

УДК 53.084.791

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАПСУЛЫ ДЛЯ СПЕКАНИЯ ПУТЕМ СОВМЕЩЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ОБЖИМА, РАЗДАЧИ И ВЫТЯЖКИ

Евгения Олеговна Яковлева

Студентка 6 курса,
кафедра «Технологии обработки давлением»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Игорь Николаевич Шубин,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»

Цель работы – получение капсулы для спекания (рис.1), анализ напряженного состояния и различных способов изготовления детали.

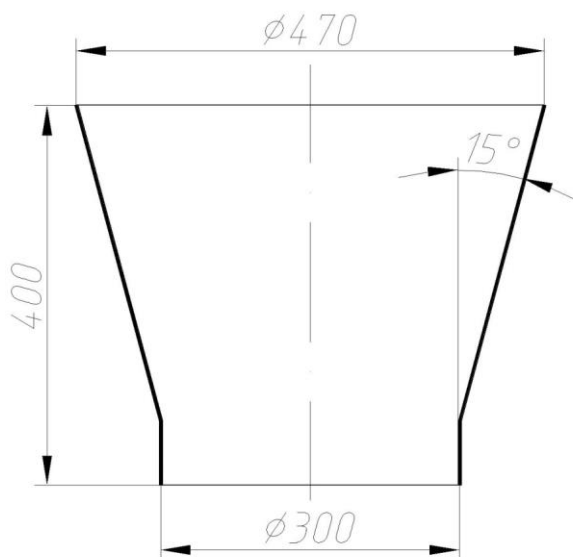


Рис.1. Капсула для спекания

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.

В работе проведены расчет и моделирование процесса изготовления детали путем совмещения операций вытяжки, обжима и раздачи, анализ напряженного состояния и различных способов изготовления детали.

Данная деталь изготавливается из стали 08 кп.

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

Расчет и анализ напряженного состояния

1 способ. 2 перехода вытяжки, совмещение раздачи, обжима и вытяжки, отрезка дна.

Расчет необходимого числа переходов вытяжки.

Общий коэффициент вытяжки:

$m = \frac{d}{D} = \frac{300}{865} = 0,347$ – больше, чем m_1 ([1], стр. 8, табл. 5), следовательно необходимо несколько переходов вытяжки.

$m_1 = 0,57$ ([1], стр. 8, табл. 5), следовательно $d_1 = m_1 \cdot D = 0,57 \cdot 865 = 493$ мм.

$m_2 = 0,77$ ([1], стр. 9, табл. 5), следовательно $d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,77 \cdot 493 = 380$ мм.

$$m_3 = \frac{m}{m_1 \cdot m_2} = \frac{0,347}{0,57 \cdot 0,77} = 0,79$$

Высота детали после каждого перехода вытяжки:

$$h_1 = 0,25\left(\frac{D}{m_1} - d_1\right) + 0,43\frac{r}{d_1}(d_1 + 0,32 \cdot r) = 0,25\left(\frac{865}{0,57} - 493\right) + 0,43\frac{30}{493}(493 + 0,32 \cdot 30) = 270 \text{ мм}$$

$$r = r_n + 0,5 \cdot S = 28 + 0,5 \cdot 3 = 30 \text{ мм} - \text{радиус донной части}$$

$$h_2 = 0,25\left(\frac{D}{m_1 \cdot m_2} - d_2\right) + 0,43\frac{r}{d_2}(d_2 + 0,32 \cdot r) = 0,25\left(\frac{865}{0,57 \cdot 0,77} - 380\right) + 0,43\frac{30}{380}(380 + 0,32 \cdot 30) = 411 \text{ мм}$$

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

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

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

$$\sigma_{s\text{ cp } I} = 220 \left(1 + 0,5 \ln \frac{1}{0,57} \right) = 225 \text{ МПа}$$

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

$$Q = \frac{\pi}{4} (865^2 - (493 + 2 \cdot 30)^2) 2,25 = 781 \text{ кН}$$

$$\sigma_{pmax} = \sigma_s \left(\ln \frac{R}{r} + \frac{\mu Q}{\pi R S \sigma_s} + \frac{S}{2r_m + S} \right) (1 + 1,6\mu) = 225 \left(\ln \frac{432,5}{246,5} + \frac{0,1 \cdot 781000}{\pi \cdot 246,5 \cdot 3 \cdot 225} + \frac{3}{2 \cdot 30 + 3} \right) (1 + 1,6 \cdot 0,1) = 198 \text{ МПа}$$

На втором переходе максимальное напряжение в опасном сечении будет равно:

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

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

$$\sigma_{s\text{cp}2} = 225 \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{0,77} \right) = 254 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{pmax} = 254 \left(\ln \frac{246,5}{190} + \frac{3}{2 \cdot 27,5} + \frac{3}{2 \cdot 30 + 3} \right) (1 + 1,71 \cdot 0,1) = 107 \text{ МПа}$$

Радиус изгиба участка свободного изгиба будет равен:

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

$$\begin{aligned} \sin \frac{\alpha_1}{2} &= \frac{\sqrt{RS + 4(2r_m + S)(R - r)} - \sqrt{RS}}{4r_m + 2S} = \\ &= \frac{\sqrt{246,5 \cdot 3 + 4(2 \cdot 30 + 3)(246,5 - 190)} - \sqrt{246,5 \cdot 3}}{4 \cdot 30 + 2 \cdot 3} = \\ &= 0,755 \end{aligned}$$

$$\frac{\alpha_1}{2} = 49,07^\circ \rightarrow \alpha_1 = 98,13^\circ = 1,71 \text{ рад}$$

$$R_p = \frac{\sqrt{246,5 \cdot 3}}{\sin 98,13^\circ} = 27,5 \text{ мм}$$

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

Сила деформирования на первом переходе:

$$P = \pi d S \sigma_{\rho max} = \pi \cdot 493 \cdot 3 \cdot 198 = 919,5 \text{ кН}$$

Сила деформирования на втором переходе:

$$P = \pi d S \sigma_{\rho max} = \pi \cdot 390 \cdot 3 \cdot 107 = 393,1 \text{ кН}$$

Работа деформирования при первом переходе:

$$A1 = \lambda \frac{Ph}{1000} = \frac{0,65 \cdot 919500 \cdot 270}{1000} = 161,4 \text{ кДж}$$

При втором переходе:

$$A2 = \lambda \frac{Ph}{1000} = \frac{0,65 \cdot 393100 \cdot 411}{1000} = 105 \text{ кДж}$$

Определение напряжений в опасном сечении для совмещенных операций

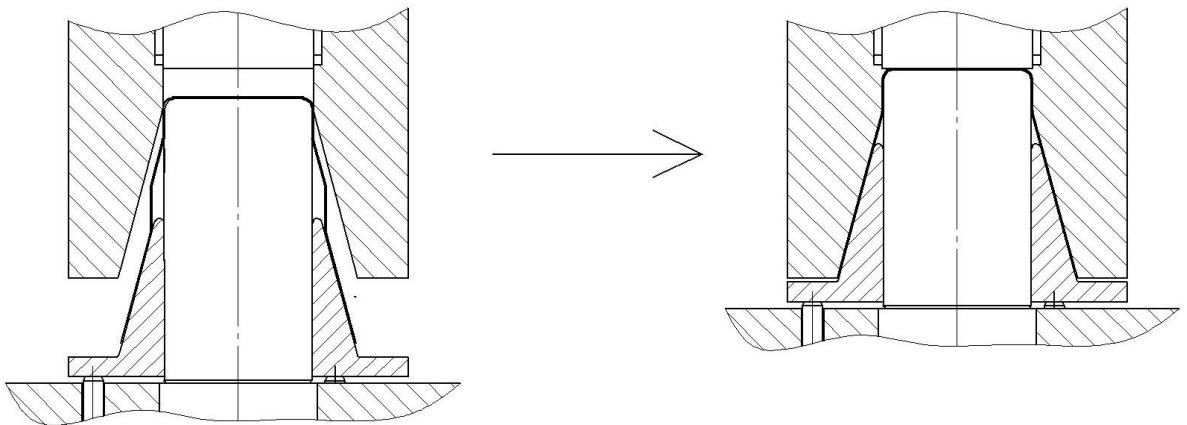


Рис.2. Схема совмещения операций

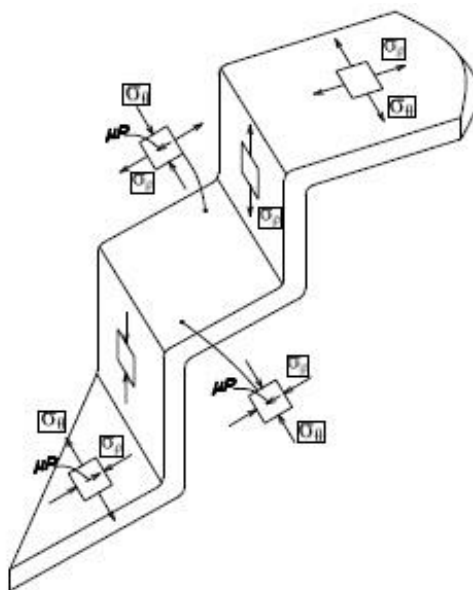


Рис.3. Определение напряжений

При вытяжке максимальное напряжение в опасном сечении будет равно:

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

$$m_3 = \frac{r}{R} = \frac{150}{190} = 0,79$$

$$\sigma_{s \text{ cp } 3} = \sigma_{s \text{ cp } 2} \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{m_3} \right)$$

$$\sigma_{s \text{ cp } 3} = 254 \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{0,79} \right) = 284 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\rho \max} = 284 \left(\ln \frac{190}{150} + \frac{3}{2 \cdot 24,4} + \frac{3}{2 \cdot 30 + 3} \right) (1 + 1,36 \cdot 0,1) = 111,5 \text{ МПа}$$

Радиус изгиба участка свободного изгиба будет равен:

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

$$\begin{aligned} \sin \frac{\alpha_2}{2} &= \frac{\sqrt{RS + 4(2r_m + S)(R - r)} - \sqrt{RS}}{4r_m + 2S} = \\ &= \frac{\sqrt{190 \cdot 3 + 4(2 \cdot 30 + 3)(190 - 150)} - \sqrt{190 \cdot 3}}{4 \cdot 30 + 2 \cdot 3} = 0,63 \end{aligned}$$

$$\frac{\alpha_2}{2} = 39,01^\circ \rightarrow \alpha_2 = 78,03^\circ = 1,36 \text{ рад}$$

$$R_p = \frac{\sqrt{190 \cdot 3}}{\sin 78,03^\circ} = 24,4 \text{ мм}$$

Напряжения при обжиге (примем $\mu = 0,1$; $\alpha = 15^\circ$; $\sigma_T = 220 \text{ МПа}$):

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

$$\sigma_s = \sigma_T(1 + \frac{1}{2} \ln k_{об}) = 220(1 + \frac{1}{2} \ln 1,13) = 234 \text{ МПа}$$

$$\sigma_p = -234(1 + 0,1 \operatorname{ctg} 15^\circ) \left(1 - \frac{170}{190}\right) = 33,8 \text{ МПа}$$

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

$$= -234(1 + 0,1 \operatorname{ctg} 15^\circ) \left(1 - \frac{170}{190}\right) (3 - 2 \cos 15^\circ) \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{190}{170}}\right) = 37,1 \text{ МПа}$$

Напряжения при раздаче (примем $\mu = 0,1$; $\alpha = 15^\circ$; $\sigma_T = 220 \text{ МПа}$):

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

$$\sigma_s = \sigma_T(1 + \frac{1}{2} \ln k_{раз}) = 220(1 + \frac{1}{2} \ln 1,23) = 243 \text{ МПа}$$

$$\sigma_p = -243(1 + 0,1 \operatorname{ctg} 15^\circ) \left(\frac{190}{150} - 1\right) = 89 \text{ МПа}$$

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

$$= -243(1 + 0,1 \operatorname{ctg} 15^\circ) \left(\frac{190}{150} - 1\right) (3 - 2 \cos 15^\circ) \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{150}{190}}\right) = 245 \text{ МПа}$$

$$s_{min} = s_0 \sqrt{R_{заз}/R_{раз}} = 3 \sqrt{150/190} = 2,67 \text{ мм}$$

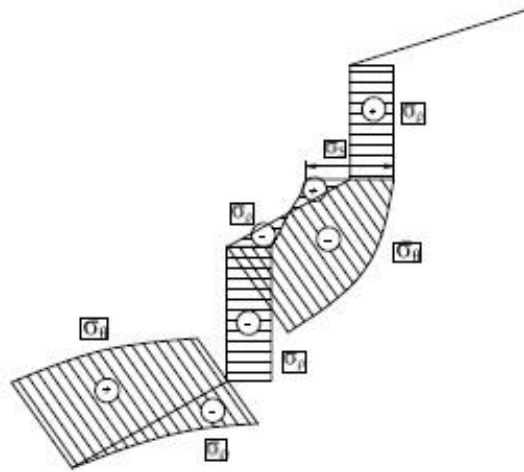


Рис.4. Эпюра напряжений

Показана схема напряжений, на которой видно, что при раздаче реализуется сжато-растянутая схема, при которой при достижении σ_s могут возникнуть трещины, чего в нашем случае не происходит. При обжиме характерна сжимающая схема напряжений, при которой наблюдается утолщение стенки. Наличие сжимающих напряжений при обжиме приводит к уменьшению растягивающих напряжений при вытяжке, что исключает образование трещин.

Определение силы и работы деформирования для совмещенных операций

Силы деформирования на третьем переходе вытяжки:

$$P = \pi d S \sigma_{\rho max} = \pi \cdot 300 \cdot 3 \cdot 111,5 = 315 \text{ кН}$$

Работа деформирования на третьем переходе вытяжки:

$$A_3 = \lambda \frac{Ph}{1000} = \frac{0,65 \cdot 31500 \cdot 85}{1000} = 17,4 \text{ кДж}$$

Силы деформирования при обжиме:

$$P = \pi d S \sigma_{\rho max} = \pi \cdot 340 \cdot 3 \cdot 37,1 = 118,8 \text{ кН}$$

Работа деформирования при обжиме:

$$A = \lambda \frac{Ph}{1000} = \frac{0,65 \cdot 118800 \cdot 155}{1000} = 12 \text{ кДж}$$

Силы деформирования при раздаче:

$$P = \pi d S \sigma_{\rho max} = \pi \cdot 340 \cdot 3 \cdot 245 = 785 \text{ кН}$$

Работа деформирования при раздаче:

$$A = \lambda \frac{Ph}{1000} = \frac{0,65 \cdot 785000 \cdot 160}{1000} = 81,6 \text{ кДж}$$

2 способ. Раздача трубной заготовки.

Напряжения при раздаче (примем $\mu = 0,1$; $\alpha = 15^\circ$; $\sigma_T = 220$ МПа):

$$k_{раз} = \frac{R_{раз}}{R_{заг}} = \frac{235}{190} = 1,24$$

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

$$\sigma_s = \sigma_T \left(1 + \frac{1}{2} \ln k_{раз} \right) = 220 \left(1 + \frac{1}{2} \ln 1,24 \right) = 270 \text{ МПа}$$

$$\sigma_p = -270(1 + 0,1 \operatorname{ctg} 15^\circ) \left(\frac{235}{190} - 1 \right) = 211,3 \text{ МПа}$$

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

$$= -270(1 + 0,1 \operatorname{ctg} 15^\circ) \left(\frac{235}{190} - 1 \right) (3 - 2 \cos 15^\circ) \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{190}{235}} \right) = 176,8 \text{ МПа}$$

Так как σ_{pmax} в стенке деформируемой заготовки меньше σ_s , то стенка не потеряет устойчивость с образованием кольцевых складок.

Но ввиду того, что коэффициент раздачи значительный (1,57), есть вероятность образования продольных трещин за счет напряжений σ_θ , которые на краю заготовки достигают σ_s .

Моделирование процесса

Получение детали из листовой заготовки

Предметом исследования стало определение возможности вытяжки и анализ сопутствующих ей деформаций. Было проведено моделирование в программном комплексе AutoForm. Инструмент (матрица и пуансон) для моделирования были выполнены в программном комплексе SolidWorks 2007.

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

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

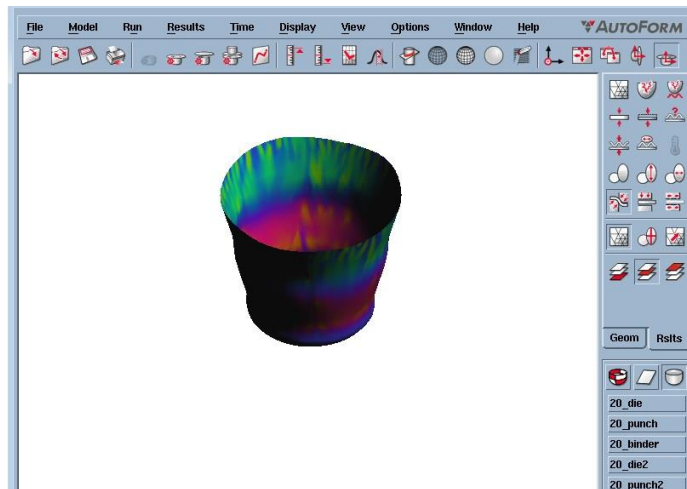


Рис.5. Контактные напряжения

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

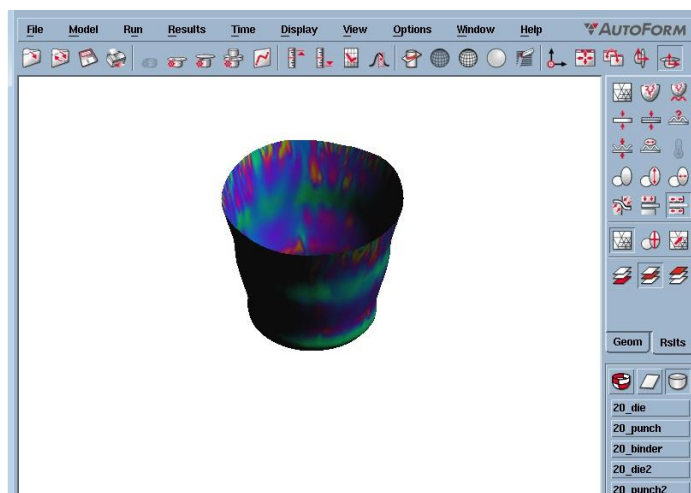


Рис.6. Напряжения сдвига

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

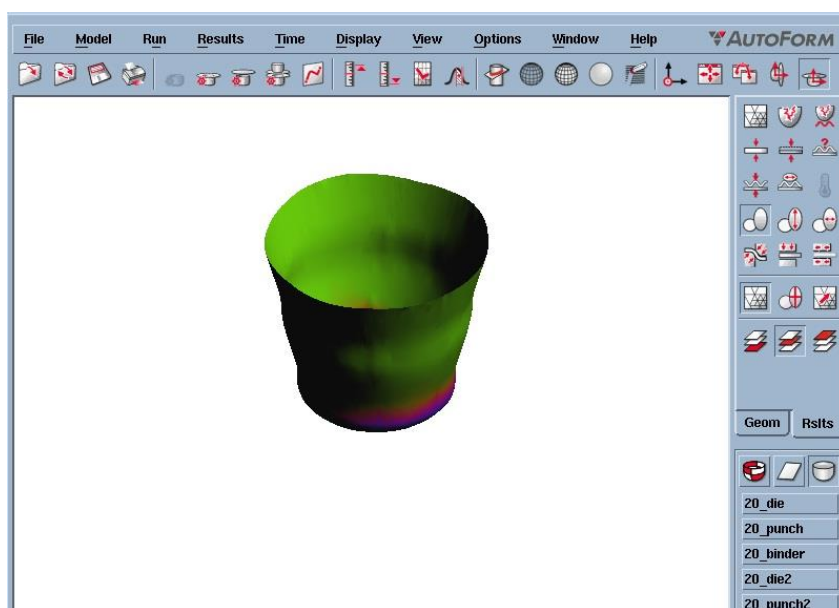


Рис.7. Пластические деформации

Толщина меняется от 2,6 до 2,9 мм:

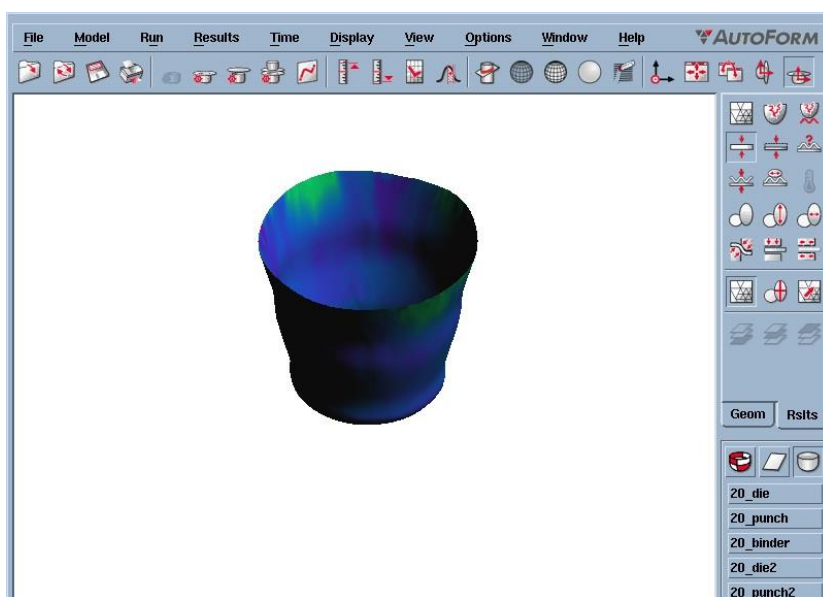


Рис.8. Толщина

Процесс формоизменения идет стабильно, без образования дефектов:

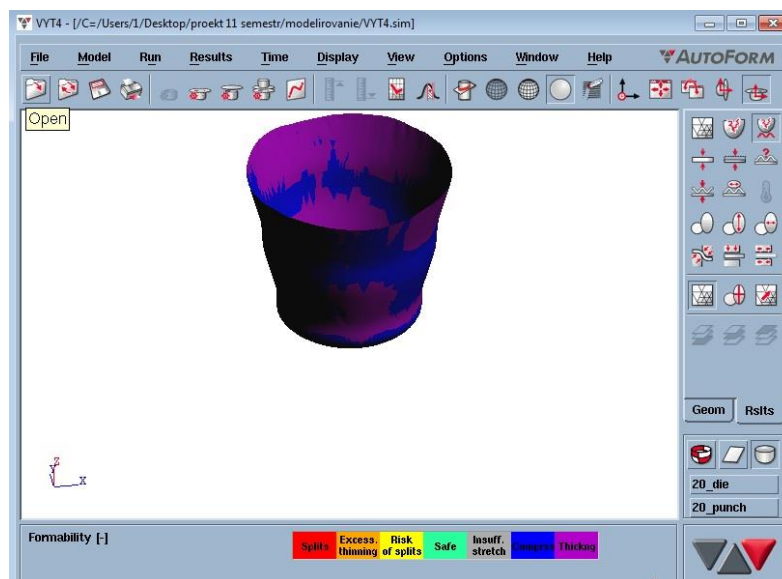


Рис.9. Формоизменение

На диаграмме предельного формоизменения черный график отображает кривую предельного формоизменения, определяющую деформации, превышение которых вызывает появление разрывов в листовом материале. На этой же диаграмме показаны значения деформаций, рассчитанных при моделировании процесса, все они лежат ниже кривой предельного формоизменения. Можно сделать вывод о том, что разрывы отсутствуют, процесс устойчив:

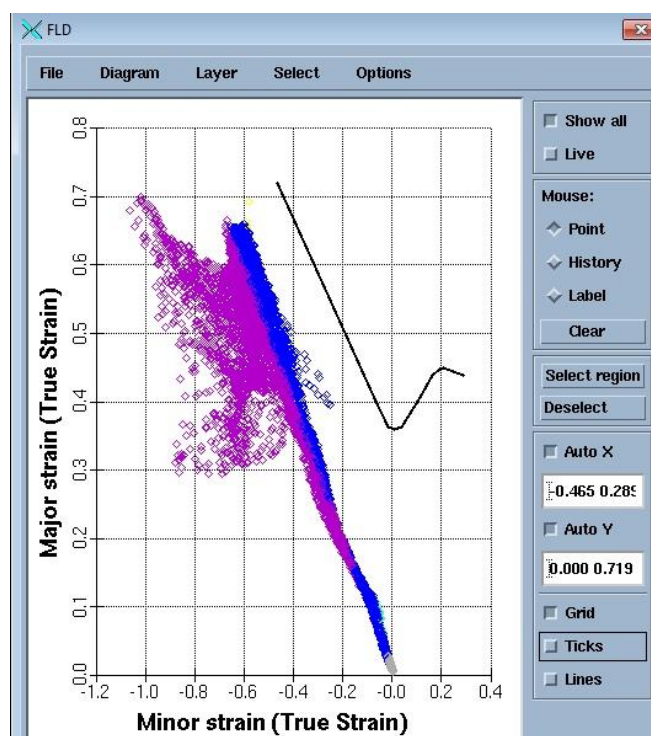


Рис.10. Диаграмма предельного формоизменения

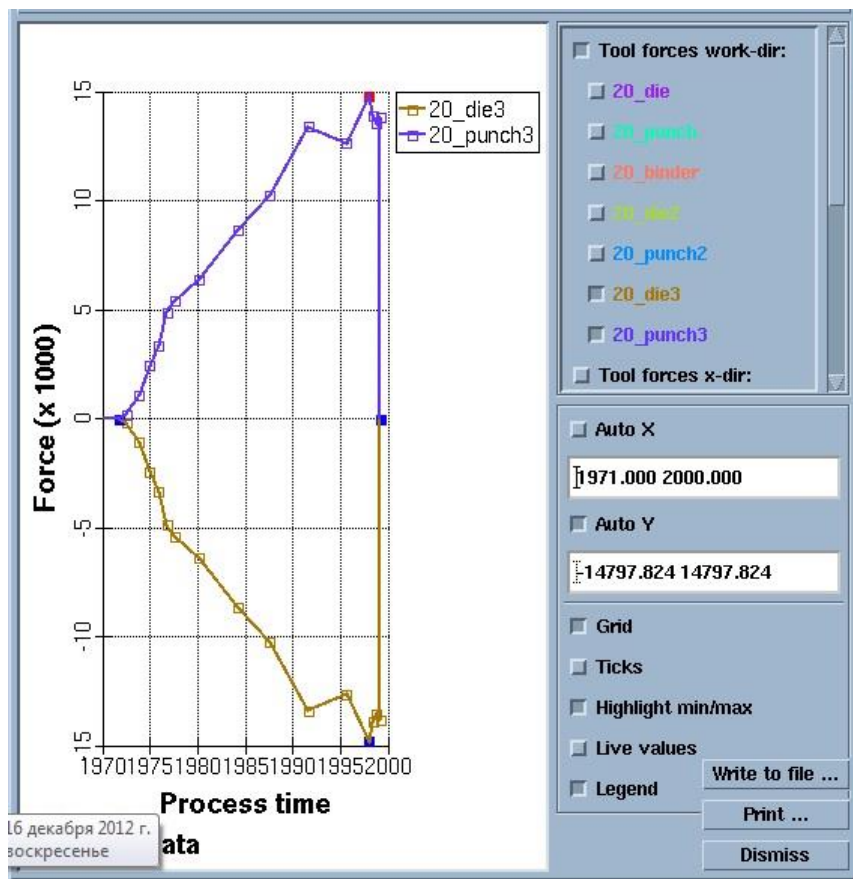


Рис.11. График сил совмещенных операций

Раздача трубной заготовки:

Моделирование раздачи из трубной заготовки показало, что процесс не устойчив, наблюдаются разрывы.

Значения деформаций, рассчитанных при моделировании процесса, лежат выше кривой предельного формоизменения.

Можно сделать вывод, что таким способом капсулу для спекания получить нельзя, что подтверждает выводы, сделанные на основе расчетов.

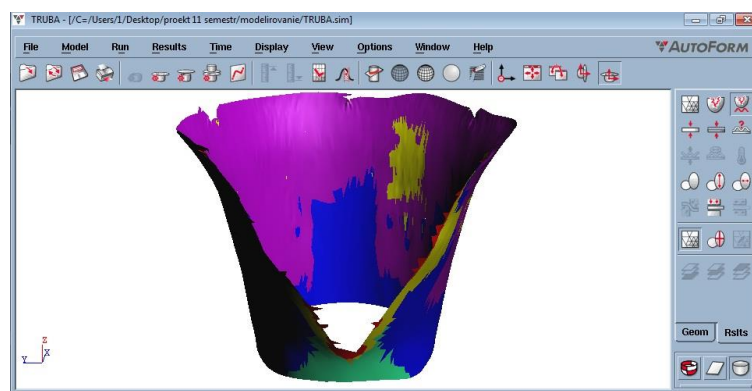


Рис.12. Формоизменение при раздате

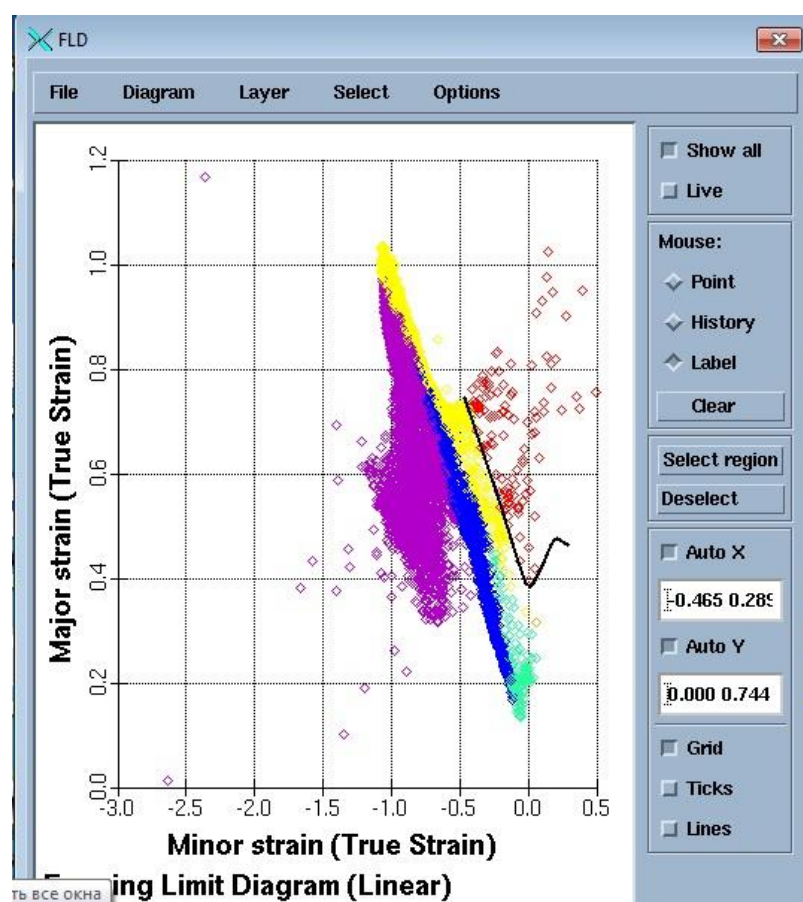


Рис.13. Диаграмма предельного формоизменения при раздате

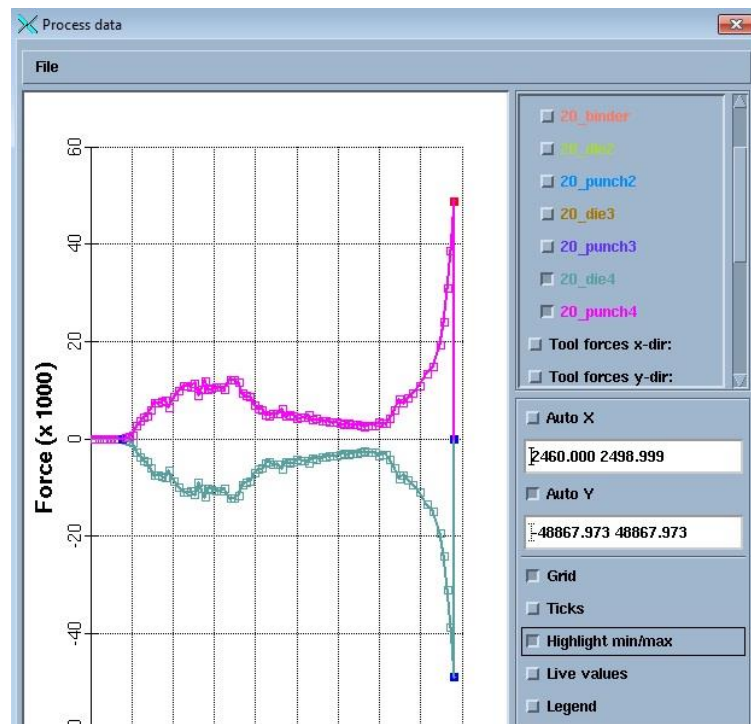


Рис.14. График сил при раздаче

Конструкторская часть.

Проанализировав результаты моделирования и расчеты трех способов получения, можно сделать вывод, что из приведенных вариантов только совмещение вытяжки, обжима и раздачи дают необходимый результат, поэтому была разработана штамповая оснастка для этого способа (см. рис.)

Штамповая оснастка

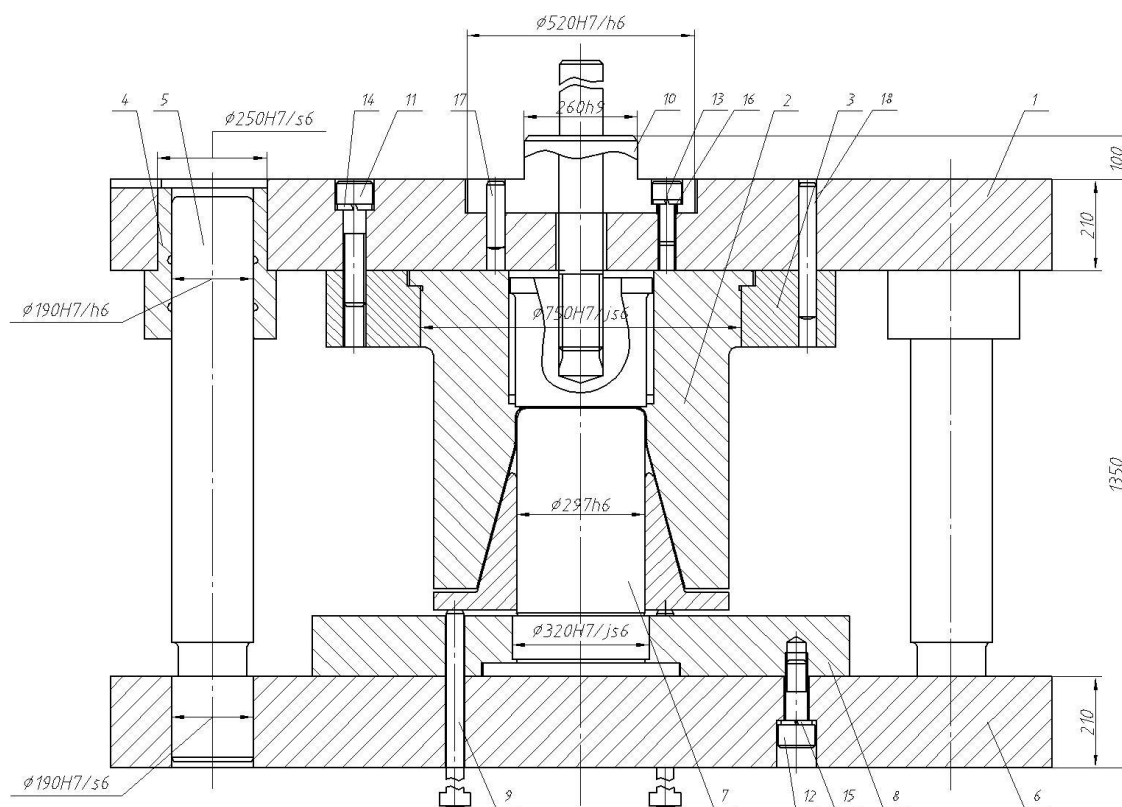


Рис. 15. Штамп для совмещенных операций

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.

Выбор оборудования

Для вырубки и первого перехода вытяжки используется штамп совмещенного действия.

Второй переход вытяжки будет производиться в штампе простого действия.

Обрезка будет производиться на специальных станках.

Проведя расчет сил деформирования, выбираем кузнечно-прессовое оборудование, руководствуясь тем условием, что номинальная сила прессы должна превышать силу деформирования, штамп должен уместиться на столе прессы и в высоту между столом и ползуном в его нижнем положении. Также следует учитывать условие, что работа прессы должна превышать суммарную работу, которая требуется для деформирования.

Выбираем пресс К378А с номинальным усилием 1000кН.

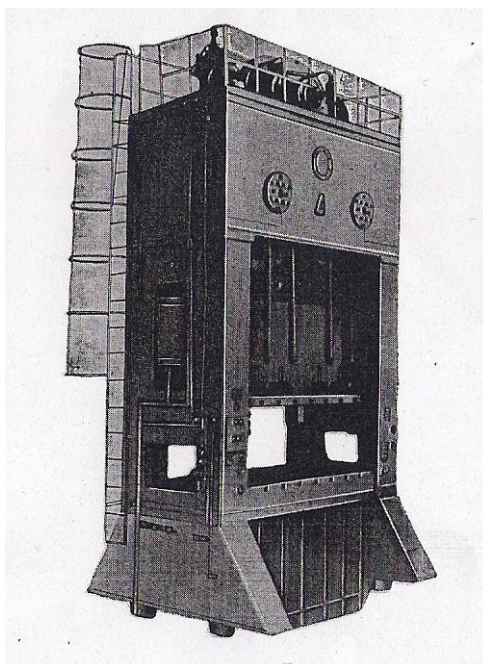


Рис. 16. Пресс К378А

Выводы

В ходе моделирования процесса было выявлено, что раздачей из трубной заготовки данная деталь не получается, происходит разрыв заготовки, поэтому был принят за основу процесс изготовления капсулы из листа, 2-мя переходами вытяжки и совмещенной операцией вытяжки, раздачи и обжима. Моделирование данного процесса не выявило дефектов.

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;
- улучшить качество получаемой детали.

Литература

1. *Е.А.Попов, И.Н.Шубин.* Методические указания к домашнему заданию по курсу «Технология и автоматизация листовой штамповки», 1988 - 23 стр.
2. *В.П.Романовский.* Справочник по холодной штамповке. Ленинград «Машиностроение», 1979 - 516 с.

3. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под ред. *Л.И.Рудмана*. Москва. «Машиностроение», 1988 - 496 с.

4. *Е.А.Попов, В.Г.Ковалев, И.Н.Шубин*. Технология и автоматизация листовой штамповки. Москва «Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана», 2003 – 479 с.