

УДК 621.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ДЕТАЛИ ТИПА «СТАКАН» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА PAM-STAMP

Соловьев Б. М.

Московский Государственный Индустриальный Университет
Кафедра "Машины и технология обработки металлов давлением"
Научный руководитель: Лавриненко В.Ю., к.т.н., доц.

Введение

В настоящее время при производстве деталей методом листовой штамповки весьма актуальными являются вопросы обеспечения высокого качества продукции, сокращения сроков внедрения в производство новых изделий и снижение затрат на производство.

Применение традиционных методов проектирования технологических процессов листовой штамповки и внедрения в производство не всегда позволяет обеспечить оптимальное сочетание требуемого качества готовой детали и минимальных сроков и затрат на производство.

Одним из эффективных подходов к решению данных проблем является комплексное применение систем автоматизированного проектирования на основе передовых компьютерных технологий: CAD–систем проектирования технологических процессов (AutoCAD, Pro/ENGINEER, T-FLEX, Solid Works, Unigraphics и др.); CAE–систем - программных комплексов автоматизированного инженерного анализа процессов обработки давлением (PAM-STAMP, AutoFORM, DEFORM, FORGE, QForm и др.), а также PDM - систем - автоматизированных комплексов подготовки производства (T-FLEX / DOCs / Технология, T-FLEX / ТехноПро, TechnologiCS и др.).

В статье приведены основные этапы разработки технологического процесса вытяжки детали типа «Стакан» с использованием программы PAM-STAMP при выполнении курсовой работы по дисциплине «Технология листовой штамповки» на кафедре «Машины и технология обработки металлов давлением» МГИУ.

Задание на курсовую работу включало в себя разработку технологического процесса штамповки детали, имеющей следующие размеры: $S = 1.4$ мм; $H = 40$ мм; $d = 50$ мм. Материал – сталь 08кп, $r_n = 4$ мм (рис.1).

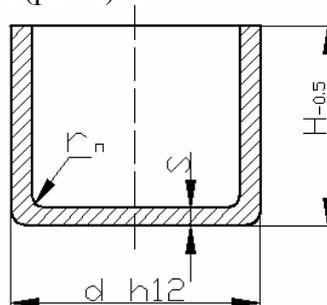


Рис.1

В процессе выполнения работы были решены следующие вопросы: определен размер исходной заготовки и оптимальный раскрой исходного материала, рассчитано необходимое число переходов вытяжки, определены величины напряжений в опасных сечениях и силы деформирования на переходах вытяжки, определены величины технологических зазоров и исполнительные размеры рабочих частей пунсонов и матриц.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ

Основным положением для определения размеров исходной заготовки при вытяжке является равенство объемов заготовки и готовой детали, так как в процессе пластической деформации соблюдается условие несжимаемости, и объем металла остается прежним [1, 2].

При вытяжке без принудительного утонения стенки принимается неизменность толщин материала в процессе деформирования.

Поэтому определение размеров исходной заготовки производят по равенству площадей поверхностей заготовки и готовой детали с учетом припуска на обрезку.

Диаметр исходной заготовки:

$$D = \sqrt{d^2 + 4dH - 1.72rd - 0.56r^2} = 103,2 \text{ мм}$$

Размер H увеличиваем на величину припуска на обрезку, определяем припуск равный 2,5 мм, отсюда H=42,5 мм.

2. РАСКРОЙ И СОРТАМЕНТ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА

После определения диаметра исходной заготовки устанавливают необходимые величины перемычек и выбирают наиболее экономичный тип раскроя, при котором коэффициент использования материала будет наибольшим.

Перемычки:

При D=103,2 мм, S=1,48 мм, по таблице, приведенной в [1] определяем ширину перемычек:

$$a_1 = 1,2 \text{ мм}, a = 1,7 \text{ мм}.$$

Так как выбираем автоматическую подачу штампуемого материала, следовательно, размеры a_1 и a следует увеличить в 1,2 раза.

$$a_1 = 1,4 \text{ мм}, a = 2 \text{ мм}.$$

Расчетная ширина ленты или полосы при однорядной вырубке круглых заготовок может быть определена по формуле:

$$B_p = D + 2a = 107,264 \text{ мм}$$

Расчетная ширина ленты увеличивается до ближайшего размера, определяемого соответствующим ГОСТом.

По ГОСТ $B_p = 110$ мм.

Шаг подачи ленты или полосы устанавливают по формуле:

$$t = D + a_1 = 104,62 \text{ мм}.$$

Номинальную ширину полосы В определяют. Исходя из условий работы штампа: С боковым прижимом:

$B = B_p + \Delta_{ш}$, где $\Delta_{ш}$ принимают в соответствии с ГОСТом. $\Delta_{ш} = 0,8$ мм.

$$B = 110 + 0,8 = 110,8 \text{ мм}$$

Полученный результат подсчета ширины полосы В округляем до B=111 мм.

3. КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛА

КИМ при однорядной вырубке из ленты:

$$\eta = \frac{\pi D^2}{4Bt} \cdot 100 \% = 73 \%$$

КИМ при раскрое из листа:

$$\eta = \frac{Fn}{BL}, \text{ где}$$

n- количество вырубленных заготовок, В и L- длина и ширина исходного листа.

Размеры листов по ГОСТ 19904-74 выбираем 700x1400 мм.

$n = n_1 n_2 = 78$ шт.

Число полос в листе $n_1 = 6$ шт

Число деталей в полосе $n_2 = 13$ шт

$\eta = 67\%$

Трехрядный шахматный раскрой листового материала:

$$\eta = \frac{3F}{Vt} \cdot 100\%$$

$\eta = 83\%$

Самым выгодным раскроем исходного материала является трехрядный шахматный раскрой листового материала (рис.2).

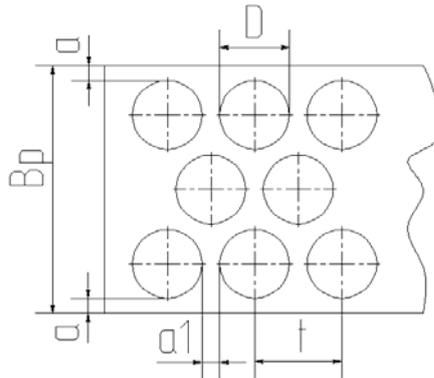


Рис.2

4. РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОГО ЧИСЛА ПЕРЕХОДОВ ВЫТЯЖКИ

Для определения необходимого числа переходов вытяжки заданной детали находят общий коэффициент вытяжки:

$$m = \frac{d}{D} = \frac{50}{103,18} = 0,484$$

Величина $m < m_1$, следовательно, требуется два или более переходов вытяжки.

$$\frac{s}{D} = 1.36$$

$$[m_1] = 0,51; [m_2] = 0,72$$

$$m_1 = 0,63; m_2 = 0,769$$

Следовательно, применяем два перехода вытяжки для заданной детали.

Находим размеры первой и второй вытяжек:

$$d_1 = m_1 D = 65 \text{ мм}$$

$$d_2 = m_2 d_1 = 50 \text{ мм}$$

При многпереходной вытяжке необходимо найти высоту детали после каждого перехода.

После первой вытяжки:

$$r_{d1} = 3 \text{ мм}; r_{d2} = 3 \text{ мм}$$

$$h_1 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) + 0,43 \frac{r_{d1}}{d_1} (d_1 + 0,32 r_{d1}) = 26 \text{ мм}$$

$$h_2 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 \cdot m_2} - d_2 \right) + 0,43 \frac{r_{d2}}{d_2} (d_2 + 0,32 r_{d1}) = 42,05 \text{ мм.}$$

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ОПАСНОМ СЕЧЕНИИ

Величина напряжения в опасном сечении на первом переходе вытяжки определяется по формуле:

$$\sigma_{\rho_{\max 1}} = \sigma_s \left(\ln \frac{R}{r} + \frac{\mu Q}{\pi R S \sigma_s} + \frac{S}{2r_m + S} \right) (1 + 1,6\mu) = 210,14 \text{ МПа},$$

где σ_s - напряжение текучести;

$R=D/2$ – радиус исходной заготовки;

$r=d/2$ – радиус готовой

μ – коэффициент трения, $\mu=0,1$;

Q – усилие прижима детали;

r_m – радиус скругления кромки матрицы, $r_m=5$ мм;

Прижим применяется для того, чтобы фланец заготовки в процессе вытяжки не потерял устойчивости с образованием волн и складок под действием тангенциальных сжимающих напряжений. Прижим требуется, если:

$$\frac{S}{D} \cdot 100 \leq 4,5(1-m_1) \\ 1,36 \leq 1,44$$

Следовательно, необходимо применение прижима. Необходимую силу прижима находят по формуле:

$$Q = \frac{\pi}{4} (D^2 - (d + 2r_m)^2) \cdot q = 3,14/4 [103,2^2 - (70,165 + 2 \cdot 5)^2] 2,25 = 7460 \text{ Н},$$

где удельное усилие прижима q для стали 08кп составляет 2...2,5 МПа.

Влияние упрочнения на $\sigma_{\rho_{\max}}$ при последующих переходах вытяжки можно учесть, используя линейную аппроксимацию кривой упрочнения: $\sigma_s = \sigma_{\tau_0} + \pi \epsilon_0$

Принимая среднее значение напряжения текучести по очагу деформации, получим:

$$\sigma_{\text{ср}} = \sigma_{\tau_0} + \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{r}{R_3} \right) = 356,29 \text{ МПа}$$

Где σ_{τ_0} - экстраполированный предел текучести, π - модуль упрочнения.

$$\sigma_{\tau_0} = \frac{\sigma_b (1 - 2\varphi_{\text{ш}})}{(1 - \varphi_{\text{ш}})^2} = 281,25 \text{ МПа}$$

$$\pi = \frac{\sigma_b}{(1 - \varphi_{\text{ш}})^2} = 469 \text{ МПа}$$

Так как, $\sigma_{\rho_{\max}} < \sigma_s \rightarrow$ вытяжка 1-го перехода идет.

Выбираем схему процесса последующего перехода вытяжки в матрице с радиусной кромкой.

При деформировании в матрице с радиусной кромкой напряжение в опасном сечении

при последующем переходе определяется по формуле:

$$\sigma_{\rho_{\max}} = \sigma_s \left(\ln \frac{R}{r} + \frac{S}{2R_p} + \frac{S}{2r_m + S} \right) (1 + \mu \cdot \alpha_1) = 248,363 \text{ МПа}$$

где α_1 - угол между осью симметрии и касательной, проведенной в меридиональном сечении и образующей заготовки в точке сопряжения участков свободного изгиба и контактного деформирования.

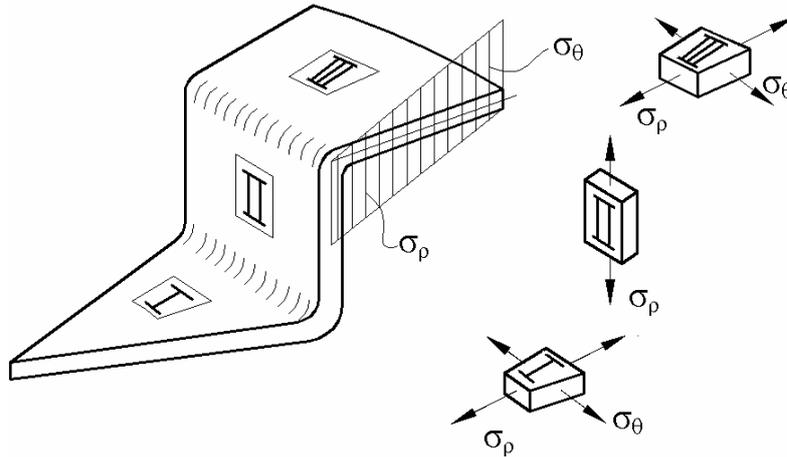
Значение $\sin \alpha_1$ устанавливают по следующей зависимости:

$$\sin(\alpha_1/2) = \frac{\sqrt{RS + 4(2r_m + S)(R - r)} - \sqrt{RS}}{4r_m + 2S} = 0,644 \rightarrow \alpha_1 = 1,4 \text{ рад}$$

$$\sigma_{\text{ср}2} = 402,118 \text{ МПа}$$

$$R_p = \frac{\sqrt{RS}}{\sin \alpha_1} = 7,11 \text{ мм}$$

Схема напряженного состояния представлена на рис.3.



I – фланец, II – вертикальная стенка, III – донная часть

Рис.3

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ И РАБОТЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

В том случае, когда исходный материал является листом и его приходится резать на полосы, сила отрезки будет определяться следующим образом, при обрезке на ножницах с наклонным расположением режущих кромок (гильотинных ножницах):

$$K = 1,1 \dots 1,3$$

Угол наклона верхнего ножа = $2 \dots 5^\circ$, примем $\alpha = 3,5^\circ$

$$P = K \frac{S^2}{2 \operatorname{tg} \alpha} \sigma_{\text{ср}} = 7421,419 \text{ Н} = 7,421 \text{ кН}$$

При вырубке круглых заготовок из ленты, полосы или листа и обрезке фланца усилие деформирования, определяется по формуле:

$$P = K \sigma_{\text{ср}} S L = 210203 \text{ Н} = 210,203 \text{ кН}$$

При вытяжке на первом и последующих переходах вытяжки усилие деформации можно найти по формуле:

$$P = \pi d S \sigma_{\text{рmax}}$$

С учетом усилия прижима полное усилие вытяжки на ползуне прессы:

$$P = \pi d S \sigma_{\text{рmax}} + Q_6$$

$$P_1 = 12310 \text{ Н} = 12,31 \text{ кН}$$

$$P_2 = 16207 \text{ Н} = 16,207 \text{ кН}$$

Работа деформирования при вырубке определяется по формуле:

$$\lambda = 0,6 \dots 0,7$$

$$A = \lambda P S / 1000 = 206 \text{ Дж}$$

Работа деформирования при резке на гильотинных ножницах (с наклонным расположением кромок):

$$A = PL \operatorname{tg} \alpha / 1000 = 29,408 \text{ Дж}$$

Работа деформирования при вытяжке:

Работа на первом переходе:

$$A_1 = \lambda_1 Ph / 1000 = 1098,493 \text{ Дж}$$

Работа на втором переходе:

$$A_2 = \lambda_2 Ph / 1000 = 2432,539 \text{ Дж}$$

7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАЗОРЫ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ ИНСТРУМЕНТА.

Относительный зазор при вырубке между пуансоном и матрицей устанавливают в пределах 3...8% от толщины заготовки.

$$z_{\min} = 0,05 \text{ мм}$$

$$z_{\max} = 0,08 \text{ мм}$$

$$\Delta = 0,25$$

$$\Delta' = 0,8\Delta$$

Диаметр матрицы и диаметр пуансона при вырубке устанавливают по формулам:

$$D_m = (D_{\text{зар}} - \Delta')^{+\delta_M} = 103,054 \text{ мм}$$

$$d_n = (D_{\text{зар}} - \Delta' - 2z_{\min})_{-\delta_n} = 102,954 \text{ мм}$$

При вытяжке на первом переходе односторонний зазор между пуансоном и матрицей устанавливают с учетом утолщения краевой части фланца в процессе деформирования и определяют по формуле:

$$Z \geq S_{\max} = S \sqrt{\frac{R}{r}} = 1,698 \text{ мм}$$

Толщина стенки по высоте неравномерна. Она имеет максимальную толщину S_{\max} на краевой части и минимальную S_{\min} в опасном сечении на переходе от стенки к доньшку.

$$S_{\min} = \frac{S}{\left(\frac{R}{r}\right)^{\frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha}} = 1,326 \text{ мм}$$

Первый переход:

Величина одностороннего зазора при вытяжке:

$$z = s + \delta + a = 1,73 \text{ мм}$$

$$\delta = 0,14; a = 0,19 \text{ мм}$$

Исполнительные размеры матриц и пуансонов при вытяжке назначают, исходя из следующих условий:

Если на чертеже детали, которую необходимо вытянуть, назначен ее наружный диаметр, то диаметр матрицы будет равен наружному диаметру детали с учетом припуска на износ.

В нашем случае зазор берется за счет пуансона.

$$D_{M1} = (d - 0,8\Delta)^{+\delta_M} = 66,8 \text{ мм}$$

$$d_{n1} = (d - 0,8\Delta - 2z)_{-\delta_n} = 63,4 \text{ мм}$$

Второй переход:

Величина одностороннего зазора при вытяжке:

$$z = s + \delta + 2a = 1,92 \text{ мм}$$

$$\delta = 0,14; a = 0,19 \text{ мм}$$

Исполнительные размеры матриц и пуансонов при вытяжке назначают, исходя из

Модели инструментов и заготовки ориентируются в пространстве по осям, задается последовательность их расположения и направление движения пуансона.

Также вводятся технологические параметры процесса:

- коэффициент трения между заготовкой и инструментом – 0,1;
- скорость движения пуансона – 0,3 м/с;
- сила прижима - 7460 Н;

Для задания свойств материала заготовки в программу RAM-STAMP была введена экспериментальная кривая деформирования (рис.6), соответствующая материалу заготовки - стали 08кп.

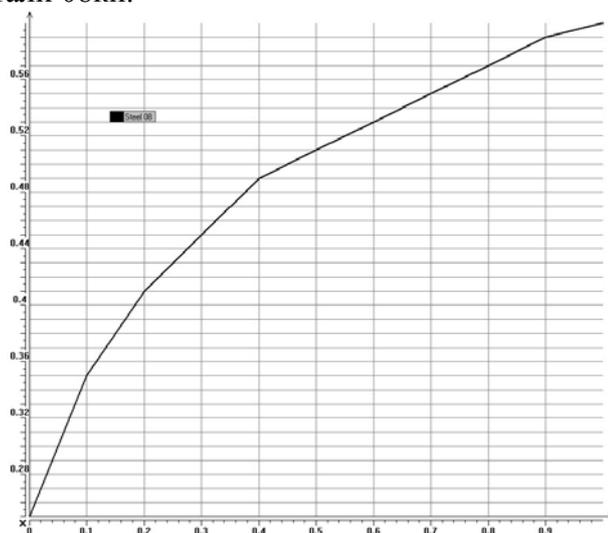


Рис.6

Предварительно смоделированный процесс получения детали вытяжкой за один переход показал, что заготовка рвется при ходе пуансона, приблизительно равным 20 мм (рис.7, 8 и 9), следовательно, необходимо произвести 2 перехода вытяжки, что подтверждается теоретическим расчетом.

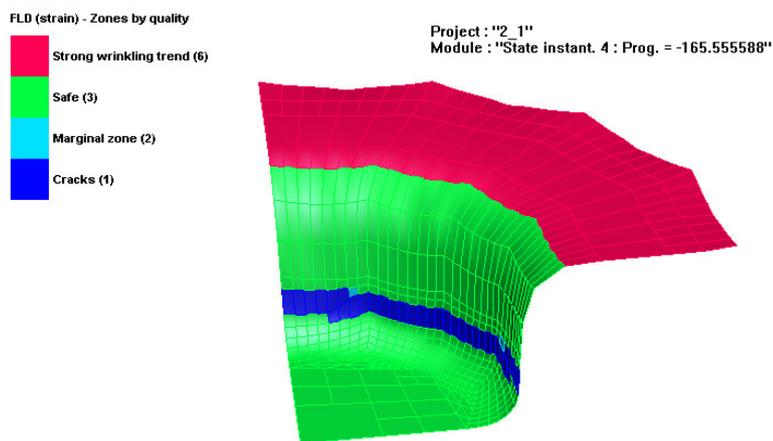


Рис.7

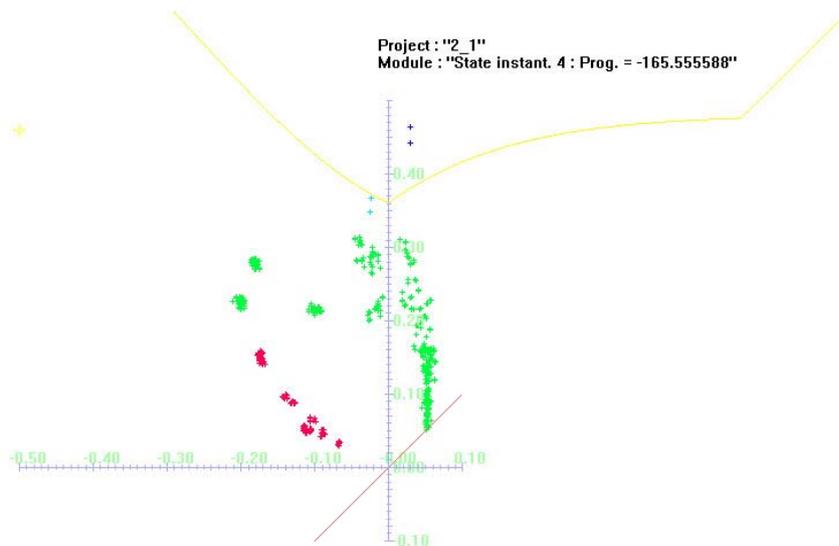


Рис.8

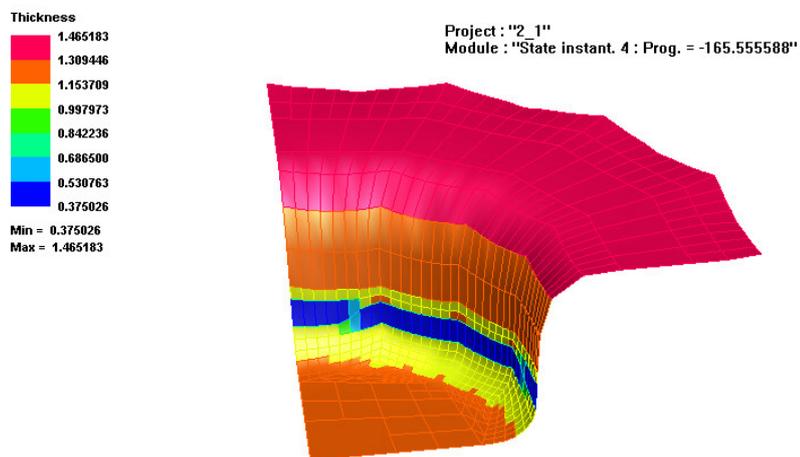


Рис.9

После моделирования первого перехода был проведен анализ получившихся результатов. Были определены значения толщины заготовки в процессе формоизменения, определены величины и распределение полей деформаций, возможные опасные зоны заготовки по критерию предельных деформаций, а также величина силы деформирования (рис.10).

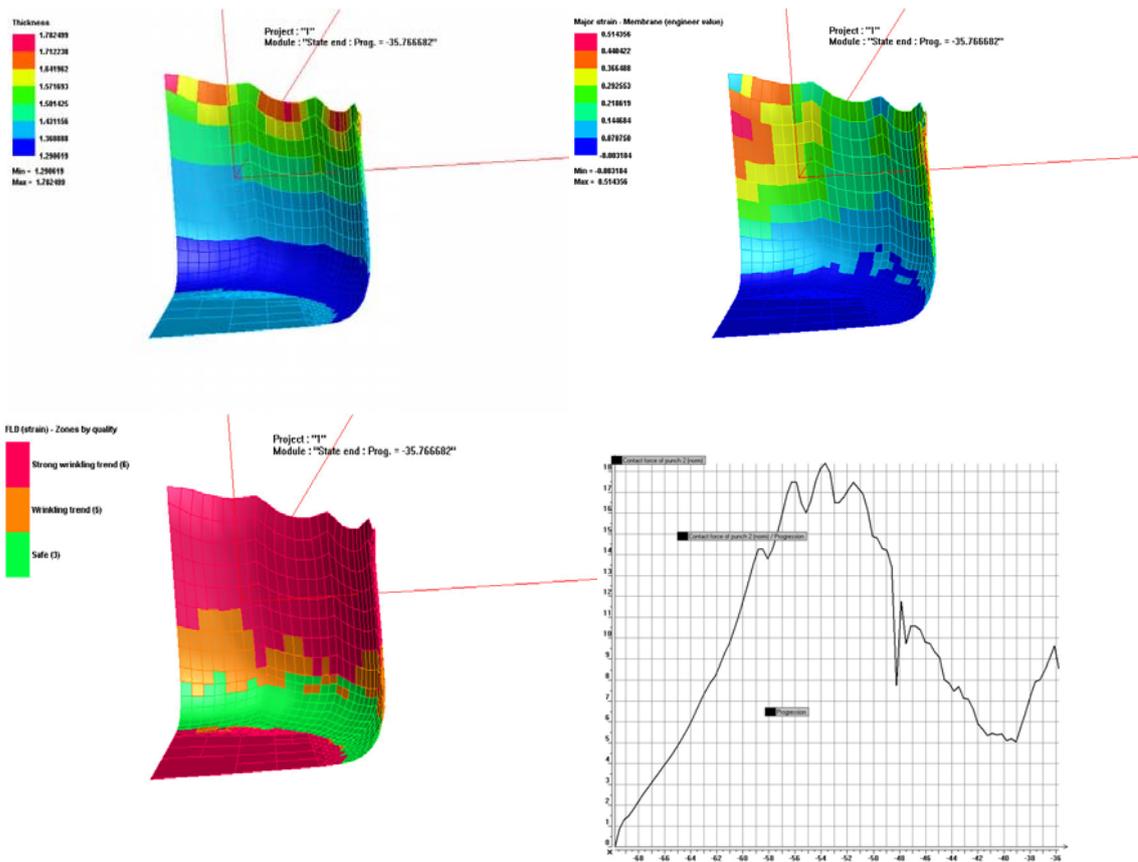


Рис.10

Расчетное значение напряжения в опасной зоне составило 210 МПа, значение напряжения, полученное в программе PAM-STAMP лежит в пределах 218 - 235 МПа.

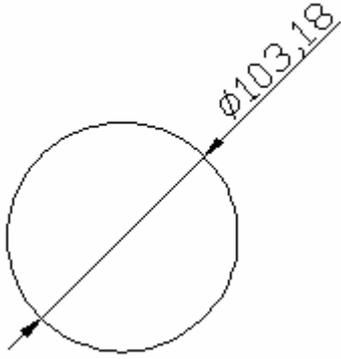
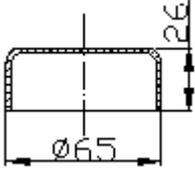
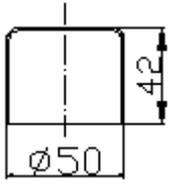
Расчетное значение силы деформирования по ходу вытяжки на первом переходе составило 12 Н, а величина силы деформирования, полученная в программе PAM-STAMP - 17 Н. Разницу в значениях можно объяснить допущениями, принятыми при теоретическом расчете.

Таким образом, можно сделать вывод о сходимости результатов теоретического расчета и моделирования процесса вытяжки в программе PAM-STAMP.

В таблице приложения приведена маршрутная технологическая карта технологического процесса вытяжки детали типа «Стакан».

Список литературы:

1. Попов Е. А., Шубин И. Н. Методическое указание по курсу «Технология и автоматизация листовой штамповки» - 1989.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение. 1979. – 520с.
3. PAM-STAMP. User's Guide. - 2005.

Маршрутная технологическая карта				
№ п/п	Наименование операции	Эскиз заготовки	Инструмент	Оборудование
1	Вырубка		Штамп для вырубки	Пресс КД2124
2	Вытяжка (1-й переход)		Штамп для вытяжки	Пресс КД2126
3	Вытяжка (2-й переход)		Штамп для вытяжки	Пресс КД2126