

Н.А. ДЕМИНА, Таврийская государственная агротехническая академия, г. Мелитополь, **А.В. ТКАЧУК**, канд. техн. наук, НТУ „ХПИ”,
М. М. ПЕКЛИЧ, ОАО „Головной специализированный конструкторско-технологический институт”, г. Мариуполь,
В.В. ПОДОБЕДОВ, канд. техн. наук, ГП “Завод им. Малышева”

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ВЫСОТЫ МАТРИЦЫ ШТАМПА ДЛЯ ВЫРУБКИ-ПРОБИВКИ НА ЕЕ ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

Розглянуто частинне питання балансу переміщень в зоні розділення листового матеріалу. Визначено залежність радіальних та осевих переміщень кромки від висоти матриці.

The partial question of movings balance is considered in the area of division of sheet material. The dependence of radial and axial movings of edge from the height of matrix is determined.

Введение. При моделировании процесса листовой штамповки актуальным вопросом является исследование баланса перемещений в области режущих кромок. Учитывая, что в процессе деформирования кромок режущего инструмента происходит изменение номинального зазора, то соответственно и меняются условия разделения материала. В работах [1-7] вопросу взаимодействия элементов технологической системы режущий “инструмент – штамп-пресс – штампующий материал” уделено значительное внимание. Естественно, что более полноценные результаты моделирования следует ожидать при использовании сложных физических, математических и численных моделей, учитывающих контактное взаимодействие, трение, пластичность, разрушение и другие нелинейные эффекты, сопровождающие процесс разделения листового материала. Однако такие модели приводят к необходимости решения громоздких задач, требующих значительных вычислительных ресурсов и временных затрат. В то же время представляет значительный интерес вопрос качественного анализа влияния некоторых параметров на поведение элементов исследуемой технологической системы. С этой точки зрения представляется актуальной и важной такая частная задача как определение вклада перемещений точек матрицы разделительного штампа в общий баланс перемещений в межкромочной зоне. Для этого были использованы упрощенные расчетные модели матрицы, обоснованные частично в работе [1].

Постановка задачи. Проведение теоретических и экспериментальных исследований прочности и жесткости наиболее ответственных и нагруженных элементов специализированных штампов (СШ) в процессе их проектирования, изготовления и эксплуатации приводит к необходимости решения задачи анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) матриц СШ.

Подробно методика проведения данного исследования приведена в работе [1]. Там же решена задача определения зависимости НДС матриц СШ от

их конструктивных параметров и, в частности, от толщины стенки. В данной работе решена задача анализа жесткостных параметров матриц СШ при варьировании их высоты. В основу выполненной работы положены многовариантные расчеты напряженно-деформированного состояния матриц, представляющих собой тела вращения, при осесимметричном нагружении.

Расчетная схема. Одним из наиболее ответственных и нагруженных элементов специализированных штампов являются матрицы.

Рассмотрим матрицу СШ в виде тела вращения. Геометрия ее задается с помощью следующих параметров: диаметров $d(d_1, d_2, d_3)$ и высот $z(h_1, h_2)$ (рис. 1). Толщину стенки матрицы определяем по формуле

$$h = \frac{d_3 - d_1}{2}. \quad (1)$$

Рассмотрим схему нагружения матрицы СШ. Ее верхняя кромка нагружена усилиями штамповки. Их величины определяются на основе теоретических и экспериментальных исследований законов распределения контактных давлений в зоне взаимодействия штампуемого материала с режущими кромками, подробно изложенных в работах [8-11]. На основе анализа результатов, представленных в этих работах, сделан вывод о возможности с достаточной степенью точности описания закона распределения контактных давлений в первом приближении линейной зависимостью от координаты r .

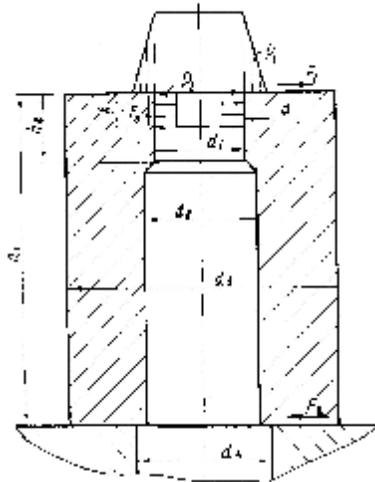


Рис.1

Согласно работе [12] усилие штамповки P_1 определяется по формуле

$$P_1 = k \cdot \sigma_{cp} \cdot \pi \cdot d_1 \cdot t, \quad (2)$$

где σ_{cp} – напряжение среза, принимаемое равным $0,8\sigma_g$ (σ_g – предел прочности штампуемого материала); d_1 – диаметр режущей кромки; t – толщина штампуемого материала; k – коэффициент затупления режущих кромок и неравномерности зазора, принятый равным 1,0.

Ширина контактного пояaska на режущей кромке a вычисляется по формуле

$$a = 0,5 \cdot t. \quad (3)$$

Распирающая нагрузка P_2 , равномерно распределенная на участке протяженностью

$$b = 0,1 \cdot t, \quad (4)$$

связана с усилием штамповки P_1 соотношением

$$P_2 = \rho \cdot P_1, \quad (5)$$

где ρ – коэффициент, полученный эмпирическим путем и принимаемый равным 0,35.

На участке b действует также усилие трения F_3 , определяемое законом Кулона и равное

$$F_3 = k_T \cdot P_2, \quad (6)$$

где $k_T = 0,3$ – коэффициент трения.

В качестве граничных условий принят случай свободного опирания матрицы с возможным проскальзыванием по плоскости $z = 0$. Данные условия формулируются следующим образом:

$$u_z \Big|_{z=0} = 0; \quad (7)$$

$$\tau_{rz} \Big|_{z=0} = 0, \quad (8)$$

где u_z – осевые перемещения точек матрицы, τ_{rz} – касательные напряжения.

Исследование матриц СШ проводилось на 10 вариантах конструкций, основные параметры которых приведены в табл. 1.

Таблица 1
Основные конструктивные параметры матрицы СШ, мм

№ п/п	d_1	d_3	h	h_1	h_2	№ п/п	d_1	d_3	h	h_1	h_2
1	30	50	10	4	4	6	30	50	10	30	20
2				7	7	7				50	40
3				10	5	8				75	65
4				15	10	9				100	90
5				20	10	10				200	190

Задача определения напряженно-деформированного состояния матрицы СШ приведена к исследованию осесимметричной задачи теории упругости для тел сложной геометрической формы.

Механизм задания усилий и граничных условий, построения конечно-элементных моделей, формирования матрицы жесткости конструкции и вектора, нагрузки на основе применения метода конечных элементов (МКЭ) к

решению поставленной задачи описаны в [2-7].

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния матриц с варьированием высоты. С использованием разработанного программного обеспечения проведены исследования зависимостей характеристик напряженно-деформированного состояния матриц СШ с набором конструктивных параметров, приведенных в табл. 1, от ее высоты. Расчеты производились при значениях $\sigma_{cp}=100$ МПа и $\sigma_{cp}=1000$ МПа, $\rho=0,35$, $k_T=0,3$,

$E=2,1 \cdot 10^5$ МПа, $\nu=0,28$. Толщина штампуемого материала $t=1$ мм. Усилие штамповки определено по формуле (2) и равно 9,4 кН, усилие расpirания – 3,3 кН, усилие трения – 1,0 кН при $\sigma_{cp}=100$ МПа и соответственно 94 кН, 33 кН и 10 кН при $\sigma_{cp}=1000$ МПа.

Как показал анализ полученных результатов, наибольшее влияние изменение высоты матрицы $H=h_1$ оказывает на ее деформированное состояние. Схемы деформирования матриц при увеличении высоты H от 4 мм до 200 мм с постоянной толщиной стенки матрицы $h=10$ мм показаны на рис. 2, 3. Видно, что с ростом высоты матрицы растут перемещения u_z . Для малых высот H характерно смещение точек режущих кромок в направлении оси r (происходит расpirание матрицы в зоне режущей кромки). При $15 \text{ мм} \leq H < 75$ мм наблюдается сужение матрицы в зоне режущей кромки. При достаточно больших высотах ($H \geq 75$ мм) характерно волнообразное расpirание матрицы вдоль образующей в области, примыкающей к режущей кромке.

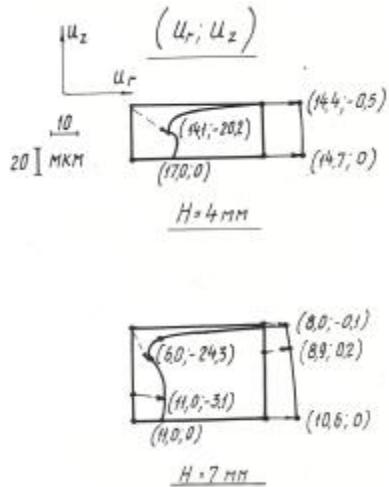


Рис.2

В табл. 2 приведены перемещения u_r (максимальные $u_r^{(max)}$ и на режущей кромке $u_r^{(кр)}$), а также максимальные перемещения $u_z^{(max)}$ в зависимости от высоты матрицы (при $\sigma_{cp}=100$ МПа). Максимальные перемещения $u_r^{(max)}$ резко убывают от 1,8 мкм до 0,5 мкм для высот в интервале $4 \leq H \leq 30$ (мм). Дальнейшее увеличение высоты не оказывает существенного влияния на $u_r^{(max)}$. Для перемещений u_r на режущей кромке характерно их резкое уменьшение на участке $4 \leq H \leq 20$ (мм) от 1,4 мкм до -0,3 мкм. Для матриц высотой $H \geq 75$ мм происходит монотонное снижение перемещения $u_r^{(кр)}$ до 0,1 мкм. Перемещения $u_z^{(max)}$ растут с ростом высоты матрицы от 2,0 мкм для

матрицы высотой $H = 4$ мм до 10,5 мкм для матрицы высотой $H=200$ мм.

Рис.3

Таким образом, получаем параметры, характеризующие напряженно-деформированное состояние матриц СШ: $u_r^{(max)}$, $u_r^{(кр)}$, $u_z^{(max)}$.

Анализ результатов. Анализ картин распределений перемещений и интегральных зависимостей перемещений точек режущей кромки матрицы разделительного штампа служит основой для следующих основных выводов:

1. Деформированное состояние матриц существенно зависит от их высоты. При этом условно можно выделить матрицы:

- низкие ($H < d/3$, $d = d_1$ – внутренний диаметр матрицы);
- средней высоты ($d/3 < H < 2d$);
- высокие ($H > 2d$).

2. Для низких матриц характерно их распирание во всех сечениях; уменьшение высоты матрицы происходит вдоль внутренней образующей $r = d/2$, внешняя образующая $r = d_3/2$ укорачивается незначительно или даже растягивается.

3. Матрицы средней высоты испытывают сужение в зоне режущей кром-

Таблица 2

H , мм	Перемещения, мкм		
	$u_r^{(кр)}$	$u_r^{(max)}$	$u_z^{(max)}$
4	1,4	1,8	-2,0
7	0,6	1,2	-2,4
10	0,3	1,1	-2,8
15	-0,3	0,9	-3,2
20	-0,3	0,7	-3,2
30	-0,3	0,6	-3,6
50	-0,3	0,6	-4,4
75	-0,3	0,6	-5,5
100	-0,2	0,6	-6,5
200	-0,1	0,6	-10,5

кромки и расписание в средней части и при приближении к подошве. Все сечения $z = \text{const}$ матрицы осаживаются в направлении действия усилий штамповки, причем укорочение внутренней образующей на порядок выше, чем наружной.

4. Для высоких матриц характерной особенностью является волнообразный характер расписания сечений $z = \text{const}$ при движении вдоль образующих в зоне режущей кромки, а также примерно равномерная осадка данных сечений в направлении действия усилия штамповки; доминирующими являются осевые перемещения точек матриц.

5. Распределение осевых напряжений в области подошвы низких матриц $z = 0$ характеризуется резким всплеском снимающих напряжений в зоне внутренней образующей и переходом к растягивающим напряжениям в зоне внешней образующей.

6. Осевые напряжения в зоне подошвы высоких матриц являются сжимающими и имеют близкий к равномерному закон распределения.

7. Распределение осевых напряжений в области подошвы матриц средней высоты носит промежуточный характер между законами их распределения для низких и высоких матриц.

Список литературы: 1. *Заярненко Е.И.* Разработка математических моделей и расчеты на прочность разделительных переналаживаемых штампов. – Дисс. на соиск. уч. ст. докт. техн. наук. – Харьков. – 1992. – 418 с. 2. *Гоголь Н.А., Ткачук Н.А., Назарова О.П.* Моделирование напряженно-деформированного состояния элементов штампов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАА, 2005. – Вип.31. – С.103-108. 3. *Гоголь Н.А., Назарова О.П., Ткачук А.В., Кохановская О.В.* К задаче формирования расчетных элементов технологических систем листовой штамповки // Вестник НТУ "ХПИ". Тем. вып. "Динамика и прочность машин". – 2005. – №47. – С.50-60. 4. *Ткачук Н.А., Грищенко Г.Д., Липовецкий Л.С., Глущенко Э.В., Гоголь Н.А.* Методика экспериментального исследования элементов механических систем методом голографической интерферометрии // Механіка та машинобудування. – 2005. – №1. – С.88-99. 5. *Гоголь Н.А.* Влияние конструктивных и технологических параметров на напряженно-деформированное состояние матриц штампов холоднолистовой штамповки // Вестник НТУ "ХПИ". Тем. вып. „Машиноведение и САПР. – 2005. – №60. – С.68-76. 6. *Демина Н.А., Назарова О.П., Чепурной А.Д., Бараников Я.Н.* Численное моделирование процесса холоднолистовой штамповки // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып. „Машиноведение и САПР. – 2006. – №3. – С.70-79. 7. *Демина Н.А.* К вопросу моделирования напряженно-деформированного состояния элементов штамповой оснастки // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып. „Машиноведение и САПР. – 2006. – №24. – С.75-83. 8. *Артюхов В. П., Савченко В. И.* и др. Исследования распределения напряжений в рабочих элементах вырубных штампов методом фото упругости // Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – № II. – С.24-27. 9. *Елистратов В. И.* Исследование нормальных напряжений по торцу твердосплавных пуансонов при вырубке-пробивке // Кузнечно-штамповочное производство. – 1973. – № 8. – С.21-24. 10. *Заярненко Е. И., Ткачук А. В., Ткачук Н. А.* Исследование напряженного состояния вырубных пуансонов УСПШ// Прогрессивная технология, переналаживаемая оснастка и инструмент. // Материалы отраслевого науч.-техн. семинара. – Харьков, 1985. – С.95-103. 11. *Заярненко Е. И., Ткачук А. В., Ткачук Н.А.* Исследование контактного взаимодействия пуансона со штампуемым материалом // ВОТ. Серия 2. – 1985. –Вип.10(176). – С.20-23. 12. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.

Поступила в редколлегию 12.11.2006