

УДК 621.983.539.373

А.Я. МОВШОВИЧ<sup>1</sup>, В.В. АГАРКОВ<sup>2</sup>, С.А. ГРИГОРЕНКО<sup>3</sup><sup>1</sup> *Национальный технический университет «ХПИ», Украина*<sup>2</sup> *ГП «Харьковстандартметрология», Украина*<sup>3</sup> *ПАО «Полтавский машиностроительный завод», Украина*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНОЙ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМОЙ ОСНАСТКИ

*Статья посвящена разработке математических моделей силового нагружения взаимодействия базовых деталей и определению нагрузок, действующих на штамповые плиты универсально-сборных переналаживаемых штампов для разделительных операций листовой штамповки. Установлено, что стойкость штампов во многом определяется состоянием прессового оборудования и его жесткостью, которые негативно влияют на точность и качество штампуемых деталей. Предложенная методика позволяет создать научно-обоснованные рекомендации по проектированию основных силовых элементов штамповой оснастки.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, универсально-сборная переналаживаемая оснастка, разделительные операции, штамповка, нагружение, жесткость.

### Введение

Конструкции разработанных универсально-сборных переналаживаемых штампов (УСПШ) позволяют изготавливать листоштампуемые детали авиационно-космической техники различной конфигурации, толщины и габаритных размеров в диапазоне определенных типоразмеров пакетов, которые монтируются на универсально-сборных блоках, собираемых из стандартных базовых плит и других унифицированных элементов.

Серийность деталей может колебаться от 10 до 20 000 штук и более. При таком режиме достигается максимальная технико-экономическая эффективность применения комплектов УСПШ. Однако в этом случае плиты штамповых блоков довольно продолжительный период подвергаются существенным нагрузкам циклического характера, что при недостаточной жесткости и прочности может привести к выходу из строя не только базовых плит, но и конструкции штампа в целом, а также в случае недостаточной жесткости блока снижается качество и точность штампуемых деталей.

### 1. Формирование проблемы и постановка цели исследования

Геометрические параметры некоторых деталей УСПШ, например нижних и верхних плит, направляющих колонок и др., рекомендуется выбирать с учетом ряда допущений, которые существенно уп-

рошают расчетные схемы, подчас приводя к принципиально иному классу задач. Поэтому существующие методики не позволяют определить оптимальные геометрические параметры элементов УСПШ, обеспечивающих минимальную металлоемкость при соблюдении требуемых условий прочности и жесткости.

Часто рекомендации даются безо всякого обоснования, и границы выбора рекомендуемых размеров очень велики. Так, в работах [1, 2] толщину нижней плиты штампа рекомендуют ориентировочно определять из условия

$$H = (1 \dots 1,5) H_M,$$

где  $H_M$  – толщина матрицы.

Толщину верхней плиты принимают равной толщине нижней плиты или равной  $(0,8 \dots 1,2) H_M$ .

В работах по конструированию штампов [3, 4] толщину нижней плиты штампа определяют по формуле балки.

Расчет плит как пластинок использует ряд авторов [5, 6], считая, что нижнюю плиту штампа необходимо рассчитывать как тонкую пластину, свободно лежащую на опоре и равномерно нагруженную по периметру отверстия. В качестве опорного контура принимали отверстие в подштамповой плите. Крепление к столу пресса не учитывали.

В работе [7] приведена классификация плит по способу их отпираания и вытекающие из этого способы работы плит (работа на сжатие или изгиб),

расчетные формулы для определения толщины плит получены для осесимметричной пластины, которой заменяют плиту без учета направляющих элементов и крепления плиты блока к подштамповой плите пресса.

Отсутствие научно-обоснованных рекомендаций по проектированию УСПШ обусловили необходимость применения такого математического аппарата для моделирования, который позволил бы, оперируя им, получать наиболее точные сведения о реальном проектируемом.

Целью работы является разработка математической модели силового нагружения и взаимодействия базовых элементов УСПШ.

## 2. Решение проблемы

Как известно, характер приложения нагрузок в штампах является решающим фактором при выборе статической либо динамической модели. При статическом нагружении возникающие в штампе деформации и напряжения остаются постоянными на всем протяжении действия нагрузки, при динамическом нагружении очевидна зависимость НДС штампа от времени. Базовые плиты штампов, относящиеся к классу пластин, подвержены периодическому нагружению усилием, возникающему при штамповке деталей. В общем случае дифференциальное уравнение, описывающее свободные поперечные колебания пластин, имеют вид

$$D \cdot \Delta W + \rho \cdot h \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$  – цилиндрическая жесткость пластины;

$W$  – прогиб пластины;

$\rho$  – плотность;

$h$  – толщина пластины;

$\nu$  – коэффициент Пуассона.

В основу этого выражения положено допущение о малой амплитуде колебаний, т.е. рассматривают поперечные колебания в рамках гипотез Кирхгофа-Лява. Необходимо отметить, что соотношение габаритных размеров базовых плит штампов таково, что они в основном относятся к классу тонких пластин, описываемых уравнениями технической теории изгиба плит [8–10].

Штампы используются в широком диапазоне для оснащения механических листоштамповочных прессов усилием от 25 до 2500 кН, а частота воздействия возмущающей силы нагружения находится в интервале 6,7...0,67 Гц, а это на несколько порядков

меньше по сравнению с собственными частотами базовых плит.

Если частота возмущающей силы значительно отличается от частоты свободных колебаний пластины, то амплитуды вынужденных колебаний не превышают статического прогиба пластины от внешней возмущающей силы, т.е. в нашем случае правомерна статическая постановка задачи.

Рассмотрим подробнее систему сил, возникающих в штампах в процессе их эксплуатации. В первом приближении нагружение штампа для листовой штамповки материала можно рассматривать следующим образом (рис. 1).

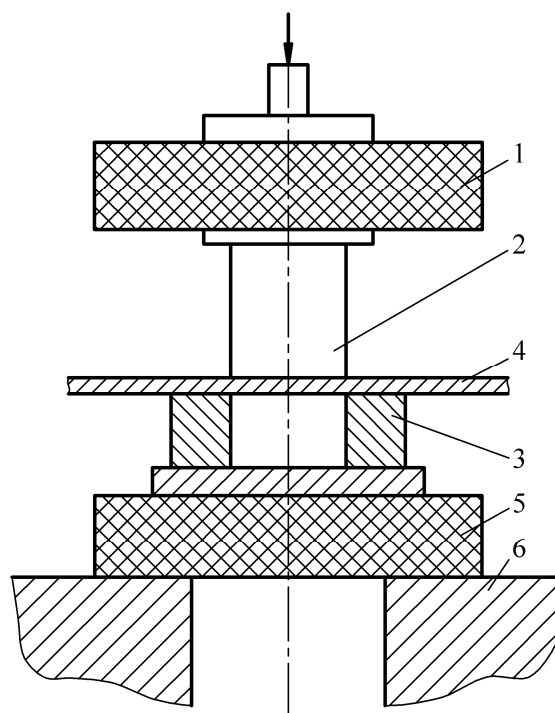


Рис. 1. Схема контактного взаимодействия конструктивных элементов штампа:

1 – верхняя плита штампа; 2 – пуансон; 3 – матрица; 4 – штампуемая полоса; 5 – нижняя плита штампа; 6 – подштамповая плита.

Усилие  $P$  от ползуна пресса через хвостовик передается на верхнюю плиту штампа 1, связанную с режущими элементами, например, пуансоном 2. При контакте пуансона и матрицы 3 со штампуемой полосой 4 усилие штамповки далее передается на нижнюю плиту штампа 5, устанавливаемую на подштамповую плиту пресса 6, обычно имеющую центральное провальное отверстие. Таким образом, работу штампа можно представить как сложную систему контактного воздействия нескольких конструктивных элементов.

В состав математической модели силового взаимодействия с другими сопряженными элемен-

тами в общем случае входят: система разрешающих дифференциальных уравнений, система нагрузок и система соответствующих граничных условий.

В общем виде математическую модель силового взаимодействия сопряженных деталей можно представить следующим образом:

$$P(\sigma, \varepsilon, U) = Q(x, t), \quad (2)$$

$$\text{при } P_1(\sigma)_{\Gamma_1} = \varphi_1(x, t); \quad P_2(U)_{\Gamma_2} = \varphi_2(x, t);$$

$$P_3(U)_{\Gamma_3} = \varphi_3,$$

где  $P$  – линейный дифференциальный оператор теории упругости (например, уравнение Ламе);

$Q$  – вектор нагрузки;

$\Gamma_1$  – часть поверхности с силовыми граничными условиями;

$\Gamma_2$  – часть поверхности с геометрическими граничными условиями;

$\Gamma_3$  – часть поверхности контактного взаимодействия.

В общем случае разработка математических моделей силового взаимодействия и проведения прочностных расчетов деталей штампов включает в себя:

- анализ физико-механических, геометрических характеристик штампуемых деталей, прессового оборудования и условий эксплуатации штампов;
- разработку расчетных схем элементов конструкции;
- определение граничных условий и законов распределения внешних нагрузок;
- выбор, обоснование и разработку методов исследования.

Анализ конструкций штампов для разделительных операций листовой штамповки, физико-механических и геометрических характеристик штампуемых деталей, условий эксплуатации штамповой оснастки показал, что основной нагрузкой, которую испытывают в процессе штамповки базовые плиты, пуансон и матрица, является технологическое усилие вырубki или пробивки, величина которого определяется зависимостью [11]

$$P = k \cdot L \cdot S \cdot \sigma_{\text{ср}}, \quad (3)$$

где  $k$  – поправочный коэффициент, учитывающий затупление режущих кромок и потери на преодоление сил трения в направляющих парах;

$L$  – длина линии резания;

$S$  – толщина штампуемого материала;

$\sigma_{\text{ср}}$  – сопротивление срезу.

При работе пресса в кривошипно-шатунном механизме кроме вертикальной составляющей усилия штамповки  $P$ , идущей на выполнение техноло-

гических операций, возникает горизонтальная составляющая  $N$ , величина которой равна:

$$N = P \cdot \lambda \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – коэффициент шатуна, равный отношению радиуса кривошипа к длине шатуна;

$\alpha$  – угол поворота кривошипа.

Угол  $\alpha$  при выполнении разделительных операций составляет 10...15°, поэтому с достаточной степенью точности величина  $N$  определяется:

$$N = 0,26 \cdot \lambda \cdot P. \quad (5)$$

Как известно, стойкость штампов и их НДС во многом определяется состоянием пресса и его жесткостью. Установлено, что на долю станины приходится 22...30%, а на долю кривошипно-шатунного механизма – 60...70% от общей деформации пресса, что негативно влияет так же на жесткость штампов и, следовательно, она должна быть учтена, как внешнее воздействие при составлении математической модели нагружения.

## Заключение

Разработан метод теоретического описания модели силового взаимодействия базовых деталей универсально-сборных переналаживаемых штампов и определения реальных нагрузок, действующих на штамповые плиты, использование которой позволяет разработать научно-обоснованные практические рекомендации по проектированию основных базовых элементов УСПШ.

## Литература

1. Жолткевич, Н.Д. *Отраслевая система переналаживаемой технологической оснастки для ускоренной подготовки производства [Текст] / Н.Д. Жолткевич. – М.: ЦНИИ информ., 1988. – 248 с.*
2. Малов, А.И. *Технология холодной штамповки [Текст] / А.И. Малов. – М.: Оборонгиз, 1963. – 563 с.*
3. Алтухов, Е.В. *Изгиб толстой кольцевой плиты [Текст] / Е.В. Алтухов, А.С. Космодамианский, В.А. Шалдирван // Изв. АН Арм.ССР, Механика. – Ереван, 1975. – №6. – 29 с.*
4. Базовский, И. *Надежность, теория и практика [Текст] / И. Базовский. – М.: Мир, 1965. – 373 с. с черт.*
5. Барановский, М.А. *Технология листовой штамповки [Текст] / М.А. Барановский. – Минск: Госиздат БССР, 1957. – 344 с.*
6. Блох, В.И. *К общей теории упругих толстых плит [Текст] / В.И. Блох // Инженерный сборник. – М., 1954. – Т. XVIII. – С. 61–82.*
7. Богданов, В.М. *Штамповка деталей по эле-*

ментам в мелкосерийном производстве [Текст] / В.М. Богданов. – М.: Машиз, 1963. – 188 с.

8. Агарков, В.В. Исследование прочности и жесткости конструктивных элементов универсально-сборных переналаживаемых штампов из композиционных материалов [Текст] / В.В. Агарков // Сборник научных трудов НТУ «ХПИ». – X, 2011. – С. 52–58.

9. Мовшович, А.Я. Особенности конструирования и сборки штампов из композиционных материалов для разделительных операций листовой штамповки [Текст] / А.Я. Мовшович, О.П. Семенова, А.Я. Горницкий // Кузнечно-штамповочное произ-

водство. – №6. – 1997. – С. 24–27.

10. Фролов, Е.А. Разработка математических моделей силового взаимодействия базовых элементов универсально-сборных штампов [Текст] / Е.А. Фролов, А.Я. Мовшович, В.В. Агарков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 49. – X, 2011. – С. 208–216.

11. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В.П. Романовский. – М.–Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с. с ил.

Поступила в редакцию 15.04.2013, рассмотрена на редколлегии 15.05.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологии машиностроения Е.А. Фролов, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава.

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ БАЗОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ УНІВЕРСАЛЬНО-ЗБІРНОГО ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНОВОГО ОСНАЩЕННЯ

*О.Я. Мовшович, В.В. Агарков, С.О. Григоренко*

Стаття присвячена розробці математичних моделей силового навантаження взаємодії базових деталей та визначення навантажень, що діють на штампів плити універсально-збірних переналагоджуваних штампів для розділових операцій листового штампування. Встановлено, що стійкість штампів в більшості визначається станом пресового обладнання та його жорсткістю, які негативно впливають на точність і якість деталей, що штампуються. Запропонована методика дозволяє створити науково-обґрунтовані рекомендації з проектування основних силових елементів штампового оснащення.

**Ключові слова:** математичне моделювання, універсально-збірне переналагоджуване оснащення, розділові операції, штампування, навантаження, жорсткість.

### BASIC COMPONENTS LOAD APPLICATION MODELING PROCESSES OF MULTI-PURPOSE ASSEMBLY READJUSTABLE JIGS AND FIXTURES

*A.J. Movshovich, V.V. Agarkov, S.A. Grigorenko*

This article is dedicated to the development of load application mathematical models to study interaction between the basic components and determination of loads acting on die plates of multi-purpose readjustable dies for separation operations under sheet-metal stamping. It has been determined that lifetime of dies is mainly characterized by press and squeeze equipment as well as its stiffness producing negative effect on accuracy and quality of items and parts under stamping. Proposed procedure enables to develop scientifically-proved recommendations for designing of primary structural components for stamping jigs and fixtures.

**Keywords:** mathematical modeling, multi-purpose assembly readjustable jigs and fixtures, separation operations, stamping, load application, stiffness.

**Мовшович Александр Яковлевич** – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры интегрированных технологий НТУ «ХПИ», Харьков, Украина.

**Агарков Виктор Васильевич** – начальник отдела ГП «Харьковстандартметрология», Харьков, Украина.

**Григоренко Сергей Александрович** – начальник отдела ПАО «Полтавский машиностроительный завод», Полтава, Украина.