

РАЗДЕЛ V ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.7

СПОСОБ ПЕРЕВОДА КОМПОНЕНТОВ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ В LS-DYNA

© 2021 Попов И.П., Николенко К.А., Никонов Д.А.

Самарский университет, г.Самара, Россия

В данной работе рассмотрен способ перевода компонентов напряжения из декартовой в цилиндрическую систему координат на примере обработки результатов моделирования процесса вытяжки в штампе с усеченным коническим прижимом с использованием информационных технологий. Рассмотрено напряженное состояние для вытяжки заготовки из бронзового сплава БрХ08. По результатам моделирования представлены эпюры нормальных и касательных напряжений в направлении осей декартовой системы координат, а также показаны графики распределения тангенциальных напряжений на кромке заготовки, построенные на основании преобразования данных при моделировании. Исследование проводилось с целью упрощения предварительной оценки штампуемости детали с заданными параметрами. Результаты были получены при помощи компьютерного моделирования в программном комплексе LS-DYNA.

Ключевые слова: штамп с коническим прижимом, напряженно-деформированное состояние, тангенциальные напряжения, метод конечных элементов.

В условиях современного производства большое внимание уделяется применению специализированных программных продуктов при разработке технологических процессов [5-10]. Это особенно актуально при внедрении малоизученных способов обработки металлов давлением [2, 4]. На начальном этапе проектирования необходимо с достаточной точностью прогнозировать поведение заготовки из данного материала, определить величину и характер возникающих напряжений и деформаций в процессе формообразования. Однако зачастую возможности программного продукта не обладают необходимым функционалом для удобного представления полученных результатов моделирования. Так, например, в САЕ-системе LS-DYNA значения напряжений и деформаций возможно представить только в декартовой системе координат. Это, в свою очередь, усложняет исследование способов получения осесимметричных деталей ввиду того, что в литературе подобные случаи описаны в цилиндрической системе координат. Таким образом, в этой форме представлены необходимые выражения и критерии, которые могут дать оценку возможности получения детали.

Следовательно, возникает необходимость представления результатов моделирования в удобной для исследователя общепринятой форме. В данной работе на примере вытяжки в штампе с усеченным коническим прижимом показан способ преобразования компонентов напряжения из декартовой системы координат в цилиндрическую.

Описание процесса вытяжки в штампе с усеченным коническим прижимом представлено в полезной модели №852407 под авторством Попова И.П. и Чистякова В.П. [3]. Схема процесса представлена на рисунке 1. Штамп должен включать в себя пуансон 1, матрицу с конической и цилиндрической рабочими частями 2 и прижим 3 в виде усеченного конуса, меньший диаметр которого превышает диаметр цилиндрической части матрицы.

Рассмотрим постановку задачи в программном комплексе LS-DYNA.

Для моделирования процесса вытяжки в штампе с усеченным коническим прижимом был использован программный продукт LS-DYNA. Постановка задачи и представление результатов моделирования проводились в Ls-PrePost.

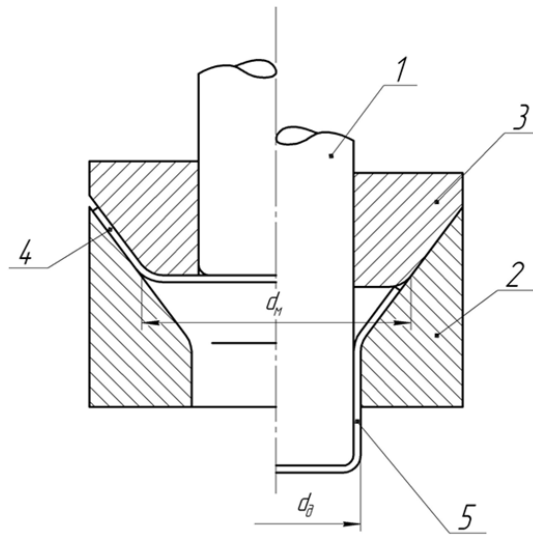


Рисунок 1 - Схема глубокой вытяжки в штампе с усеченным коническим прижимом и активными силами трения: 1- пуансон, 2- матрица с конической и цилиндрической рабочими поверхностями, 3 – прижим в виде усеченного конуса, 4 - коническая чашка, 5 -деталь

Был смоделирован процесс вытяжки в штампе с усеченным коническим прижимом. Геометрия заготовки и рабочих поверхностей штампа была создана в программном комплексе Unigraphics NX. Эскиз рабочих частей оснастки с основными размерами и трехмерная модель оснастки представлены на рисунке 2. Толщина заготовки составляет $S=8$ мм, диаметр 800 мм, материал БрХ08. Для расчета достаточно построить четверть геометрии, ограниченную двумя плоскостями симметрии, с дальнейшим наложением граничных условий по крайним сечениям заготовки.

Далее полученная геометрия аппроксимировалась сеткой конечных элементов, необходимые параметры задавались соответствующими картами в Ls-Prepost. Свойства материала заготовки задаются аппроксимированной кривой упрочнения бронзового сплава БрХ08 (модель материала Transverse Anisotropic и Mat Rigid). При этом были определены типы элементов (Thin Shell 163 и Solid 164, кинематические нагрузки (перемещение пуансона и прижима), условия контакта (Surface to Surface Automatic). Основные параметры процесса представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные параметры процесса вытяжки в штампе с усеченным коническим прижимом

Диаметр заготовки	Толщина заготовки	Материал заготовки	Плотность, кг/м ³	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Предел текучести, МПа	Тангенциальный модуль, МПа	Коэффициент трения
800 мм	8 мм	БрХ08	8920	$1,31 \times 10^5$	0,35	103	303	0,1

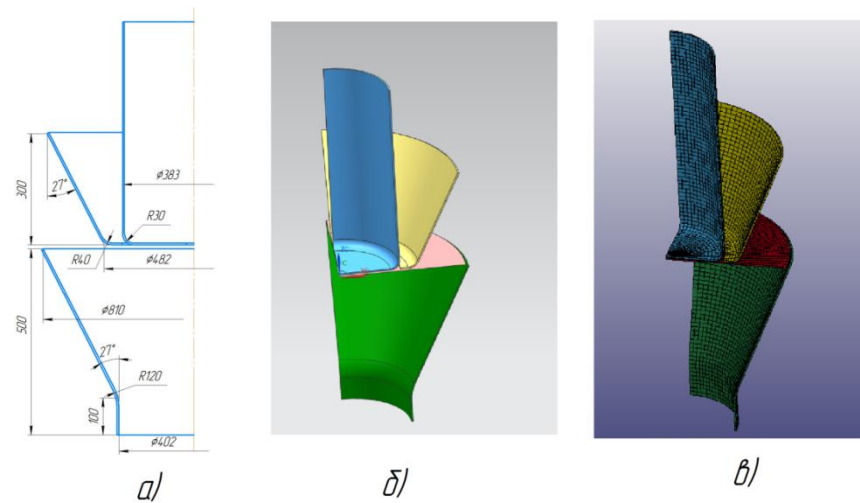


Рисунок 2 - Эскиз рабочих частей оснастки (а), трехмерная модель геометрии оснастки (б), аппроксимация геометрии сеткой конечных элементов в LS-DYNA (в)

В результате моделирования были получены эпюры нормальных и касательных напряжений в направлении осей декартовой системы координат, которые представлены на рисунке 3. В дальнейшем из полу-

ченных расчетов извлекались числовые значения указанных напряжений в интересующих конечных элементах заготовки, которые использовались в дальнейших расчетах.

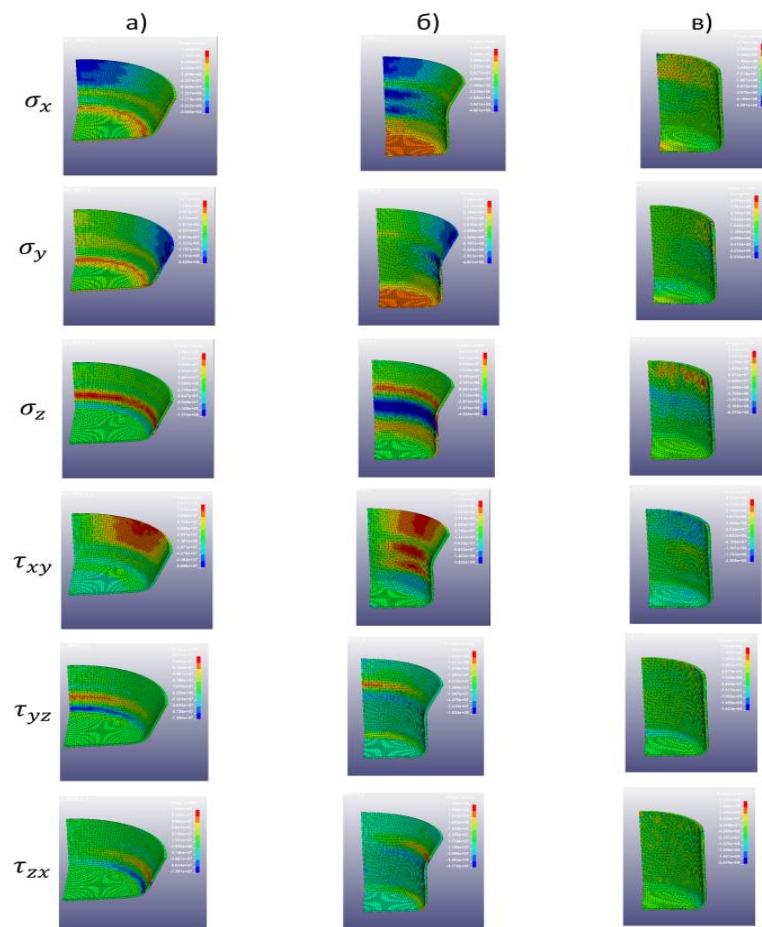
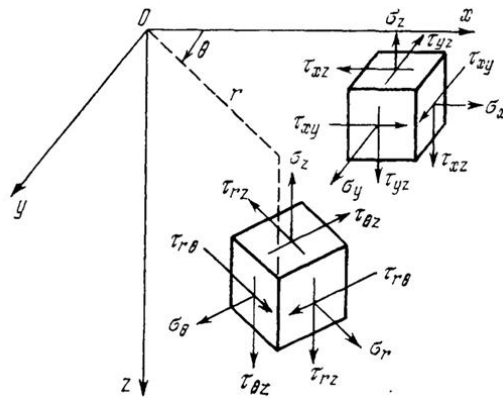


Рисунок 3 - Эпюры нормальных и касательных напряжений в декартовой системе координат на основных стадиях формообразования детали: а) формирование конической чашки; б) стаканчик с коническим фланцем; в) получение цилиндрического стаканчика

Рассмотрим далее способ перевода компонентов напряжений из декартовой в цилиндрическую систему координат.

Для дальнейшей обработки данных необходимо получить числовые значения напряжений, возникшие в конечных элемен-

тах заготовки в процессе формообразования. Эти значения необходимо перевести в цилиндрическую систему координат, для этого были использованы схема и формулы, показанные на рисунке 4 [1].

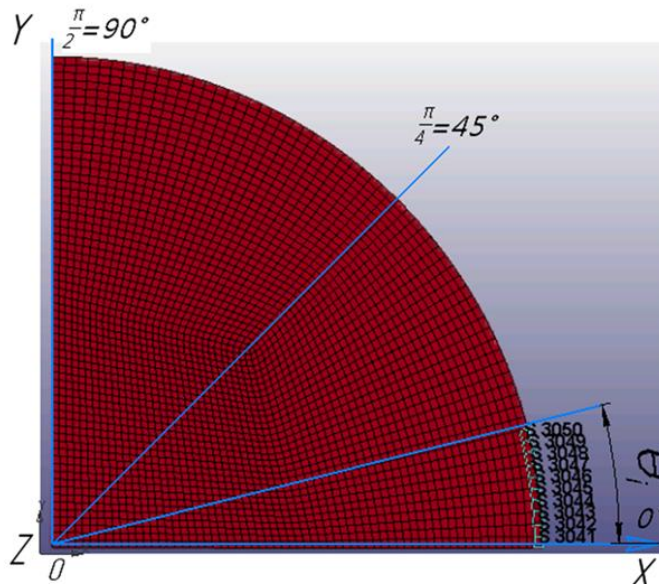


$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta + 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta, \\ \sigma_\theta &= \sigma_x \sin^2 \theta + \sigma_y \cos^2 \theta - 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta, \\ \tau_{r\theta} &= (\sigma_y - \sigma_x) \sin \theta \cos \theta + \tau_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta), \\ \tau_{rz} &= \tau_{xz} \cos \theta + \tau_{yz} \sin \theta, \\ \tau_{\theta z} &= -\tau_{xz} \sin \theta + \tau_{yz} \cos \theta, \quad \sigma_z = \sigma_z. \end{aligned} \right\}$$

Рисунок 4 - Формулы перевода напряжений из декартовой СК в цилиндрическую СК

Так, например, последовательно выбираются элементы на кромке заготовки, извлекаются числовые значения в таблицы Microsoft Excel и пересчитываются согласно формулам. Судя по системе уравнений, показанной на рисунке 4, необходимо также знать угол θ между радиус вектором и осью Ох. Этот угол можно легко посчитать,

разбив четверть заготовки на количество элементов, находящихся на кромке. Вся четверть заготовки составляет угол в 90° , поделив это число на количество элементов на кромке, получим значение угла θ для каждого элемента (рис. 5).



Нахождение угла θ для i -ого элемента:

$$\theta_i = \frac{\pi \cdot n_i}{2N};$$

n_i – номер элемента;

N – общее число элементов на кромке;

$\frac{\pi}{2}$ – угол сектора.

Рисунок 5 - Определение угла θ для элементов, находящихся на кромке заготовки

После преобразования полученных данных в цилиндрическую систему координат были построены графики распределения тангенциальных и радиальных напряжений

на кромке заготовки. Были рассмотрены стадия формообразования конической чашки и стадия, при которой формируется цилиндрическая часть детали. По этим графиче-

кам в дальнейшем можно осуществить более детальный анализ напряженного состояния полуфабриката, охарактеризовать данную модель с точки зрения потери устойчивости, разрушения, рассмотреть интересные сечения и определить влияние

параметров процесса на напряженное состояние. Графики распределения касательных напряжений на кромке заготовки показаны на рисунке 6.

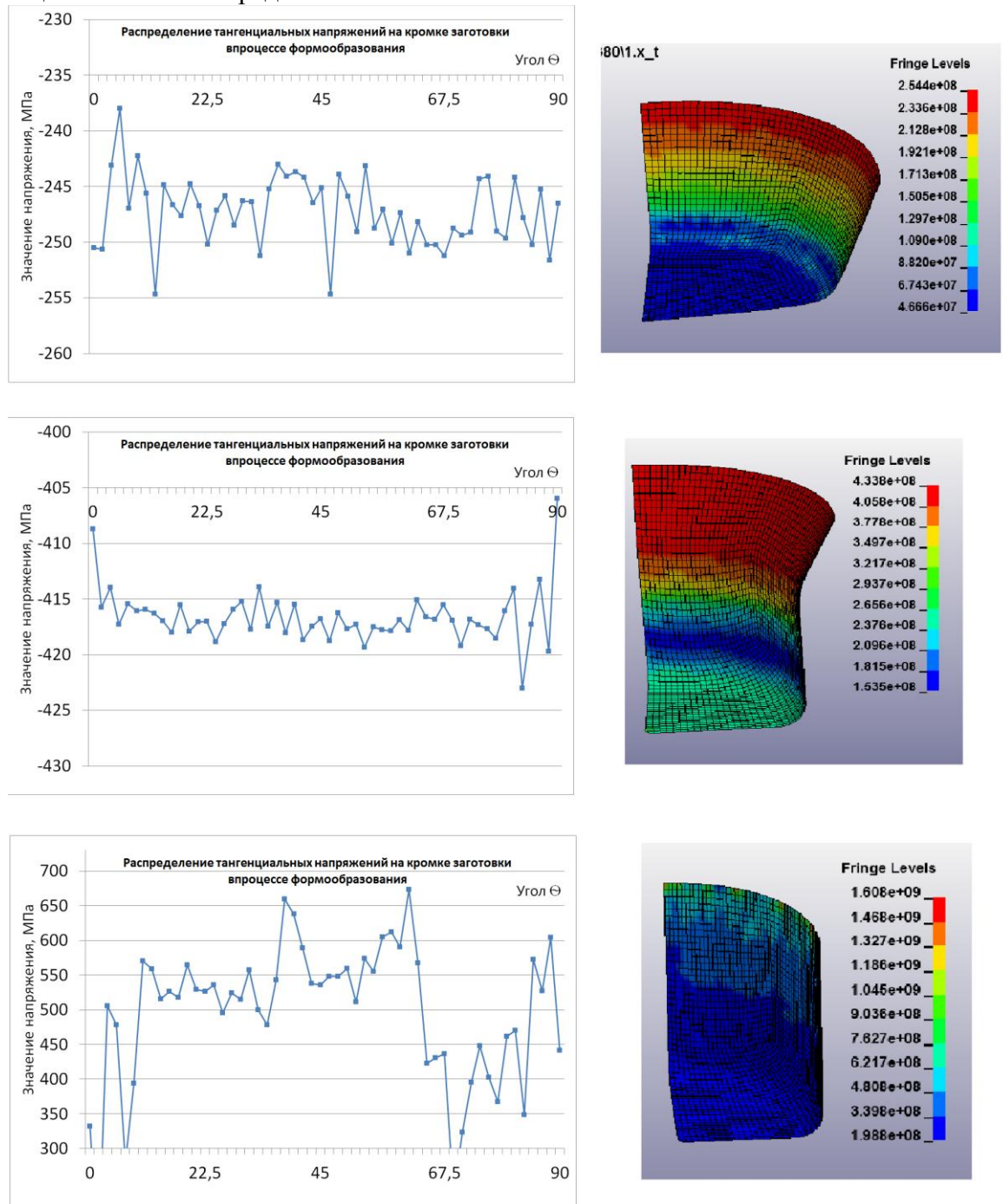


Рисунок 6 –Распределение тангенциальных напряжений на кромке заготовки на основных стадиях формообразования детали при вытяжке в штампе с усеченным коническим прижимом

По полученным графикам можно сказать, что тангенциальные напряжения на протяжении почти всего процесса формообразования имеют сжимающий характер, что связано с действием конической поверхности матрицы. Максимальное значение сжимающих тангенциальных напряжений на кромке достигают порядка 420 МПа. После выхода кромки заготовки в цилиндрическую часть матрицы, где имеется достаточный зазор до поверхности детали, напряжения приобретают растягивающий характер, так как на деталь уже не действует оснастка, таким образом, растягивающие тангенциальные напряжения в среднем имеют значение около 600 МПа. Данным способом возможно определить интересные компоненты напряжений любых элемен-

тов заготовки в процессе формообразования. В заключении можно сказать следующее.

1. В данном исследовании было проведено компьютерное моделирование процесса вытяжки в штампе с усеченным коническим прижимом.
2. Были получены эпюры напряжений в направлении осей декартовой системы координат.
3. Показан способ перевода компонентов напряжений из декартовой в цилиндрическую систему координат согласно формулам.
4. Выявлено распределение тангенциальных напряжений на кромке заготовки в процессе формообразования на ключевых стадиях процесса, максимальные сжимающие напряжения достигали 400 МПа, максимальные растягивающие напряжения достигали 600 МПа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. - М.: Наука, 1977. - 416 с.
2. Маслов В.Д., Николенко К.А., Моделирование процессов листовой штамповки в программном комплексе ANSYS/LS-DYNA. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. - 80 с.
3. Попов И.П., Чистяков В.П. Штамп для вытяжки полых деталей: Пат. №852407 (СССР), 07.08.81.
4. Хаймович И.Н., Хаймович А.И. Проектирование и реализация системы автоматизированного проектирования штамповки компрессорных лопаток из титановых сплавов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. - 2015. - № 2. - С. 37-43.
5. Хаймович И.Н., Дровяников В.И. Особенности интеграции экономико-математического инструментария в информационную систему управления вуза // Вестник Самарского государственного экономического университета. - 2010. - № 12 (74). - С. 17-20.
6. Хаймович И.Н., Дровяников В.И. Моделирование конкурентного взаимодействия вузов на рынке образовательных услуг // Вестник Самарского государственного экономического университета. - 2010. - № 1 (63). - С. 23-27.
7. Хаймович И.Н., Дровяников В.И. Методика и инструментарий мониторинга требований рынка труда к квалификации специалиста в формате компетентностной модели // Вестник Самарского государственного экономического университета. - 2012. - № 5 (91). - С. 38-41.
8. Хаймович И.Н., Рамзаев В.М., Чумак П.В. Модели и методы сбалансированного управления предприятиями в сфере ЖКХ с учетом энергомодернизаций // Научное обозрение. - 2012. - № 2. - С. 409-417.
9. Хаймович И.Н., Дровяников В.И., Чумак В.Г. Математический аппарат для выбора стратегии вуза в конкурентной среде // Научное обозрение. - 2012. - № 4. - С. 388-392.
10. Хаймович И.Н. Автоматизация проектирования объектов заготовительно-штамповочного производства компрессорных лопаток авиационных двигателей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. - 2014. - № 2. - С. 44-48.

**METHOD FOR CONVERSION OF VOLTAGE COMPONENTS FROM DECARTIC TO
CYLINDRICAL COORDINATE SYSTEM DURING PROCESSING OF EXTRACTION
PROCESS SIMULATION RESULTS OBTAINED IN LS-DYNA
SOFTWARE COMPLEX**

© 2021 Igor P. Popov, Konstantin A. Nikolenko, Dmitry A. Nikonov

Samara National Research University named after S.P. Korolev, Samara, Russia

In this paper, a method for converting stress components from a Cartesian to a cylindrical coordinate system is considered by the example of processing the results of modeling the drawing process in a stamp with a truncated conical clamp. The article considers the stress state for drawing a billet from a bronze alloy. Based on the simulation results, the authors present diagrams of normal and tangential stresses in the direction of the axes of the Cartesian coordinate system, as well as graphs of the distribution of tangential stresses at the edge of the workpiece, constructed on the basis of data transformation during simulation. The study was carried out in order to simplify the preliminary assessment of the stamping of the part with the given parameters. The results were obtained using computer simulation in the LS-DYNA software package.

Keywords: stamp with conical clamp, stress-strain state, tangential stresses, finite element method.