

СУЛЕЙМАН АКСАМ АЛИ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С РАСТРУБОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ
СОВМЕЩЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ВЫТЯЖКИ, ОБЖИМА И РАЗДАЧИ**

Специальность 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'S' followed by several loops and a long, sweeping horizontal stroke.

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: **Евсюков Сергей Александрович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой « технологий обработки давлением » МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Официальные оппоненты: **Феофанова Анна Евгеньевна**, доктор технических наук, профессор Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ).

Легких Антон Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ООО «КванторФорм».

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Московский Государственный Индустриальный Университет» (МГИУ).

Защита состоится «17» декабря 2013 г. в 16 ч. 01 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.141.04 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью, просим направлять по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Телефон для справок 8 (499) 267-09-63.

Автореферат разослан «7» ноября 2013 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Семенов В.И.



2039266
Супериман А.А. Совершенств

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы:

Повышение производительности труда при одновременном снижении себестоимости производства, являются важнейшими задачами листоштамповочного производства. Это требует пересматривать и оценить существующие технологические процессы листовой штамповки для изготовления детали с точки зрения их интенсификации. При этом в настоящее время отдается предпочтение технологиям, позволяющим сократить многопереходность обработки.

В современной технике существует обширный класс деталей, имеющих форму конуса с раструбом. Штамповка таких деталей из круглой заготовки вытяжкой достаточно широко применяется в промышленности. Для получения заданных размеров детали вытяжкой необходимо применять несколько переходов, что требует большого количества штамповой оснастки. Объединение (совмещение) операций вытяжки, обжима и раздачи в одном технологическом переходе позволяет существенно интенсифицировать процесс формоизменения и, следовательно, повысить производительность труда и уменьшить количество штамповой оснастки.

Как показал литературный обзор, на данный момент отсутствуют какие-либо сведения об исследовании совмещенной операции вытяжки с обжимом и раздачей. Поэтому изучение закономерностей подобного процесса является актуальной задачей.

Целью работы является сокращение числа технологических переходов при изготовлении деталей с раструбом за счет применения совмещения операций вытяжки, обжима и раздачи в одном технологическом переходе.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие **задачи:**

1. На основе анализа существующих способов совмещения операций листовой штамповки, оценить возможность интенсификации процесса получения деталей с раструбом за счет совмещения операций вытяжки, обжима и раздачи в одном технологическом переходе.
2. Выполнить теоретическое исследование совмещенной операции вытяжки, обжима и раздачи. Используя анализ напряженного и деформированного состояния, провести оценку изменения толщины стенки детали.
3. Провести компьютерное моделирование процесса совмещенной операции вытяжки, обжима и раздачи и определить из результатов математического моделирования параметры, оказывающие наибольшее влияние на формоизменение заготовок.
4. Спроектировать экспериментальную штамповую оснастку и выполнить экспериментальные исследования влияния технологических параметров совмещенной операции вытяжки, обжима и раздачи на силовые характеристики процесса, формоизменение заготовок и параметры, ограничивающие процесс деформирования.

5. Разработать на основе проведенных исследований научно обоснованную методику проектирования технологических процессов листовой штамповки для получения деталей с раструбом основанных на применении совмещенной операции вытяжки, обжима и раздачи в одном технологическом переходе.

Методы исследований:

Теоретические исследования процессов вытяжки с обжимом и раздачей заготовки выполнены с использованием основных положений инженерного метода теории листовой штамповки. Кроме того анализ напряженно-деформированного состояния заготовки в исследуемых процессах проведен методом конечных элементов в программном комплексе AutoForm. Теоретические положения проверены экспериментальными исследованиями путем замера геометрических размеров полученных деталей и силовых параметров процесса.

Научную новизну имеют следующие результаты:

1. Научно обоснованный способ изготовления деталей с раструбом и оснастка для его осуществления, позволяющие повысить предельные возможности формоизменения одного технологического перехода за счет рационального приложения деформирующих сил к заготовке.
2. Разработанная методика расчета изменения толщины образующей в совмещенной операции вытяжки с обжимом и раздачей, основанная на линейном законе изменения толщины стенки стаканчика после первого перехода вытяжки, позволяющая адекватно оценить изменения толщины стенки за два перехода.
3. Установленные границы применения совмещенного процесса вытяжки, обжима и раздачи в одном технологическом переходе.
4. Результаты математического моделирования пластического формоизменения в двух переходном технологическом процессе.
5. Результаты экспериментальных исследований совмещенного процесса вытяжки, обжима и раздачи.

Практическую значимость имеют следующие результаты:

1. Разработанная конструкция штамповой оснастки, позволяющая осуществить совмещенную операцию вытяжки, обжима и раздачи в одном технологическом переходе.
2. Методика проектирования технологического процесса совмещенной операции вытяжки с обжимом и раздачей для получения детали с раструбом.
3. Разработанный технологический процесс штамповки детали типа (раструб), который даёт возможность повышать степень формоизменения и уменьшить количество штамповой оснастки.

Апробация работы:

Основные положения и материалы работы доложены и обсуждены на:

1. Конференции «Студенческая весна» на кафедре технологий обработки давлением МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013 г.;

2. Научных семинарах кафедры технологии обработки давлением МГТУ им. Н. Э. Баумана в 2011-2012 г.г.

Публикации:

Основное содержание диссертационной работы изложено в 5 опубликованных работах, из них 4 – в журналах, входящих в Перечень ВАК.

Структура и объем диссертации:

Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и итогов по работе, списка литературы. Работа изложена на 175 страницах машинописного текста, содержит 100 рисунков, 19 таблиц и список литературы из 121 наименований.

Автор защищает:

1. Результаты теоретического исследования совмещенной операции вытяжки, обжима и раздачи, для оценки изменения геометрических размеров детали.
2. Результаты экспериментального исследования совмещенной операции вытяжки, обжима и раздачи в зависимости от технологических параметров штамповки.
3. Результаты компьютерного моделирования совмещенной операции вытяжки, обжима и раздачи в зависимости от технологических параметров штамповки.
4. Методику проектирования совмещенной операции для получения деталей с раструбом.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой в работе задачи, ее научная новизна, практическая ценность работы, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ современного состояния теории и технологии операций листовой штамповки, а также анализ существующих технологических процессов изготовления осесимметричных конических деталей с раструбом посредством операций листовой штамповки, в том числе с помощью их совмещения. Обоснована постановка задач исследований.

Рассмотрены теоретические подходы к анализу операций листовой штамповки, в том числе с помощью их совмещения, изложенные в работах отечественных и зарубежных ученых: Е.А. Попова, Ю.А. Аверкиева, О.В. Попова, М.Н. Горбунова, В.П. Романовского, В.И. Ершова, А.Д. Матвеева, И.Н. Шубина, В.Ф. Константинова, В.Г. Ковалева, С.С. Яковлева, С.А. Евсюкова, Э.Л. Мельникова, Ю.Г. Розова и др.

Приведены полученные ими зависимости для определения напряженно-деформированного состояния при обжиме, вытяжке и раздаче.

Вторая глава посвящена анализу процесса совмещенной вытяжки с обжимом и раздачей. Исходной заготовкой для совмещенного процесса является

станчик полученный вытяжкой. Возможные схемы совмещенной операции представлены на (рис. 1). При совмещенной операции за счет наложения напряжения разных знаков предельный коэффициент формоизменения увеличивается, и его можно определить на основе предельно допустимых коэффициентов для каждой из операций:

$$K_{\Sigma} = K^0 \cdot K^B \cdot K^P = \frac{R_3}{R_{rp}} \cdot \frac{R_{rp}}{r_u} \cdot \frac{R_u}{R_3} = \frac{R_u}{r_u} \quad (1)$$

Совмещенная операция	Схема напряженного состояния	Границы операции	Возможная схема процесса
Вытяжка		$r_u > R_{rp} > r$	
Обжим		$R_3 > R_{rp} > r_1$	
раздача		$R_u > R_{rp} > R_3$	

Рис. 1. Возможная схема процесса

Для анализа напряжённого и деформированного состояний совмещённой операции вытяжки с обжимом и раздачей был использован метод суперпозиции, при котором общий очаг пластической деформации условно разбивается на три области обжима, вытяжки и раздачи (рис. 2).

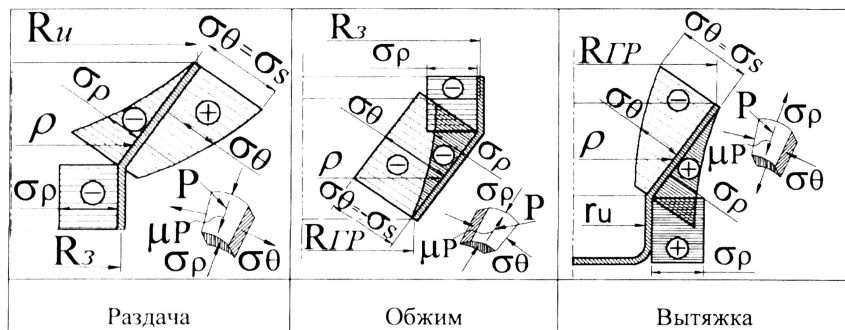


Рис.2. Схема и эпюры напряжений

В результате совместного решения уравнения равновесия с условием пластичности были получены формулы для определения меридиональных и тангенциальных напряжений для всего очага деформаций в зависимости от изменения текущего радиуса элемента в области каждой операции (ρ^p , ρ^0 , ρ^B)

(рис. 2). Значение граничного радиуса $R_{гр}$, разделяющего области обжима и вытяжки в совмещённой операции определяли из равенства максимальных меридиональных напряжений для областей обжима и вытяжки на их границе. Откуда получили:

$$R_{гр} = \sqrt{R_3 \cdot r_u}. \quad (2)$$

Для определения деформаций использовали уравнения связи напряжений и приращений деформаций для плоского напряженного состояния и условие постоянства объема.

В этой главе приведены формулы для определения высот части цилиндрического стакана, которые подверглись операции вытяжки (H^B), обжима (H^O) и раздачи (H^P).

Получены также формулы для оценки изменения толщины детали после совмещенной операции в каждой из зон. При этом принималось, что толщина стенки цилиндрического стакана, полученного на первом переходе вытяжкой, изменяется по линейному закону вдоль высоты стакана $S = f(h)$, где h – текущая высота определенной точки на стенке стаканчика (рис.3).

$$S(h) = S_{min} + \frac{S_{max} - S_{min}}{H_3} \cdot h. \quad (3)$$

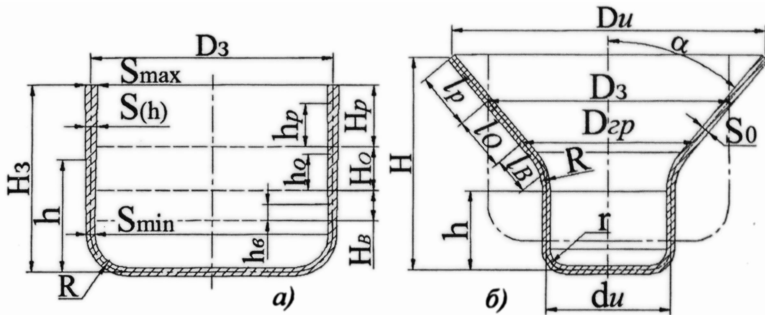


Рис. 3. Схема условных обозначений

а– для первого перехода вытяжки; б– для совмещенного перехода

$$S_{(\rho^O)}^O = (S_{min} + \frac{S_{max} - S_{min}}{H_3} \cdot h^O) \cdot (\rho^O / R_3)^{A_{(\rho^O)}}. \quad (4)$$

$$S_{(\rho^B)}^B = (S_{min} + \frac{S_{max} - S_{min}}{H_3} \cdot h^B) \cdot (\rho^B / R_{гр})^{A_{(\rho^B)}} \cdot \sqrt{R_3 / R_{гр}}. \quad (5)$$

$$S_{(\rho^P)}^P = (S_{min} + \frac{S_{max} - S_{min}}{H_3} \cdot h^P) \cdot (\rho^P / R_3)^{A_{(\rho^P)}}. \quad (6)$$

Где $A_{(\rho)}$ - текущий коэффициент соотношения напряжений

$$A_{(\rho)} = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{\sigma_\rho - 2\sigma_\theta}. \quad (7)$$

В третьей главе проведено всестороннее компьютерное моделирование двух переходного процесса. Постоянные и варьируемые факторы для модели-

рования и экспериментального исследования для первой вытяжки и совмещенной операции представлены в таблицах (1 и 2).

Таблица 1.

Варьируемые факторы и их значения для первого перехода вытяжки		
Первый переход вытяжки	фактор	Значение
	Относительная толщина круглой заготовки $S' = S_0/D_0$	0,017
	Относительная высота цилиндрической заготовки $H' = H_{\text{заг}}/D_{\text{заг}}$	0,65 0,73
	Относительный радиус скругления пуансона $R'_п = R_п/S_0$	4
	Относительный радиус скругления матрицы $R'_м = R_м/S_0$	5
	Коэффициент трения μ	0,1
	Коэффициент первого перехода вытяжки $K_{В1} = D_0/D_{\text{заг}}$	1,95

Таблица 2.

Варьируемые факторы и их значения для совмещенного перехода		
Совмещенный переход	фактор	Значение
	Угол конусности пуансона α°	30; 40; 45
	Коэффициент трения μ	0,15; 0,24; 0,36
	Относительная глубина цилиндрической части пуансона после совмещенной операции $h' = h/d_{\text{min}}$	0,47; 0,6 0,73; 0,86
	Общий коэффициент вытяжки-обжима $K_{В,0} = D_{\text{заг}}/d_{\text{min}}$	1,96
	Относительный радиус скругления пуансона $r'_{п2} = r_{п2}/S_0$	2
	Относительный радиус скругления матрицы $r'_{м1} = r_{м1}/S_0$	6
	Относительный радиус скругления пуансона $r'_{п1} = r_{п1}/S_0$	7,25

Компьютерное моделирование процесса проведено в программном комплексе AutoForm. Расчетная схема процесса первой вытяжки и совмещенной операции представлена на (рис. 4).

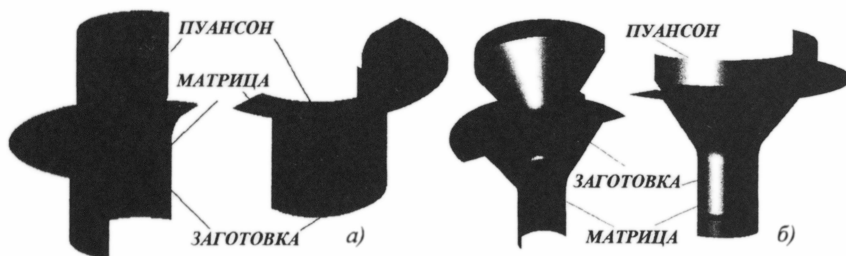


Рис.4. Расчетная схема процесса

а– первой вытяжки; б– совмещенной операции

В базе данных материалов программного комплекса отсутствуют деформационная кривая упрочнения испытуемого металла (сталь 08кп), а дополнить

ее в ручном режиме невозможно. Поэтому в работе была экспериментально получена кривая упрочнения для стали 08кп и подобран ее ближайший аналог. Анализ результатов компьютерного моделирования показал, что наименьшая толщина у полученной заготовки находится у зоны перехода к донышку, где σ_p достигает максимального значения. При этом с увеличением коэффициента трения толщина стенки заготовки в месте опасного сечения интенсивно уменьшается (рис.5). Из моделирования также видно, что с увеличением коэффициента раздачи утонение в зоне опасного сечения уменьшается.

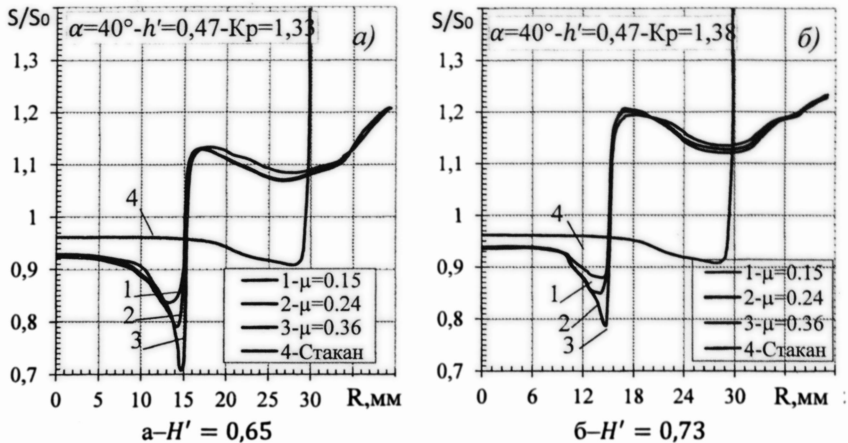


Рис 5. Изменение относительной толщины стенки заготовки относительно расстояния от центра заготовки (R,мм)

Из (рис.5.а) видно что, максимальное утонение в опасном сечении при $\mu = 0,15$ составило 16% от исходной толщины заготовки, 20% при $\mu = 0,24$, и 29% при $\mu = 0,36$, а максимальное утолщение на крае составило 21% от исходной толщины заготовки.

На (рис.5.б) максимальное утонение в опасном сечении при $\mu = 0,15$ составило 12% от исходной толщины заготовки, 15% при $\mu = 0,24$, и 21% при $\mu = 0,36$, а максимальное утолщение на крае составило 23% от исходной толщины заготовки.

Аналогичные графики изменений толщин были получены для других значений параметров.

Моделирование позволило установить наличие двух предельных углов конусности инструмента минимального α_{Min}^o и максимального α_{Max}^o , ограничивающих допустимый диапазон варьирования размерами изделия. Выход за пределы этого интервала не позволяет получить годное изделие (рис. 6)

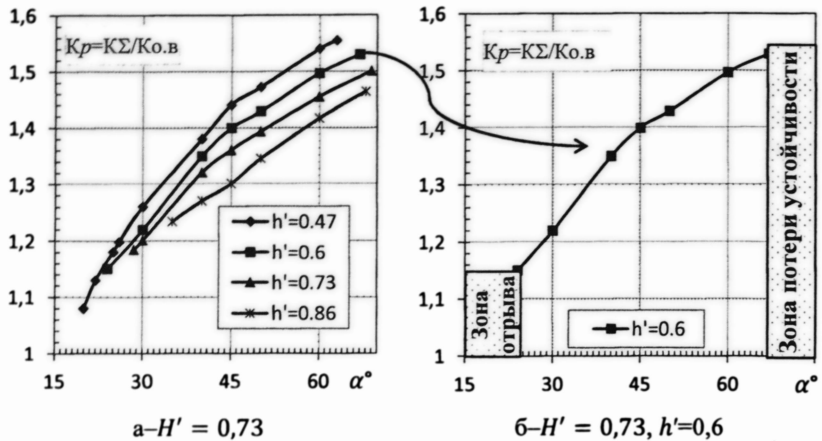


Рис. 6. Зависимость коэффициента раздачи K_p от угла конусности при ($\mu = 0,15$) для разных значений h' при моделировании

Рассмотрена также зависимость силы деформирования от перемещения пуансона при совмещенной операции. На (рис.7) показано изменение силы деформирования с изменением коэффициента трения и коэффициента раздачи. Анализ результатов показан что, чем больше коэффициент раздачи тем больше максимальная сила деформирования. С увеличением коэффициента трения сила деформирования увеличивается.

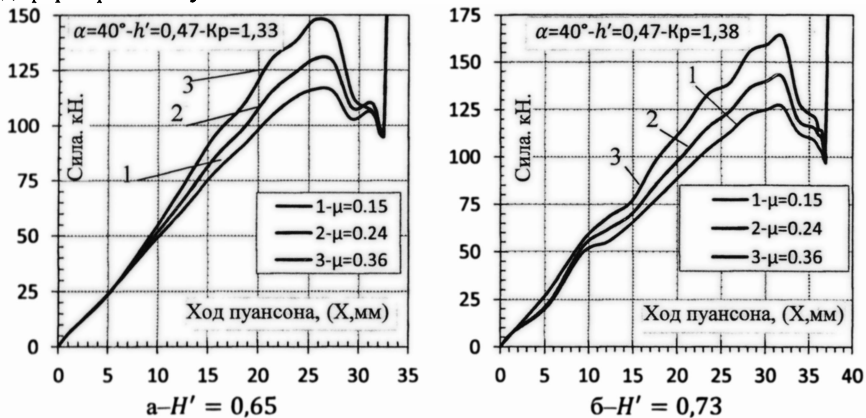


Рис. 7. Сила деформирования

Аналогичные графики изменений сил деформирования были построены для других значения параметров.

В четвертой главе проведено экспериментальное исследование процесса совмещенной операции вытяжки, обжима и раздачи на испытательной машине

INSTRON DX 60, с использованием специально сконструированных экспериментальных штампов. А также проведено сравнение результатов экспериментов с результатами математического моделирования и с расчетами по аналитическим зависимостям.

На (рис. 8) представлены типовые детали, полученные в ходе экспериментального исследования и компьютерного моделирования первого перехода вытяжки.

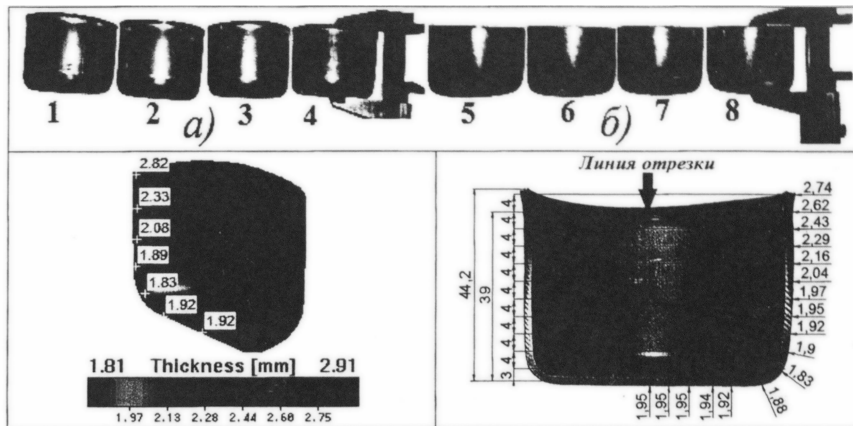


Рис. 8. Цилиндрические стаканы получены первой вытяжкой
а– без обрезки торца $H'=0,73$; б–с обрезкой торца $H'=0,65$

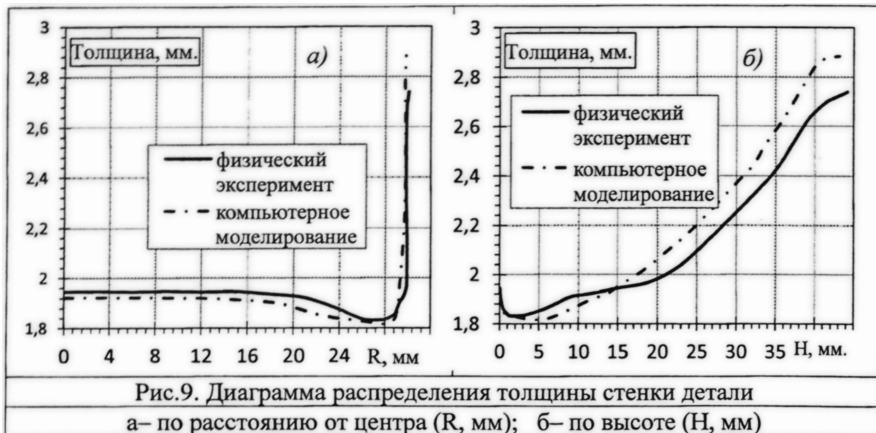
Результаты физического эксперимента и компьютерного моделирования представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты исследования первого перехода вытяжки

Замеряемые параметры	эксперимент	Результаты AUTOFORM	процент ошибки, %
Диаметр стакана $d_{ср}$, мм.	59,78	59,3	0,8
Коэффициент вытяжки, $K_{выт}$.	1,924	1,94	0,52
Максимальная толщина, S_{Max} , мм.	2,74	2,88	5,1
Минимальная толщина, S_{Min} , мм.	1,83	1,82	0,55
Толщина центра доньшка, $S_{ц}$, мм.	1,92	1,945	1,3
Высота стакана H , мм.	44,2	43,12	2,4
Сила деформирования, кН.	124	122	1,6

На (рис. 9) представлена, в качестве примера, диаграмма распределения толщины по образующей детали при $H' = 0,65$ и $\alpha^\circ = 40$ после совмещенной операции.

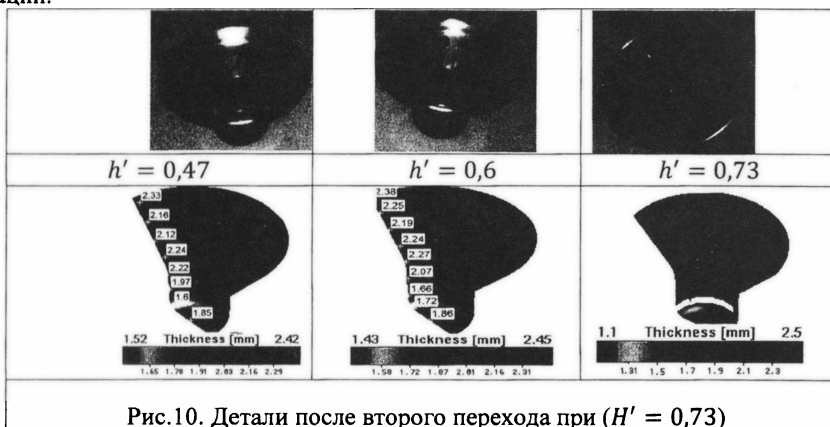


Из (рис. 9) можно отметить, что максимальное утолщение у края стакана составило (37%) от исходной толщины заготовки при физическом эксперименте, и (44%) от исходной толщины заготовки при компьютерном моделировании.

Минимальное утонение в зоне перехода от стакана к доньшку составило (8,5%) от исходной толщины заготовки при физическом эксперименте, и (9%) от исходной толщины заготовки при компьютерном моделировании.

Необходимо отметить хорошую сходимость результатов (5,1% по максимальной толщине у края стакана, (0,55%) по минимальной толщине в зоне перехода от стакана к доньшку, и (1,3%) по толщине центра доньшки стакана) компьютерного моделирования и реального процесса вытяжки.

На (рис. 10) представлены типовые детали, полученные в ходе экспериментального исследования и компьютерного моделирования совмещенной операции.



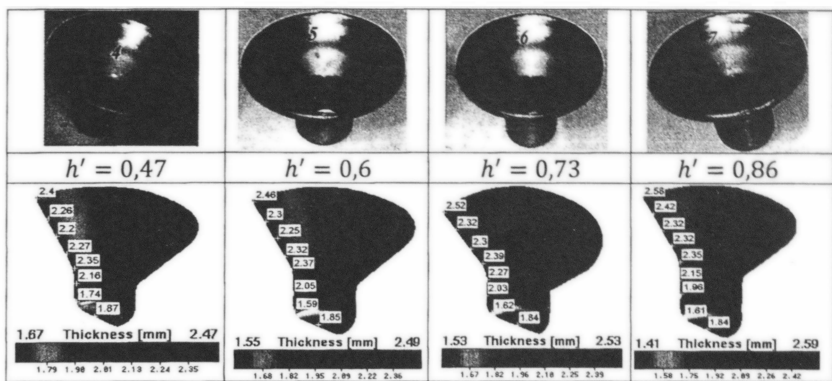


Рис.11. Детали после второго перехода при ($H' = 0,73$)

При проведении физического эксперимента совмещенной операции, для которого исходные заготовки представляют собой стаканы, полученные на первом переходе вытяжки после обрезки торца (рис. 10) (где $H' = 0,65$), получили хорошие результаты при ($\alpha^\circ = 40$) и при использовании пуансонов с относительной глубиной цилиндрической части пуансона ($h' = 0,47 \dots 0,6$), а при использовании пуансона $h' = 0,73$, произошел отрыв доньшки заготовки.

При проведении физического эксперимента совмещенной операции используя стакан первого перехода вытяжки без обрезки торца стакана (рис. 11) где ($H' = 0,73$), получили хорошие результаты при ($\alpha^\circ = 40$) и при использовании пуансонов с относительной глубиной цилиндрической части пуансона $h' = 0,47 \dots 0,6 \dots 0,73 \dots 0,86$.

В таблице 4 представлены результаты физического эксперимента и компьютерного моделирования совмещенной операции.

Таблица 4.

Результаты экспериментального исследования

	Замеряемые параметры При $H' = 0,65, \alpha^\circ = 40$	Результаты		процент ошибки, %
		экспери- мента	Auto- Form	
$h' = 0,47$	Максимальный диаметр D_p , мм	79	78,6	0,5
	Кoeffициент раздачи, K_p	1,32	1,33	0,75
	Общий коэффициент формоизменения, K_x	2,61	2,6	0,4
	Максимальная толщина, S_{pmax} , мм	2,3	2,42	5,2
	Минимальная толщина, S_{min} , мм	1,55	1,58	2
	Толщина центра доньшки, $S_{ц}$, мм	1,83	1,85	1
	Высота стакана H , мм	49,58	49,2	0,5
	Сила деформирования кН	113,3	130	15

		Продолжение таблицы. 4.		
$h' = 0,6$	Максимальный диаметр $D_p, \text{мм}$	76,9	76,24	0,9
	Коэффициент раздачи, K_p	1,29	1,28	0,8
	Общий коэффициент формоизменения, K_Σ	2,55	2,51	2
	Максимальная толщина, $S_{p\text{max}}, \text{мм}$	2,34	2,45	5
	Минимальная толщина, $S_{\text{min}}, \text{мм}$	1,44	1,47	2
	Толщина центра доньшки, $S_{\text{ц}}, \text{мм}$	1,78	1,86	4,3
	Высота стакана $H, \text{мм}$	52,8	51	3,5
	Сила деформирования кН	114	131	15

На (рис. 11) представлена, в качестве примера, диаграмма распределения толщины относительно расстояния от центра заготовки при $H' = 0,65, \alpha^\circ = 40$ после совмещенной операции.

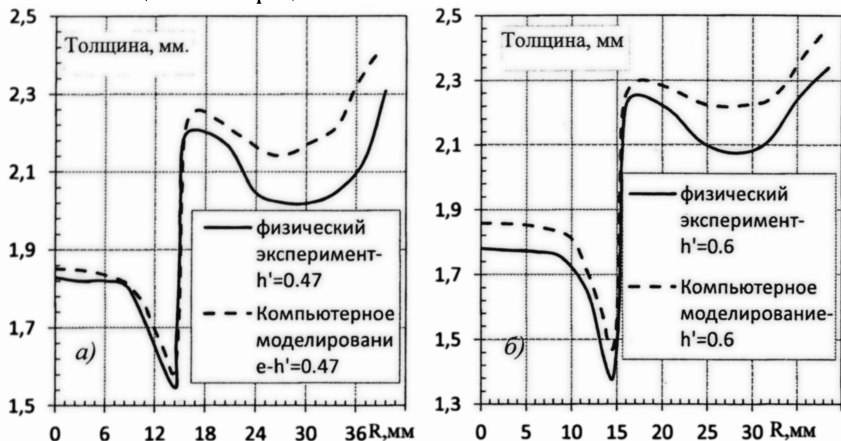


Рис. 12. Диаграмма распределения толщины стенки заготовки относительно расстояния от центра заготовки ($R, \text{мм}$), при $H' = 0,65, \alpha^\circ = 40$
а- $h' = 0,47$; б- $h' = 0,6$

Необходимо отметить хорошую сходимость результатов при $H' = 0,65, \alpha^\circ = 40, h' = 0,47$ (5,2%) по максимальной толщине, (2%) по минимальной толщине, (1,1%) по толщине центра доньшки) компьютерного моделирования и реальной толщины после совмещенной операции.

Из (рис. 12) следует, что максимальное утолщение у края заготовки после двух переходов составило (15%) от исходной толщины заготовки при физическом эксперименте, и (21%) от исходной толщины заготовки при компьютерном моделировании.

Минимальное утонение в зоне перехода от стакана к доньшку составило (22,5%) от исходной толщины заготовки при физическом эксперименте, и (21%) от исходной толщины заготовки при компьютерном моделировании.

Хорошая сходимость результатов при $H' = 0,65$, $\alpha^\circ = 40$, $h' = 0,6$ (5% по максимальной толщине, 2% по минимальной, (4,3%) по толщине центра донышки) компьютерного моделирование и фактической толщины.

Максимальное утолщение у края заготовки составило (17%) от исходной толщины заготовки при физическом эксперименте, и (22,5%) от исходной толщины заготовки при компьютерном моделировании.

Минимальное утонение в зоне перехода от стакана к донышку составило (28%) от исходной толщины заготовки при физическом эксперименте, и (26,5%) от исходной толщины заготовки при компьютерном моделировании.

На (рис.13) представлены графики изменения силы деформирования от перемещения пуансона, полученные при физическом эксперименте с помощью индикатора силы на INSTRON и компьютерном моделировании совмещенной операции.

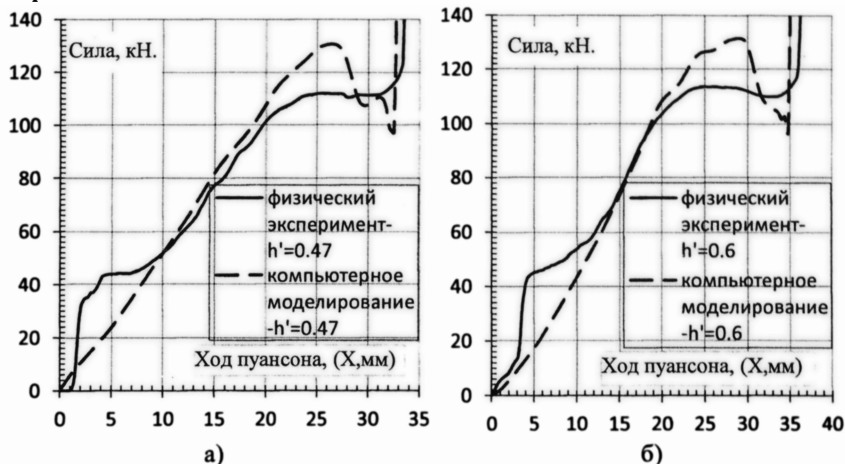


Рис.13. сила деформирования, при $H' = 0,65$, $\alpha^\circ = 40$
а- $h' = 0,47$; б- $h' = 0,6$

Сравнивая график силы, полученный в результате физического эксперимента и компьютерного моделирования, можно отметить хорошую сходимость результата, порядка 15%, при $h' = 0,47$ и $h' = 0,6$ (рис. 13).

В этой главе проведено также сравнение результатов физического эксперимента, моделирования и аналитического расчета.

Результаты физического эксперимента, моделирования и теоритического расчета для первого перехода вытяжки представлены в таблице 5.

Анализ данных приведенных в таблице позволяет говорить о достаточно высокой точности полученных аналитических зависимостей. Максимальная погрешность при сравнении расчетных и экспериментальных результатов составляет 2,7% по толщине, и 5,2% по высоте.

Таблица 5

Замеряемы параметры (мм)	Максимальная толщина, S_{max}	Минимальная толщина, S_{min}	Высота стакана H
Результаты расчета	2,79	1,88	45,35
Результаты эксперимента	2,74	1,83	43,12
Процент ошибки, $\left \frac{\text{расч.} - \text{экс.}}{\text{экс.}} \right \times 100$	1,8	2,7	5,2
Результаты по AutoForm	2,88	1,82	44,2
Процент ошибки, $\left \frac{\text{модел.} - \text{экс.}}{\text{экс.}} \right \times 100$	5,1	0,55	2,5
Процент ошибки, $\left \frac{\text{расч.} - \text{модел.}}{\text{модел.}} \right \times 100$	3,1	3,3	2,6

Результаты физического эксперимента, моделирования и теоритического расчета для совмещенного перехода представлены в таблице 6.

Отметим, что максимальная погрешность при сравнении расчетных и экспериментальных результатов по толщине составляет 13,2%, а максимальная погрешность при сравнении экспериментальных результатов с результатами моделирования по толщине составляет 5,1%.

Таблица 6

Замеряемы параметры (мм)	$S_{(R_{max})}^P$	$S_{(R_s)}^O = S_{(R_s)}^P$	$S_{(R_{rp})}^B = S_{(R_{rp})}^O$	$S_{(r_u)}^B$	S_{min}
Результаты расчета	2,65	2,36	2,2	2,43	1,89
Результаты эксперимента	2,34	2,17	2,33	2,35	1,68
Ошибки %, $\left \frac{\text{расч.} - \text{экс.}}{\text{экс.}} \right \times 100$	13,2	8,7	5,6	3,4	12,5
Результаты по AutoForm	2,46	2,24	2,36	2,4	1,76
Ошибки %, $\left \frac{\text{модел.} - \text{экс.}}{\text{экс.}} \right \times 100$	5,1	3,22	1,3	2,1	4,7
Ошибки %, $\left \frac{\text{расч.} - \text{модел.}}{\text{модел.}} \right \times 100$	7,7	5,4	6,7	1,3	7,4

В пятой главе разработана методика проектирования технологических процессов изготовления детали с раструбом совмещенной операцией вытяжки, обжима и раздачи.

В процессе проектирования и освоения процесса совмещенной операции вытяжки с обжимом и раздачей была выработана последовательность выполнения процедур проектирования, которые можно отобразить в виде схемы, изображенной на (рис. 14)

Технологический процесс включает в себе следующие операции: вырубка круговой заготовки, вытяжка первого перехода и совмещенный переход.

Приведен пример разработки конкретного технологического процесса, который начинается с определения размеров исходной заготовки для первого перехода вытяжки, к которым относятся диаметр и толщина. Далее определяются размеры цилиндрического стакана полученного первой вытяжкой, а именно диаметр и высота цилиндрического стакана, максимальна и минимальная толщина стенки.



Рис. 14. Алгоритм проектирования технологических процессов совмещенной вытяжки с обжимом и раздачей для получения деталей с раструбом

Общие выводы и итоги

1. Предложенный совмещенный технологический процесс для получения детали с раструбом основывающийся на совмещении операций вытяжки, обжима и раздачи позволяет увеличить допустимый суммарный коэффициент формоизменения за один рабочий ход пресса. Допустимая величина этого коэффициента равна произведению допустимых коэффициентов в операциях вытяжки, обжима и раздачи.

2. Теоретические исследования показали что, характер изменения толщины стенки образующей детали с раструбом не зависит от свойств металла, а определяется величиной коэффициента формоизменения и трением.

3. Методика расчета изменения толщины образующей при совмещенной операции вытяжки с обжимом и раздачей, основанная на линейном закон изменения толщины стенки стаканчика после первого перехода вытяжки, поз-

воляют адекватно оценить изменения толщины стенки за два перехода. При этом расхождение с экспериментом составляет от 5,6 до 13,2 %.

4. Компьютерное моделирование совмещенной операции вытяжки с обжимом и раздачей в программе комплексе AutoForm позволяет изучить новый процесс изготовления деталей с большим коэффициентом формоизменения и влияние отдельных параметров процесса на силовые характеристики процесса и геометрию конечного изделия. При этом наблюдается хорошее количественное и качественное совпадение рассматриваемых величин. Расхождение геометрических размеров по сравнению с экспериментом не превышает 5%.

5. Моделирование показало, что наименьшая толщина у полученной заготовки находится у зоны перехода к донышку, где меридиональные напряжения σ_r достигают максимального значения. При этом с увеличением коэффициента трения толщина стенки заготовки в месте опасного сечения (зона перехода от вертикальной стенки к донышку) интенсивно уменьшается.

6. Моделирование позволило выявить наличие двух предельных углов конусности инструмента минимального α_{min}° и максимального α_{max}° , ограничивающих допустимый диапазон варьирования размерами изделия. Выход за пределы этого интервала не позволяет получить годное изделие.

7. Разработанная научно обоснованная методика определения основных технологических параметров совмещенной операции позволяет осуществить проектирование двух переходного технологического процесса получения деталей с раструбом из круговой заготовки.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Сулейман А.А., Шубин И.Н. Влияние коэффициента трения на формоизменение трубной заготовки при совмещенной операции обжима и раздачей // Известия вузов. Машиностроение. 2013. № 6. С. 53—59.

2. Сулейман А.А., Шубин. Напряженно-деформированное состояние в совмещенной операции раздачи и обжима при изготовлении переходников // Наука и образование, М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 8. DOI: 10.7463/0813.0578962.

3. Евсюков С. А., Сулейман А. А. Методика проектирования технологического процесса изготовления деталей с раструбом // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2013. № 10 [Электронный ресурс]. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/636230.html>.

4. Евсюков С. А., Сулейман А. А. Исследование совмещенной операции вытяжки с обжимом и раздачей // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2013. № 11 [Электронный ресурс]. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/636247.html>.

5. Шубин И.Н. Сулейман А.А. формоизменение трубчатой заготовки при совмещенной операции обжима и раздачей в зависимости от условий трения // Сборник программы всероссийской студенческой научно-технической конференции студентов Студенческая научная весна 2013: Машиностроительные технологии. М.: МГТУ им. Н.Э Баумана, 2013.С. 15.