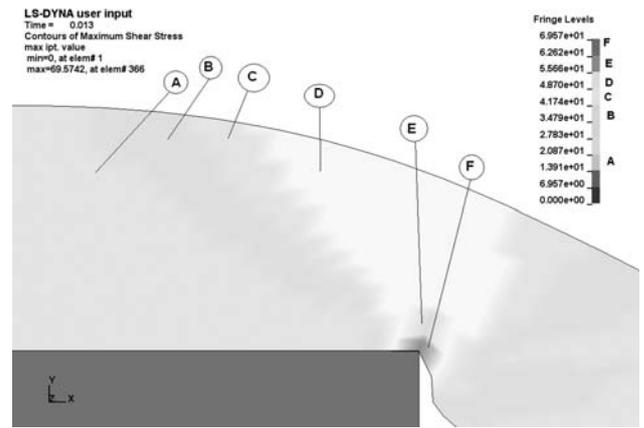
На рис. 5 видно, что в начале пластического сдвига касательные напряжения достигают значений 91 МПа, эквивалентные напряжения — 109 МПа (рис. 5, а) и при дальнейшем сдвиге несколько увеличиваются за счет упрочнения материала в зоне интенсивной деформации. В конце пластического сдвига (рис. 5, б) эквивалентные

напряжения возрастают до значений 150 МПа, а максимальные касательные — до 91 МПа.

Поля распределения эквивалентных (по Мизесу) деформаций в листовой заготовке в различные моменты времени показаны на рис. 6. На рис. 6, а видно, что на начальной стадии процесса разделения максимальные деформации сосредоточены у режущей кромки, поскольку именно в этой области происходит пластический сдвиг — зарождение трещины. Перед хрупким разрушением (рис. 6, б) наблюдается формирование большой утяжины в самом узком сечении, в которой эквивалентные деформации достигают максимальных значений, далее по этому сечению происходит хрупкое разрушение, т.е. окончательное разделение заготовки.

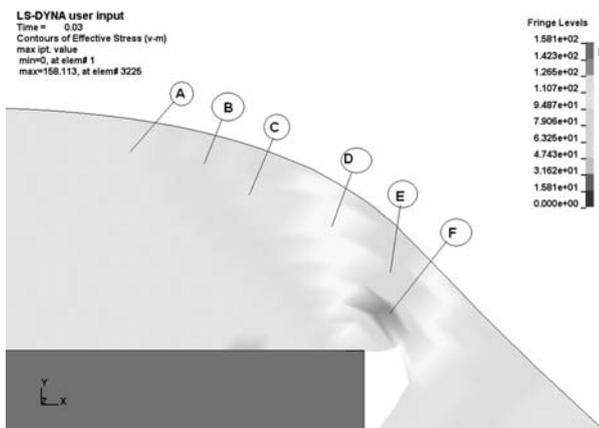


Эквивалентные напряжения

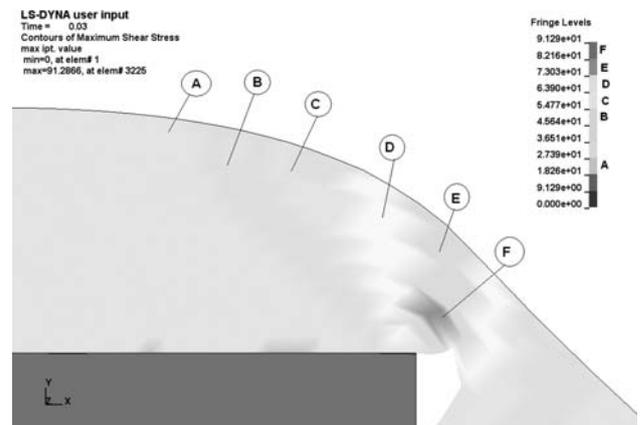


Касательные напряжения

a



Эквивалентные напряжения

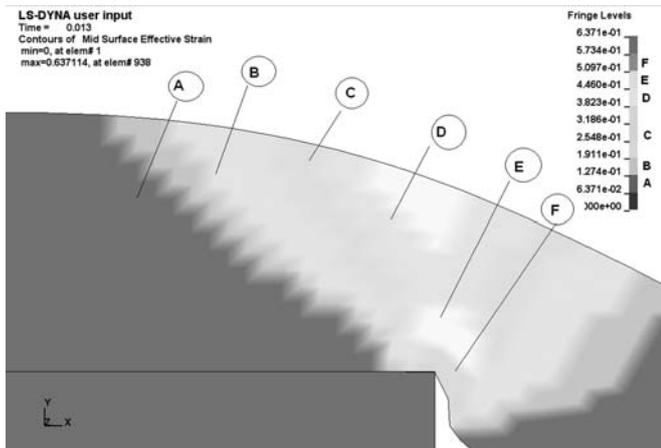


Касательные напряжения

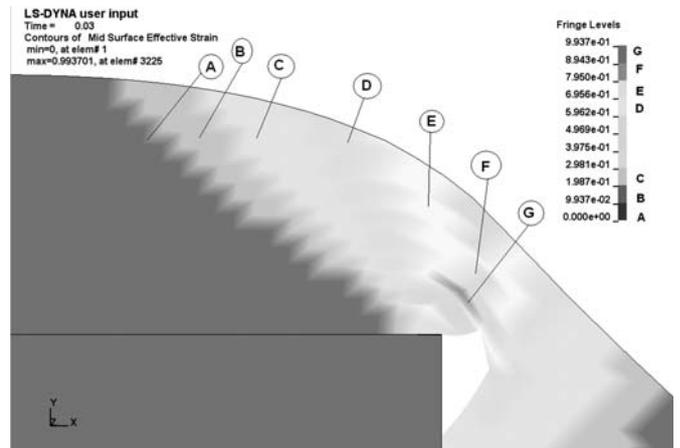
б

Рис. 5. Напряженное состояние модели в соответствующие моменты времени:

a — $T = 0,13$ с; б — $T = 0,30$ с



a



б

Рис. 6. Поля распределения эквивалентных деформаций в листовой заготовке в моменты времени:

a — $T = 0,013$ с; б — $T = 0,30$ с

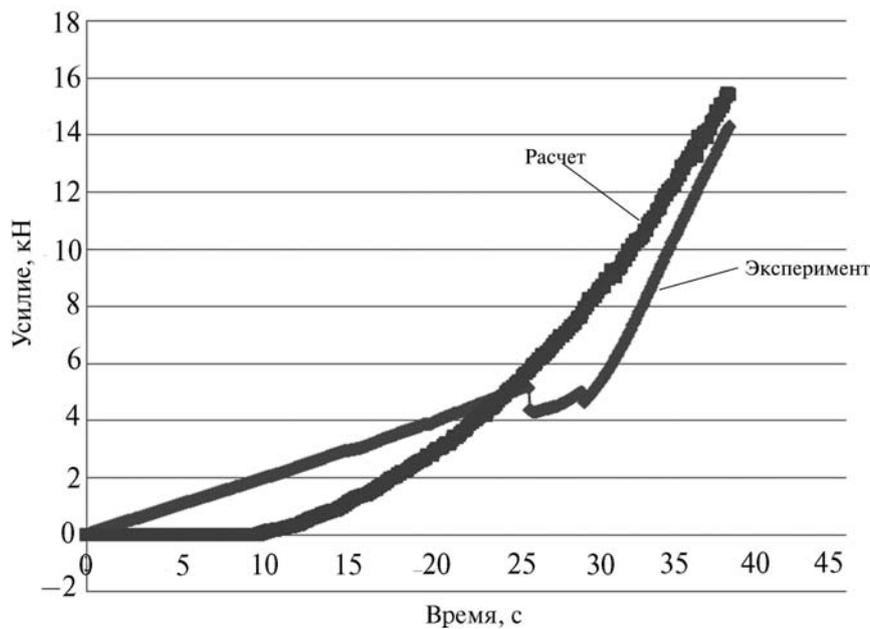


Рис. 7. Изменение силовых параметров по времени

В результате вырубki заготовки из тонколистового металла эластичным инструментом в открытом контейнере была получена заготовка следующей геометрии: утяжина составила до 45% толщины заготовки, скол — до 40%.

Сравнение полученных теоретических решений по искажению формы вырубаемой заготовки, вида зоны разделения по силовым параметрам процесса с экспериментальными данными, полученными нами, позволяют говорить о достаточно высокой точности расчетов по полученной модели. По экспериментальным и теоретическим кривым изменения силовых параметров по времени процесса разделения) можно говорить о достаточно высокой точности расчетов по полученной модели (рис. 7).

По результатам работы автором предложена новая динамическая математическая модель пробивки тонколистового металла эластичным инструментом, не заключенным в закрытый контейнер. Определено напряженно-деформированное состояние системы эластичный рабо-

чий инструмент — деформируемый металл. В связи с тем, что заготовка, полученная данным способом, обладает невысоким качеством (наблюдаются довольно большие геометрические искажения отделяемой части и детали в зоне реза), данный метод пробивки тонколистового металла можно рекомендовать для получения неотчетливых деталей, не требующих высокой точности.

Литература

1. Муйземек А.Ю. Описание поведения материалов в системах автоматизированного инженерного анализа. Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2005. 187 с.
2. Пластичность и разрушение / под ред. В.Л. Колмогорова. М.: Металлургия, 1977. 289 с.
3. Исаченков Е.И., Исаченков В.Е. Штамповка эластичными и жидкостными средами. М.: Машиностроение, 1976. 248 с.
4. Комаров А.Д., Рябых А.А., Ситкин О.М. Вырезка деталей полиуретаном // Кузнечно-штамповочное производство. 1972. № 6. С. 28—30.

Статья поступила в редакцию 15.04.2011 г.