

На правах рукописи



ЕКИМОВА ОКСАНА АНАТОЛЬЕВНА

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ПОЛЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Специальность 05.02.09 **Технологии и машины обработки давлением**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тульский государственный университет».

Научный руководитель: **Кухарь Владимир Денисович**,
доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Сосенушкин Евгений Николаевич**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Московский государственный технологический
университет «СТАНКИН» (г.Москва), профессор
кафедры «Системы пластического
деформирования»;

Петров Павел Александрович,
кандидат технических наук, ФГБОУ ВО
«Московский политехнический университет»
(г.Москва), заведующий кафедрой «Обработка
материалов давлением и аддитивные технологии».

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Самарский национальный
исследовательский университет имени академика
С.П. Королева».

Защита состоится « 20 » марта 2018 года на заседании диссертационного совета Д212.271.01 на базе ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (300012, г. Тула, ГСП, просп. Ленина, 92, ауд. 9-101).

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

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» по адресу <http://tsu.tula.ru/science/dissertation/diss-212-271-01/ekimova-0a/>

Автореферат разослан « 25 » января 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Черняев
Алексей Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основной задачей развития машиностроения является вывод его на принципиально новые ресурсосберегающие технологии, обеспечивающие повышение производительности труда, экономию материальных и энергетических ресурсов и охрану окружающей среды. В значительной степени решению этих задач способствует внедрение в промышленность прогрессивных технологий формообразования полых осесимметричных деталей.

Наиболее эффективным способом получения полых осесимметричных деталей из листовых заготовок является вытяжка – процесс превращения плоской заготовки в полую деталь.

Одним из направлений повышения эффективности процесса вытяжки является замена круглой заготовки на профильную заготовку, однако реализация этих процессов затруднена в связи со сложным характером течения материала и недостаточной информацией о предельных возможностях деформирования.

Другим направлением повышения эффективности процесса является совмещение ряда операций в процессе изготовления осесимметричных деталей из профильных листовых заготовок.

Таким образом, теоретическое обоснование рациональных технологических параметров изготовления полых осесимметричных деталей из профильных листовых заготовок операциями вытяжки и совмещением вытяжки с утонением и прямого выдавливания, обеспечивающих снижение металлоемкости и трудоемкости их производства, является **актуальной научной задачей**.

Отдельные материалы работы выполнены в рамках программы «Анализ востребованности ключевыми российскими компаниями в сфере общего машиностроения и российскими вузами спроса на технологии, поисковые проблемно-ориентированные и прикладные работы: развитие теории пластического формоизменения кристаллических ортотропных материалов с деформационной анизотропией механических свойств – ГК 0038».

Цель работы. Повышение эффективности процессов вытяжки полых осесимметричных деталей путем теоретического обоснования рациональных технологических параметров первой операции вытяжки профильных листовых заготовок и совмещения последующих операций вытяжки с прямым выдавливанием.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи исследования:

1) с использованием программного комплекса QForm 2D/3D провести теоретические исследования процессов вытяжки цилиндрического полуфабриката из шестигранной и квадратной заготовок, осадки корончатого колпака цилиндрического полуфабриката и совмещения второй операции вытяжки и прямого выдавливания;

2) установить предельные возможности формоизменения на первой операции вытяжки цилиндрических изделий из профильных листовых заготовок квадратной и шестигранной формы;

3) оценить влияние технологических параметров на напряженно-деформированное состояние, силовые режимы и показатель разрушения при совмещении второй операции вытяжки и прямого выдавливания;

4) выполнить экспериментальные исследования первой операции вытяжки цилиндрических изделий из квадратной заготовки;

5) разработать технологический процесс изготовления детали типа «стакан» из квадратной заготовки;

6) использовать результаты исследований в учебном процессе.

Научная новизна:

- установлен характер напряженного и деформированного состояний шестигранной и квадратной заготовок при формообразовании полых осесимметричных деталей на первой операции вытяжки и при совмещении процессов вытяжки и прямого выдавливания;

- установлены и аналитически описаны предельные возможности формообразования осесимметричных деталей из профильных листовых заготовок на основе полученных вторичных математических моделей, учитывающих геометрию инструмента, степень деформации заготовки при совмещении операции вытяжки с утонением и прямого выдавливания.

Практическая ценность. Разработаны рекомендации по расчету технологических параметров вытяжки полых осесимметричных деталей из шестигранных и квадратных заготовок на основе выполненных теоретических исследований.

На основе результатов выполненных теоретических исследований:

1) получены значения коэффициентов вытяжки для первого перехода в зависимости от относительной толщины заготовки для шестигранной и квадратной заготовок;

2) установлены границы устойчивого протекания совмещенного процесса вытяжки и прямого выдавливания из корончатого колпака при изготовлении цилиндрического изделия на втором переходе (совмещенная операция вытяжки и прямого выдавливания из корончатого колпака) формообразования осесимметричной цилиндрической детали (или полуфабриката).

Реализация работы. На основе результатов комплекса проведенных исследований, конструкторско-технологических разработок и полученных рекомендаций для вытяжки шестигранных и квадратных заготовок усовершенствован технологический процесс изготовления детали «стакан»; часть материалов исследования использована в научно-исследовательской работе студентов, при выполнении курсовых и дипломных работ, в лекционных курсах «Технология листовой штамповки», «Теория обработки металлов давлением», при подготовке бакалавров и магистров техники и технологии по направлению «Машиностроение» профиля «Машины и технологии обработки давлением» и магистров техники и технологии по направлению «Технологические машины и оборудование» профиля «Высокоэффективные методы обработки металлов давлением».

Объект исследования: операции изготовления осесимметричных деталей из листовых заготовок.

Предмет исследования: процессы вытяжки, совмещенной вытяжки с прямым выдавливанием.

Методы исследования. В работе использован комплексный метод исследований, включающий теоретический анализ и экспериментальную проверку полученных результатов.

Моделирование и теоретические исследования операций вытяжки осесимметричных изделий выполнены с применением программного комплекса QForm 2D/3D. Предельная возможность формообразования оценивалась по критерию разрушения Кокрофта – Латама.

Экспериментальные исследования процесса вытяжки квадратной заготовки проводились на испытательной машине ГМС-50 с записью индикаторных диаграмм.

Автор защищает:

- результаты теоретических исследований напряженного и деформированного состояния заготовки и силовых режимов для рассматриваемых процессов при различных схемах нагружения;

- результаты исследований по определению рациональных технологических параметров операции вытяжки из шестигранных и квадратных заготовок на первом переходе;

- результаты исследования второго перехода формообразования осесимметричной детали из квадратной заготовки, реализуемого совмещением операций вытяжки и прямого выдавливания;

- разработанные вторичные математические модели зависимости силы, деформаций и критерия разрушения от геометрических параметров заготовки;

- выявленную возможность интенсификации процесса вытяжки из квадратной заготовки на первом переходе за счет совмещения вытяжки и прямого выдавливания.

Апробация. Результаты исследования доложены на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава Тульского государственного университета (2011–2017 гг), на магистерских научно-технических конференциях Тульского государственного университета (2011–2013 гг).

Публикации. Материалы проведенных исследований отражены в 13 работах, 12 из которых опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка литературы из 100 наименований. Работа изложена на 128 страницах, содержит 92 рисунка и 12 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность поставленной в работе задачи, ее научная новизна и практическая ценность проведенных теоретических и экспериментальных исследований, а также кратко раскрыто содержание разделов диссертационной работы.

В первом разделе изложено современное состояние процесса вытяжки из листовых заготовок. Основы теории и технологии операции вытяжки в значительной мере базируются на результатах работ Ю.М.Арышенского, В.К.Белосевича, С.А.Валиева, С.И.Вдовина, А.И. Власова, С.Ф.Головащенко, В.Д.Головлева, Г.Д.Дель, А.М.Дмитриева, В.А.Евстратова, М.Е.Зубцова, Е.И.Исаченкова, В.И.Казаченка, В.В.Каржавина, В.Г.Ковалева, В.Д.Кухаря, А.Н.Малова, В.Т.Мещерина, Е.И.Мошнина, А.Г.Овчинникова, П.А. Петрова, Е.А.Попова, В.П.Романовского, Л.Г.Степанского, Е.Н. Сосенушкина,

Г.П.Тетерина, Л.А.Шофмана, Д.Н.Цой, С.П.Яковлева, R.Hill, G.Oehler, E.Siebel, D.M.Woo, N.-M.Wang, H.Iseki, Y.Yamada и многих других.

Выявлено, что весьма эффективными способами сокращения потерь металла являются замена круглой заготовки профильной – квадратной или шестигранной и совмещение технологических операций. Результаты исследования деформирования профильных заготовок нашли отражение в работах В. Г. Кондратенко, Э. А. Назаряна, В. П. Романовского, Я. Галиновского, Н.В. Купора и др. Показано, что использование профильных заготовок повышает эффективность процессов формообразования осесимметричных деталей при выполнении операций вытяжки. Однако из-за отсутствия научно обоснованных рекомендаций многие операции вытяжки из профильных заготовок осуществляются недостаточно эффективно, что ставит задачу более глубокого изучения этих процессов, включая исследования напряженно-деформированного состояния заготовки в течение всего процесса формоизменения и прогнозирования ее разрушения.

Решение поставленных задач экспериментальным путем невозможно ввиду большой трудоемкости и экономически нецелесообразно. Использование приближенных аналитических решений также не позволяет отразить характерные особенности, присущие процессу вытяжки осесимметричной детали из профильной заготовки. В связи с этим является целесообразным применение численных методов теоретического анализа данных процессов. Среди них наиболее развитым методом математической формализации процесса механики пластического формоизменения является метод конечных элементов.

Показано, что в настоящее время наиболее перспективно использование программных комплексов, базирующихся на МКЭ, позволяющих производить расчеты операции штамповки. Проведенный обзор позволяет сделать вывод, что наибольшими преимуществами обладает программа QForm 2D/3D, которая активно используется в ООО «Инжиниринговая компания «ОМД-Технолоджи», ООО «Бевалекс», «МКБ МАМИ», «Би Питрон» и др.

Во втором разделе исследован процесс вытяжки шестигранной заготовки в цилиндрическую матрицу. Моделирование процесса осуществлялось методом конечных элементов с помощью программного комплекса QForm 2D/3D. Анализ полученных результатов показал, что наибольшие степени деформации (до 95 %) реализуются в области впадины. Деформации в сечении выступа

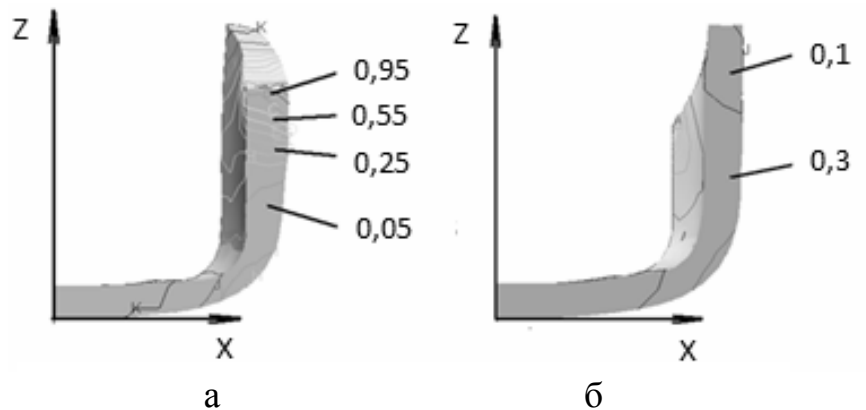


Рисунок 1 – Накопленная деформация при вытяжке из шестигранной заготовки: а – впадина; б – выступ

значительно меньше, и картина их распределения указывает на то, что угловые участки шестигранной заготовки деформируются практически как жесткое целое (рисунок 1).

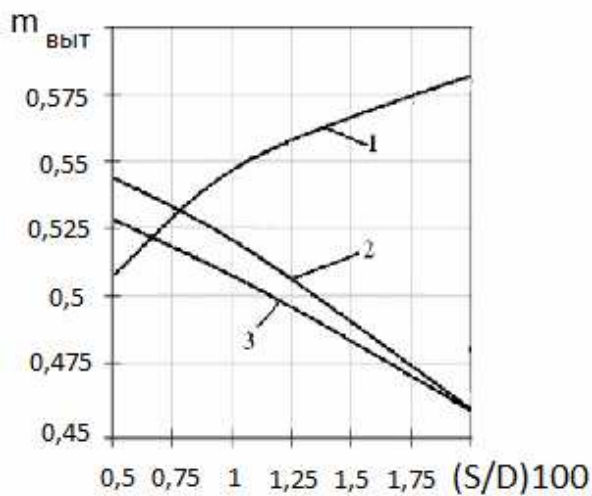


Рисунок 2 – Зависимости коэффициентов вытяжки от показателей относительной толщины заготовки
1-шестигранная заготовка;
2-круглая заготовка (расчет);
3-круглая заготовка (Романовский В.П.)

Определены минимально допустимые коэффициенты вытяжки по критерию разрушения Кокрофта – Латама в зависимости от относительной толщины заготовки. Для этого были проведены численные эксперименты по моделированию процессов вытяжки осесимметричной детали из шестигранных заготовок с относительной толщиной от $(S/D)100 = 0,06$ до $(S/D)100 = 2$ (S – толщина заготовки, D – диаметр вписанной окружности в шестигранник).

В процессе расчетов было установлено, что предельно допустимой минимальной относительной толщиной (в отличие от вытяжки круглых заготовок) для вытяжки шестигранной заготовки является $(S/D)100 = 0,5$. Проведенные численные расчеты в диапазоне относительных толщин от 0,5 до 2 позволили установить

минимально допустимые значения коэффициентов вытяжки в зависимости от относительной толщины заготовки (рисунок 2).

Следует отметить, что если при вытяжке из круглой заготовки с ростом относительной толщины значения коэффициента вытяжки уменьшаются, то при вытяжке из шестигранной заготовки они увеличиваются. Для



Рисунок 3 – Поэтапное деформирование при осадке корончатого венца:

а – $t=0,1t_{изг}$; б – $t=0,2t_{изг}$; в – $t=t_{изг}$
($t_{изг}$ – полное время изготовления)

дальнейшего использования полученной детали путем вытяжки необходимо выровнять край произведенного полуфабриката. Это можно достичь двумя способами: 1) провести обрезку края, что приведет к уменьшению экономии металла от использования шестигранных заготовок; 2) провести осадку корончатого венца полуфабриката до получения ровного края, что минимально сократит отход металла при обрезке. На примере получаемого полуфабриката из плоской шестигранной заготовки был рассмотрен второй способ (рисунок 3).

Для реализации второго способа проведено дополнительное исследование процесса осадки корончатого колпака. Исследование показало, что осаживая корончатый венец, получаем полуфабрикат с ровным краем, который можно использовать в последующих операциях вытяжки как обычную заготовку в виде стакана. Однако это справедливо только для заготовок, относительная толщина которых намного более 2, при меньших значениях получаемый полуфабрикат будет иметь ровный край, кроме области впадины, где образуются складки.

Третий раздел посвящен теоретическим исследованиям операции вытяжки из квадратной заготовки. Для рассмотрения предельных возможностей деформирования квадратной заготовки исследовались заготовки с относительной толщиной от 0,5 до 2. В результате расчетов установлено, что зависимости коэффициентов вытяжки от относительной толщины квадратной и шестигранной заготовок имеют противоположный характер. При вытяжке квадратной заготовки коэффициенты вытяжки

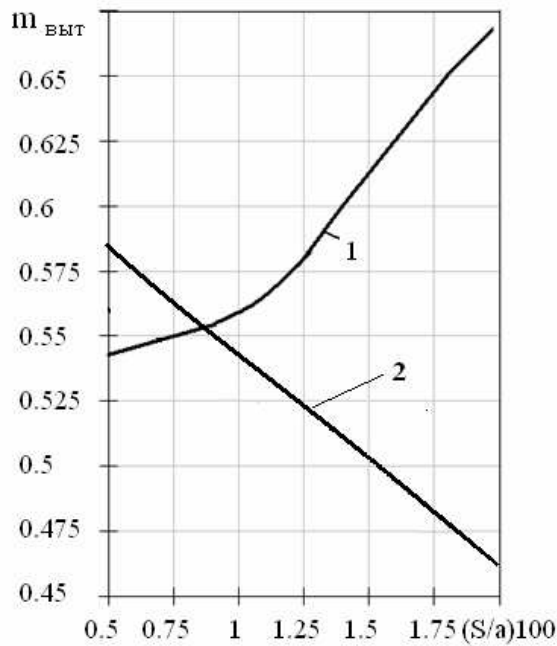


Рисунок 4 – Зависимости коэффициентов вытяжки от относительной толщины заготовок:

- 1 – квадратная заготовка;
2 – круглая заготовка.

увеличиваются от 0,54 до 0,67. (рисунок 4). На основе проведенных теоретических исследований по вытяжке из квадратной заготовки была выполнена практическая проверка полученных данных (рисунок 5). Приведены результаты исследования вытяжки квадратных заготовок с зазором между пуансоном и матрицей, равным толщине исходной заготовки: напряженного и деформированного состояния, предельно допустимых коэффициентов вытяжки, геометрических параметров получаемого стакана. В результате исследований установлено, что с уменьшением относительной толщины заготовки относительная высота стакана резко увеличивается (рисунок 6).

Выявлено, что при осадке корончатого венца в областях впадин происходит складкообразование, которое приводит к нарушению сплошности

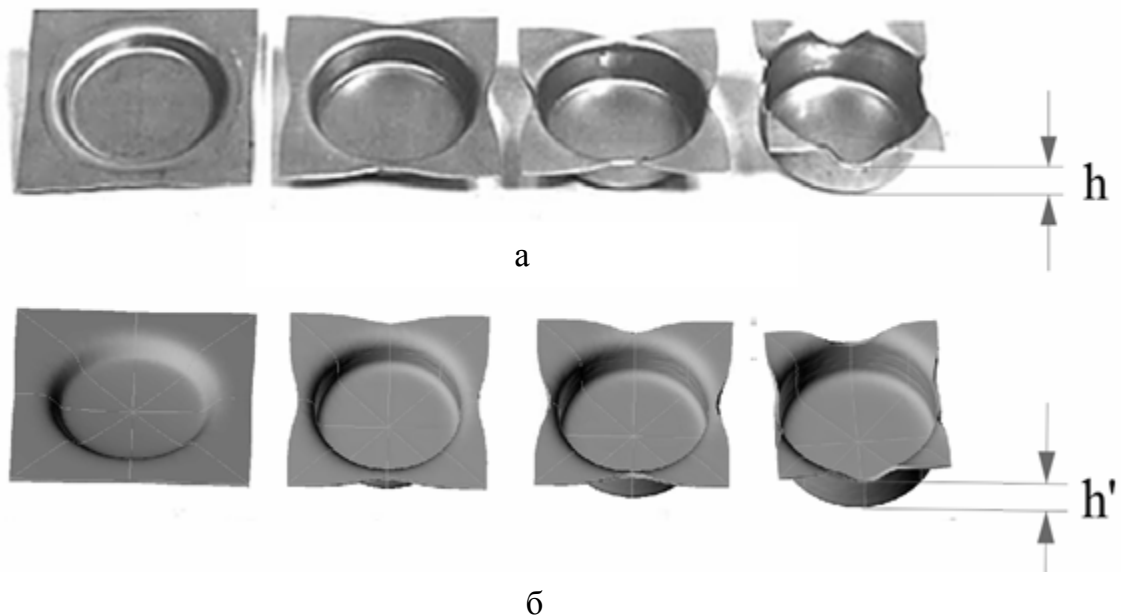


Рисунок 5 – Этапы деформирования квадратных заготовок (h – высота стакана по впадине)

а - эксперимент; б - при численном моделировании

$$h' = 11,5 \text{ мм} \quad h = 11,73 \text{ мм}$$

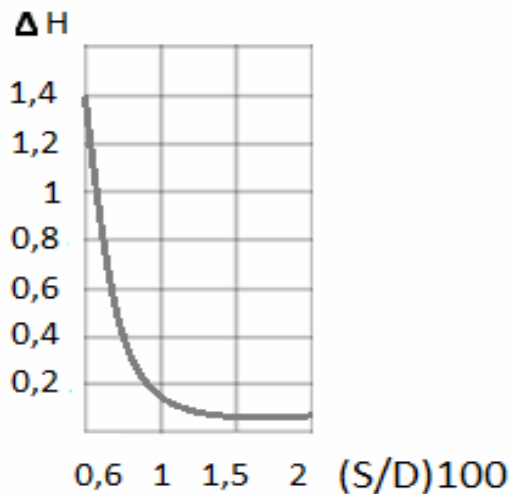


Рисунок 6 – Зависимость относительной высоты готового стакана от относительной толщины заготовки

готовом изделии. Наибольший цилиндрический участок соответствует внешнему диаметру заготовки «стакан». Матрица 2 зеркально повторяет геометрию пуансона.

В начальной стадии процесса при движении пуансона вниз осуществляется операция вытяжки. В момент, когда донная часть детали сформирована, одновременно с вытяжкой начинается осадка корончатого венца заготовки в сочетании с прямым выдавливанием. На заключительной стадии процесса реализуется только прямое выдавливание. В результате данной операции получается цилиндрическая заготовка с фланцем, которая имеет ровный край (рисунок 8). Для реализации совмещенного процесса вытяжки и прямого выдавливания с целью получения осесимметричного изделия без дефектов необходимо выявить рациональные диапазоны технологических факторов, таких, как

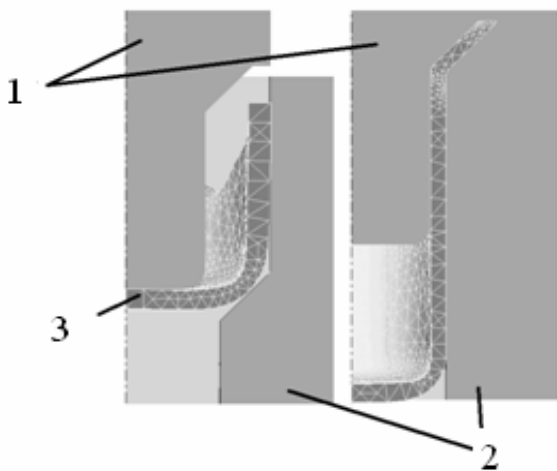


Рисунок 7 – Схема совмещенного процесса вытяжки и прямого выдавливания

1- Пуансон; 2 – матрицы;
3 – заготовка с корончатым венцом

целью получения осесимметричного изделия без дефектов необходимо выявить рациональные диапазоны технологических факторов, таких, как

заготовки в верхней ее части, и дальнейшее использование данного полуфабриката без обрезки верхней части заготовки невозможно, т.к. приведет к снижению коэффициента использования материала. В связи с этим на втором переходе был рассмотрен вариант совмещенного процесса вытяжки и прямого выдавливания по схеме, представленной на рисунке 7. Ступенчатый пуансон 1 имеет два цилиндрических участка, соединенных конусной поверхностью. Причем меньший цилиндрический участок имеет диаметр, равный внутреннему диаметру стакана в

коэффициент вытяжки $m_{\text{выт}}$, коэффициент утонения $m_{\text{ут}}$ и угол наклона матрицы α .

Было проведено исследование с использованием аппарата математической статистики и теории планирования многофакторного эксперимента на основе результатов моделирования. В результате численных экспериментов было установлено, что реализация данного процесса наиболее целесообразна при значениях коэффициента вытяжки от 0,65 до 0,8, коэффициента утонения от 0,6 до 0,7 и угла наклона матрицы $\alpha=35...50^\circ$.

Существует вариант использования для данной схемы непосредственно плоской заготовки (рисунок 9). Однако было установлено, что реализация такого процесса существенно зависит от точности изготовления инструмента и точности размеров заготовки, обеспечение которых в производственных условиях – достаточно сложная задача.

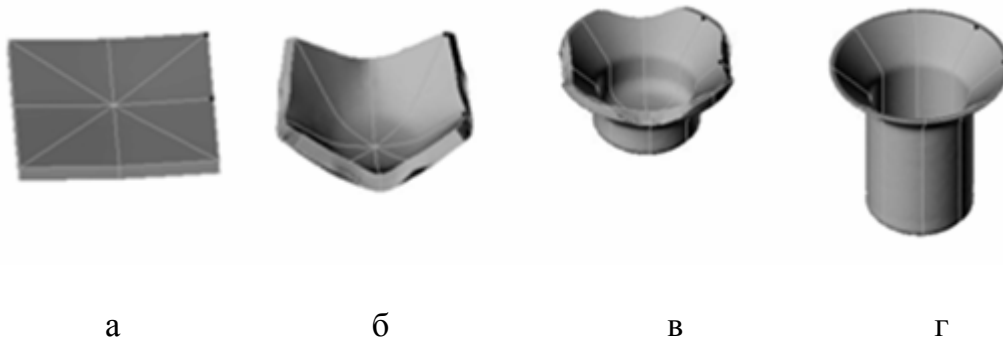


Рисунок 9 – Схема процесса с использованием плоской заготовки (а) при $t=0,1t_{\text{изг}}$ (б); $t=0,2t_{\text{изг}}$ (в); $t=t_{\text{изг}}$ (г), где $t_{\text{изг}}$ – полное время изготовления

Четвертый раздел посвящен разработке технологического процесса изготовления детали «стакан» из квадратной заготовки (рисунок 10). Традиционная технология получения данного изделия предполагает четыре операции вытяжки из круглой заготовки диаметром 62 мм, при этом

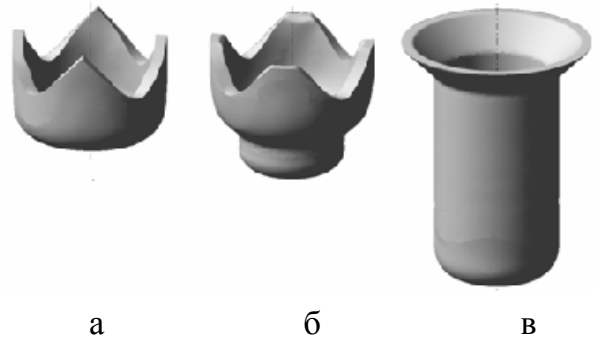


Рисунок 8 – Этапы деформирования:
а – $t=0,1t_{\text{изг}}$; б – $t=0,2t_{\text{изг}}$;
в – $t=t_{\text{изг}}$; ($t_{\text{изг}}$ – полное время изготовления)

коэффициент использования металла при раскрое составлял 72 %. Предлагаемая технология с использованием квадратной заготовки той же площадью, что и круглой, позволяет значительно повысить коэффициент использования материала до 93 %. А так же сократить количество операций на одну.

В **заключении** приводятся основные результаты и выводы по выполненной работе.

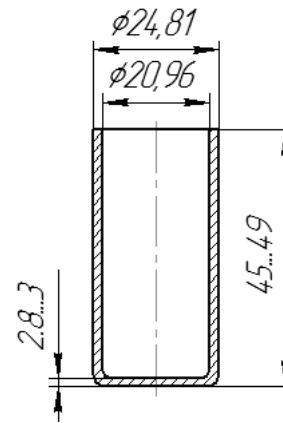


Рисунок 10 – Геометрические параметры изделия типа «стакан»

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В работе решена актуальная научно-техническая задача, состоящая в теоретическом обосновании рациональных технологических параметров изготовления полых осесимметричных деталей их профильных листовых заготовок операциями вытяжки и совмещением вытяжки с утонением и прямого выдавливания, обеспечивающих снижение металлоемкости и трудоемкости их производства.

При решении поставленных задач получены следующие основные результаты и выводы.

1. С использованием программного комплекса QForm 2D/3D выполнены теоретические исследования деформированного состояния и характера течения материала процессов вытяжки цилиндрического полуфабриката из шестигранной и квадратной заготовок, осадки корончатого колпака цилиндрического полуфабриката и совмещения второй операции вытяжки и прямого выдавливания. Показано, что наибольшие деформации при вытяжке реализуются посередине стороны профильной заготовки, а угловые участки заготовки деформируются практически как жесткое целое. Прирост полезной высоты готовой детали при вытяжке из квадратной заготовки осуществляется за счет утонения материала в зоне участков впадины.

2. Установлено, при осадке корончатого венца цилиндрического стакана, образуется полуфабрикат с ровным краем, который можно использовать в последующих операциях вытяжки как обычную заготовку в

виде стакана. Однако это справедливо только для заготовок, относительная толщина которых более 2, для заготовок с меньшей относительной толщиной потребуется операция обрезки торца, что связано с наличием складок в области впадины.

3. Установлено, что основополагающим фактором, влияющим на предельные возможности деформирования профильных листовых заготовок является накопленная материалом заготовки повреждаемость (показатель критерия разрушения Кокрофта-Латама). Существующие рекомендации по коэффициентам вытяжки из круглой заготовки не подходят для использования при вытяжке профильных заготовок. Показано, что при увеличении относительной толщины заготовки от 0,5 до 2 коэффициенты вытяжки для шестигранной заготовки увеличиваются от 0,49 до 0,59, а для квадратной - от 0,54 до 0,67.

4. Определено влияние технологических параметров на напряженно-деформированное состояние, силовые режимы и показатель разрушения при совмещении второй операции вытяжки и прямого выдавливания. Установлено, что реализация совмещенного процесса вытяжки и прямого выдавливания корончатого колпака, получаемого вытяжкой из квадратной заготовки, наиболее целесообразна при значениях коэффициента вытяжки от 0,65 до 0,8, коэффициента утонения – от 0,6 до 0,7 и угле наклона матрицы 50° .

5. Выполнены экспериментальные исследования первой операции вытяжки цилиндрических изделий из квадратной заготовки. Показано, что расхождение расчетных и экспериментальных данных по силе вытяжки не превышает 12%.

6. Разработан технологический процесс получения детали типа «стакан» из квадратной заготовки, который позволяет сократить количество операций на одну и снизить потерю материала на 21 %.

7. Отдельные материалы научных исследований использованы в учебном процессе на кафедре «Механика пластического формоизменения» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО
В ПУБЛИКАЦИЯХ**

1 Бойко (Екимова) О.А., Кухарь В.Д. Исследование процесса вытяжки детали «стакан» с помощью программы QForm 2D/3D // Вестник ТулГУ. Сер. Актуальные вопросы механики. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. Вып.8. С.29-35.

2 Бойко (Екимова) О.А., Кухарь В.Д. Осадка квадратной и шестигранной заготовки в круговую матрицу // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. Вып.10. С. 260-267.

3 Бойко (Екимова) О.А., Кухарь В.Д. Вытяжка квадратной заготовки в цилиндрическую матрицу// Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. Вып.10. С. 267-273.

4 Бойко (Екимова) О.А., Кухарь В.Д. Вытяжка шестигранной заготовки в цилиндрическую матрицу // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. Вып.12. С. 60-66.

5 Бойко (Екимова) О.А., Кухарь В.Д. Вторая операция формообразования цилиндрического стакана из квадратной заготовки // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. Вып.12. С. 66-72.

6 Бойко (Екимова) О.А., Кухарь В.Д., Купор Н.В. Повышение эффективности технологии изготовления изделия типа «стакан» // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. Вып.12. С.116-121.

7 Бойко (Екимова) О.А., Кухарь В.Д. Многопереходная вытяжка цилиндрического стакана из квадратной заготовки // КШП ОМД 2013. №11. С.40-42.

8 Екимова О.А., Кухарь В.Д. Технологические параметры при вытяжке цилиндрических деталей без фланца из квадратных заготовок // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып.1. С. 82-86.

9 Екимова О.А., Кухарь В.Д., Пасько А.Н. Влияние относительной толщины шестигранной заготовки на коэффициент вытяжки на первой операции многопереходной вытяжки // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 10. Ч. 1. С. 36-42.

10 Екимова О.А., Кухарь В.Д., Пасько А.Н. Влияние основных технологических параметров на силовые и деформационные характеристики второй операции вытяжки // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 10. Ч. 1. С. 82-90.

11 Екимова О.А. Кухарь В.Д. Способы получения полых цилиндрических изделий из профильных заготовок // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 12. Ч. 1. С. 139-142.

12 Екимова О.А., Кухарь В.Д. Сравнение результатов моделирования процесса вытяжки из квадратной заготовки с экспериментом // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 12. Ч. 1. С. 184-142.

13 Екимова О.А. Научное обоснование выбора исследования по вытяжке осесимметричных изделий из плоских квадратных заготовок // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып. 8. Ч. 2. С.348-351.