

УДК

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЕЧНОЙ ФОРМЫ ДЕКОРАТИВНЫХ ОТВЕРСТИЙ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ЧАША»

Григорий Дмитриевич Григоренко ⁽¹⁾, Сергей Николаевич Кравец ⁽²⁾

Студент 6 курса ⁽¹⁾, студент 6 курса ⁽²⁾

кафедра «Технологии обработки металлов давлением»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.А. Евсюков,

доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технологии обработки металлов давлением»

Постановка задачи

Существует большое количество тонкостенных деталей, полученных с помощью вытяжки, на стенках которых необходимо иметь окна различной формы и криволинейную форму верхней кромки, например, сепараторы подшипников, резонаторы глушителей, факельные горелки и т.п., а также художественные изделия бытового назначения – подсвечники, подстаканники, плафоны светильников, декоративные вазы и др.

Примеры таких деталей показаны на рис. 1



Рис. 1. Примеры деталей

Технология изготовления таких деталей трудоемка и требует более сложных механизмов при пробивке окон или более сложных программ при вырезке окон лазером. Это связано с тем что выполнить отверстия на пространственной заготовке сложнее, чем на плоской.

По предлагаемому техпроцессу пробивка или вырезка отверстий производится предварительно в плоской круглой заготовке, после чего деталь штампуется в вытяжном штампе. В процессе вытяжки окна, выполненные в плоской заготовке, переходят на стенку вытянутого стакана, причем их форма и размеры изменяются.

Целью исследования является нахождение зависимостей, позволяющих по заданной форме и размерам окон в готовом изделии или детали определить форму и размеры окон, которые необходимо выполнить в листовой заготовке. В качестве демонстрационного примера рассмотрим декоративную чашу т.к. она соответствует всем нужным нам параметрам, а именно наличие отверстий на вытянутых криволинейных стенках.

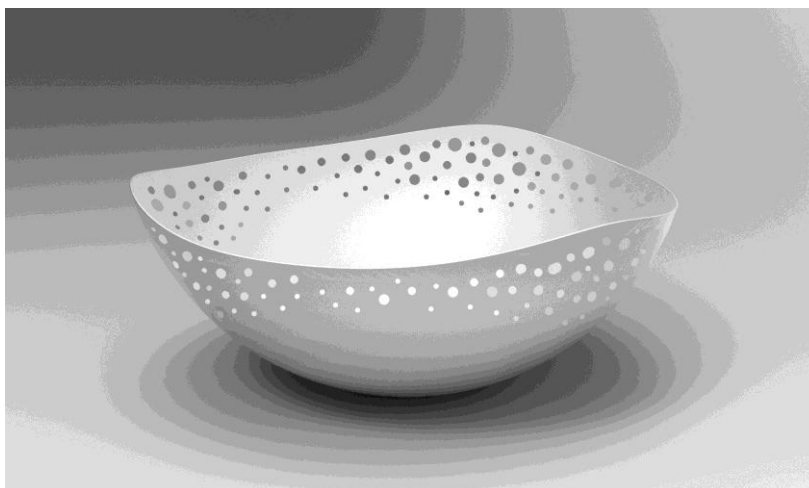


Рис. 2. Искомая деталь

Работа обладает научной новизной, поскольку сведений об аналитическом или экспериментальном исследовании такого процесса в технической литературе не содержится.

Методика исследования

Методика исследования включает в себя несколько этапов: физический эксперимент, моделирование и аналитические расчеты.

1 этап – экспериментальное исследование формоизменения окон заготовки в процессе вытяжки.

На рисунке 2 показана экспериментальная оснастка для вытяжки, включающая в себя цилиндрический корпус, матрицу, пуансон, прижимной стакан и резьбовую крышку, посредством которой производится прижим заготовки.

Штамповка производилась на гидравлическом прессе силой 0,25 Мн с ручным управлением. Пресс с установленной на нем оснасткой показан на рис. 3.

Размеры заготовок – диаметр 64 мм, толщина 2мм, материал сталь 3, диаметр матрицы – 48 мм, коэффициент вытяжки – 0,72

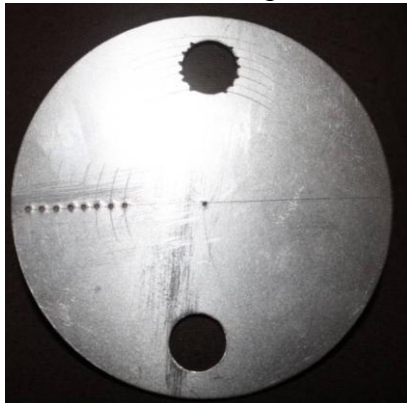


Рис.3. Оснастка



Рис.4. Гидропресс

На рисунке 5 показана заготовка с круглым отверстием и полученная из нее деталь, на рисунке 6 – заготовка с трапецидальным отверстием и соответствующая деталь.

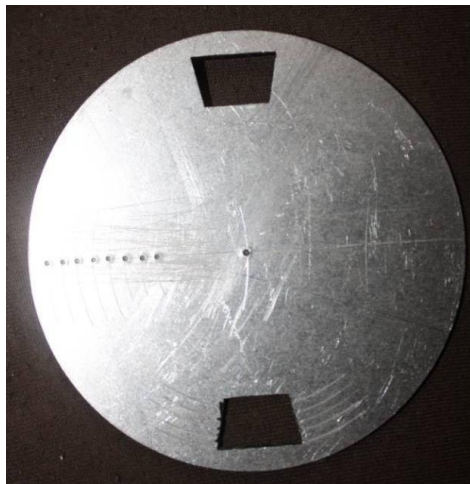


а- заготовка

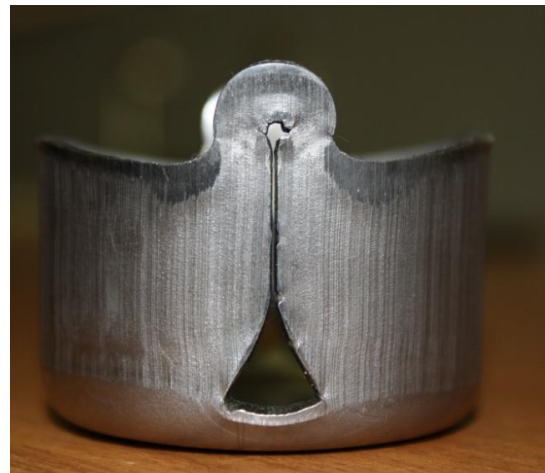


б- деталь

Рис. 5. Вытяжка круглого отверстия



а- заготовка



б - деталь

Рис. 6. Вытяжка трапецидального отверстия

Эксперимент показывает, что круглое отверстие трансформируется в окно каплевидной формы, а трапецидальное отверстие - в треугольное окно, причем в обоих случаях боковые стороны окон на некотором участке, обращенном к торцу стакана, смыкаются. Кроме того, напротив окон на торцах стакана образуются местные выступы.

Форма окон стакана свидетельствует о том, что исходные отверстия заготовки в процессе деформации уменьшаются по ширине и увеличиваются по высоте, причем деформации по обоим направлениям неравномерны. Это согласуется с теоретическими положениями о наличии сжимающих тангенциальных и растягивающих радиальных напряжений во фланце, под действием которых и происходит уменьшение ширины и увеличение высоты исходного отверстия в процессе деформации.

Наличие участка, на котором деформация исходного окна заканчивается и начинается участок полного смыкания его сторон, ставит задачу определения минимальной величины верхнего основания исходной трапеции для получения конечного окна без вертикальной щели.

Образование выступов на торцах стакана можно объяснить тем, что узкая перемычка между отверстием и наружной кромкой заготовки под действием сжимающих

тангенциальных напряжений теряет устойчивость и гнется «на ребро», образуя выпуклость торца. Видно также, что концентрические линии на заготовке (рис.4а) в процессе деформации изгибаются вблизи контура окна на рис. 4б, показывая, что имеет место течение металла как в сторону торца, так и в сторону доньшка, а также, что деформация в меридиональном сечении уменьшается по мере удаления от контура окна.

Исследование радиальных деформаций

С целью получения не только качественной, но и количественной оценки деформаций, на заготовках керном наносились контуры соответствующих окон.

На рисунке 7а показана заготовка, на которой керном нанесена линия радиуса и сегмент, на рисунке 7б – деталь после деформации. На рисунке 8а – заготовка, на которой нанесена трапеция, по размерам соответствующая трапециевидному окну, а на рис 8б – деталь, полученная из этой заготовки.



а- заготовка



б-деталь

Рис. 7. Вытяжка не перфорированной заготовки



а-заготовка



б-деталь

Рис. 8. Вытяжка сегмента неперфорированной заготовки

Зная расстояния между кернениями в заготовке и соответствующие расстояния после деформации, можно определить абсолютные локальные радиальные деформации

$$\delta_{pi} = a_{1i} - a_i \dots\dots(1)$$

и относительные локальные радиальные деформации

$$\epsilon_{pi} = (a_{1i} - a_i) / a_i \dots\dots(2),$$

где a_{1i} – размер между кернениями после деформации

a_i - размер между кернениями до деформации,

а также построить графики радиальных деформаций

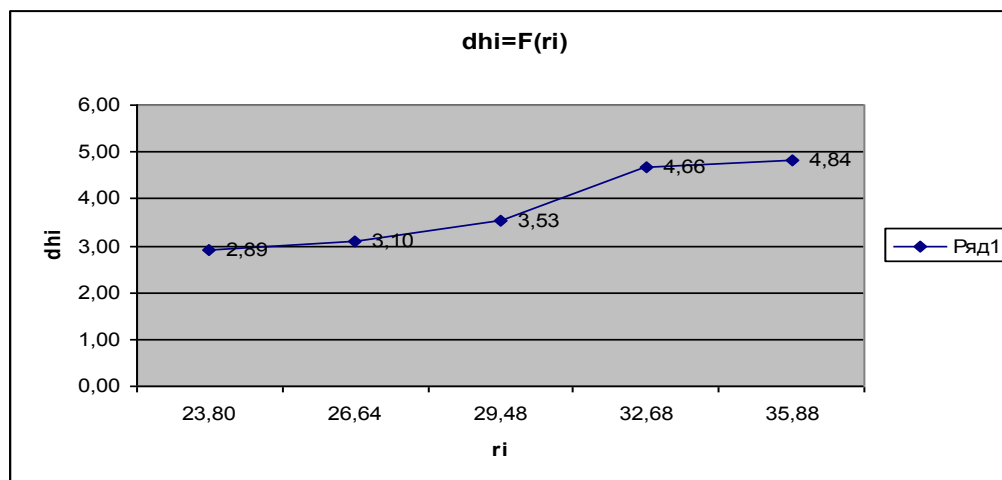


Рис. 9. График абсолютных радиальных деформаций в функции текущего радиуса.

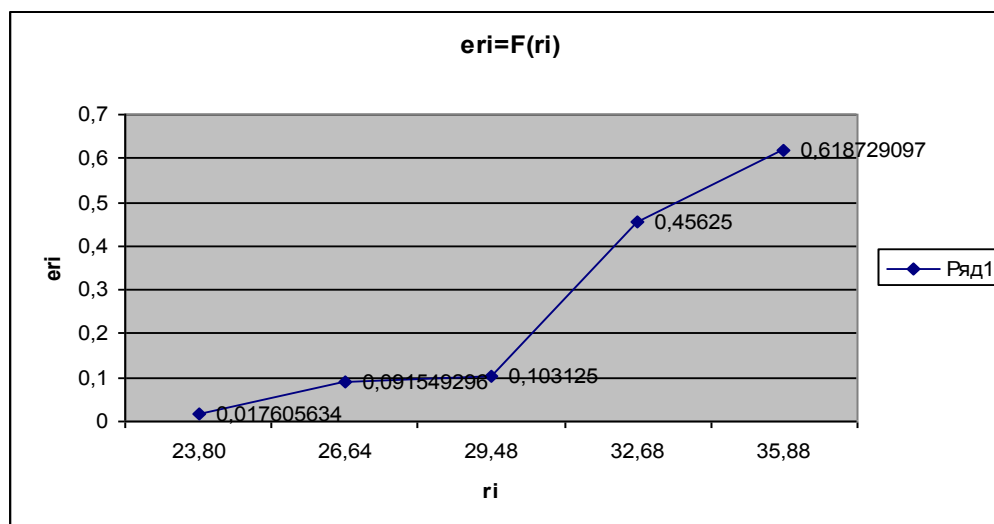


Рис. 10. График относительных радиальных деформаций в функции текущего радиуса заготовки

Из графиков видно, что локальная радиальная деформация при вытяжке неравномерна и увеличивается с увеличением радиуса.

Отсюда следует важный вывод о том, что для получения в стенке стакана окна правильной геометрической формы окно в заготовке должно быть сжато в радиальном направлении по отношению к окну в стакане, причем локальное сжатие должно увеличиваться с увеличением радиуса заготовки. Нахождение величины этого сжатия является целью аналитического расчета формы окна.

Исследование тангенциальных деформаций

Абсолютные локальные тангенциальные деформации можно вычислить по формуле :

$$\delta_{\theta i} = b_{1i} - b_i \quad \dots\dots(3),$$

а относительные локальные тангенциальные деформации по формуле:

$$\varepsilon_{\theta I} = (b_{1i} - b_i) / b_i \quad \dots\dots(4) ,$$

где b_{1i} и b_i - размеры между кернениями трапеции (см. рис.6) после и до деформации для разных радиусов ρ_I .

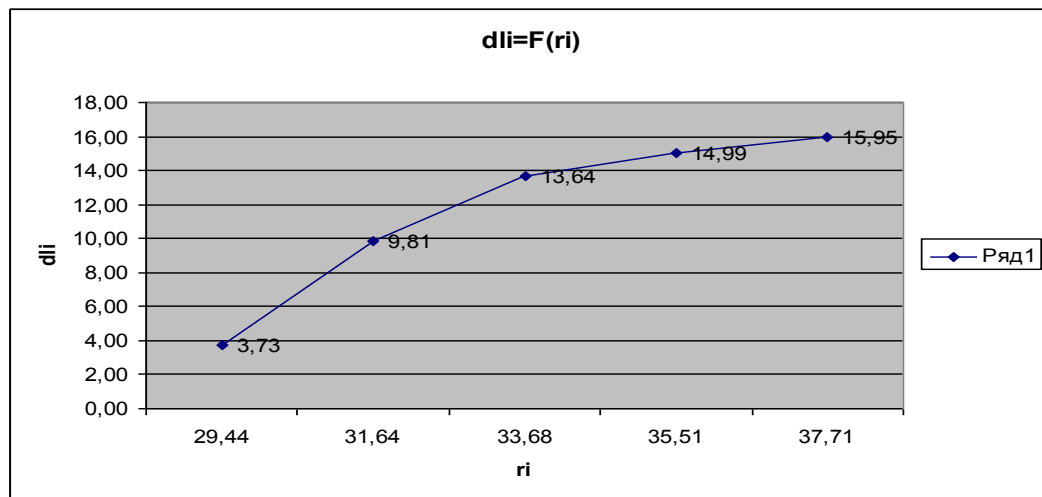


Рис. 11. График абсолютных тангенциальных деформаций в функции текущего радиуса заготовки

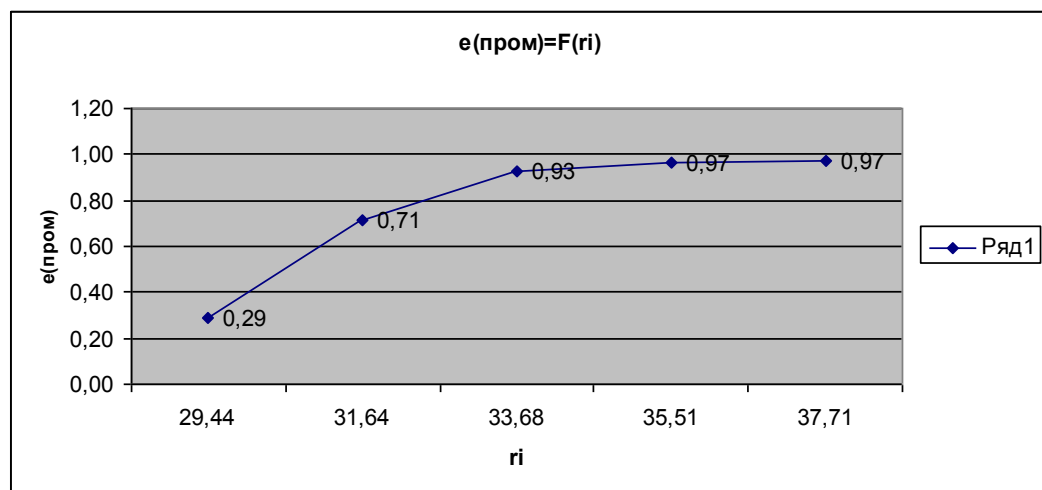


Рис. 12. График относительных тангенциальных деформаций в функции текущего радиуса заготовки

Как видно из графиков тангенциальные деформации увеличиваются с увеличением текущего радиуса заготовки, из чего следует, что окно в заготовке должно быть шире окна в детали, причем это уширение увеличивается с увеличением текущего радиуса заготовки.

Моделирование формоизменения окон

Изготовление заготовок для физического эксперимента связано со значительными затратами времени и средств. С целью расширить номенклатуру заготовок по формам, расположению и размерам исходных окон, а также получить информацию по утонению стенки, возможности появления брака (разрывов и складок) и др. было проведено моделирование процесса вытяжки из перфорированной заготовки. При этом также ставилась цель убедиться в адекватности модели путем сравнения результатов моделирования с физическим экспериментом.

Для этого моделировалась вытяжка стакана из заготовки такого же диаметра и с такими же отверстиями, что и при физическом эксперименте.

На рис. 13 показаны результаты моделирования при вытяжке из заготовки с отверстием, на рис. 14 - при вытяжке из заготовки с трапецией.

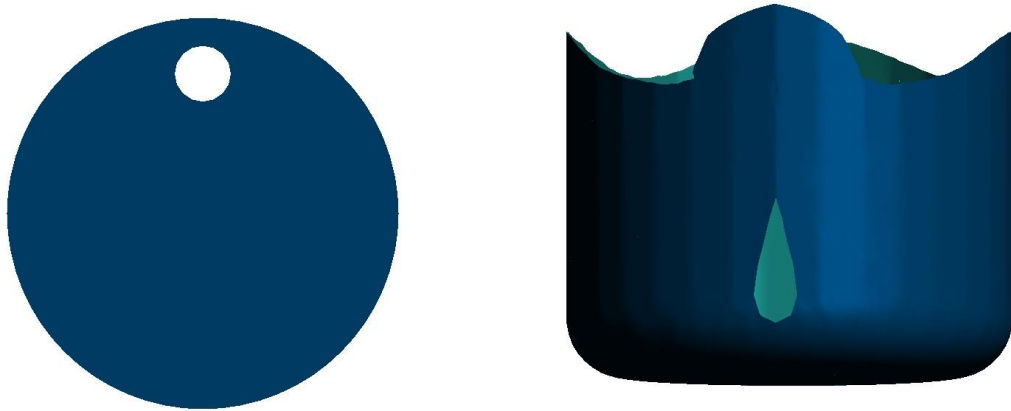


Рис. 13. Вытяжка заготовки с круглым отверстием

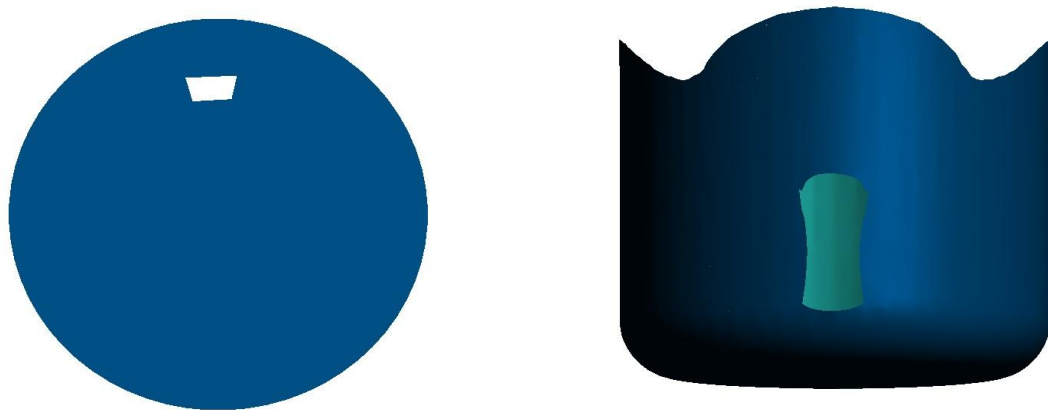
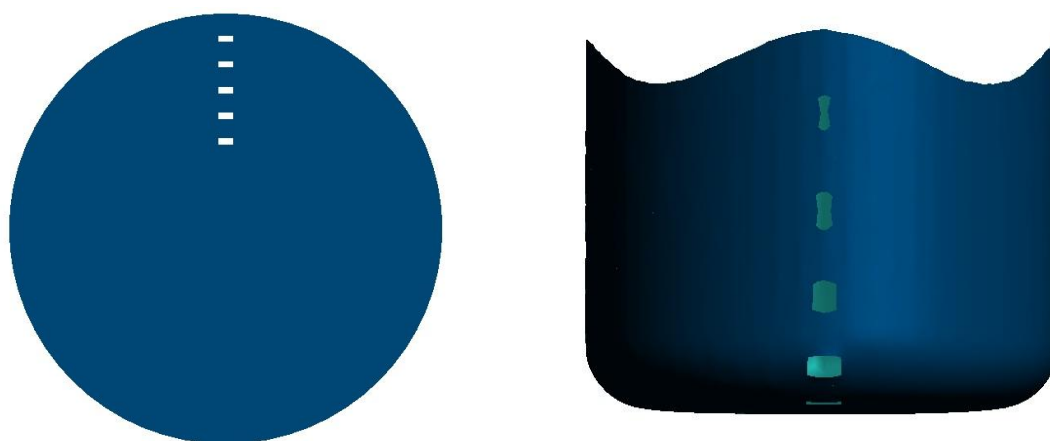


Рис. 14. Вытяжка заготовки с трапецидальным отверстием

В обоих случаях, с учетом того, что в соответствующем физическом эксперименте кромки окон в верхней части детали смыкались, при моделировании размеры окон в заготовке были уменьшены, а сами окна расположены ближе к донной части стакана.

Как видно, моделирование почти точно повторяет форму окна в стакане, полученную экспериментально из заготовки с круглым отверстием. Форма окна, полученного моделированием из заготовки с трапецидальным отверстием в нижней части повторяет результат эксперимента, а в верхней части кромки окна не смыкаются, т.к. верхнее основание трапеции в заготовке было расположено на меньшем радиусе, где тангенциальные деформации меньше. Видно, что прямолинейные боковые стороны трапеции в заготовке переходят в криволинейные по высоте с выпуклостью к центру окна. Это можно объяснить тем, что течение металла к центру окна сдерживается влиянием слоев, расположенных на верхней и нижней границах окна.

Показательным является формоизменение массива прямоугольных отверстий в заготовке, расположенных в радиальном направлении. На рисунке 15 показаны заготовка и соответствующая ей деталь. Видно, что с увеличением радиуса расположения отверстия, соответствующее окно в стенке стакана все больше сужается и вытягивается по высоте, т.к. увеличиваются тангенциальные и радиальные деформации. По той же причине все более искривляются и стенки окон.



а - заготовка

в- деталь

Рис. 15. Вытяжка заготовки с последовательно нанесенными отверстиями

Был рассмотрен вопрос о трансформации узкой щели в заготовке, поскольку можно было предположить, что ее уменьшение в тангенциальном и увеличение в радиальном направлении может дать после вытяжки овал в стенке стакана.

Результат моделирования показан на рисунке 16. Произошел разрыв стенки стакана, очевидно по причине того, что углы узкой щели являются концентраторами местных напряжений, которые суммируются с радиальными напряжениями при вытяжке до величины, превышающей предел текучести материала.

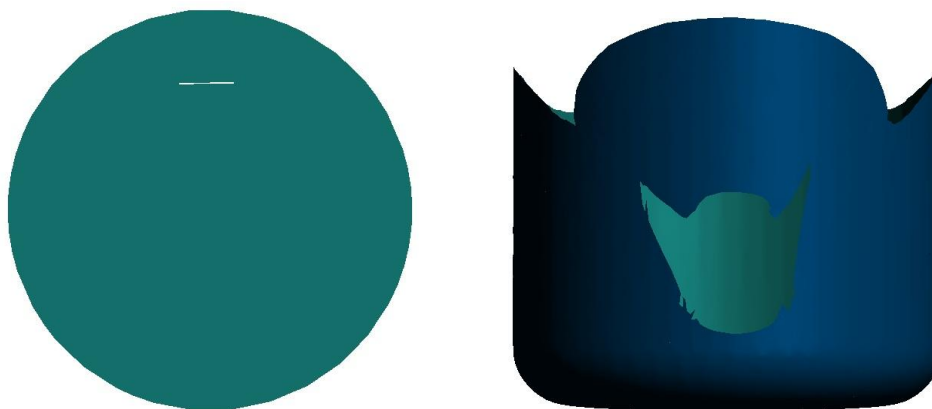


Рис. 16. Вытяжка заготовки с щелью

Опираясь на анализ формоизменения окон в физическом эксперименте и в моделировании, была предпринята попытка определить форму окна для получения круглого отверстия и прямоугольного окна для декоративной чаши.

Далее, используя графики относительных радиальных и тангенциальных деформаций для соответствующих текущих радиусов расположения окна в стенке стакана, определялся по точкам контур окна в заготовке. Отдельные участки окна аппроксимировались с целью упрощения чертежа заготовки и программирования ее изготовления. После аппроксимации форма полученного окна описывается 4 радиусами и показана на рисунке 17, а заготовка - на рисунке 18.

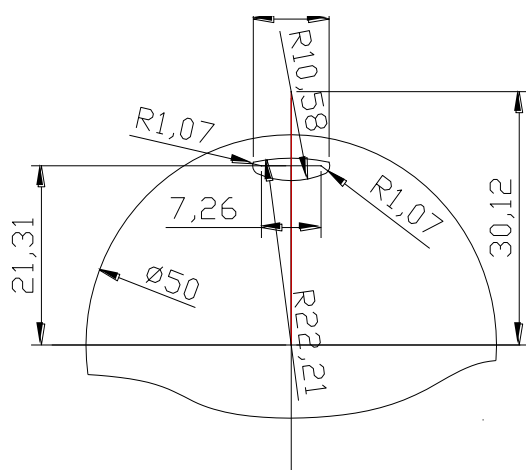


Рис. 17. Чертеж окна для круглого отверстия



Рис. 18 Заготовка для круглого отверстия



Рис. 19. Вытянутая деталь с круглыми окнами

По описанной выше методике определена форма окна в заготовке, показанная на рис. 17.

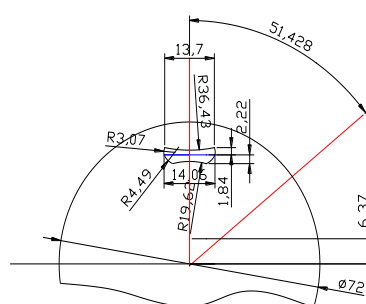


Рис. 20 Заготовка для получения прямоугольного окна



Рис. 21 Вытянутая деталь с прямоугольными окнами

Выполненное экспериментальное исследование является предварительным этапом создания методики расчета заготовки по заданным в стенке стакана форме и размерам окон, которые требуется получить. Задача состоит в том, чтобы координатам любой точки окна в стенке детали найти координаты соответствующей ей точки в заготовке. Очевидно, что если аналитически решить задачу по нахождению формы и размеров окна, получаемого после вытяжки из заданного окна в заготовке, то обратная задача также будет решена.

Поэтому на основе проведенного экспериментального исследования предполагается установить общие закономерности трансформации формы окон, через аналитические зависимости напряжений и деформаций с учетом граничных условий найти конечные перемещения характерных точек окна после деформации и по ним построить форму получаемого окна.

Следующий этап исследования – поиск метода построения контура исходной заготовки для последующего получения криволинейной кромки изделия. На рисунке 22 показана форма кромки готового изделия, которую нам необходимо получить при вытяжке.

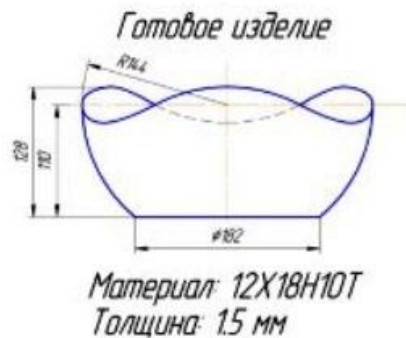
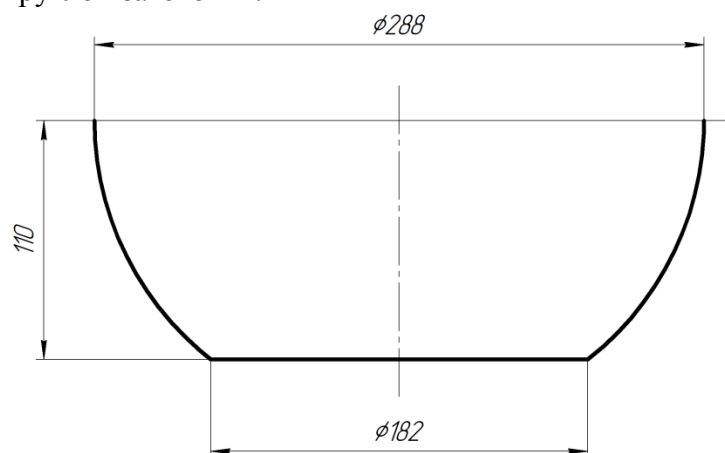


Рис. 22. Готовое изделие

Из равенства площадей суммы площади шарового пояса и дна чаши мы определим расчётный радиус круглой заготовки.



$$F_{\text{пов-ти чаши}} = F_{\text{шарового пояса}} + F_{\text{дна}}$$

$$F_{\text{пов-ти чаши}} = \pi \cdot 288 \cdot 110 + \pi \cdot \left(\frac{182}{2}\right)^2 = 125477.54 \text{ мм}^2$$

Отсюда расчётный радиус заготовки:

$$r_{\text{заг}} = \sqrt{\frac{125477.54}{\pi}} = 199.209 \text{ мм}$$

Примем расчётный радиус $r_{\text{заг}} = 200 \text{ мм}$

Экспериментальным путём была получена зависимость формы и размеров исходной заготовки от радиуса заготовки для получения наиболее качественной криволинейной кромки.

Методика построения:

Строим окружность расчётного радиуса и две вспомогательные радиусами $r_1 = 1.075r_{\text{заг}}$ и $r_2 = 0.95r_{\text{заг}}$ в данном случае это 215 мм и 190 мм соответственно.

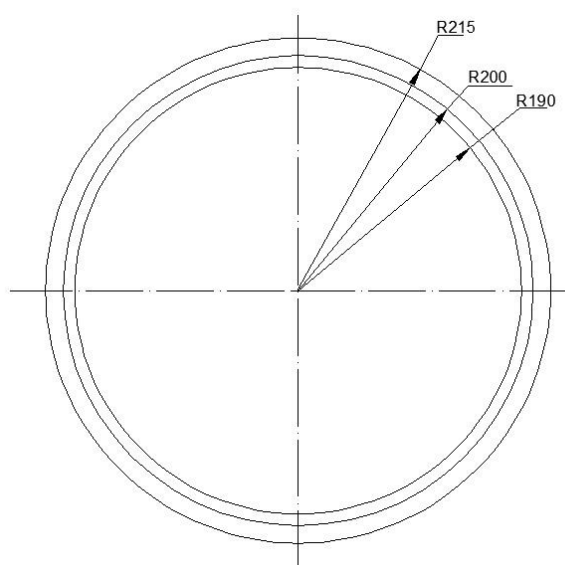


Рис. 23. Первый шаг построения

Делим каждый квадрант на три равных сектора по 30° и отмечаем характерные точки 1-5.

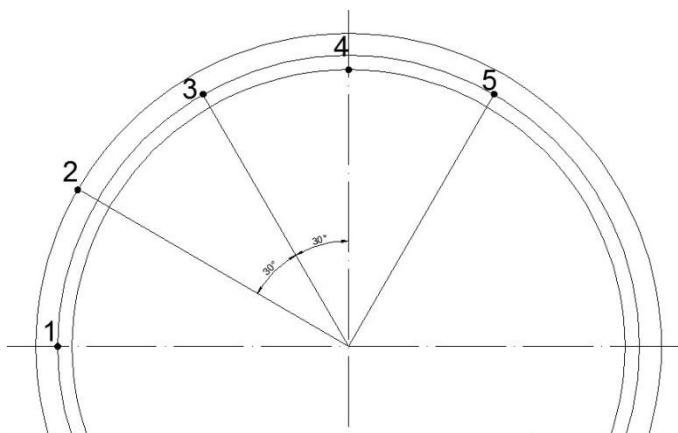


Рис. 24. Второй шаг построения

Проводим окружность через точки 1-2-3 и 3-4-5. Выделим 2 дуги проходящие через эти точки.

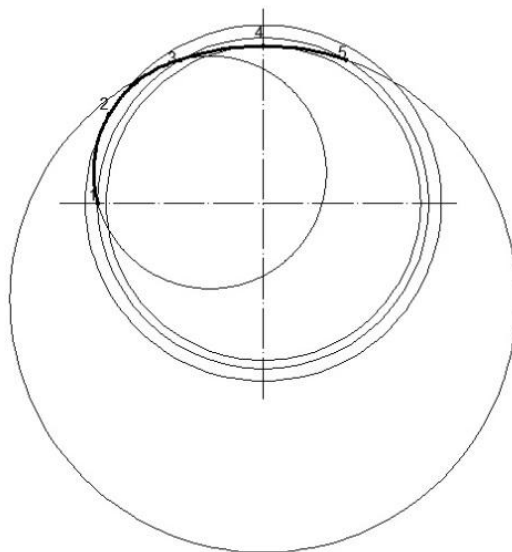


Рис. 25. Третий шаг построения

Отражая участок 1-4 и 3-5 по окружности, получим контур заготовки.

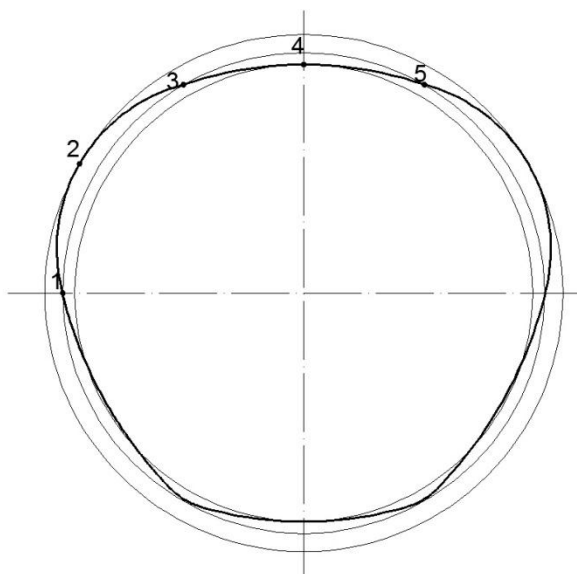


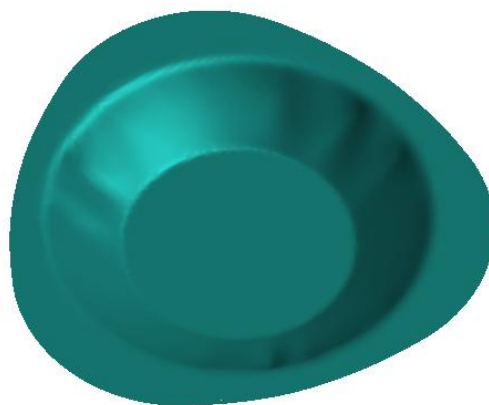
Рис. 26. Четвертый шаг построения

Для наглядности приведу стадии процесса моделирования в программном комплексе AutoForm[®]R2

1



2



3

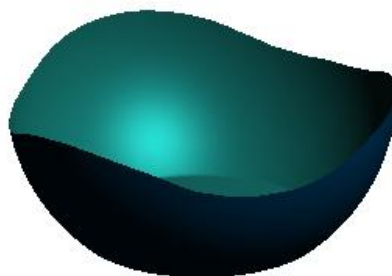


Рис. 27. Этапы вытяжки чаши

С учетом всего опыта и знаний, полученных в процессе исследования, была смоделирована вытяжка декоративной чаши.

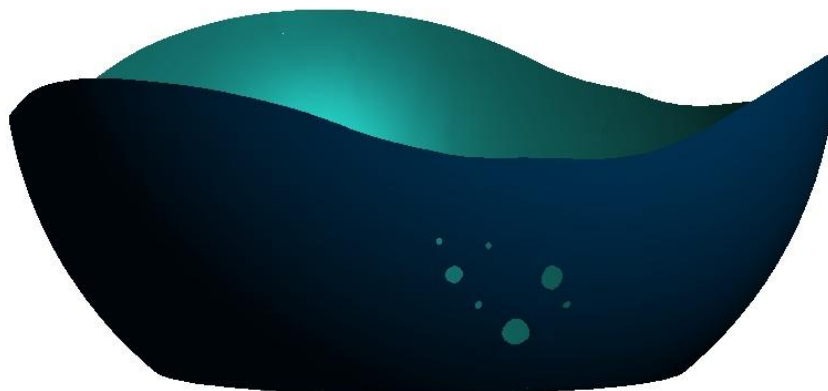


Рис. 28. Моделирование процесса вытяжки искомой детали

Из выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Любая форма отверстия в заготовке трансформируется на стенке вытянутого стакана в окно, размеры которого меньше по ширине и больше по высоте размеров исходного отверстия.
2. Отверстие в заготовке при вытяжке искажается по форме и размерам тем меньше, чем дальше оно расположено от края заготовки.
3. В зависимости от положения исходного отверстия, окно в стенке стакана может быть частично сомкнуто в его верхней части и тем больше, чем ближе исходное отверстие к краю заготовки.
4. Над окном в стенке стакана образуется выпуклость тем большая, чем ближе исходное отверстие к краю заготовки.
5. Боковые кромки окна в стенке заготовки вогнуты внутрь окна и тем больше, чем ближе окно к краю заготовки, а верхние и нижние кромки выгнуты наружу окна.
6. Радиальная и тангенциальная деформации при вытяжке неравномерны и уменьшаются с уменьшением радиуса заготовки.
7. Математическая модель формоизменения адекватно отражает реально протекающий процесс и показывает близкую сходимость конечной формы окна в модели и физическом эксперименте.
8. Необходимая точность формы и размеров окон в детали не достигнута. Отклонение от круглости отверстия под шарик составляет 0,8-1 мм, а размеров прямоугольника 0,3-0,8 мм. Необходимы дополнительные эксперименты, в частности по установлению влияния толщины материала, величины зазора и силы прижима при вытяжке.

Литература

1. *Аверкиев Ю.А.* Технология холодной штамповки / Аверкиев Ю. А., Аверкиев А. Ю. - М.: Машиностроение, 1989.
2. *Ильин Л.Г., Семенов И.Е.* Технология листовой штамповки-М.: Машиностроение, 2009.
3. *Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н.* Технология и автоматизация листовой штамповки-М.: машиностроение,2003