

УДК 621.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ В КОНИЧЕСКУЮ МАТРИЦУ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ DEFORM-2D.

© 2013 А.Г. Шляпугин, Д.А. Щыцорин

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 02.12.2013

В данной статье рассмотрен процесс вытяжки в коническую матрицу, приведены графики зависимостей от различных факторов.

Ключевые слова: вытяжка с утонением, коэффициент вытяжки, моделирование.

Для изготовления деталей конической формы применяется большое количество методов обработки металлов давлением. Существенный недостаток наиболее распространенной операции - вытяжки в том, что давление пуансона передается лишь небольшой поверхности в центре заготовки, вызывая значительное местное утонение, а иногда и обрывы материала. Для уменьшения местного утонения вытяжку осуществляют в несколько переходов. С целью снижения числа переходов возможно использование вытяжки в коническую матрицу [1].

В последнее время, для оценки технологии изготовления деталей, широкое применение получили системы инженерных расчетов (САЕ), в частности система DEFORM. Программа DEFORM компании SFTC позволяет решать задачи, учитывающие объемное напряженное состояние заготовки (прокатка, волочение, прессование, ковка и др.). Задачи листовой штамповки не являются характерными для решения с помощью данной программы, поскольку в листовой штамповке преобладают напряжениями, действующими по толщине листа, хотя их решение в DEFORM возможно [2-5].

Целью работы является оценка возможности применения программы DEFORM для моделирования вытяжки в коническую матрицу в два перехода.

На первом переходе происходит давление конического прижима на заготовку; прижим движется с постоянной скоростью 1 мм/с (рис 1а), до момента пока плоская заготовка полностью не свернется в коническую чашку (рис 1б).

На втором переходе конический прижим остается неподвижным, а пуансон, за счет движения в отрицательно направлении по оси Y с по-

---

Шляпугин Алексей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры ОМД. E-mail: alex\_shag@mail.ru  
Щыцорин Дмитрий Алексеевич, инженер кафедры ОМД. E-mail: dimabandit@mail.ru

стойкой скоростью 1 мм/с придает заготовке окончательную форму (рис 1в).

При проведении вычислительного эксперимента в качестве заготовки использовался круг, толщиной 2 мм из сплавов Д16 и ОТ4. Данные о механических свойствах материала, в соответствии с ГОСТ 4784-97 и ГОСТ 26492-85, в табличном виде были введены в DEFORM. В ходе выполнения эксперимента не учитывались: упругие свойства материала и влияние температуры. Трение подчинялось закону Кулона, коэффициент трения принимался равным: 0.2; 0.12; 0.05. Радиусы заготовок задавались из ряда 41,25 мм, 46,75 мм, 52,25 мм, что соответствует коэффициентам вытяжки равным: 1.5; 1.7; 1.9, при постоянном радиусе пуансона равном 27.5 мм.

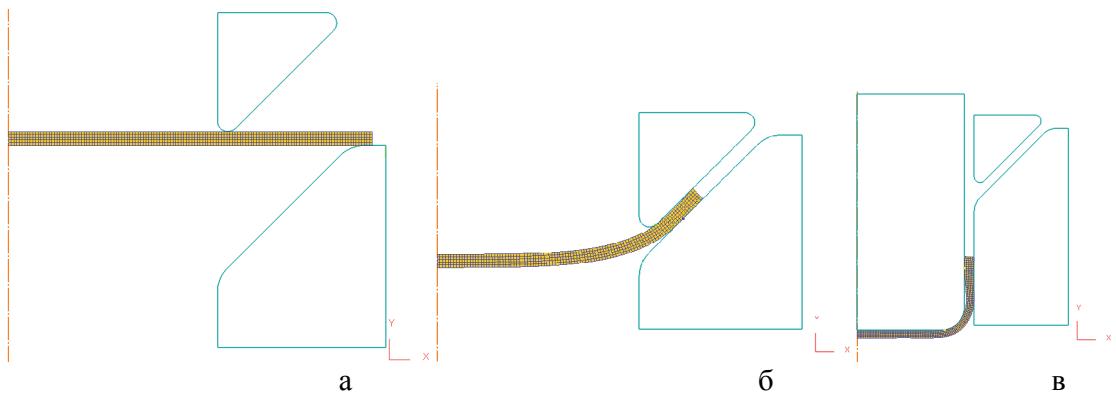
Размеры инструментов показаны на рисунке 2. Все инструменты в программе DEFORM являлись жесткими элементами. Радиус скругления пуансона задавался равным: 6 мм и 22 мм.

В ходе моделирования было установлено, что в конце первого этапа из-за локального воздействия прижима на внутреннюю поверхность заготовки высока вероятность образования дефекта – «вмятина» (рис 3).

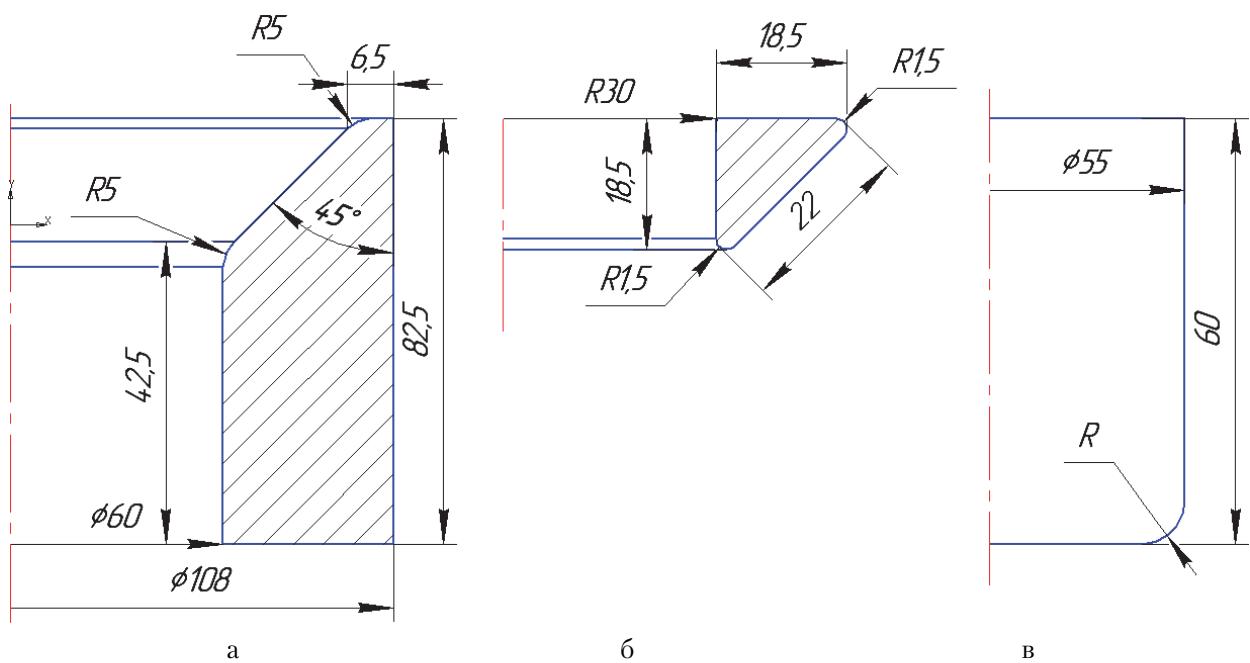
Толщина на участке «вмятины» по окончании первого этапа, остается наименьшей.

По результатам моделирования 1-го этапа деформирования (рис. 2а) построены графики: распределения толщин заготовки вдоль образующей и изменение длины образующей в зависимости от коэффициента вытяжки с учетом коэффициента трения, марок материала (рис. 4,5). Замеры производились по 3-м точкам: в центральной части (на оси симметрии), наименьшей толщины заготовки, во фланцевой части (вблизи торцевой части заготовки). На графиках принято, что точка, соответствующая оси симметрии, расположена в начале отсчета длины образующей.

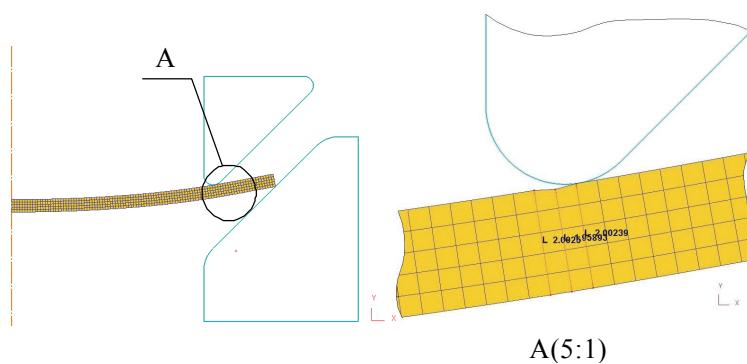
Как видно из графиков (рис. 4,5) при заданных значениях коэффициента трения на измене-



**Рис. 1.** Геометрия элементов друг относительно друга:  
а, б, в – положение заготовки перед штамповкой, после первого перехода  
и в заключительный момент деформирования



**Рис. 2.** Схема с размерами инструмента:  
а – коническая матрица, б – конический прижим, в – пuhanсон



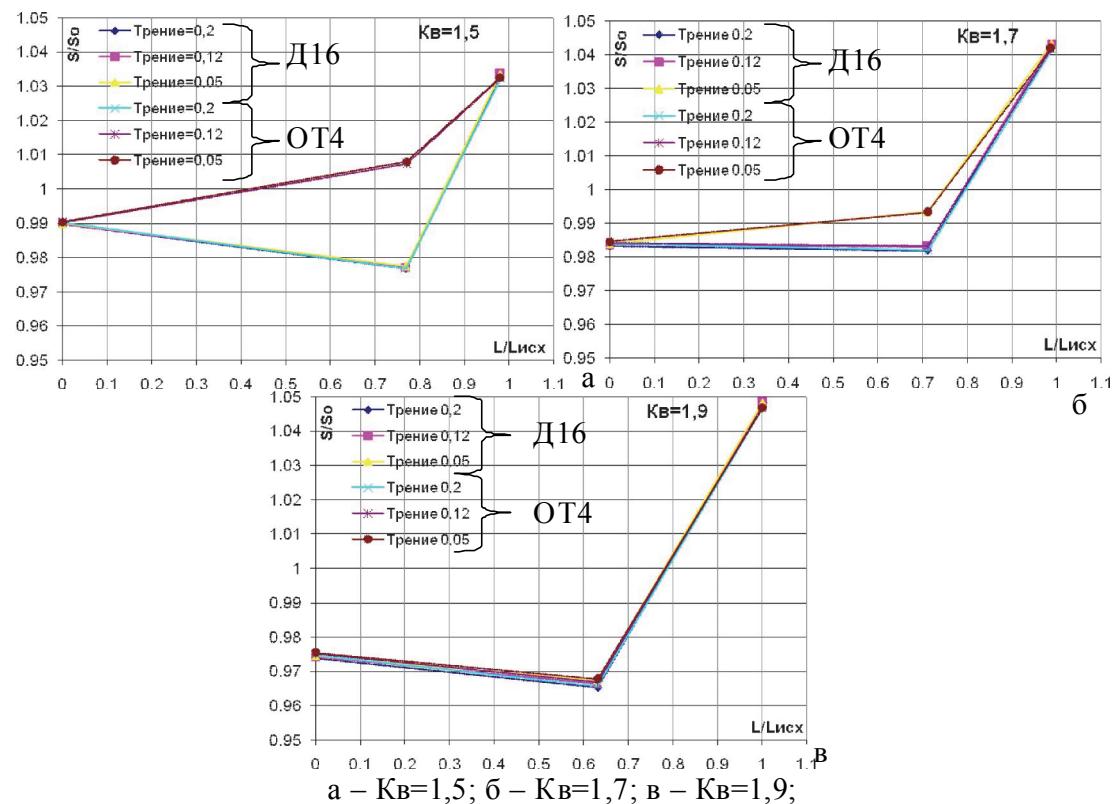
**Рис. 3.** Иллюстрация к образованию дефекта

ния толщины вдоль образующей не наблюдается (менее 1%).

С увеличением значения коэффициента вытяжки заметно, что толщина в центральной части полуфабриката уменьшается, а ближе к фланцевой части увеличивается. В целом, влияние коэффици-

ента вытяжки на изменение толщины вдоль образующей полуфабриката составляет не более 6–9%.

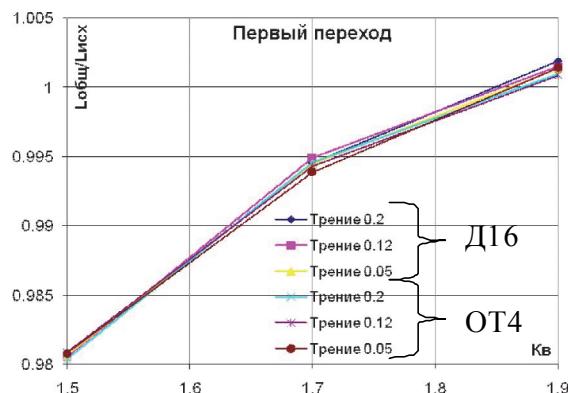
Как видно из графика, показанного на рис. 5, изменение длины образующей не зависит от материала заготовки, коэффициента трения и значения коэффициента вытяжки, таким образом,



**Рис. 4.** Распределение толщин вдоль образующей заготовки:

$S$  – толщина полуфабриката в точке, после моделирования первого этапа;

$S_0$  – толщина заготовки



**Рис. 5.** Изменение длины образующей полуфабриката после первого перехода в зависимости от коэффициента вытяжки :

Лобщ – длина образующей полуфабриката, после первого этапа моделирования;  
Лисх – радиус заготовки  
 $K_v$  – коэффициент вытяжки

деформации заготовки после первого перехода можно пренебречь.

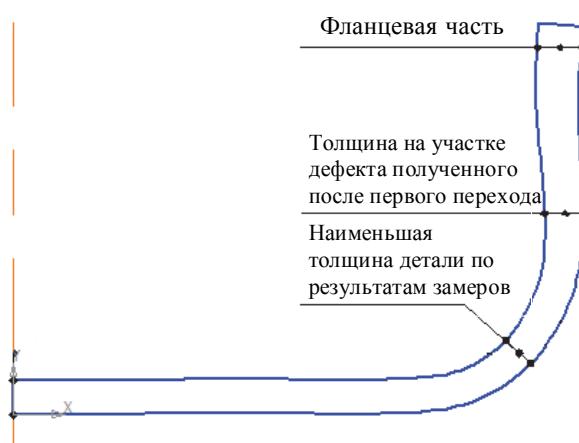
По результатам моделирования 2-го этапа (рис. 1в) построены графики: распределения толщин вдоль образующей в зависимости от коэффициента трения, марок материала, радиуса скругления пuhanсона. Замер производился по 4-м точкам: в центральной части (на оси симметрии), наименьшей толщины (место касания ра-

диуса скругления пuhanсона на полуфабрикат), толщина после первого этапа моделирования (дефект – «вмятина»), во фланцевой части (вблизи торцевой части) (рис. 7,8). Схема снятия размеров на втором этапе представлена на рис. 6.

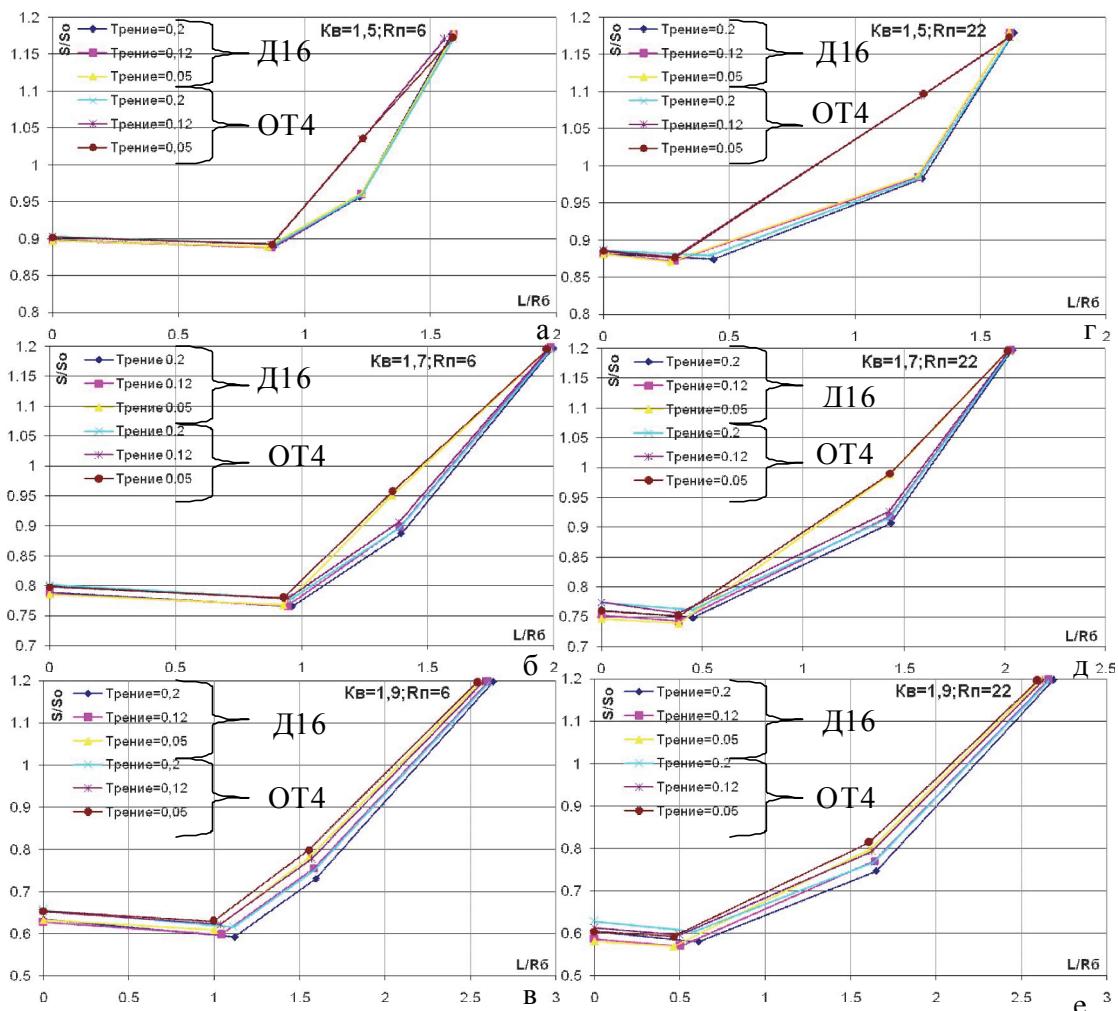
Из графиков, показанных на рис. 7, 8, видны следующие закономерности:

1. Влияние значения коэффициента трения на распределении толщин у получаемой детали невелико.

2. Увеличение радиуса скругления пuhanсона с 6 до 22 оказывает на распределение толщин вдоль образующей следующее влияние:



**Рис. 6.** Схема снятия размеров на втором этапе



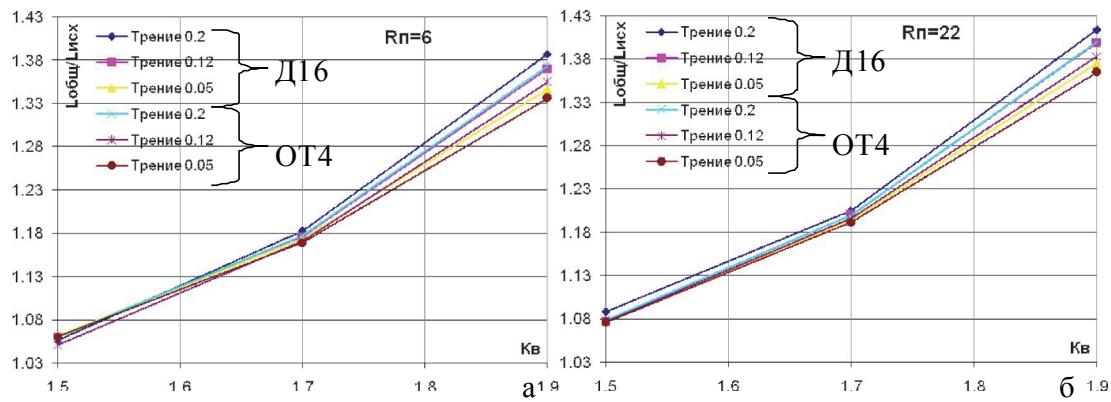
**Рис. 7.** Распределение толщин вдоль образующей детали:

а, б, в –  $R_n=6$ ; г, д, е –  $R_n=22$ ;

$S$  – толщина детали в точке, после моделирования второго этапа;

$S_{0,0}$  – толщина заготовки;  $R_6$  – радиус пuhanсона (равен 27.5 мм);

$L$  – длина образующей детали, после второго этапа моделирования



**Рис. 8.** Изменение длины образующей детали после второго перехода  
в зависимости от коэффициента вытяжки:

Лобщ – длина образующей детали, после второго этапа моделирования;

Лисх – радиус заготовки;  $K_v$  – коэффициент вытяжки

- Центральная часть (начало отсчета) утоняется на 1–3%.

- Участок с наименьшей толщиной у получаемой детали смещается к центральной части, а

ее значение уменьшается на 1–3%.

- Толщина на участке дефекта «вмятина» увеличивается на 1–3%. Значение толщины на участке дефекта не является наименьшим для детали.

3. Увеличение коэффициента вытяжки оказывает следующее влияние распределение толщин у получаемой детали:

- Центральная часть детали утоняется на 11–26%.
- Наименьшая толщина у детали уменьшается на 12–28%.
- Толщина заготовки на участке дефекта «вмятина» утоняется на 7–20%.

Длина образующей, при увеличении радиуса скругления пуансона, увеличивается на 1–3%, а при увеличении коэффициента вытяжки – на 13–33%.

Участок заготовки с наименьшей толщиной после первого этапа, сохраняет наименьшее значение и после второго этапа.

На основании выполненных с помощью программы DEFORM исследований для моделирования вытяжки в коническую матрицу в два перехода, можно сделать следующие выводы:

1. Влиянием трения при использовании традиционных смазок (диапазон значений коэффициента трения 0.05–0.2) на процесс изменения толщины стенки можно пренебречь.

2. При изготовлении деталей необходимо уделить особое внимание возможности образования дефекта появляющегося после первого перехода.

3. Распределение толщин у получаемой детали имеет следующие закономерности:

а) толщина в центральной части детали утоняется на 11–26%, при увеличении значения коэффициента вытяжки в диапазоне значений 1,5–1,9, а при увеличении радиуса скругления пуансона с 6 до 22 – на 3–5%;

б) наименьшая толщина, при увеличении значения коэффициента вытяжки в диапазоне зна-

чений 1,5–1,9, уменьшается на 12–28%, а при увеличении радиуса скругления пуансона с 6 до 22 стремится ближе к центральной части и утоняется на 1–3%;

в) с ростом коэффициента вытяжки в диапазоне значений 1,5–1,9 на участке дефекта происходит уменьшение толщины на 7–20%.

4. Длина образующей стенки детали с ростом коэффициента вытяжки в диапазоне значений 1,5–1,9 может увеличиваться на 13–33%. Влиянием радиуса скругления пуансона с 6 до 22 на изменение длины образующей можно принебречь (удлинение 1–3%).

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Маслов В.Д., Чистяков В.П., Попов И.П.* Повышение равномерности толщины стенки штампованных конических оболочек // Кузнечно-штамповочное производство. 1986. № 6. С. 14–15.
2. Использование программы Deform 2D для описания процессов листовой штамповки. / *Ф.В., Шляпугин А.Г., Николенко К.А.* Деп. ВИНИТИ 15.06.2006, №804-В2006.
3. Оценка с помощью программы DEFORM-2D возможностей изменения характера распределения толщин у деталей полученных вытяжкой и вытяжкой отбортовкой / *Шляпугин А.Г., Блинова О.Ю.* Деп. ВИНИТИ 17.01.2012, №9 – В2012.
4. Моделирование процесса обжима в программе DEFORM-2D / *Шляпугин А.Г., Блинова О.Ю.* Деп ВИНИТИ 17.01.2012 №8-В2012.
5. Харламов А., Уваров А. DEFORM – программный комплекс для моделирования процессов обработки металлов давлением [Электронный ресурс] // САПР и графика. URL: <http://www.sapru.ru/Article.aspx?id=7481#begin> (дата обращения 4.11.2013).

## **INVESTIGATION PROCESS HOODS SLIDE IN CONICAL MATRIX USING DEFORM-2D**

© 2013 A.G. Shlyapugin, D.A. Tsytsov

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov  
(National Research University)

This article describes how to draw a conical matrix shows the dependence on various factors.  
Keywords: draw with thinning, draw ratio, modeling.

---

*Aleksey Shlyapugin, Candidate of Technics, Associate Professor at the Plastic Working of Metal Department.*

*E-mail: alex\_shag@mail.ru*

*Dmitry Tsytsov, Engineer Plastic Working of Metal Department. E-mail: dimabandit@mail.ru*