

## Исследование влияние радиуса закругления вытяжной матрицы на потерю устойчивости заготовки

Ло Синь<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

### Аннотация

Потеря устойчивости при формообразовании листовых деталей характеризуется возникновением больших местных деформаций, которые обычно приводят или к разрушению металла, или к образованию недопустимо больших искажений формы изделия. При этом в некоторых случаях возможно проведение операции вытяжка без использования прижима, что существенно упрощает и удешевляет штамповую оснастку.

В статье исследуется посредством математического моделирования в программном комплексе ABAQUS влияние радиуса закругления вытяжной кромки матрицы на предельный коэффициент вытяжки.

Ключевые слова: потеря устойчивости, вытяжка, коническая матрица, радиус закругления.

Потеря устойчивости при формообразовании листовых деталей характеризуется возникновением больших местных деформаций, которые обычно приводят или к разрушению металла, или к образованию недопустимо больших искажений формы изделия. При получении цилиндрических стаканчиков небольшой высоты зачастую приемлемо использование однопереходной операции вытяжки. При этом в некоторых случаях возможно проведение операции без использования прижима, что существенно упрощает и удешевляет штамповую оснастку. Однако отсутствие прижима может привести к образованию гофр, являющихся неисправимым браком. Достаточно часто ситуация, когда для получения готового изделия использовать прижим необходимо и когда без него можно обойтись, является пограничной. Исследование показывает, что применение конической матрицы при вытяжке затрудняет потерю устойчивости заготовкой, по сравнению с вытяжкой в цилиндрической матрице. То есть при прочих равных условиях, при вытяжке в коническую матрицу без прижима максимальный коэффициент вытяжки будет больше[1].

Следует отметить, что аналитическое исследование процесса потери устойчивости при формоизменяющих операциях листовой штамповки весьма затруднительно и позволяет получить только приближенные решения, не обеспечивающие необходимой точности.

Моделирование существенно расширяет возможности технолога при разработке новых технологических процессов, инструмента и оборудования. Оно позволяет провести всесторонние качественные и количественные ис-

следования технологических режимов, экспериментальное изучение которых связано со значительными затратами временных, людских и материальных ресурсов. С помощью моделирования, можно быстрее получить нужные результаты[2].

Цель проведения данного исследования установить при каких значениях технологических параметров начинается гофрообразование, т.е. потеря устойчивости фланца заготовки. Количественной мерой использования технологии без прижима прием предельный коэффициент вытяжки, после превышения которого начинается процесс потери устойчивости. В качестве инструмента исследования используем программный комплекс ABAQUS.

При моделировании принимались следующие допущения:

Тип вытяжки: вытяжка цилиндрического стакана из плоской заготовки.

Эскиз и параметры инструмента показаны на рис. 1.

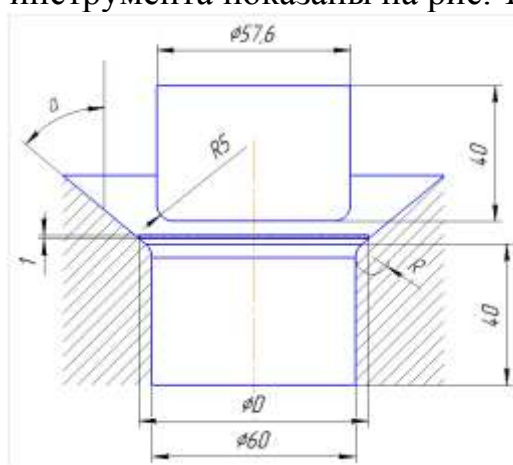


Рисунок 1— Технологическая схема вытяжки в конической матрице

Материал считается изотропным.

Матрица и пуансон считаются твердыми телами.

Условие трения: коэффициент трения  $\mu_1 = 0,08$  (между матрицей и заготовкой), коэффициент трения  $\mu_2 = 0,1$  (между пуансоном и заготовкой). Коэффициент трения  $\mu$  принят меньше с учетом того, что металл относительно пуансона перемещает меньше чем относительно матрицы и смазка здесь сохраняется лучше.

Сталь 45 –один из самых распространённых материалов, используемые в машиностроении. Её химические и механические свойства легко получить через ГОСТ или с помощью эксперимента. Поэтому в качестве материала заготовки была выбрана сталь 45. Ее механические характеристики приведены в Табл. 1.

Таблица 1

Механические характеристики сталь 45

Модуль упругости $E$ (МПа)	Предел прочности $\sigma_s$ (МПа)	Коэффициент Пуассона $\nu$	Показатель упрочения $n$	Плотность (г/см <sup>3</sup> )
210000	470	0,3	0,275	7,85

Сборка инструментов и конечно-элементная сетка операции вытяжка в конической матрице представлена на рис. 2.

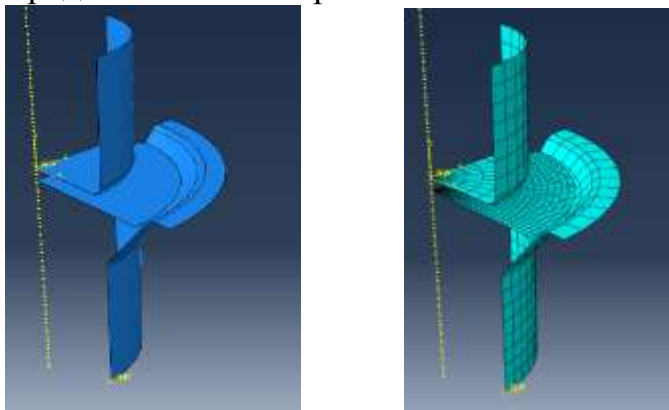
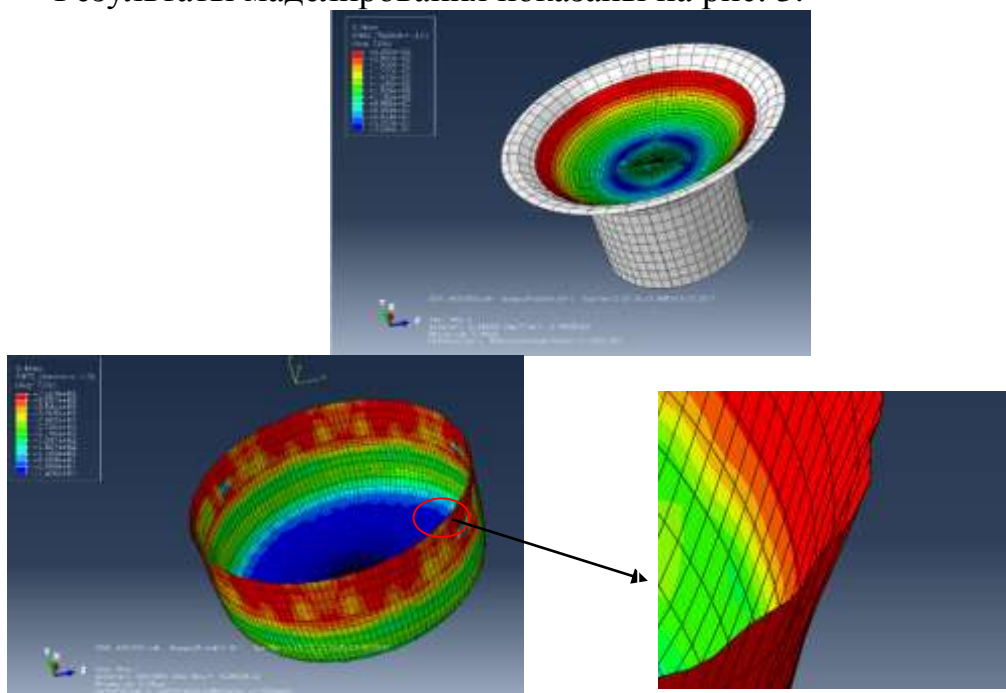


Рисунок 2— Сборка инструментов и конечно-элементная сетка операции вытяжка в конической матрице

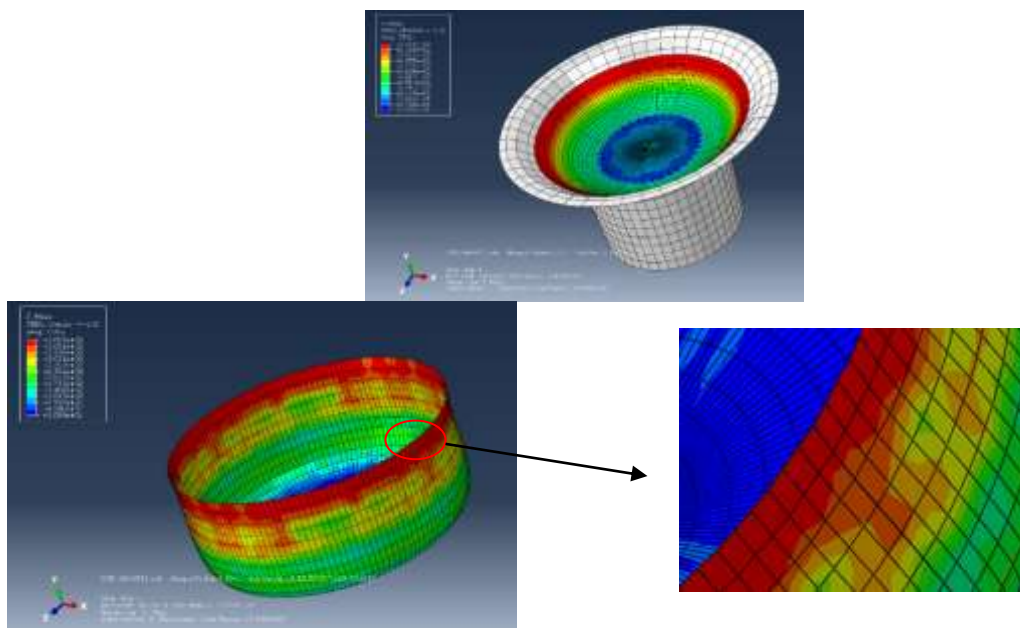
Сначала проводили моделирование при постоянном радиусе скругления кромки матрицы  $r=5$  мм, толщина заготовки  $s=1$  мм, угол конусности матрицы  $\alpha = 45^\circ$ .

При этих условиях увеличивали исходный диаметр заготовки до начала потери устойчивости фланца (до начала образования складок).

Результаты моделирования показаны на рис. 3.



А) Диаметр заготовки 95мм с образованием складок



Б) Диаметр заготовки 94мм без образования гофр  
 Рисунок 3. Результаты моделирования при следующих условиях:  
 угол конусности матрицы  $45^{\circ}$ , толщина заготовки 1мм,  
 радиус закругления кромки матрицы 5мм.

На рис. 3 видно что, при достижении диаметра заготовки 94мм гофр еще нет, а при диаметре 95мм начинают образовываться гофры.

Сравнивая результаты моделирования (А и Б) видим, что при диаметре заготовки  $D_0=94\text{мм}$ , коэффициент вытяжки достиг предела  $k = D_0 / d = 94 / 60 = 1,57$ .

После этого, при прочих равных условиях, варьировали радиус закругления вытяжной матрицы, и аналогично находили предельный коэффициент вытяжки, увеличивая диаметр исходной заготовки. При этом принимали радиусы закругления вытяжной кромки матрицы равными  $r = 3\text{мм}, 4\text{мм}$  соответственно.

Для каждого из указанных радиусов закругления принимали одиноковые допущения для моделирования и повторяли процесс моделирования.

Результы определения максимального коэффициента вытяжки для выбранных углов матрицы представлены в табл. 2 и на рис. 4.

Таблица 2

Результы определения максимального коэффициента вытяжки для  
 выбранных углов матрицы

Радиус закругления матрицы(мм)	3	4	5
Максимальный коэффициент вытяжки	1,45	1,5	1,57

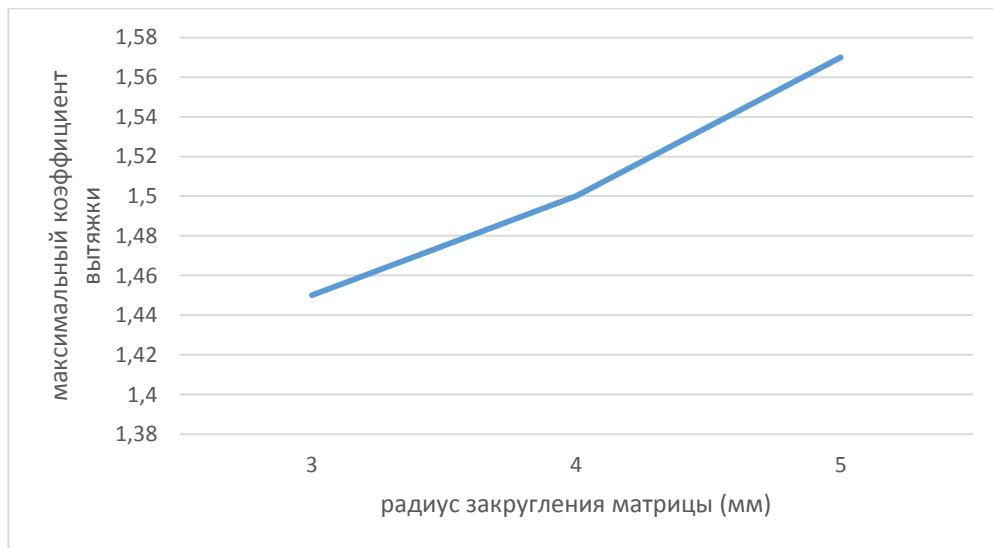


Рисунок.4 Зависимость максимального коэффициента вытяжки от радиуса закругления матрицы при угле конусности матрицы  $45^\circ$  и толщине заготовки 1мм

График зависимости на рисунке 4 показывает что радиус закругления кромки матрицы оказывает сильное влияние на максимальный коэффициент вытяжки.

Вывод: В результате моделирования было установлено, что при вытяжке цилиндрического стаканчика в конической матрице без прижима ограничивающим фактором является потеря устойчивости фланца заготовки. При этом с увеличением радиуса закругления вытяжной кромки матрицы предельный коэффициент вытяжки увеличивается.

#### Литература

- 1 Романовский В.П. Справочник по холодной штамповки. СПб.: Машиностроения ленинградское отделение ,1979 .517с
- 2 Евсюков С.А., Ло Синь Исследование потери устойчивости заготовки при вытяжке без прижима //Перспективы развития отечественного кузнечно-прессового машиностроения и кузнечно-штамповочных производств в условиях импортозамещения: Сборник докладов и научных статей XII Конгресса «Кузнец-2015».-Рязань, 2015.-с.437-442.