

УДК 621.7.043**Поиск варианта технологического процесса штамповки детали типа "Патрубок"**

Александр Владимирович Лазуткин

Студент 4 курса,

кафедра «Технологии обработки металлов давлением»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Е.Н. Складчиков,

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки металлов давлением»

Деталь типа "Патрубок" имеет признаки конусной и коробчатой детали. В технической литературе приведены рекомендации по штамповке высоких конусных деталей и глубокой вытяжки коробчатых изделий [1],[2]. При этом рекомендации по проектированию технологических процессов штамповки деталей, обладающих признаками обоих типов практически отсутствуют.

При выборе технологического процесса штамповки детали типа "Патрубок" было рассмотрено 6 вариантов техпроцессов. При этом критериями выбора того или иного технологического решения являлись отсутствие разрыва, образования складок, сокращение расхода материала.

В ходе рассмотрения вариантов изготовления детали был проведен ряд исследований, которые проходили в несколько этапов и освещают такие вопросы, как:

- расчет размеров и определение оптимальной геометрической формы заготовки
- возможность штамповки детали за один переход
- влияние коэффициента трения на процесс штамповки
- влияние силы прижима на процесс складкообразования
- рациональность применения вытяжных ребер.

Исследования были проведены в программном комплексе Autoform^{plus} R5.1.

Чертеж и трехмерная модель детали "Патрубок" из стали 08кп представлены на рис.1 и 2 соответственно:

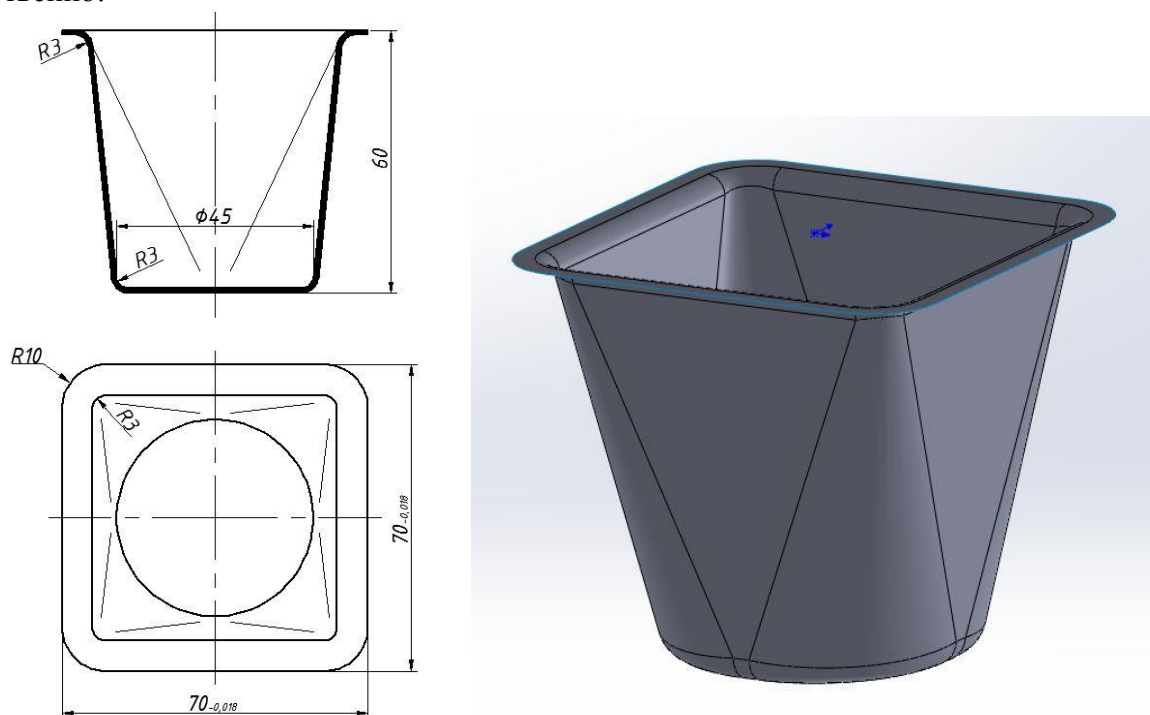


Рис.1, 2 "Патрубок"

После анализа детали на технологичность на основе рекомендаций по штамповке коробчатых изделий [1],[2], было отмечено, что малые радиусы скруглений на рабочих частях матрицы и пуансона и угловых закруглений коробчатой детали могут препятствовать нормальному протеканию процесса штамповки.

Но, так как деталь типа "Патрубок" содержит не только признаки коробчатых деталей, интересно рассмотреть проектирование технологического процесса, обеспечивающего получение оптимальных параметров готовой детали, и применение которого было бы целесообразно.

Первым этапом проектирования технологического процесса является определение размеров исходной плоской заготовки. Расчет производится из условия постоянства площади поверхности детали. Площадь срединной поверхности готовой детали рассчитана с помощью встроенного модуля в программе SolidWorks (рис.3):

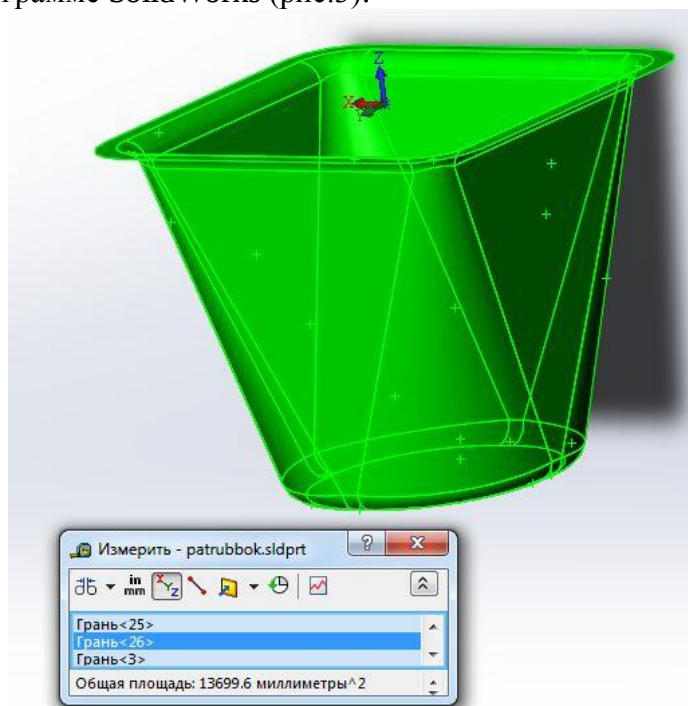


Рис.3. Площадь срединной поверхности

Суммарная площадь срединной поверхности $F_{\text{сум}} = 13700 \text{ мм}^2$.

Для предварительных расчетов были выбраны 4 типа заготовок, контуры которых ограничены простейшими геометрическими фигурами, и которые могли бы быть использованы для штамповки конусной или коробчатой детали. Таковыми являются: круг, квадрат, квадрат со скругленными углами, квадрат с фаской (см. рис. 4):

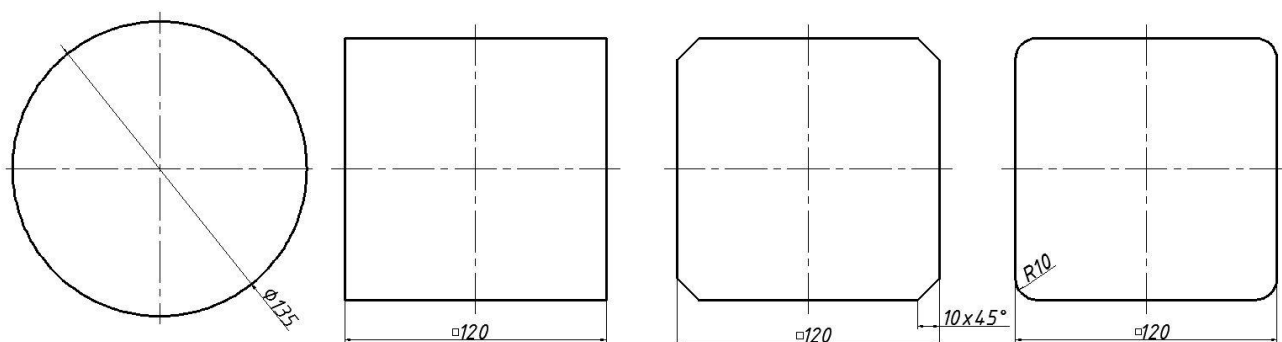


Рис. 4 Эскизы заготовок.

Значение припуска на обрезку фланца принимаем из условия $k \geq (1,5 - 2)S$ для обеспечения гарантированного отделения отхода от готовой детали.

С учетом припуска на обрезку фланца, размер квадратной заготовки: $a=120$ мм.

Диаметр круглой заготовки вычисляем по формуле [1]:

$$D_3 = 1,13 \cdot \sqrt{F_{\text{сум}}} = 133 \text{ мм},$$

с учетом припуска на обрезку: $D_3=135$ мм.

Основой заготовок квадрат со скругленными углами и квадрат с фаской служит квадрат со стороной $a=120$ мм, размер фаски - $10 \times 45^\circ$, радиус скругления - $r = 10$ мм (см. рис. 4).

Предварительные исследования позволили оценить характер течения металла в процессе штамповки и сделать ряд выводов относительно выбора геометрической формы и размеров исходной заготовки. Результаты моделирования приведены ниже:

1) Круглая заготовка

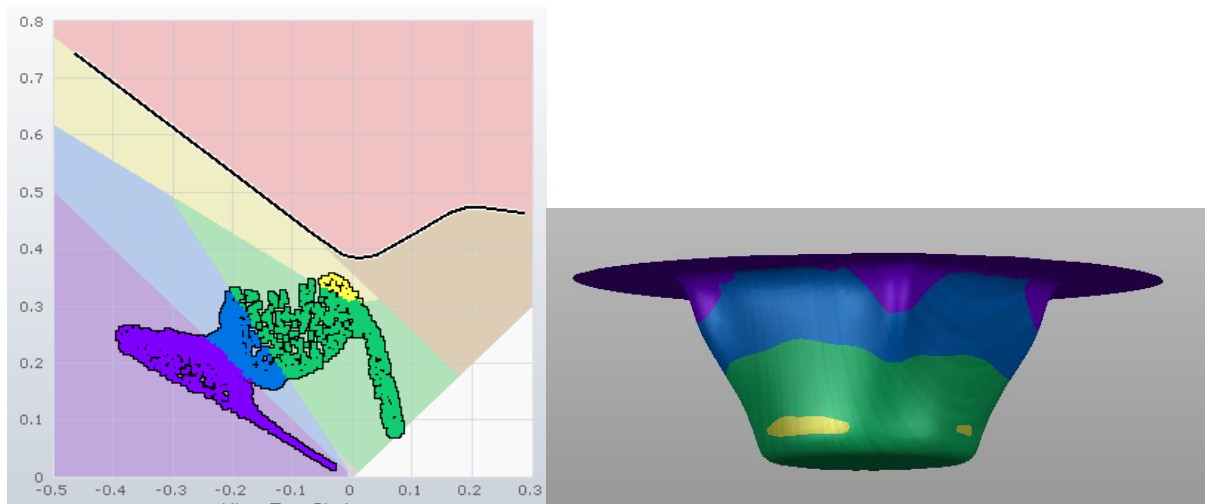


Рис. 5. Момент превышения предельных напряжений

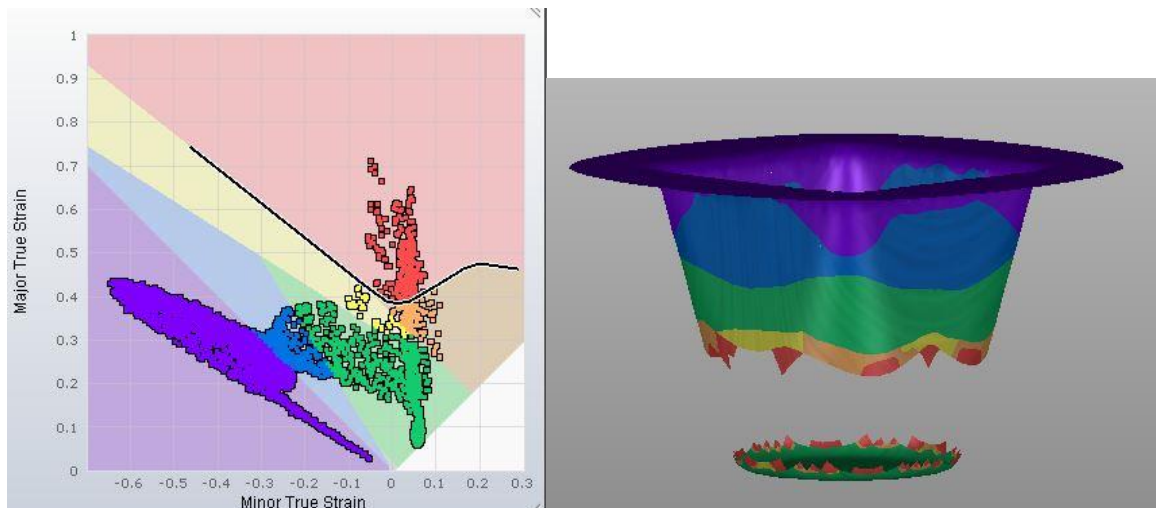


Рис.6. Конечный момент деформирования

Результат моделирования с использованием круглой заготовки - превышение допустимых напряжений и последующий отрыв доньшка.

2) Квадратная заготовка

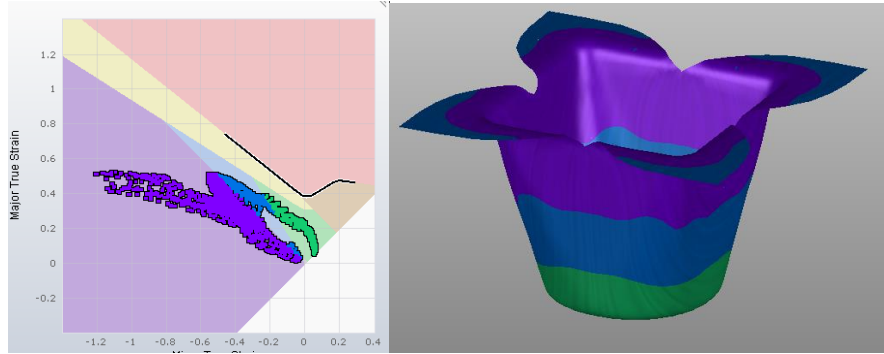


Рис. 7. Диаграмма FLD для квадратной заготовки

Результаты моделирования - избыток металла в угловых зонах и его недостаток в направлениях осей симметрии.

3) Квадрат со скруглениями

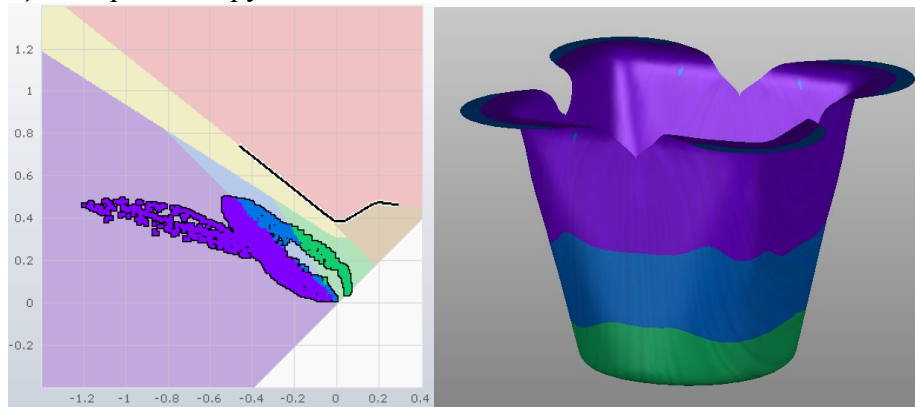


Рис. 8. Диаграмма FLD для заготовки квадрат со скруглениями

4) Квадрат с фаской

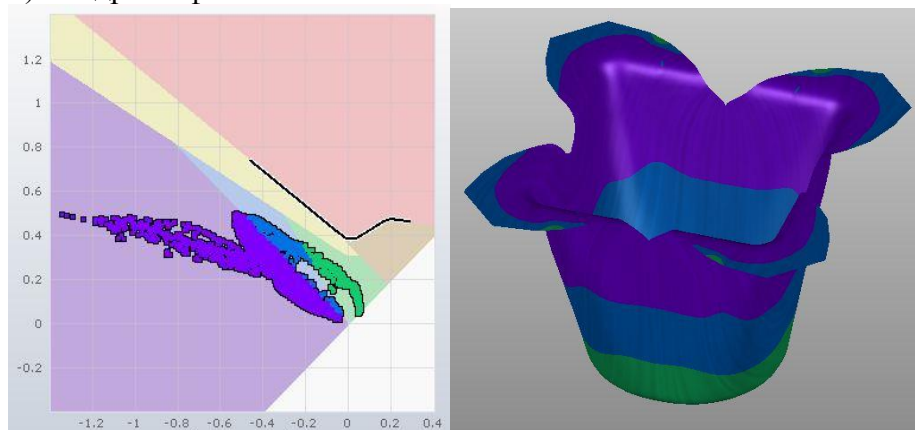


Рис. 9. Диаграмма FLD для заготовки квадрат с фаской

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при использовании круглой заготовки данных размеров процесс штамповки происходит отрыв доньшка, что не происходит при деформировании заготовок других типов на основе квадрата.

Также стоит отметить, что превышение допустимых напряжений происходит не на начальном этапе деформирования, как при операции вытяжки, а, практически на половине хода пуансона, при этом опасные зоны появляются на прямолинейных участках деформируемой заготовки. Причиной отрыва доньшка при использовании круглой заготовки является характер

течения металла в процессе деформирования. На рис. 10 и рис. 11 представлены проекции деталей, полученных в процессе штамповки, на плоскость XOY и соответствующие им заготовки. Данные изображения показывают, что металл наиболее интенсивно затягивается в матрицу в направлениях, соответствующих осям симметрии, параллельным прямолинейным участкам детали, и, в дальнейшем, перераспределяется и в угловые зоны. Это хорошо заметно при рассмотрении квадратных заготовок. При этом донышко и прилегающая зона практически не деформируется, как при классическом процессе вытяжки. При использовании круглой заготовки течение материала в этих направлениях затруднено в силу особенностей геометрии - металл во фланце во всех направлениях распределен равномерно.

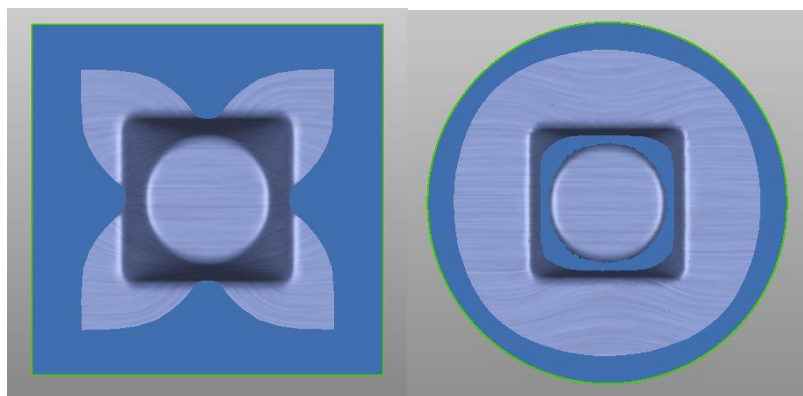


Рис. 10. Квадратная и круглая заготовки

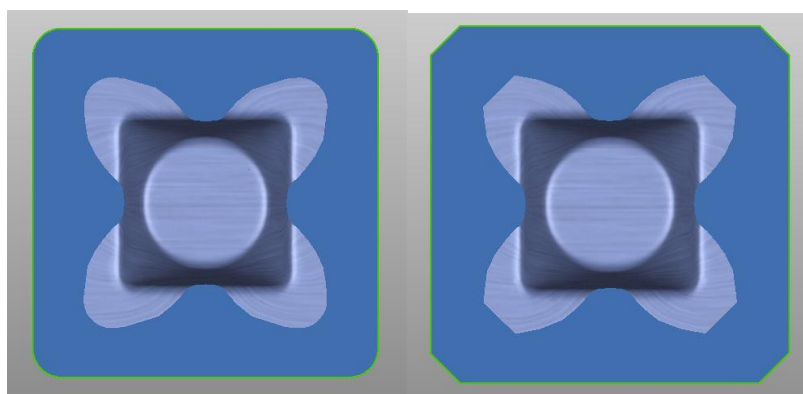


Рис. 11. Квадрат со скруглением и с фаской

С другой стороны, при использовании квадратных заготовок одновременно с лучшими условиями деформирования присутствуют значительный избыток металла в угловых зонах и его недостаток в направлениях осей симметрии, параллельных прямолинейным участкам заготовки. Поворот квадратной заготовки на 45° также не привело к формированию фланца достаточных размеров:

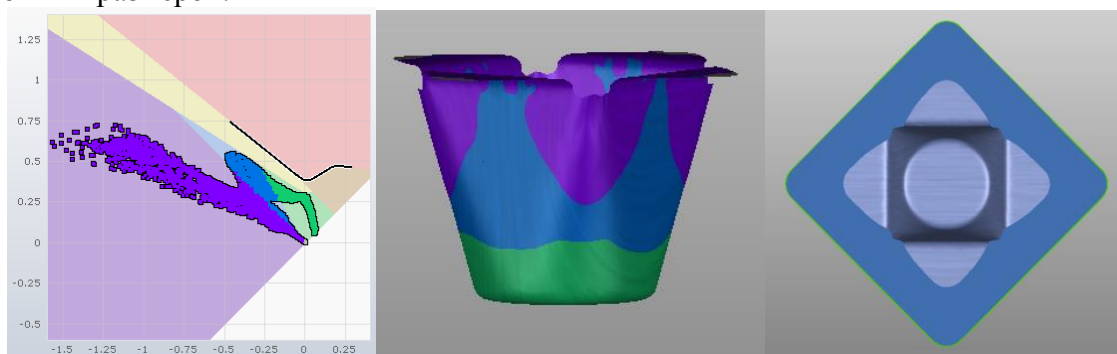


Рис. 12. Квадратная заготовка с поворотом на 45°

Исходя из анализа результатов предыдущих исследований, было принято решение о продолжении поиска оптимальной формы заготовки на основе квадрата со стороной $a=120$ мм, путем исключения избытка металла в угловых зонах и его добавления в зоны с недостатком материала во фланце.

Первым шагом являлась минимизация избытка металла в угловых зонах. С этой целью изменялся размер фаски на исходной заготовке, в качестве выходного параметра фиксировался диагональный размер фланца с учетом припуска на обрезку. Ниже представлены таблица результатов исследования, эскиз эталона фланца и изображение полученной детали:

Табл. 1. Таблица результатов

№ Эксперимента	Размер фаски, мм	Диагональный размер фланца, мм
1	20	95
2	25	89,4
3	22	93

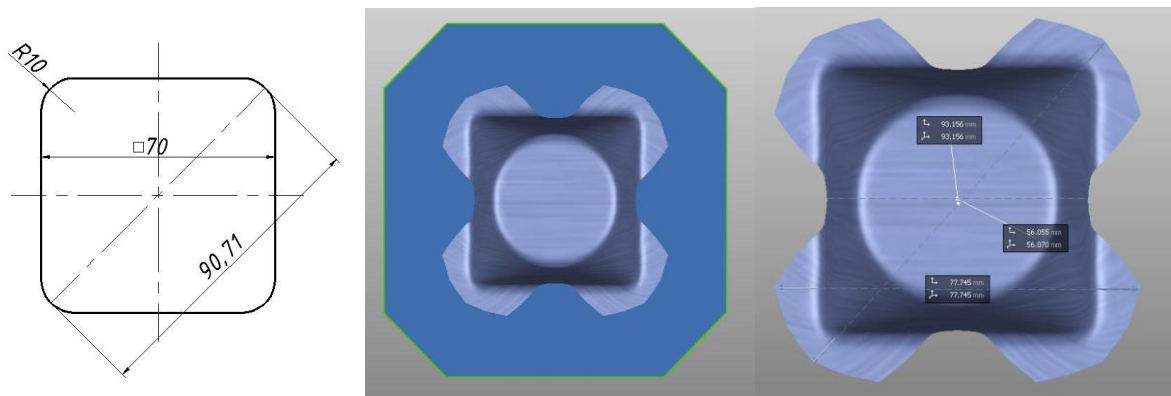


Рис. 13. Эталон фланца, выбранный вариант

Вторым шагом подбора заготовки являлся непосредственно выбор геометрической формы. Геометрию заготовок, используемых при моделировании, условно можно разделить на две группы: основой которых является квадрат с фаской и квадрат со скруглением, которое строится с помощью окружности, касательной к фаске исходной заготовки:

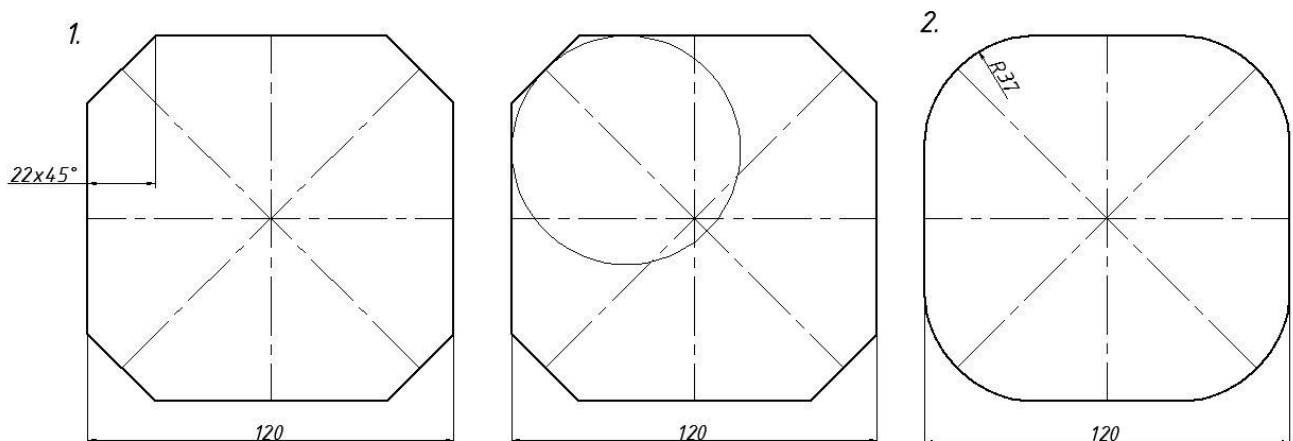


Рис. 14. Группы рассматриваемых заготовок

Добавление металла в направлениях максимальной интенсивности течения в форме дуг со скруглениями с целью обеспечения необходимых размеров фланца готовой детали привело к недостатку материала во фланце заготовки в зонах сопряжения основной и добавленных площадей.

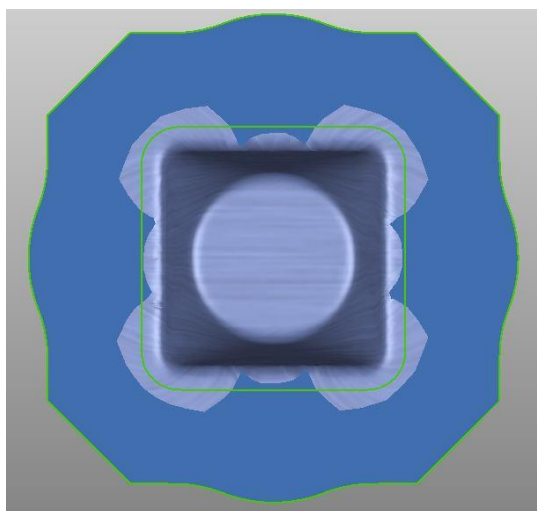


Рис. 15. Результат добавления металла

Также остался излишек металла в угловой зоне, поэтому было принято решение об изменении формы заготовки. Были рассмотрены следующие варианты: добавление участков, образованных прямыми и участки, образованные дугами, которые, вместе с тем, уменьшали площадь исходной заготовки в области фаски:

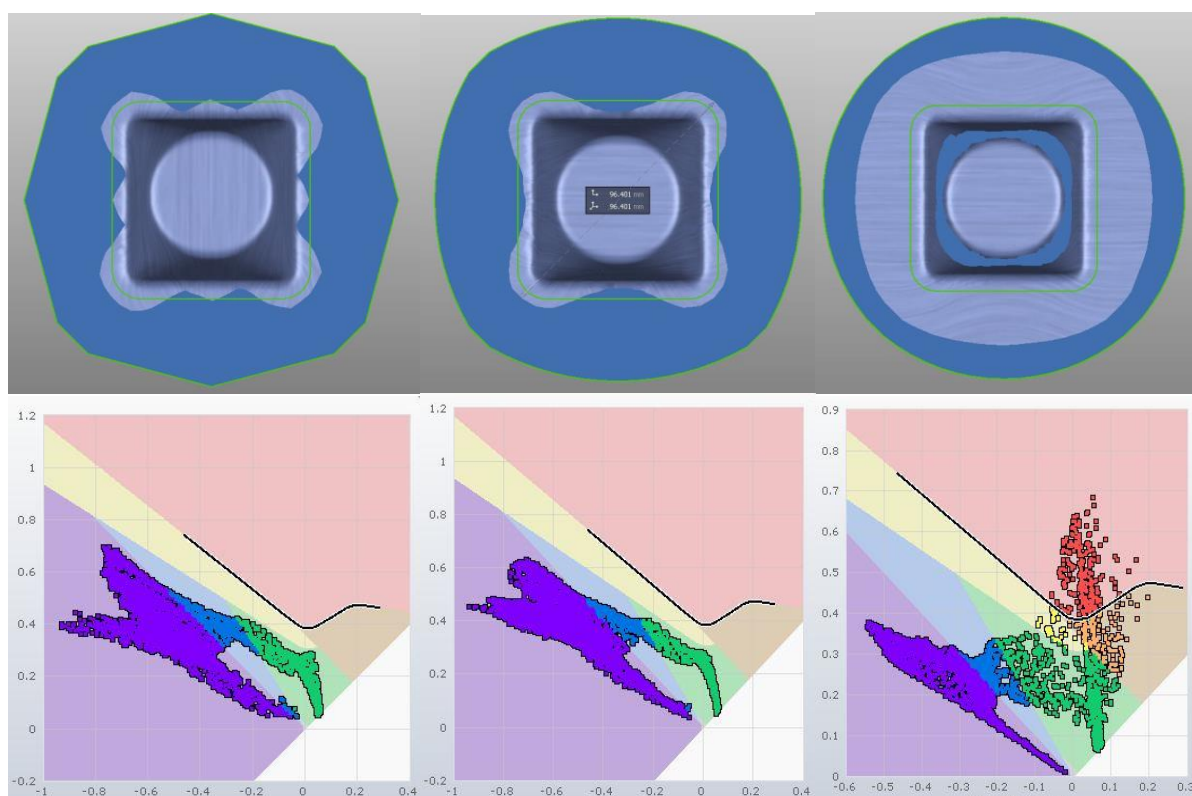


Рис. 16. Заготовки первой группы

В случае заготовок с прямолинейными участками можно отметить присутствие тех же проблем, что и в предыдущей - недостаток материала во фланце в зонах сопряжения и избыток металла в угловой зоне, а при увеличении добавляемой площади деталь претерпевает разрыв (это хорошо видно при рассмотрении заготовок второй группы).

При рассмотрении заготовок с добавляемой площадью, образованной дугами окружностей, наблюдается нехватка металла во фланце, а диапазон изменения размеров довольно мал, и небольшое увеличение заготовки приводит к разрыву (см. Рис. 16).

Замена фаски на скругление соответствующего радиуса для заготовок второй группы была применена для уменьшения избытка металла в угловой зоне. Для заготовок этой группы также была рассмотрена возможность добавления площади прямолинейными участками:

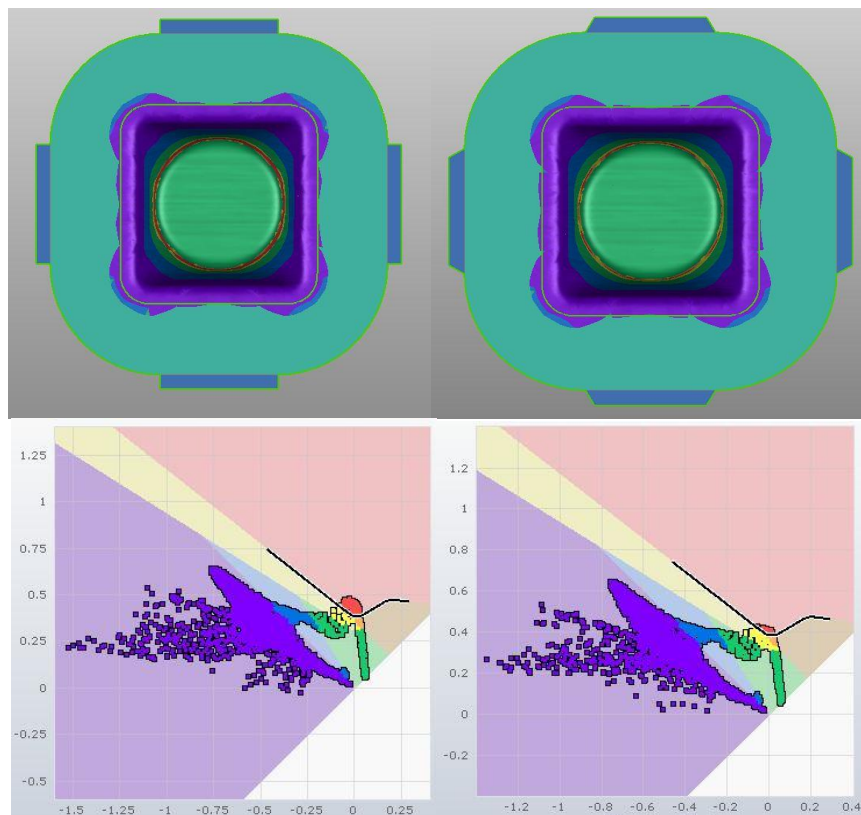


Рис. 17 Заготовки второй группы

Как видно из результатов моделирования, заготовки второй группы имеют два отрицательных момента: нехватка материала во фланце заготовки в зонах сопряжения основной и добавленных площадей, и отрыв доньшка или превышение допустимых напряжений в опасном сечении даже при небольшом размере добавки.

Следующим шагом поиска оптимальной геометрической формы исходной заготовки являлась попытка совмещения штампуемости заготовок первой группы и увеличения ее площади таким образом, чтобы обеспечить достаточное количества металла во фланце, исключить излишки в угловых зонах. Эскиз заготовки и результаты исследований представлены ниже:

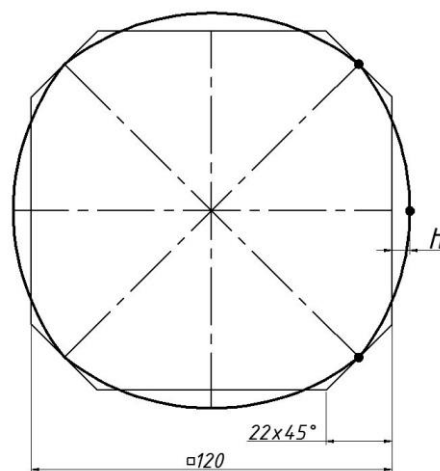
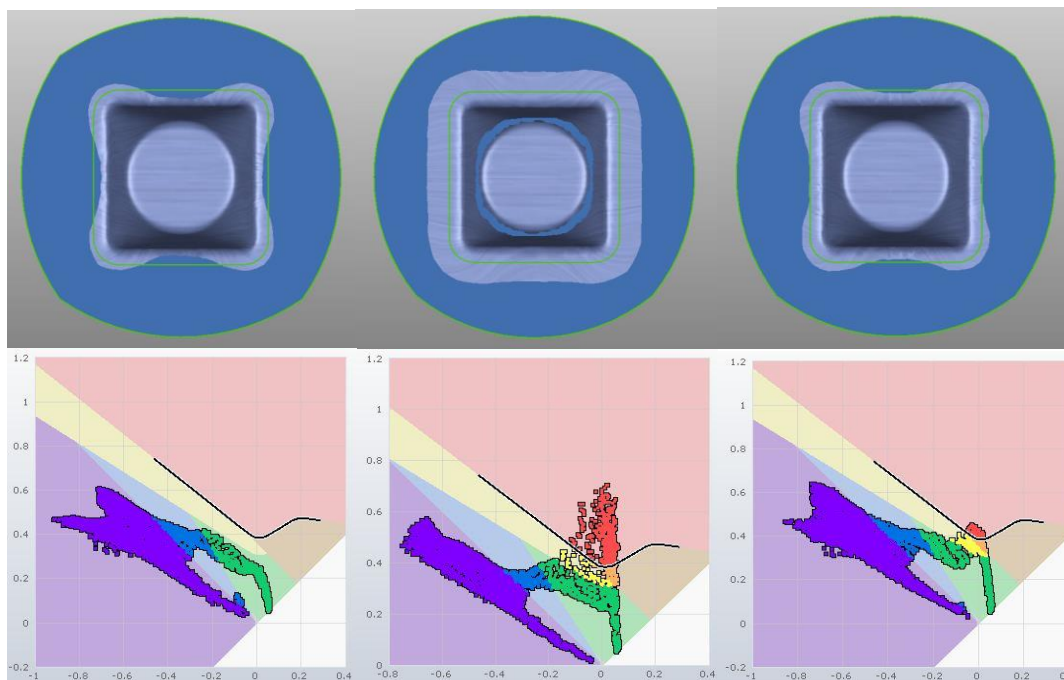


Рис. 18. Эскиз заготовки

Данная заготовка построена на основе квадратной с фаской $22 \times 45^\circ$ и состоит из четырех дуг окружностей, проходящих через три фиксированные точки. Основным параметром, с помощью которого можно изменять размеры исходной заготовки, выбрана высота h . Отметив, что новая заготовка приняла форму, близкую к окружности и, учитывая малый диапазон изменения ее размеров до появления разрыва при штамповке, были выбраны следующие варианты:

Табл. 2. Таблица результатов исследований

№ Эксперимента	Размер h , мм	Характер формообразования	Глубина вытяжки без разрыва, мм
1	3	Недостаточное количество металла во фланце готовой детали	Полная вытяжка
2	4	----	Полная вытяжка
3	6	Отрыв доньшка	40
4	5	Превышение предельных напряжений	47

Рис. 19. Заготовки с различными значениями h

Проанализировав данные, полученные в ходе исследований, посвященных поиску оптимальной геометрической формы, можно сделать вывод, что наиболее подходящими являются фигурная (состоящая из дуг окружностей) и, близкая к ней по форме, круглая. Данный выбор основан на удовлетворении основных критериев: наиболее рациональное использование площади заготовки (т.е. баланс между минимизацией избытков в угловых зонах и полнотой формирования фланца), отсутствие неисправимых браков, присутствующих в остальных фигурных заготовках (например, недостаток материала в зонах сопряжения).

Также можно сделать вывод о том, что при данных условиях протекания процесса штамповки практически невозможно добиться желаемых параметров готовой детали - происходит разрыв или превышение допустимых напряжений в опасном сечении при увеличении заготовки с целью обеспечения оптимальных размеров фланца с учетом припуска на обрезку.

В связи с этим, было принято решение о уменьшении коэффициента трения на рабочих поверхностях инструмента, то есть применить смазку более высокого качества.

Для круглых заготовок диаметром $d=135$ мм и $d=134$ мм результаты исследований в условиях уменьшенного коэффициента трения представлены в сводной таблице:

Табл. 3. Результаты моделирования с круглыми заготовками

$d=135$ мм			$d=134$ мм		
к-т трения	Результат	Глубина вытяжки без разрыва, мм	к-т трения	Результат	Глубина вытяжки без разрыва, мм
0,13	отрыв донышка	39	0,13	отрыв донышка	41
0,11	отрыв донышка	41	0,11	Превышение допустимых напряжений	51
0,1	отрыв донышка	44	0,1		58

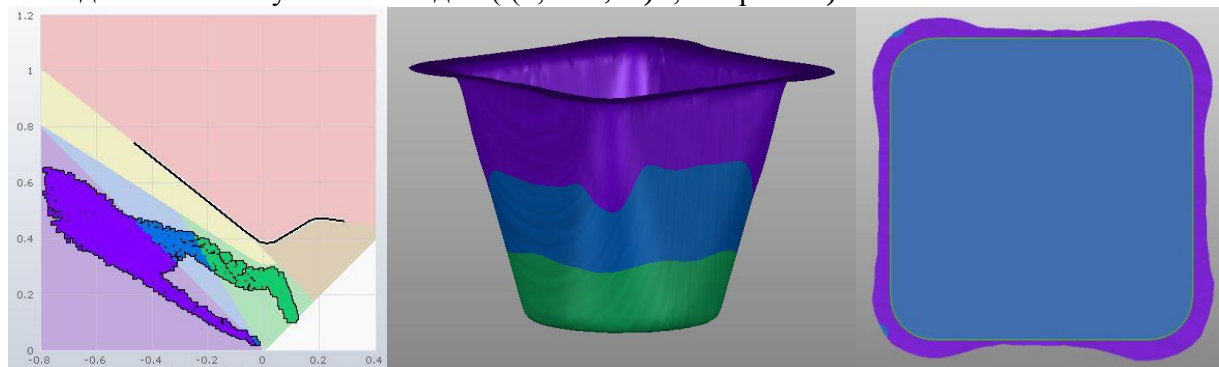
Анализируя данные представленные в таблице, можно сказать, что даже при уменьшении припуска на обрезку и коэффициента трения происходит превышение предельных напряжений.

Результат использования уменьшенного коэффициента трения в процессе штамповки детали из фигурной заготовки с размером $h=6,5$ мм также можно представить в виде таблицы:

Табл. 4. Результаты моделирования с фигурной заготовкой

$h=6$ мм			$h=6,5$ мм		
к-т трения	Результат	Глубина вытяжки без разрыва, мм	к-т трения	Результат	Глубина вытяжки без разрыва, мм
0,13	Превышение допустимых напряжений	46	0,13	Отрыв донышка	41
0,11	Недостаток металла во фланце	60	0,11	Превышение допустимых напряжений	54
0,1	-	-	0,1	Полная вытяжка	60

По итогам исследований можно сказать, что при уменьшении коэффициента трения на рабочих поверхностях матрицы и пуансона удалось получить деталь с оптимальными геометрическими параметрами из фигурной заготовки. Но при этом стоит отметить, что в процессе штамповки также происходит появление значительных областей, в которых образуются достаточно глубокие складки ($(0,1 - 0,22)S$, см. рис. 9).

Рис. 20. Результат вытяжки из фигурной заготовки ($h=6,5$ мм)

Расположение зон образования складок и значения их высоты хорошо видно на рис. 21:

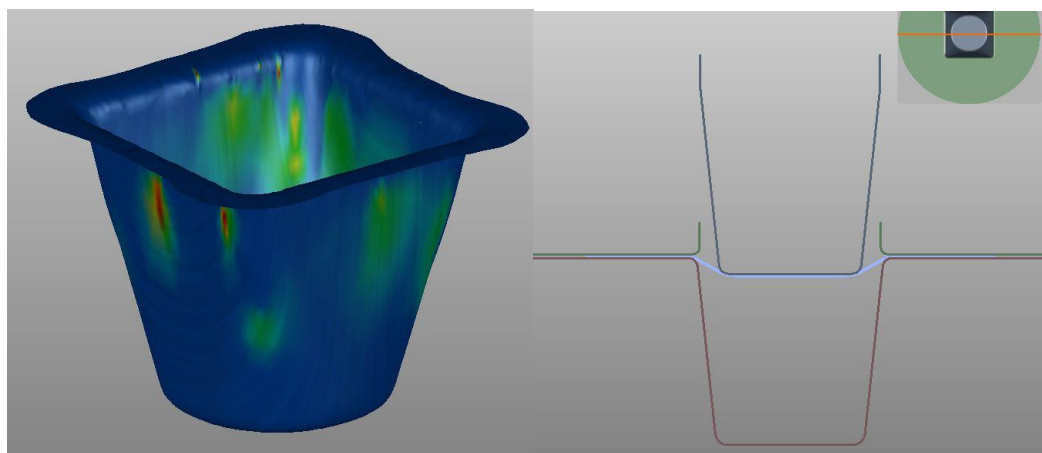


Рис. 21. Складкообразование

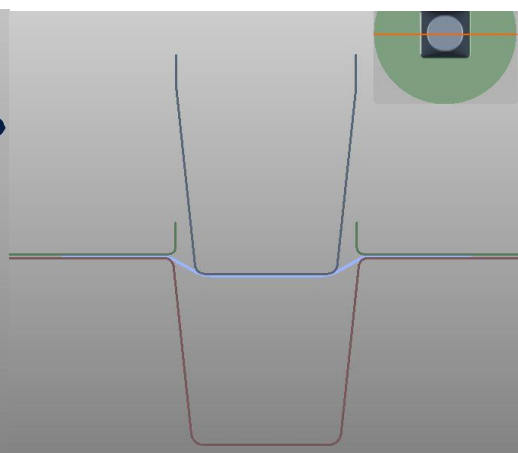


Рис. 22. Конструкция оснастки (сечение)

Появление складок во время штамповки крайне нежелательно, так как этот дефект является практически неисправимым браком. Причинами складкообразования являются особенности течения металла и напряженно-деформированное состояние.

В рассматриваемом техпроцессе для препятствия образования гофр на фланце под действием сжимающих тангенциальных напряжений применяется прижим. Из-за конструкции используемой оснастки в начальный момент деформирования значительная часть заготовки находится вне зоны действия прижима (Рис.22), и существует повышенная опасность появления складок и гофр. Для снижения вероятности их появления во фланце и на стенках готовой детали, было принято решение о использовании большего значения силы прижима для увеличения растягивающих радиальных напряжений, которые повысят устойчивость протекания процесса штамповки [1].

Результаты изменения силы прижима отслеживались по четырем контрольным точкам и представлены в табл. 5:

Табл. 5. Влияние силы прижима

№ Эксперимента	Сила прижима, кН	Высота складок в контрольных точках, мм			
		1	2	3	4
1	56,6	0,188	0,242	0,170	0,188
2	113,2	0,188	0,247	0,164	0,188
3	169,8	0,188	0,247	0,170	0,186

Расположение контрольных точек показаны на рис. 23:

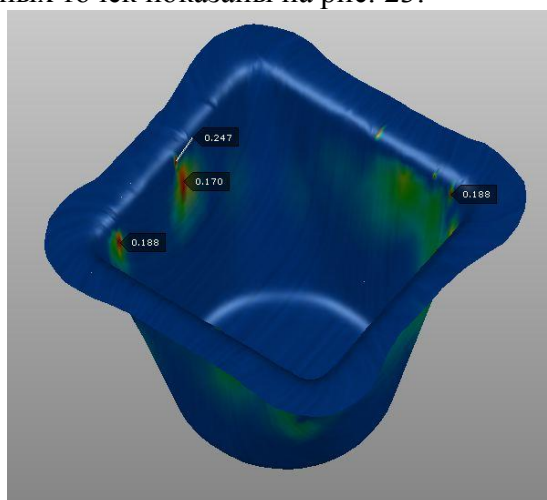


Рис. 23. Контрольные точки

Анализируя данные, представленные в табл. 5, можно сделать вывод, что высота складок и расположение зон их появления не зависит от силы прижима, но его отсутствие приводит к

интенсивному образованию гофр в начальный момент штамповки. Складки во фланце, за исключением небольших включений в области сопряжения с наклонными стенками, отсутствуют. Следовательно, можно предположить, что складки образуются в зонах, которые лежат вне прижима в начальный момент деформирования.

Другим способом борьбы со складкообразованием с помощью создания растягивающих напряжений является применение вытяжных ребер, располагающихся напротив прямолинейных участков детали [1]. Основными параметрами их геометрии являются высота ребра h , расстояние между ребрами A , радиус ребра R , радиус скругления на ответной части r :

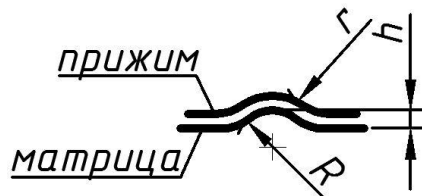
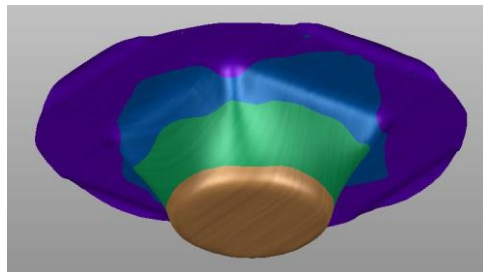
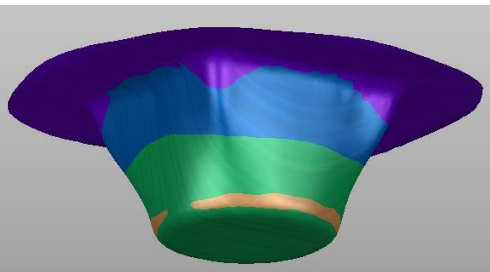


Рис. 24. Эскиз ребра

Исходные значения основных параметров: $h=1,5$ мм, $A=115$ мм, $R=3$ мм, $r=2$ мм.

Предполагалось, что использование вытяжных ребер позволит стабилизировать процесс деформирования металла, но при их применении наблюдалось чрезмерное препятствование течению металла в процессе штамповки. Это привело к изменению характера деформирования в донной зоне детали: вытяжка фактически перешла в процесс формовки, о чем свидетельствуют интенсивная деформация и значительное утонение доньшка и стенки (см. рис.25). Но при увеличении радиуса скругления r течение металла происходит в более благоприятных условиях, и процесс деформирования возвращается к вытяжке с зонами интенсивного утонения стенки у дна, само дно не деформируется (см. рис. 26):

Рис. 25. При $r=2$ ммРис. 26. При $r=4$ мм

При этом, при продолжении процесса штамповки и в том, и в другом случае происходит отрыв доньшка. Для того, чтобы исключить превышение предельных напряжений в опасном сечении, было принято решение о уменьшении высоты вытяжных ребер. Результаты приведены в табл. 6:

Табл. 6. Уменьшение высоты ребра

Высота ребра, мм	A=115 мм	
	Результат	Глубина вытяжки без разрыва, мм
1,5	отрыв дна	34
1,0	отрыв дна	42
0,5	Превышение предельных напряжений	50
0,3	Полная вытяжка	60

Из результатов, представленных в табл. 6 видно, что удалось получить деталь с приемлемыми геометрическими параметрами и исключить разрыв, о чем говорит диаграмма

пределных напряжений (см. рис. 27). Негативным результатом применения ребер меньшей высоты можно считать образование значительных областей появления складок (см. рис. 28):

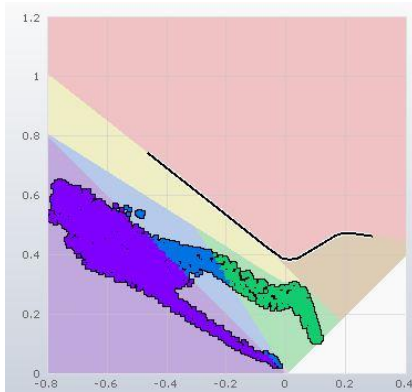


Рис. 27. Диаграмма предельных напряжений

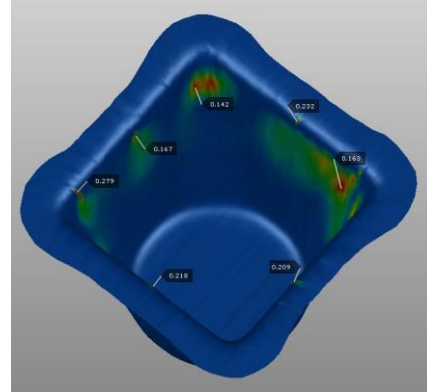


Рис. 28. Складкообразование

Можно предположить, что образование складок происходит из-за малого отрезка времени действия вытяжных ребер. С целью его увеличения на начальном этапе деформирования, было принято решение уменьшить расстояние между ребрами А до 110 мм, затем до 85 мм. При данных геометрических параметрах полной вытяжки удалось добиться лишь при высоте ребер $h=0,3\text{ мм}$ (в обоих случаях). Распределение областей складкообразования и значений высоты складок представлены на рис. 29 и рис. 30:

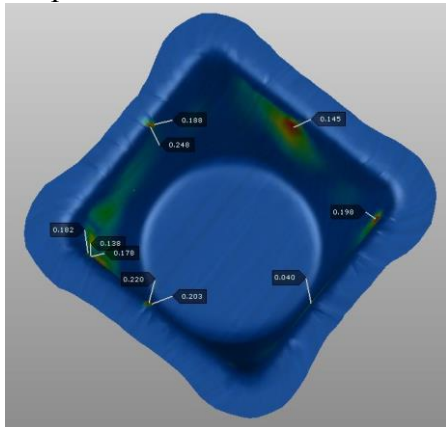


Рис. 29. При A=110мм

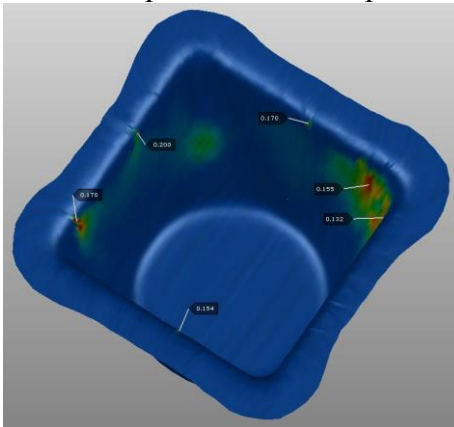


Рис. 30. При A=85мм.

Результаты необходимо сравнить с деталью, полученной без применения ребер:

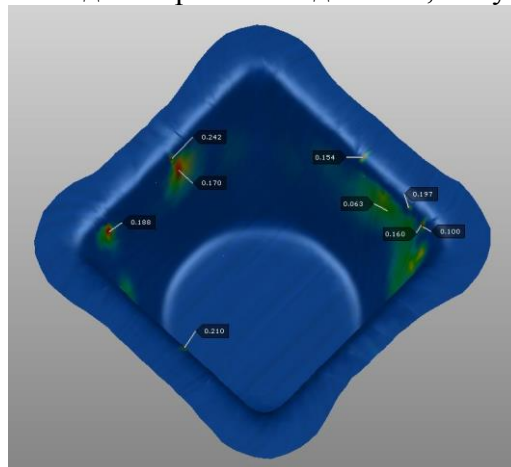


Рис. 31. Без вытяжных ребер

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что наилучший результат был достигнут при расстоянии между ребрами $A=85$ мм, при этом исключить образование складок не удалось, а уменьшение их высоты незначительно.

Выводы

В данной работе были рассмотрены различные технологические процессы штамповки детали типа "Патрубок".

Особое внимание уделялось таким вопросам, как характер течения металла в процессе деформирования, определение оптимальной геометрической формы заготовок для штамповки деталей такого типа, исследование влияния коэффициента трения на процесс вытяжки. Также были рассмотрены способы борьбы со складкообразованием: увеличение силы прижима и использование вытяжных ребер.

Анализируя полученные данные, стоит отметить, что при использовании оптимальной геометрической формы заготовки и уменьшенного коэффициента трения удалось получить деталь, близкую к необходимой: были обеспечены отсутствие разрыва, необходимые геометрические параметры (толщина стенки, глубина вытяжки, полнота формирования фланца с учетом припуска на обрезку). Но также можно сделать вывод о том, что диапазон изменения параметров, влияющих на возможность гарантированного исполнения технологического процесса очень узок, и даже малое изменение одного из них приводит к возникновению разрывов. Более того, даже при обеспечении необходимых геометрических параметров на данный момент не удалось исключить образование складок.

Учитывая проведенные исследования и сделанные выводы, более перспективным направлением является вытяжка за два перехода.

Литература

1. *Романовский, В.П.* Справочник по холодной штамповке /В.П. Романовский – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
2. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общей редакцией Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.