

**УДК 621.7.043**

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ШТАМПОВКИ КОНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА**

Анна Тимуровна Халикова

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Технологии обработки давлением»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: Ю.В. Майстров,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»*

*Ключевые слова:* конические детали (conical part), вытяжка (drawing), складкообразование (wrinkling), потеря устойчивости (buckling), штамповка (forming), листовой материал (sheet metal).

*Аннотация:* В данной работе рассмотрены, проанализированы и сопоставлены различные методы технологического процесса изготовления тонкостенных осесимметричных конических деталей (оболочек усеченной сужающейся формы). Выявлены преимущества и недостатки рассмотренных методов. Обзор охватывает техническую литературу, отечественные и зарубежные научные технические статьи и патенты. В работе так же предложена классификация способов получения конических деталей в качестве методики проектирования.

Современные тенденции развития различных отраслей промышленности стимулируют разработку высокоэффективных и конкурентоспособных видов техники и технологий, обеспечивающих жесткие требования к качеству и эксплуатационным свойствам изделий при экономии материальных и энергетических ресурсов, трудовых затрат, снижении себестоимости производства, что актуально для машиностроения.

Типовыми изделиями машиностроительной, ракетно-космической и авиационной индустрии являются тонкостенные конические осесимметричные детали, для изготовления которых широко используют методы обработки металлов давлением, а именно холодная листовая штамповка.

Листовая штамповка является одним из наиболее прогрессивных способов получения деталей и используется во всех отраслях промышленности. Основные преимущества листовой штамповки: высокая производительность, незначительные потери металла, возможность автоматизации.

Одним из основных видов пластических деформаций листовой штамповки является вытяжка – процесс превращения плоской заготовки в полую пространственную деталь любой формы.

Вытяжка конических деталей затруднена тем, что давление пуансона передается лишь небольшой поверхности в центре заготовки, вызывая значительное местное утонение, а иногда и обрывы материала. Кроме того, значительная часть поверхности заготовки, которая остается вне прижима, теряет устойчивость, что приводит к образованию гофр (рис. 1).

Задача технолога состоит не только в том, что бы спроектировать технологический процесс изготовления конической осесимметричной детали с минимальным числом переходов, высоким коэффициентом использования материала и точными геометрическими параметрами, но и удовлетворить высокие конструкторские требования - механические свойства изделия, равномерное распределение толщины, высокое качество поверхности и надежность в эксплуатации.

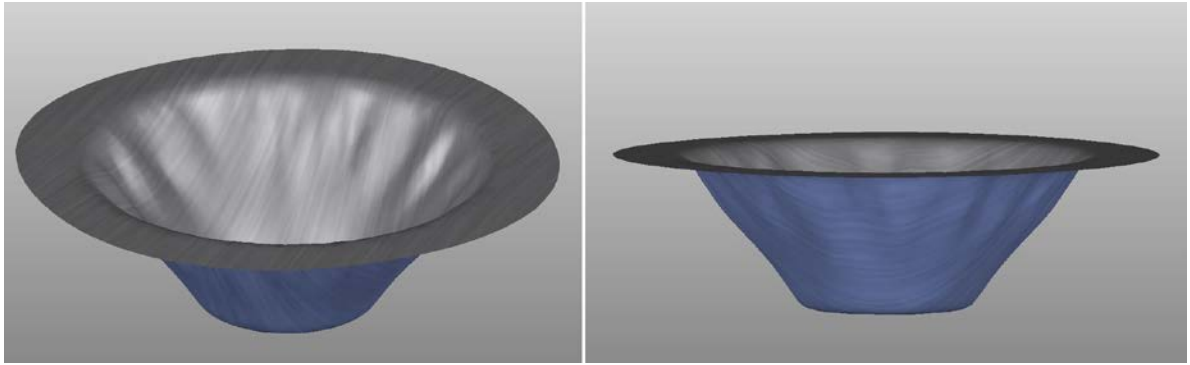


Рис. 1. Потеря устойчивости при вытяжке конических деталей.

В связи с тем, что в настоящее время в технической литературе нет точных рекомендаций по вытяжке конических деталей, а технологический процесс изготовления этих деталей на производстве достигнут опытным путем, сложен, трудоемок и требует большое количество переходов и специальную оснастку, существует необходимость разработки методики проектирования штамповки конических осесимметричных деталей из листового материала.

В данной работе рассмотрены, проанализированы и сопоставлены различные методы технологического процесса изготовления тонкостенных осесимметричных конических деталей (оболочек усеченной сужающейся формы). Выявлены преимущества и недостатки рассмотренных методов. Обзор охватывает техническую литературу, отечественные и зарубежные научные технические статьи и патенты. В работе так же предложена классификация методов получения конических деталей.

Проведенный обзор технической литературы показал, что существует множество способов изготовления конических деталей.

- а) Вытяжка конуса за один и несколько переходов;
- б) Вытяжка упругим элементом;
- в) Гидравлическая и гидромеханическая вытяжка;
- г) Обтяжка на гидравлических прессах;
- д) Обжим и раздача;
- е) Штамповка взрывом;
- ж) Гибка и последующая сварка;
- з) Штамповка электрогидравлическим разрядом;
- и) Магнитно-импульсная штамповка;
- к) Ротационное выдавливание;
- л) Инкрементальная формовка.

Для дальнейшего рассмотрения способов необходимо ввести ограничения. Во-первых, будут рассматриваться методы получения конических деталей для массового производства (1 000 000 штук в год). Во-вторых, штамповая оснастка должна быть относительно проста для изготовления и проектирования. И, в-третьих, способ изготовления деталей должен быть актуален, высокоэффективен и иметь потенциал внедрения на производство в настоящее время. Поэтому в данной работе будут рассмотрены: вытяжка за один и несколько переходов, получение конических деталей с помощью обжима и раздачи и ротационное выдавливание.

В первую очередь рассмотрены классические методы изготовления конических деталей: вытяжка за один и за несколько переходов[1].

При однопереходной вытяжке коническая деталь изготавливается из плоской заготовки (рис. 2).

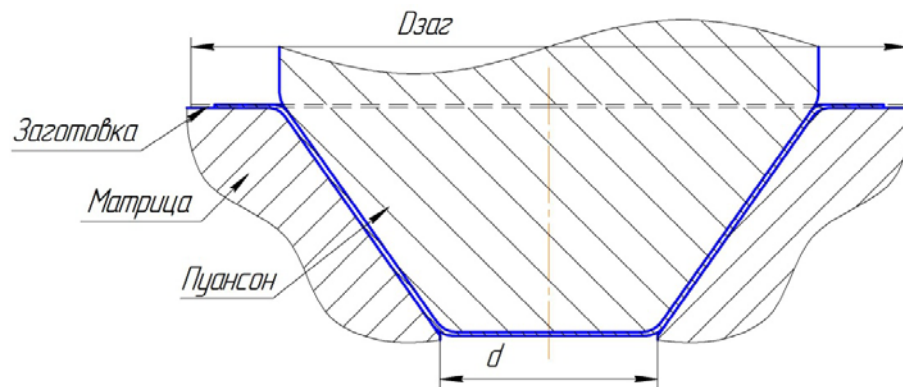


Рис. 2. Однопереходная вытяжка конической детали

При этом особенностью деформирования заготовки является то, что в промежуточных стадиях деформирования участок заготовки, находящийся между зонами контакта, по краям матрицей и пунсона, имеет значительную протяженность (рис. 3). В этом участке заготовка деформируется при отсутствии внешних сил на ее поверхности. Главными напряжениями, действующими на элементы заготовки, являются меридиональные и широтные напряжения; влияние изгибающих моментов, действующих по границам участка, становится значительно меньшим по мере удаления от его границ. При таких условиях указанный участок должен терять устойчивость.

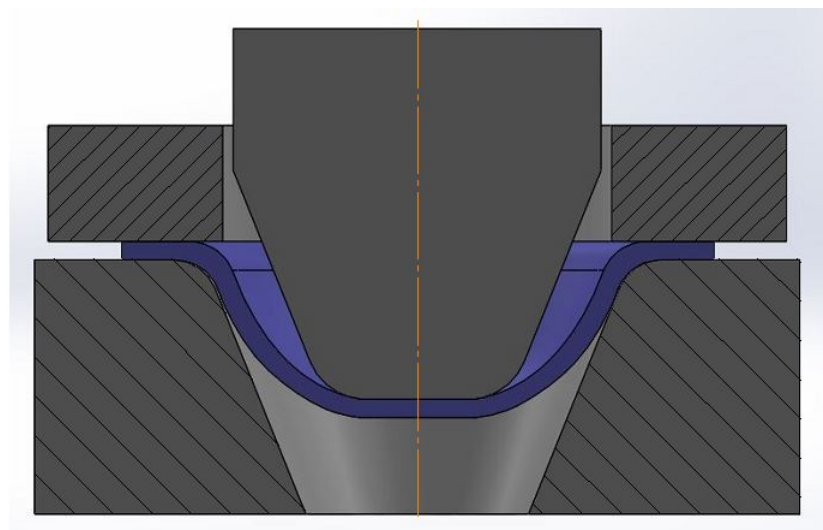


Рис. 3. Промежуточная стадия деформирования

В источнике [1] приводится теоретический вывод, который заключается в том, что для вытяжки конических деталей за один переход допустимый коэффициент вытяжки, определяемый как отношение диаметра заготовки к минимальному диаметру получаемой конической детали, приближенно равен допустимому коэффициенту вытяжки цилиндрических стаканов из плоской заготовки.

Так же отмечается, что образующая заготовки в зазоре между пуансоном и матрицей не прямолинейна, поэтому приходится осуществлять вытяжку конических деталей не на проход (цилиндрическую матрицу), а в глухую матрицу, для того чтобы на последнем этапе деформирования прямолинейность образующей достигалась правкой заготовки между коническими поверхностями пуансона и матрицы.

В тех случаях, когда коэффициент вытяжки, рассчитанный из отношения диаметра заготовки к диаметру донной части детали, превышает значение допустимого коэффициента для первого перехода вытяжки цилиндрического стакана, а также когда заготовка получает значительную потерю устойчивости, при которой подчеканка на заключительной фазе

деформирования не может выправить образующиеся складки, изготовление конических деталей осуществляется за несколько переходов.

Первый вариант многопереходной вытяжки осуществляется путем получения за необходимое количество переходов цилиндрического стакана с диаметром, равным наибольшему диаметру конической детали, и затем превращением за один переход вытяжки цилиндрической заготовки в коническую деталь (рис. 4).

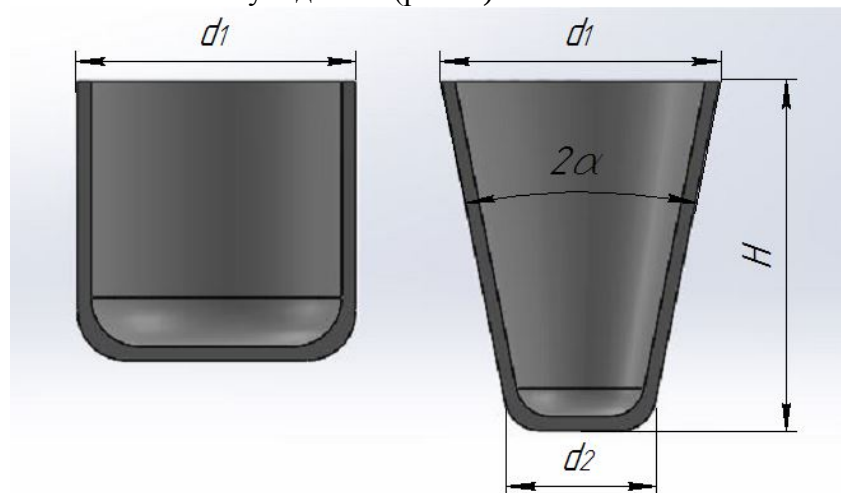


Рис. 4. Первый вариант многопереходной вытяжки

Второй вариант многопереходной вытяжки характеризуется тем, что за предварительные переходы получают ступенчатую деталь, у которой касательная к наружному контуру имеет тот же угол наклона к оси симметрии, что и образующая конической детали. На последнем переходе вытяжки как бы спрямляется образующая, то есть ступенчатая заготовка превращается в коническую деталь (рис. 5)

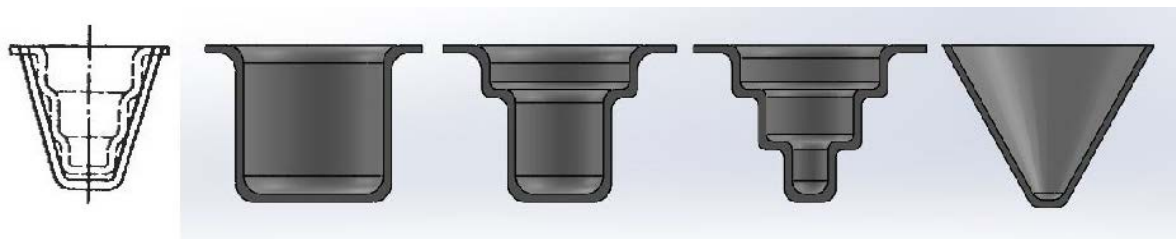


Рис. 5. Второй вариант многопереходной вытяжки

При таком варианте вытяжки значительные трудности вызывает устранение следов перехода от одного участка к другому. Когда требуется высокая чистота поверхности и прямолинейность образующей, необходимо прибегать к заключительным отделочным операциям, например к проглаживанию поверхности на токарно-давильных станках.

Третий вариант многопереходной вытяжки конических деталей характеризуется постепенным образованием конической поверхности, когда каждый последующий переход наращивает конический участок (рис. 6).

При вытяжке конических деталей по третьему варианту наружные размеры заготовки не изменяются, но на последующих переходах вытяжки увеличиваются размеры конической поверхности, причем угол наклона образующей к оси симметрии равен углу, заданному в готовой детали. Этот вариант вытяжки позволяет получить лучшее качество поверхности, чем предыдущий без использования дополнительной отделочной операции.

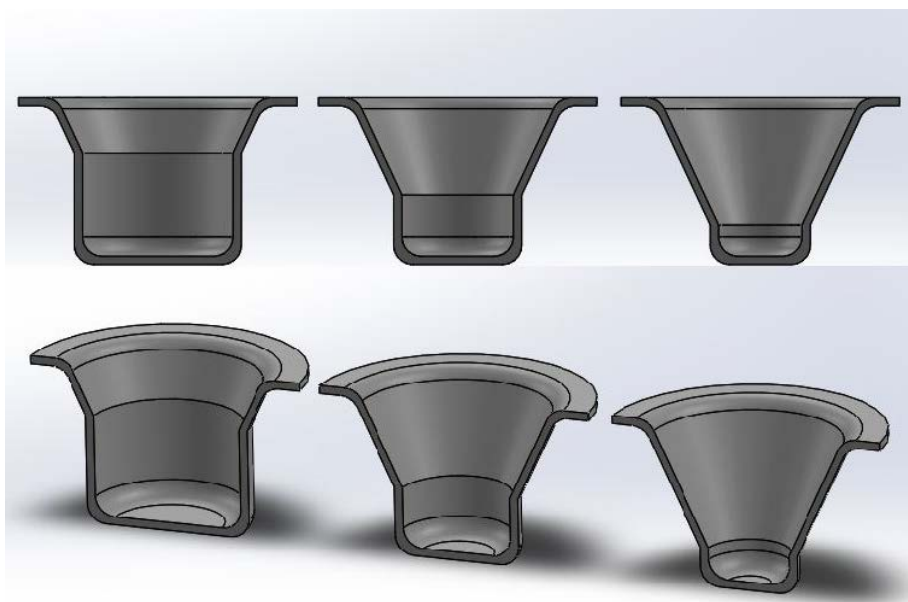


Рис. 6. Третий вариант многопереходной вытяжки

В качестве следующего способа изготовления конической детали рассмотрен способ обжима и раздачи трубной заготовки.

Согласно технической литературе [2], обжим – операция, при которой происходит сужение поперечного сечения трубы, а раздача – расширение трубчатой заготовки, производимое за счет растяжения материалов изнутри в радиальном направлении. Нашло широкое применение совмещение этих двух процессов в одну операцию для получения значительного перепада диаметров.

В патентных источниках [3-5] сообщается о способах получения переходников с внутренним (рис. 7), наружным цилиндрическим пояском, а так же с внутренней горловиной.

Для получения переходника с внутренним цилиндрическим пояском [3] из трубной заготовки (полученной отрезком от трубы или сгибом и сваркой полосы), необходимо на первом переходе получить конический полуфабрикат совмещенной операцией обжима и раздачи, затем на втором переходе отбортовать цилиндрический пояс со стороны меньшего диаметра.

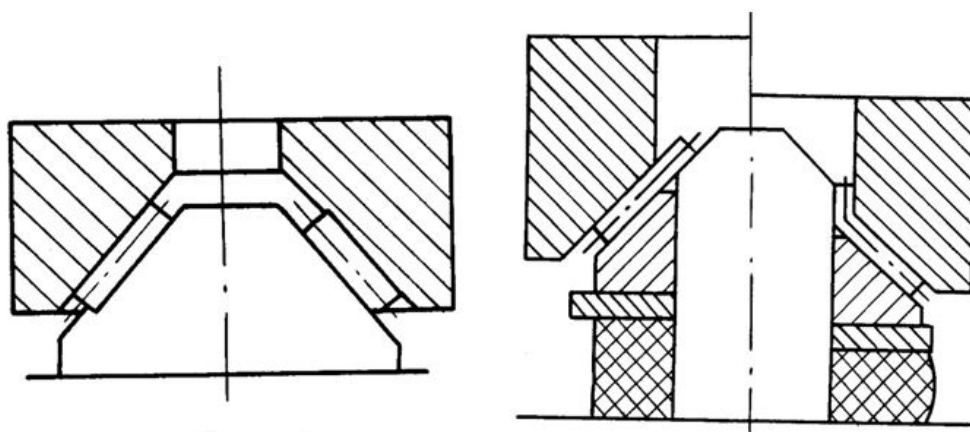


Рис. 7. Первый и второй переход получения переходника с внутренним пояском

Автор работы [6] отмечает, что особенностью совмещенного процесса обжима и раздачи трубной заготовки является наличие двух участков пластической деформации, разделенных между собой упругодеформируемым участком заготовки.

Этот же автор в работе [7], посвященной технологическому процессу изготовления деталей с раструбом, применяет совмещение операций вытяжки, обжима и раздачи (рис. 8). Результаты физического эксперимента и математического моделирования показали, что данный процесс 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.

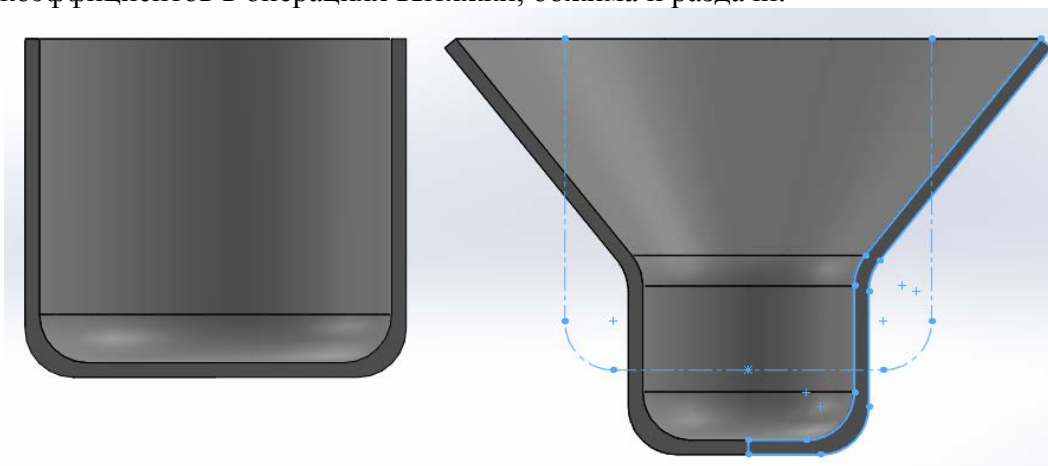


Рис. 8. Технологический процесс изготовления детали с раструбом

Последним из рассматриваемых способов получения конических деталей является ротационное выдавливание. Ротационное выдавливание имеет низкую производительность и применяется в мелкосерийном производстве, в случае, когда изготовление штамповой оснастки экономически не выгодно. В тоже время этот вид обработки металлов давлением отличается простотой оснастки, универсальностью инструмента и оборудования.

В технической литературе [8] различают прямое и обратное выдавливание. В первом случае направление течения металла совпадает с направлением перемещения ролика, во втором – не совпадает. Для изготовления конических деталей применяют прямое ротационное выдавливание.

За один переход возможно изготовление детали с соотношением  $D/d=0,2..0,3$ . Для получения деталей с большим отношением осуществляется несколько последовательных операций на разных оправках, но при одном и том же наименьшем диаметре оправки.

В ходе обработки металл детали значительно утоняется и наклепывается, что при вытяжке на прессах, поэтому детали, выдавливаемые за несколько операций, обычно подвергают промежуточному отжигу.

В случае изготовления деталей без ЧПУ для автоматизации процесса широкое применение нашли специальные приспособления (рис. 9) [9] и станки с ЧПУ (рис. 10)

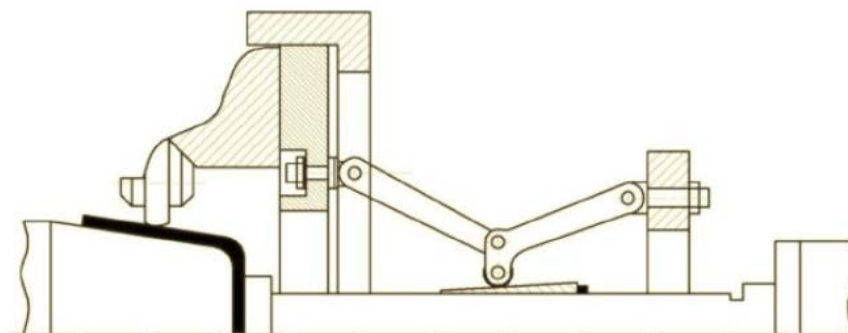


Рис. 9. Схема устройства для ротационной вытяжки с копиром в виде усеченного конуса смонтированного на осевом прижиме.

Изготовление конических деталей осуществляется на токарных станках с ЧПУ с помощью специализированного инструмента. При этом процессе изготовление занимает от 2 до 15 минут и осуществляется в несколько этапов.

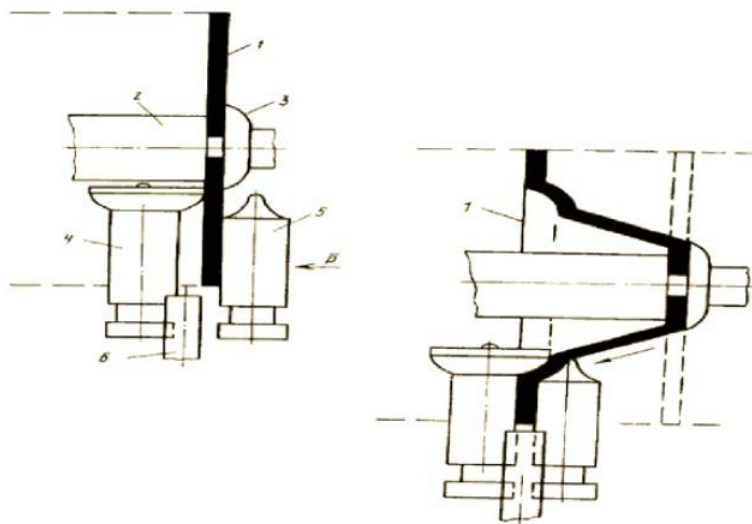


Рис. 10. Схема ротационного выдавливания полых деталей на станке с ЧПУ

В качестве выводов о проделанном обзоре составлена таблица (см. табл.1). Анализ таблицы показывает, что наилучшими показателями обладает однопереходная и многопереходная вытяжка, поскольку имеет возможность развиваться, повышать эффективность и быть конкурентоспособной на рынке новых технологий. Однако для составления методики изготовления конических деталей с помощью данного метода необходимы дальнейшие исследования (математическое моделирование, физические эксперименты, аналитическая оценка и обработка результатов).

Таблица 1

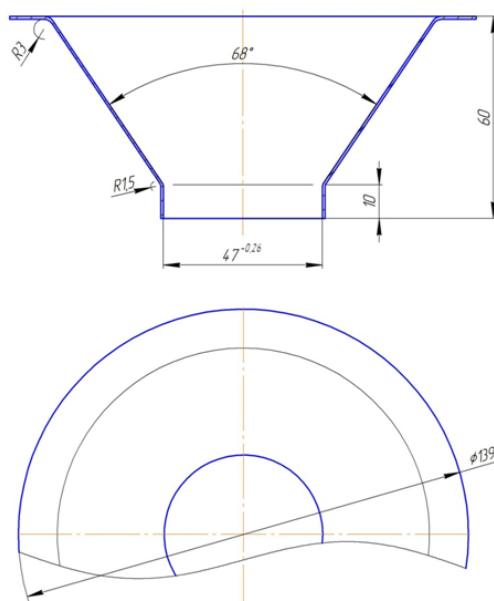
Сравнительный анализ различных способов изготовления конических деталей.

| № | Способ изготовления конических деталей | Пригодность к массовому производству | Простота штамповой оснастки | Доступность оборудования      | Потенциал внедрения на производство |
|---|----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Однопереходная/многопереходная вытяжка | Хорошая                              | Простая/Сложная             | Доступно/Возможно не доступно | Хороший                             |
| 2 | Совмещенная операция обжима – раздачи  | Хорошая                              | Сложная                     | Доступно                      | Хороший                             |
| 3 | Ротационная вытяжка                    | Плохая                               | Простая                     | Доступно                      | Хороший                             |

Помимо вышеперечисленного в технической литературе нет рекомендаций по вытяжке конических деталей. Например, таких как: как влияет угол конусности на потерю устойчивости; для всех ли углов конусности необходимо применять вышеприведенные методы или можно воспользоваться менее затратными и более простыми методами.

Было проведено математическое моделирование в программном комплексе Autoform для углов конусности от 6 до 78 градусов и получены результаты значения относительной величины складки (встроенная функция в программе, с помощью которой можно рассчитать величину радиуса складки).

В качестве основы для исследования выбраны параметры детали «Конус горловины воздушного фильтра» (рис. 11) такие как: относительная толщина заготовки, относительный диаметр фланца и коэффициент вытяжки, которые оставались постоянными на протяжении исследования.



Сталь 08кп

Толщина 0.8 мм

Штамповка из ленты

$$\frac{s}{D} \cdot 100\% = 0,46 - \text{относительная}$$

толщина заготовки

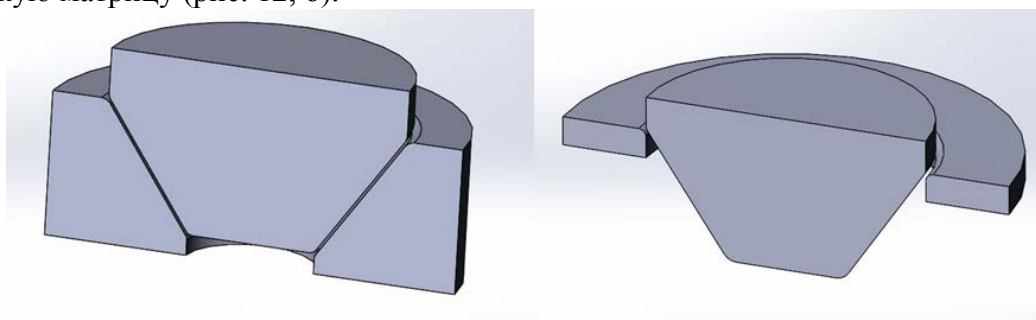
$$\frac{d_{\phi}}{d} = 2,84 - \text{относительный}$$

диаметр фланца

$$m = \frac{d}{D} = 0,35 - \text{коэф. вытяжки}$$

Рис. 11. Конус горловины воздушного фильтра

Так же было решено, что вытяжка будет осуществляться не в глухую (рис. 12, а), а в цилиндрическую матрицу (рис. 12, б).



а

б

Рис. 12. Варианты матриц для вытяжки конических деталей

а – глухая матрица, б – цилиндрическая матрица

В качестве способов исключения потери устойчивости были выбраны:

- использование увеличенной силы прижима по поверхности заготовки;
- использование предварительно отформованного ребра жесткости определенных размеров, формы и расположения (рис. 13)

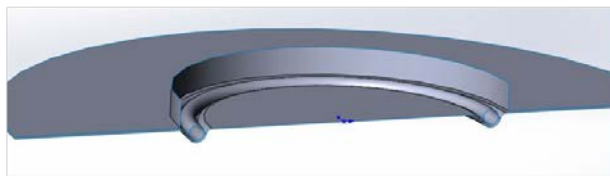


Рис. 13. Предварительно отформованное ребро жесткости

По результатам математического моделирования построена зависимость угла конусности от значения величины складки и сделаны предварительные выводы:

- 1) для углов конусности от 0 до 20 градусов осуществляется вытяжка за один переход;
- 2) для углов от 24 до 38 градусов – вытяжка с применением увеличенной силы прижима;
- 3) для углов от 40 до 58 градусов – вытяжка с предварительно отформованным ребром жесткости;
- 4) для углов конусности свыше 60 градусов – многопереходная вытяжка.

Были проведены физические эксперименты на базе математического моделирования для углов конусности 40 и 60 градусов с использованием предварительно отформованного ребра жесткости и без него (рис. 14).

Полученные результаты эксперимента наглядно показывают, что при использовании ребра жесткости наблюдается снижение гофрообразования на свободной поверхности конуса, но необходимы дальнейшие исследования расположения, формы и размера ребра жесткости для получения наилучших результатов.



Рис. 14. Физические эксперименты

а – для углов конусности 40 градусов, б – для углов конусности 60 градусов

#### Выводы:

- 1) В данной работе было проведено углубленное изучение трех основных методов штамповки осесимметричных деталей. В результате был выделен способ одно- и многопереходной вытяжки, который был взят за основу для дальнейшего исследования.
- 2) Была предложена классификация методов получения конических деталей, основанная на предварительном математическом моделировании. Предлагаемая классификация уменьшает количество переходов в несколько раз, упрощает изготовление рабочих инструментов и оснастки штампа, уменьшает себестоимость продукции без изменения качественных показателей.

#### Литература

1. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1977.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной листовой штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с., ил.
3. Евсюков С.А. Способ получения переходников с внутренним цилиндрическим пояском: пат. 2060086 Российская Федерация. 1996.
4. Евсюков С.А. Способ получения переходников с наружным цилиндрическим пояском: пат. 2087235 Российская Федерация. 1997.
5. Евсюков С.А. Способ получения переходников с внутренней горловиной: пат. 2087233 Российская Федерация. 1997.
6. Сулейман А.А., Шубин И.Н. Напряженно - деформированное состояние в совмещенной операции раздачи и обжима при изготовлении переходников // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. №8. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/578962.html> (дата обращения 15.03.2016).

7. *Сулейман А.А.* Совершенствование технологического процесса изготовления деталей с раструбом с применением совмещения операции вытяжки, обжима и раздачи: дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 175с.
8. *Шляпугин А.Г., Гречников Ф.В., Попов И.П., Хардин М.В.* Разработка моделей формообразования листовых деталей летательных аппаратов с помощью современных программных средств: учеб. пособие – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. – 66 с. : ил.
9. *Берлет Ю.Н., Мкрасов А.Ш., Макаров В.Ф.* Способ изготовления полых изделий: пат. 889205: МПК В 21 D 22/30, 1990.