

Н.А. ДЕМИНА, О.П. НАЗАРОВА, канд. техн. наук, Таврическая государственная агротехническая академия, г. Мелитополь,
А.Д. ЧЕПУРНОЙ, докт. техн. наук, Головной специализированный конструкторско-технологический институт, г. Мариуполь,
Я.Н. БАРАНИКОВ, КП “Харьковское конструкторское бюро по машиностроению им. А.А.Морозова”

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Для моделирования операции пробивания листа в штампе створена спеціалізована система скінченно-елементного аналізу. На основі поєднання спеціалізованих програмних модулів, системи ANSYS, LS DYNA та параметричних моделей матриці, пуансона та заготовки створено програмно-модельний комплекс для вивчення процесу штамповки.

The specialized system of finite-element analysis is created for the modeling of operation of sheet punching in stamp. On the basis of combination of the specialized program modules, ANSYS and LS DYNA-systems and parametrical models of matrix, puncheon and billet the program and model complex is created for study of stamping process.

Введение. До настоящего времени исследование стойкости штамповой оснастки и качества штампуемых деталей производилось либо на основе экспериментальных данных, либо на основе расчетных исследований с применением существенных упрощающих предположений [1-7]. В связи с этим возникает актуальная и важная задача создания средств моделирования процесса холоднолистовой штамповки в как можно более общей постановке с как можно меньшим количеством допущений и ограничений.

Постановка задачи. Рассмотрим вырезной штамп (рис. 1). В отличие от классической технологии формирования расчетных схем (табл. 1, 2 и рис. 2, 3) и методик расчетов напряженно-деформированного состояния элементов технологической системы холоднолистовой штамповки [1] требуется совместное рассмотрение элементов штампа и заготовки для более адекватного описания их поведения при осуществлении этой технологической операции.

Возникающая задача моделирования процесса разделительных операций имеет следующие основные принципиальные трудности теоретического, алгоритмического и программного характера:

- необходимость учета геометрической нелинейности, обусловленной большими перемещениями исследуемых объектов;
- нелинейность, создаваемая контактным взаимодействием в системе пуансон – листовая материал – матрица;
- нелинейность, возникающая при моделировании упруго-пластического поведения материала заготовки;

- необходимость учета процесса разделения материала с привлечением средств и критериев механики разрушения;
- синтез целого класса численных моделей матриц, заготовки, пуансонов с различными свойствами материала, формой и размерами.

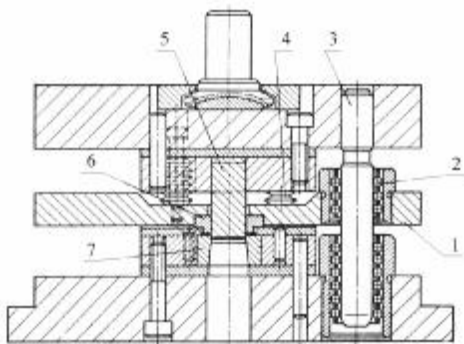
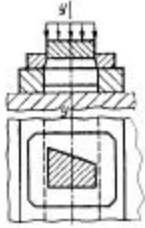
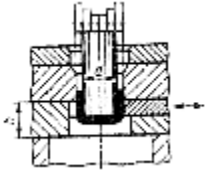
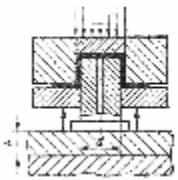
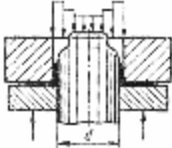
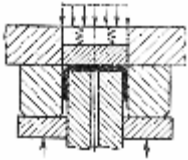

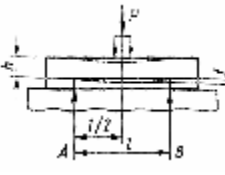
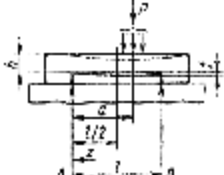
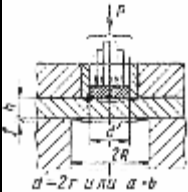
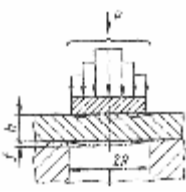


Рис. 1. Вырезной штамп с пружинным съемником:
 1 – подпружиненный съемник; 2 – шариковые направляющие; 3 – колонки;
 4 – пружины; 5 – пуансон; 6 – втулка; 7 - матрица

Таблица 1

Схемы нагружения нижних плит в зависимости от формы рабочего контура, характера нагружения и конструкции опоры

№№ пп.	Схема нагружения	№№ пп.	Схема нагружения
1. При сплошной нижней плите без провального отверстия в подштамповой плите возможна любая разделительная операция		2. Вырезаемый контур больше отверстия в подштамповой плите	
3. Диаметр режущего контура меньше диаметра отверстия в подштамповой плите		4. Наибольший размер режущего контура меньше диаметра провального отверстия в подштамповой плите	

№№ пп.	Схема нагружения	№№ пп.	Схема нагружения
5. Вырезанная деталь или отходы удаляются из штампа через выгребной паз нижней плиты		6. Вытяжка или протяжка цилиндрического колышка через провальное отверстие в подштамповой плите	
7. Вытяжка цилиндрической детали с фланцем без правки		8. Разбортовка цилиндрической детали без правки фланца	
9. Вытяжка некруглой коробки без правки она		10. Штамповка с правой детали (независимо от характера технологической операции) по всей ширине сквозной ниши нижней плиты	
11. Штамповка с правой сосредоточенной в середине плиты, имеющей сквозную нишу		12. Штамповка с правой сосредоточенной не по оси плиты, имеющей сквозную нишу	
13. Гладкая плита, установленная над круглым отверстием, нагружена равномерно распределенной силой на участке, ограниченном площадью $\pi d^2/4$	 <p>$d - 2r$ или $a \cdot b$</p>	14. Гладкая плита, установленная над круглым отверстием, нагружена равномерно распределенной силой по всей площади $\pi d^2/4$	

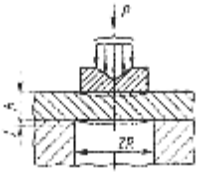
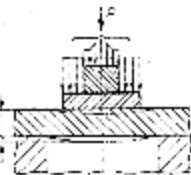
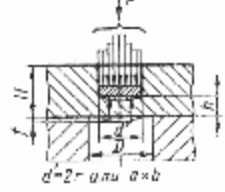
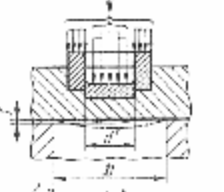
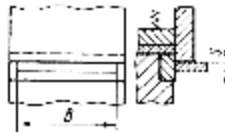




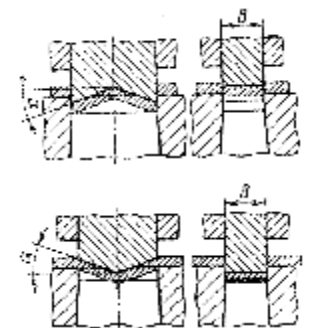

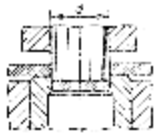


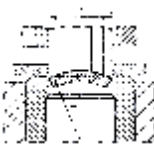

<p>№№ пп.</p> <p>15. Разновидность схемы 13 с рабочим участком, ограни- ченным площадью $\pi d_{прив}^2 / 4$, где $d_{прив}^2 = \frac{L}{\pi}$, L – периметр рабочего контура</p>	<p>Схема нагрузки</p> 	<p>№№ пп.</p> <p>16. Разновидность схемы 14</p>	<p>Схема нагрузки</p> 
<p>17.</p> 	<p>Плита с круглым глухим отверстием, нагруженная равномерно распределенной силой до “жесткого” удара при сквозном отверстии в плите прессы</p>	<p>18.</p> 	

Таблица 2

Формулы для расчета усилия резания в зависимости
от формы инструмента

№№ пп.	Схема процесса	Форма инструмента	Максимальное усилие резания P , H
Односторонняя резка прямолинейными ножами			
1.		С параллельными режущими кромками	$1,25BS\sigma_{cp}$
2.		С одинарным скосом (при $\alpha > 0$)	$0,625 \frac{S^2}{tg\alpha} \sigma_{cp}$

№№ пп.	Схема процесса	Форма инструмента	Максимальное усилие резания P , H
3.		<p>Со двоянными симметрично расположенным и скосами (при $\alpha > 0$)</p>	$1,25 \frac{S^2}{\operatorname{tg} \alpha} \sigma_{cp}$
<p>Двусторонняя резка (разрезка) материала прямолинейными инструментами</p>			
4.		<p>С одинарным скосом (при $\alpha > 0$)</p>	$1,25 \frac{S^2}{\operatorname{tg} \alpha} \sigma_{cp}$
5.		<p>Со двоянными симметрично расположенными скосами (при $\alpha > 0$)</p>	$2,5 \frac{S^2}{\operatorname{tg} \alpha} \sigma_{cp}$
<p>Вырезка и пробивка прямоугольного контура</p>			
6.		<p>С одинарным скосом (при $\alpha > 0$)</p>	$1,25 \sigma_{cp} S \left(B + \frac{S}{\operatorname{tg} \alpha} \right)$
7.		<p>Со двоянными симметрично расположенными скосами (при $\alpha > 0$)</p>	$2,5 \sigma_{cp} S \left(B + \frac{S}{\operatorname{tg} \alpha} \right)$

№№ пп.	Схема процесса	Форма инструмента	Максимальное усилие резания P, H
8.		<i>Многоволновая матрица (или пуансон)</i>	$1,25n \frac{S^2}{\operatorname{tg}\alpha} \sigma_{cp}$
Вырезка и пробивка круглого контура			
9.		<i>С параллельными режущими кромками</i>	$1,25\pi d S \sigma_{cp}$
10.		<i>С одинарным скосом</i>	$1,2(1+0,02\alpha)^2 d S \times \sigma_{cp} \arccos \frac{H-2h_y}{H}$
11.		<i>Со двоянными симметрично расположенными скосами</i>	$2,4(1+0,02\alpha) d S \times \sigma_{cp} \arccos \frac{H-2h_y}{H}$ или $2(1+0,02\alpha) \times \frac{d S \sigma_{cp} h_y}{H \sqrt{1 - \left(\frac{H-0,2h_y}{H}\right)^2}}$
12.		<i>С вогнутой рабочей частью пуансона по радиусу R</i>	$2,4(1+0,02\alpha) d S \sigma_{cp} \times \arccos \frac{\sqrt{R^2 - (R-h_y)^2}}{0,5 d}$
13.		<i>С вогнутой рабочей частью матрицы по радиусу R</i>	$2,4(1+0,02\alpha) d S \sigma_{cp} \times \arccos \frac{\sqrt{R^2 - (R-h_y)^2}}{0,5 d}$

При наличии прижима (прижимов) в штампе (в виде упругих

элементов) потребное усилие увеличивается на величину усилия упругого элемента (элементов). Принятые в табл. 2 обозначения: α – угол наклона скоса; H – величина скоса; h_y – глубина вдавливания инструмента в материал [1].

Для решения задачи требуется, кроме учета указанных выше факторов, еще и объединение всех моделей в едином расчетно-модельном комплексе (РМК).

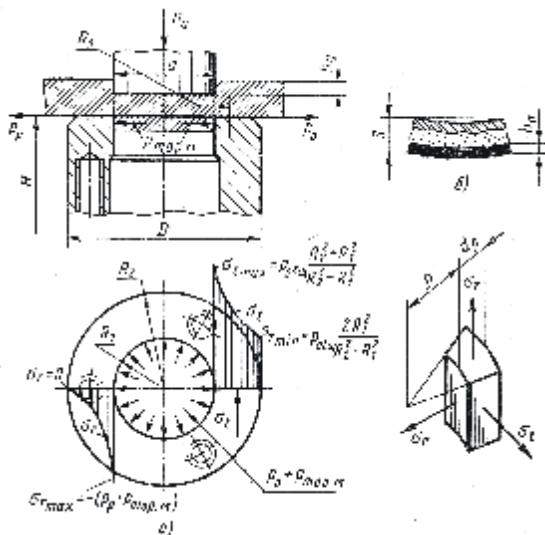


Рис. 2. К расчету круглых (кольцевых) небандажированных матриц

Методика решения. Для решения возникающей сложной задачи предложено привлечь обобщенный параметрический подход [4, 5], а в качестве расчетного инструмента – программный продукт LS-DYNA. Специализированные программные модули реализованы в среде языка Delphi и с помощью языка APDL в среде пакета ANSYS. Рассмотрим тестовую модель (рис. 4). В качестве варьируемых параметров выступают:

- диаметр пробиваемого отверстия;
- технологический зазор между режущими кромками пуансона и матрицы;
- толщина штампуемого материала;
- высоты пуансона и матрицы;
- внешний диаметр матрицы;
- конструктивное исполнение матрицы, пуансона и прижима;
- свойства материала, из которого изготовлены матрица, пуансон и прижим, а также материал заготовки;

- размеры конечно-элементной сетки;
- типы используемых в расчетах конечных элементов и т.д.

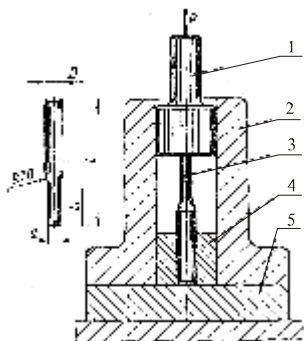


Рис. 3. Схема испытания пуансонов на сжатие:

- 1 – штырь; 2 – корпус; 3 – пуансон;
4 – держава; 5 – опорная плита

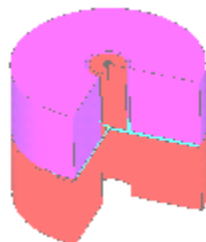


Рис. 4. Система взаимодействующих тел пуансон – заготовка – прижим – матрица

С использованием разработанного программно-модельного комплекса (ПМК) можно решать следующие типы задач:

- анализ технологической операции с точки зрения зависимости распределений компонент напряженно-деформированного состояния элементов исследуемой системы от технологического параметра – хода ползуна прессы;

- параметрический анализ зависимости характеристик напряженно-деформированного состояния элементов штамповой оснастки (ЭШО) от конструктивных, технологических, физико-механических параметров взаимодействующих тел;

- синтез в обобщенном параметрическом пространстве оптимальных параметров ЭШО, типов операций и технологических режимов.

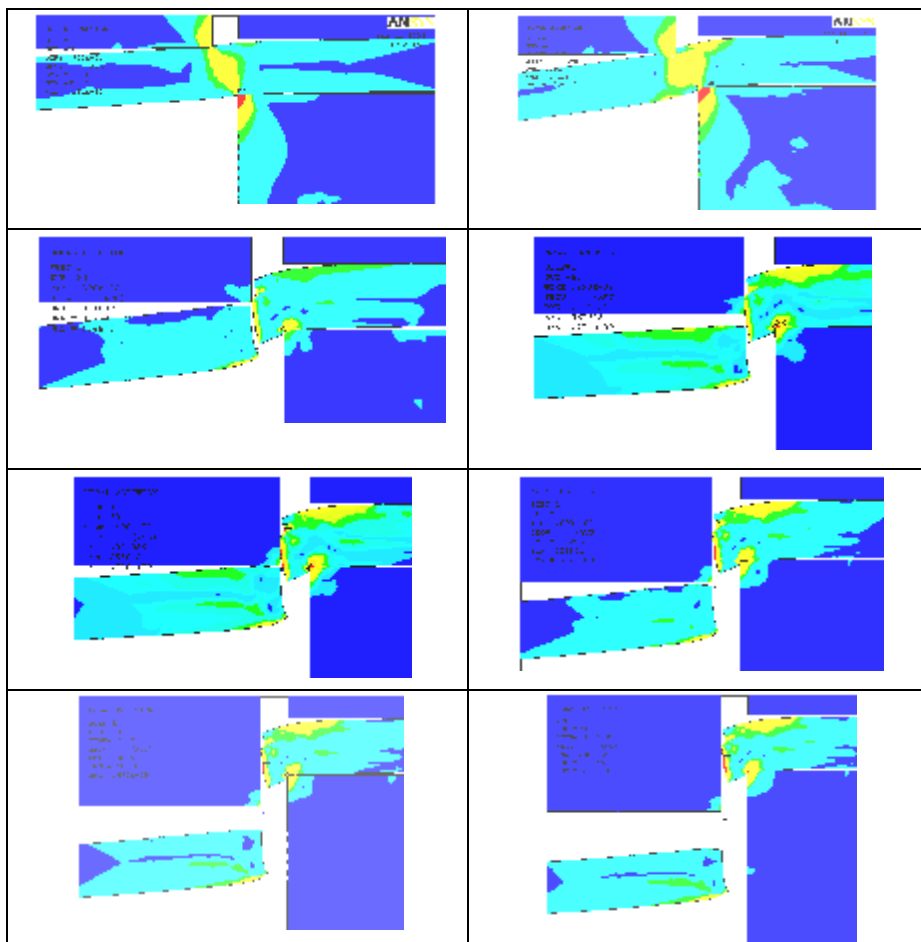
Результаты решения тестовой задачи. Работоспособность созданного программно-модельного комплекса исследовалась на примере исследования системы со следующими параметрами: технологический зазор – 0,5 мм, диаметр пуансона – 0,05 м, толщина листа – 1 мм. Скорость штамповки – 2 м/с, материал листа – Ст 10 кп. Свойства материалов:

Параметры	Лист	Пуансон	Матрица
Предел пропорциональности, МПа	210	750	340
Предел прочности, МПа	420	950	580
Модуль упругости, ГПа	198	223	214
Предел пластической деформации продольного образца, %	25	15	20
Предел пластической деформации поперечного образца, %	50	35	45

Поля напряжений на деформированной геометрии элементов технологической системы листовой штамповки при увеличении хода ползуна показаны в табл. 3, на рис. 5 приведена схема кривой деформирования материала заготовки, а на рис. 6 – зависимость усилия штамповки от глубины внедрения пуансона.

Таблица 3

Стадии внедрения пуансона в штампуемый материал



Заключение. Разработанный специализированный программно-модельный комплекс продемонстрировал работоспособность и возможность получения полной информации о текущем состоянии всех

взаимодействующих тел в технологической системе “режущий инструмент штампа – заготовка”. Четко видны стадии внедрения пуансона и матрицы в материал, пластическое деформирование заготовки, ее разрушение, локализация зон максимальных напряжений.

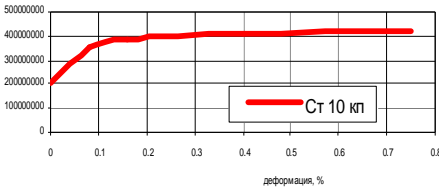


Рис. 5. Кривая деформирования материала заготовки



Рис. 6. Зависимость усилия штамповки от глубины внедрения пуансона

Характер распределения усилия штамповки, полученного расчетным путем, близок к предсказываемому по данным экспериментов [1-4, 6] закону. Кроме того, появляется возможность оценки качества поверхности раздела материала и остаточной деформации отштампованной детали, а также контактных давлений на инструмент.

Таким образом, создан “виртуальный стенд” для моделирования процесса штамповки с регистрацией всех промежуточных и конечного состояния взаимодействующих тел. Это дает возможность проводить многовариантные исследования процесса холоднолистовой штамповки и решать в будущем возникающие задачи параметрического анализа и синтеза.

Список литературы. 1. Скворцов Г.Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1972. – 360 с. 2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке.- Я.: Машиностроение, 1979. – 520 с. 3. Львов Г.И., Ткачук Н.А. Моделирование и анализ элементов технологических систем листовой штамповки // Механiка та машинобудування. – 1997.– №1. – С.34-39. 4. Заярненко Е.И., Ткачук А.В., Ткачук Н.А. Исследование напряженного состояния вырубных пуансонов УСПШ // В сб.: Прогрессивная технология, переналаживаемая оснастка и инструмент. Материалы отраслевого научно-технического семинара.- Харьков, 1985, С.95-103. 5. Елистратов В.И. Исследование нормальных напряжений по торцу твердосплавных пуансонов при вырубке-пробивке // Кузнечно-штамповочное производство, 1973. – № 8. – С.21-24. 6. Артюхов В.П., Савченко В.И. Исследования распределения напряжений в рабочих элементах вырубных штампов методом фотоупругости. // Кузнечно-штамповочное производство, 1970. – № 11. – С.24-27. 7. Ткачук Н.А., Орлов Е.А., Головченко В.И., Гоголь Н.А. Экспресс-модели и экспресс-системы для оперативного решения задач анализа и синтеза элементов сложных механических систем // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск: “Машинознавство та САПР”. Збірник наукових праць НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005.– № 53. – С.116-137.

Поступила в редколлегию 22.12.2005