

УДК 621.9-18

ПОВЫШЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАСЧЕТ СОВМЕЩЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ОБЖИМА, РАЗДАЧИ И ВЫТЯЖКИ

Евгения Олеговна Яковлева

Студентка 5 курса,
кафедра «Технологии обработки давлением»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: И.Н.Шубин,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Прогресс в машиностроении зависит от совершенствования технологии изготовления машиностроительных деталей, разработки новых способов обработки давлением, повышения их интенсивности и надежности. Одним из эффективных способов изготовления деталей является листовая штамповка, широко применяемая в автомобилестроении и в других отраслях промышленности.

Так как дефекты, возникающие в процессе формоизменения, определяются механической схемой деформаций, то естественный способ их устранения - изменение этой схемы, что возможно при нагружении очага деформации некоторыми дополнительными видами внешних нагрузок, наличие которых не является обязательным для осуществления заданного формоизменения, т.е. использование совмещенных процессов обработки давлением.

Цель работы – получение детали (рис. 1) с принятыми размерами без дефектов путем совмещения операций вытяжки, обжима и раздачи.

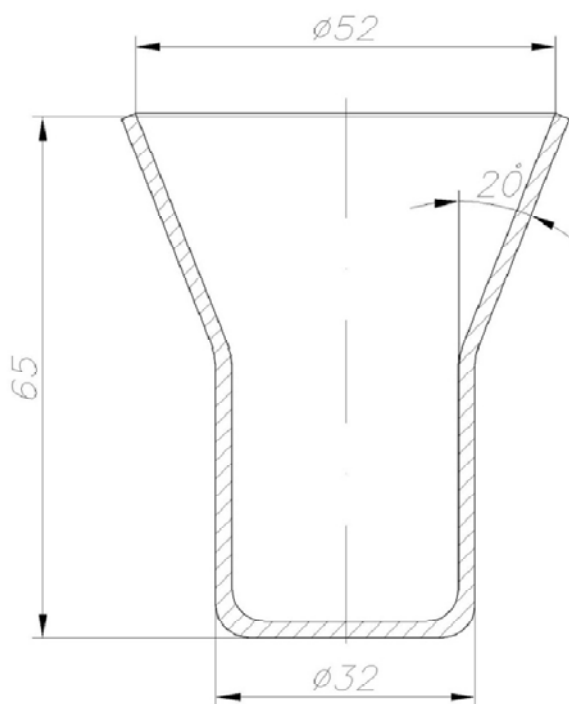


Рис. 1. Деталь

В работе проведены расчет и моделирование процесса изготовления детали путем совмещения операций вытяжки, обжима и раздачи, разработана штамповая оснастка для осуществления данного технологического процесса.

Данная деталь изготавливается из стали 08 кп за два перехода вытяжки и процесса совмещения операций вытяжки, раздачи и обжима.

При осуществлении операции раздачи предельный коэффициент формоизменения – 1,2, обжима – 1,4, вытяжки – 2, при совмещении этих операций – 3,5.

Расчет необходимого числа переходов вытяжки.

Общий коэффициент вытяжки:

$$m = \frac{d_{cp}}{D} = \frac{45}{106,5} = 0,42$$

Из таблицы [1]:

$$\frac{S}{D} \cdot 100 = \frac{2}{106,5} \cdot 100 = 1,88$$

$m_1 = 0,55 > m$, следовательно производим вытяжку за несколько переходов.

$$m = m_1 \cdot m_2 \cdot m_n$$

$m_2 = m/m_1 = 0,42/0,55 = 0,76$, что соответствует табличному, тогда

$$m_1 = 0,55$$

$$m_2 = 0,76$$

$$m_1 \cdot m_2 = 0,55 \cdot 0,76 = 0,418$$

Найдем диаметры после каждой вытяжки:

$$d_1 = m_1 D = 0,55 \cdot 106,5 = 58,6 \text{ мм}$$

$$d_2 = m_2 d_1 = 0,76 \cdot 58,6 = 45 \text{ мм}$$

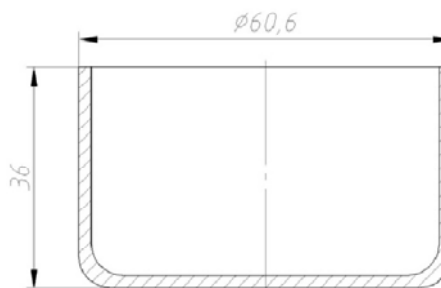
Высота детали после каждого перехода:

$$h_1 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) + 0,43 \frac{r_{d1}}{d_1} (d_1 + 0,32 r_{d1})$$

$$r_{d1} = r_n + 0,5 \cdot S = 4 + 0,5 \cdot 2 = 5 \text{ мм} - \text{радиус донной части}$$

$$h_1 = 0,25 \left(\frac{106,5}{0,55} - 58,6 \right) + 0,43 \frac{5}{58,6} (58,6 + 0,32 \cdot 5) = 36,0 \text{ мм}$$

Рис. 2. 1-ый переход вытяжки



$$h_2 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 \cdot m_2} - d_2 \right) + 0,43 \frac{r_{d2}}{d_2} (d_2 + 0,32 r_{d1})$$

$$h_2 = 0,25 \left(\frac{106,5}{0,55 \cdot 0,76} - 45 \right) + 0,43 \frac{5}{45} (45 + 0,32 \cdot 5) = 54,7 \text{ мм}$$

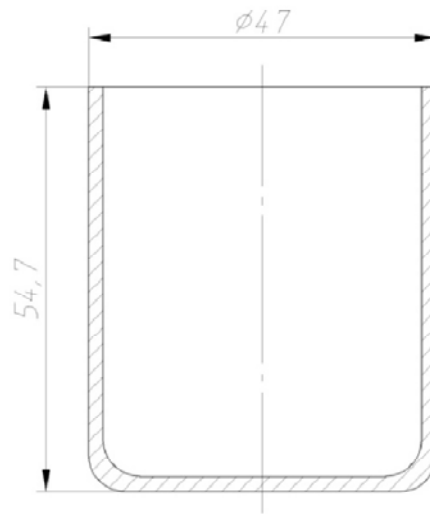


Рис. 3. 2-ой переход вытяжки

Определение напряжений в опасном сечении для 1-го и 2-го переходов вытяжки.

$$\sigma_{p\max} = \sigma_s \left(\ln \frac{R}{r} + \frac{\mu Q}{\pi R S \sigma_s} + \frac{S}{2r_m + S} \right) (1 + 1,6\mu)$$

$$\sigma_{s\text{cp}1} = \sigma_m \left(1 + 0,5 \ln \frac{1}{m_1} \right)$$

$$\sigma_{s\text{cp}1} = 220 \left(1 + 0,5 \ln \frac{1}{0,55} \right) = 285,8 \text{ МПа}$$

Q-сила прижима требуется, т.к. выполняется условие:

$$\frac{S}{D} 100 \leq 4,5(1 - m_1)$$

$$1,88 \leq 2,03$$

Сила прижима будет равна:

$$Q = \frac{\pi}{4} (D^2 - (d + 2r_m)^2) q$$

q-удельная сила прижима, для стали 08кп составляет 2..2,5 МПа

$$Q = \frac{\pi}{4} (106,5^2 - (58,6 + 2 \cdot 10)^2) 2,25 = 9121 \text{ Н}$$

$$\sigma_{p\max} = \sigma_s \left(\ln \frac{R}{r} + \frac{\mu Q}{\pi R S \sigma_s} + \frac{S}{2r_m + S} \right) (1 + 1,6\mu) = 285,8 \left(\ln \frac{53,25}{29,3} + \frac{0,1 \cdot 9121}{\pi \cdot 53,25 \cdot 2 \cdot 285,8} + \frac{2}{2 \cdot 10 + 2} \right) (1 + 1,6 \cdot 0,1) = 231,4 \text{ МПа}$$

На втором переходе максимальное напряжение в опасном сечении, если мы берем матрицу с радиусной кромкой = 12 мм, будет равно:

$$\sigma_{p\max} = \sigma_s \left(\ln \frac{R}{r} + \frac{S}{2R_p} + \frac{S}{2r_m + S} \right) (1 + \alpha_1 \mu)$$

$$\sigma_{s\text{cp}2} = \sigma_{s\text{cp}1} \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{m_2} \right)$$

$$\sigma_{s\text{cp}2} = 285,8 \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{0,76} \right) = 325,0 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{p\max} = 325,0 \left(\ln \frac{29,3}{22,5} + \frac{2}{2 \cdot 10,8} + \frac{2}{2 \cdot 12 + 2} \right) (1 + 0,79 \cdot 0,1) = 152,1 \text{ МПа}$$

Радиус изгиба участка свободного изгиба будет равен:

$$R_p = \frac{\sqrt{RS}}{\sin \alpha_1}$$

$$\sin \frac{\alpha_1}{2} = \frac{\sqrt{RS + 4(2r_m + S)(R - r)} - \sqrt{RS}}{4r_m + 2S} =$$

$$= \frac{\sqrt{29,3 \cdot 2 + 4(2 \cdot 12 + 2)(29,3 - 22,5)} - \sqrt{29,3 \cdot 2}}{4 \cdot 12 + 2 \cdot 2} =$$

$$= 0,385$$

$$\frac{\alpha_1}{2} = 22,6^\circ \rightarrow \alpha_1 = 45,3^\circ = 0,79 \text{ рад}$$

$$R_p = \frac{\sqrt{29,3 \cdot 2}}{\sin 45,3^\circ} = 10,8 \text{ мм}$$

Определение сил и работы деформирования для 1-го и 2-го переходов вытяжки.

Сила деформирования на первом переходе:

$$P = \pi d S \sigma_{pmax} = \pi \cdot 58,6 \cdot 2 \cdot 231,4 = 85200 \text{ Н}$$

Сила деформирования на втором переходе:

$$P = \pi d S \sigma_{pmax} = \pi \cdot 45 \cdot 2 \cdot 152,1 = 43005 \text{ Н}$$

Работа деформирования при первом переходе:

$$A1 = \lambda \frac{Ph}{1000} = \frac{0,65 \cdot 85200 \cdot 36}{1000} = 1993,7 \text{ Дж}$$

При втором переходе:

$$A2 = \lambda \frac{Ph}{1000} = \frac{0,65 \cdot 43005 \cdot 54,7}{1000} = 1529,0 \text{ Дж}$$

Совмещение операций вытяжки, раздачи и обжима.

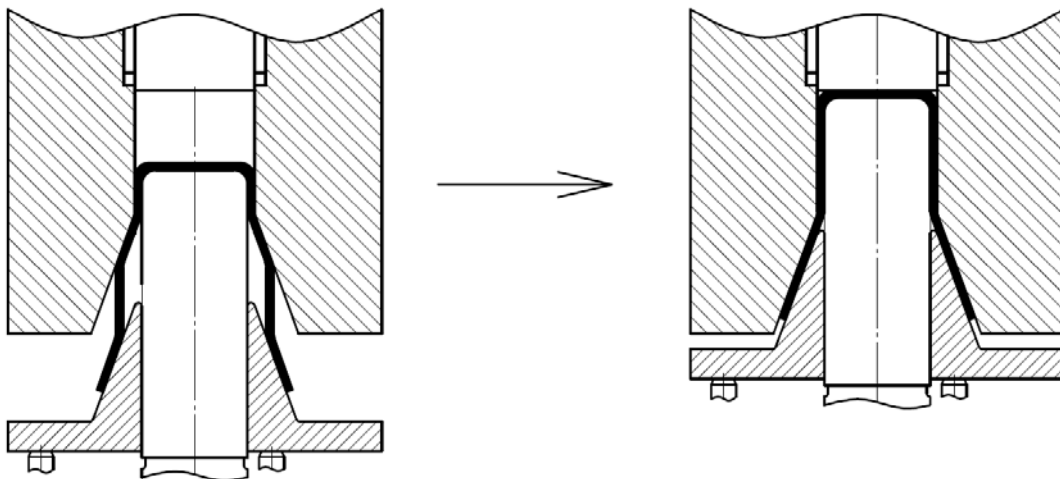


Рис.4. Схема совмещения операций

Определение напряжений в опасном сечении:

При вытяжке максимальное напряжение в опасном сечении, если мы берем матрицу с радиусной кромкой равной 12 мм, будет равно:

$$\sigma_{pmax} = \sigma_s \left(\ln \frac{R}{r} + \frac{S}{2R_p} + \frac{S}{2r_m + S} \right) (1 + \alpha_2 \mu)$$

$$m_3 = \frac{r}{R} = \frac{15}{22,5} = 0,67$$

$$\sigma_{s\text{ cp }3} = \sigma_{s\text{ cp }2} \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{0,67} \right)$$

$$\sigma_{s\text{ cp }3} = 325,0 \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{0,67} \right) = 390,9 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{p\text{ max}} = 390,9 \left(\ln \frac{22,5}{15} + \frac{2}{2 \cdot 8,7} + \frac{2}{2 \cdot 12 + 2} \right) (1 + 0,88 \cdot 0,1) = 254,04 \text{ МПа}$$

Радиус изгиба участка свободного изгиба будет равен:

$$R_p = \frac{\sqrt{RS}}{\sin \alpha_2}$$

$$\sin \frac{\alpha_2}{2} = \frac{\sqrt{RS + 4(2r_m + S)(R - r)} - \sqrt{RS}}{4r_m + 2S} =$$

$$= \frac{\sqrt{22,5 \cdot 2 + 4(2 \cdot 12 + 2)(22,5 - 15)} - \sqrt{22,5 \cdot 2}}{4 \cdot 12 + 2 \cdot 2}$$

$$= 0,423$$

$$\frac{\alpha_2}{2} = 27,8^\circ \rightarrow \alpha_2 = 55,7^\circ = 0,88 \text{ рад}$$

$$R_p = \frac{\sqrt{22,5 \cdot 2}}{\sin 55,7^\circ} = 8,7 \text{ мм}$$

Напряжения при обжиге (примем $\mu = 0,1$; $\alpha = 20^\circ$; $\sigma_T = 220 \text{ МПа}$):

$$\sigma_p = -\sigma_s(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \left(1 - \frac{r_0}{R} \right)$$

$$\sigma_s = \sigma_T(1 + \frac{1}{2} \ln k_{об}) = 220(1 + \frac{1}{2} \ln 1,4) = 257,01 \text{ МПа}$$

$$\sigma_p = -257,01(1 + 0,1 \operatorname{ctg} 20^\circ) \left(1 - \frac{15}{21} \right) = -96,04 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{p\text{ max}} = -\sigma_s(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \left(1 - \frac{r_0}{R} \right) (3 - 2 \cos \alpha) \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{R}{r_0}} \right) =$$

$$= -257,01(1 + 0,1 \operatorname{ctg} 20^\circ) \left(1 - \frac{15}{21} \right) (3 - 2 \cos 20^\circ) \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{15}{21}} \right) = -99,27 \text{ МПа}$$

Напряжения при раздаче (примем $\mu = 0,1$; $\alpha = 20^\circ$; $\sigma_T = 220 \text{ МПа}$):

$$\sigma_p = -\sigma_s(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \left(\frac{R_{раз}}{R_{заг}} - 1 \right)$$

$$\sigma_s = \sigma_T(1 + \frac{1}{2} \ln k_{раз}) = 220(1 + \frac{1}{2} \ln 1,2) = 240,05 \text{ МПа}$$

$$\sigma_p = -240,05(1 + 0,1 \operatorname{ctg} 20^\circ) \left(\frac{27}{22,5} - 1 \right) = -62,79 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{p\text{ max}} = -\sigma_s(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \left(\frac{R_{раз}}{R_{заг}} - 1 \right) (3 - 2 \cos \alpha) \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{R_{заг}}{R_{раз}}} \right) =$$

$$= -240,05(1 + 0,1 \operatorname{ctg} 20^\circ) \left(\frac{27}{22,5} - 1 \right) (3 - 2 \cos 20^\circ) \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{22,5}{27}} \right) = -65,93 \text{ МПа}$$

$$s_{min} = s_0 \sqrt{R_{заг}/R_{раз}} = 2 \sqrt{22,5/27} = 1,83 \text{ мм}$$

Определение силы и работы деформирования:

Силы деформирования на третьем переходе вытяжки:

$$P = \pi d S \sigma_{p\text{ max}} = \pi \cdot 30 \cdot 2 \cdot 254,04 = 47861 \text{ Н}$$

$$A_3 = \lambda \frac{Ph}{1000} = \frac{0,65 \cdot 47861 \cdot 35}{1000} = 1088,8 \text{ Дж}$$

Работа деформирования при обжиге:

$$A = \lambda \frac{Ph}{1000} = \frac{0,65 \cdot 20312 \cdot 11}{1000} = 145,2 \text{ Дж}$$

Работа деформирования при раздаче:

$$A = \lambda \frac{Ph}{1000} = \frac{0,65 \cdot 18631,8 \cdot 12,5}{1000} = 151,4 \text{ Дж}$$

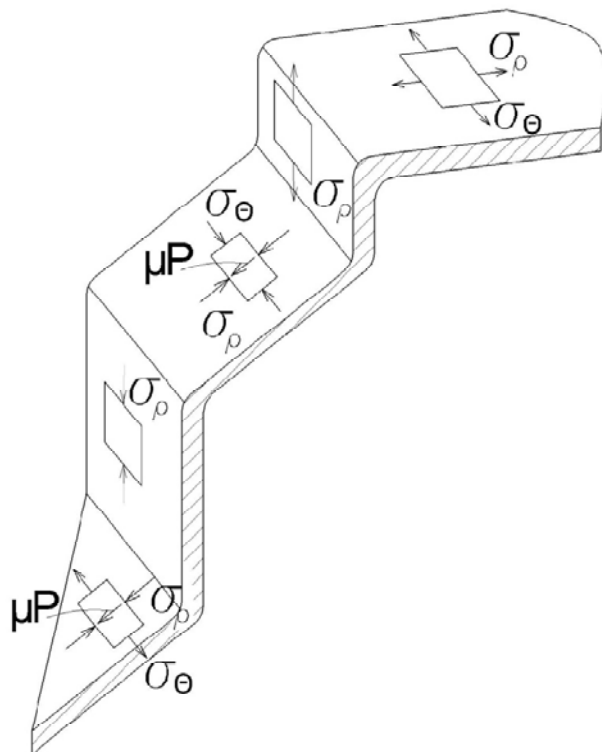


Рис. 5. Определение напряжений

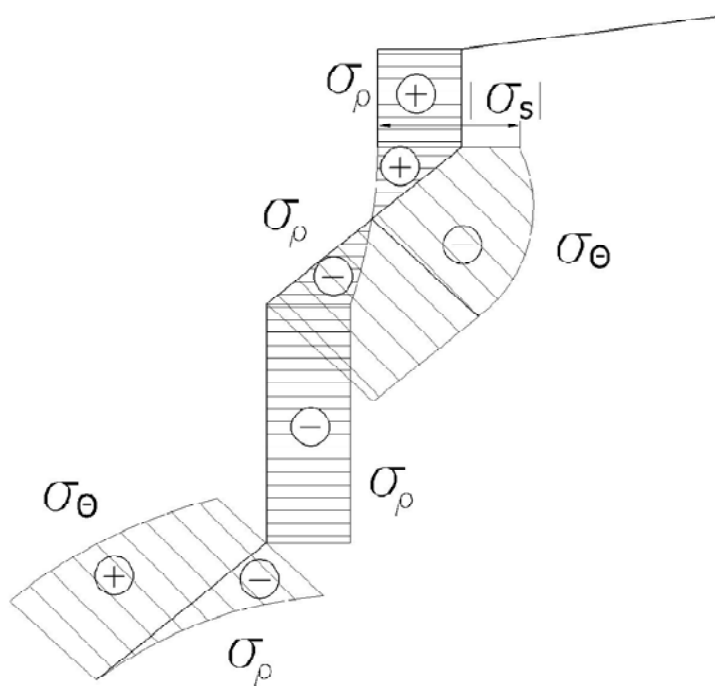


Рис.6. Эпюра напряжений

Штамповая оснастка.

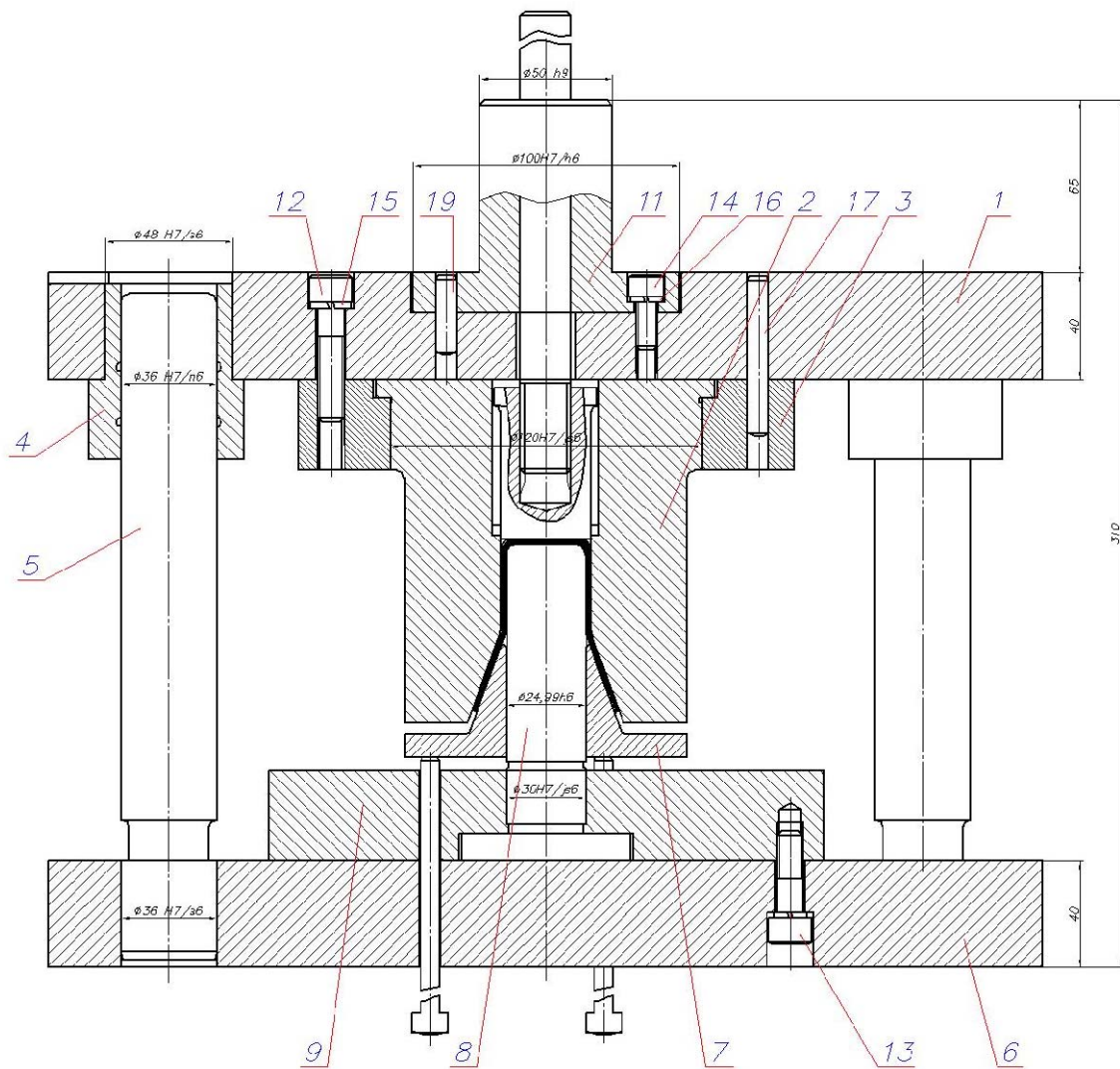


Рис. 7. Штамп для совмещенных операций

Особенностью данного штампа является то, что вытяжной пуансон установлен на нижней плите, а вытяжная матрица - на верхней. У пуансона расположен прижим, действующий посредством шпилек от пневматической подушки прессы. В исходном положении заготовка надевается на этот прижим. По окончании вытяжки этот же прижим снимает заготовку с пуансона, а верхний выталкиватель выбрасывает ее из матрицы.

Моделирование процесса.

Предметом исследования стало определение возможности вытяжки и анализ сопутствующих ей деформаций. Было проведено моделирование в программном комплексе AutoForm.

В результате моделирования было установлено, что процесс формоизменения идет стабильно, без образования складок.

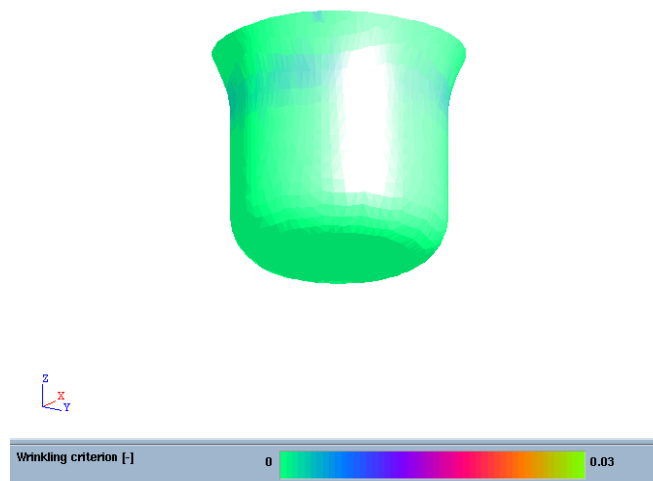


Рис. 8. Складкообразование

Контактные напряжения достигают до 40 Н/мм^2 . Максимальные напряжения отмечены в зоне перехода к доньшку и месте изгиба при раздаче.

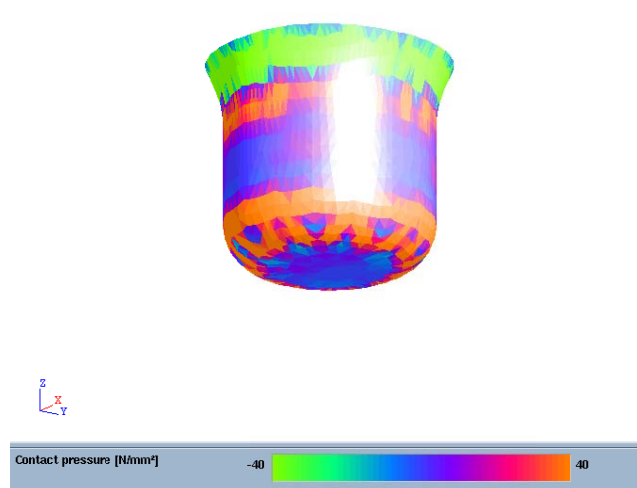


Рис. 9. Контактные напряжения

В зоне перехода к доньшку и месте изгиба наблюдаются наибольшие напряжения сдвига, достигающие 10 Н/мм^2 .

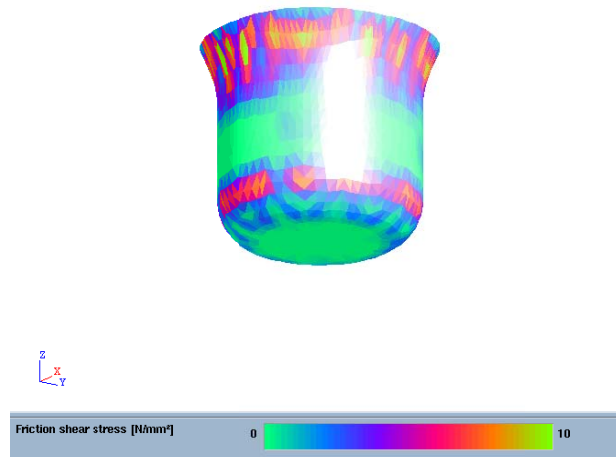


Рис. 10. Напряжения сдвига

Максимальные пластические деформации достигают 0,5 и располагаются в верхней части заготовки.

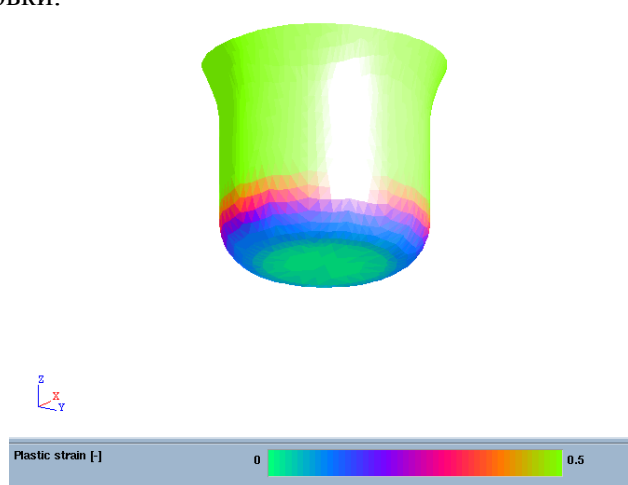


Рис. 11. Пластические деформации

Толщина меняется от 1,8 до 2,4 мм. Максимальное утонение наблюдается в зоне перехода к доньшку, а наибольшее утолщение - на краях заготовки.

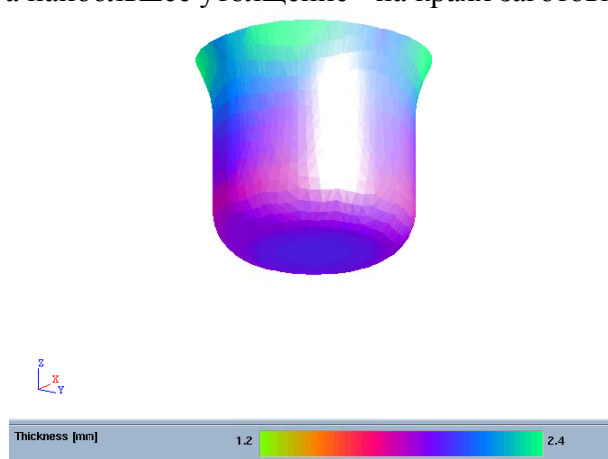


Рис. 12. Толщина

Процесс формоизменения идет стабильно, без образования дефектов.

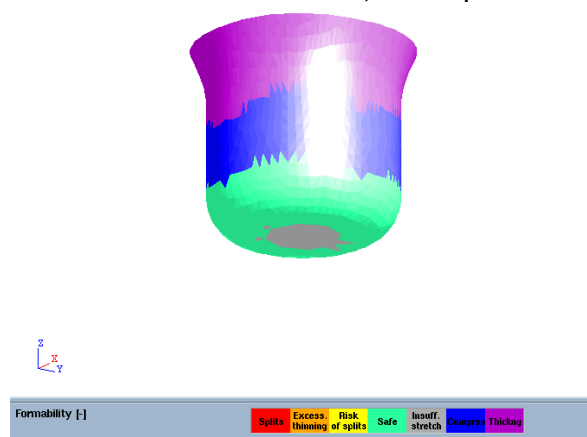


Рис. 13. Формоизменение

Выводы:

Совмещение нескольких различных операций в одном штамповом переходе позволило решить следующие задачи:

- повысить предельное формоизменение;
- расширить технологические возможности штамповки путем уменьшения напряжений и величин деформаций, не превышающих предельные;
- уменьшить номенклатуру штамповой оснастки и количество оборудования, необходимого для изготовления детали;
- повысить производительность труда за счет сокращения подготовительно-заключительного, вспомогательного и машинного времени;
- улучшить качество получаемых деталей.

Литература

1. *В.П.Романовский*. Справочник по холодной штамповке. Ленинград: Машиностроение, 1979 - 516 с.
2. *Л.И.Рудман* Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / - М.: Машиностроение, 1988 - 496 с.
3. *Е.А.Попов, В.Г.Ковалев, И.Н.Шубин*. Технология и автоматизация листовой штамповки. Москва «Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана», 2003 – 479 с.