

УДК 621.38

Ю.М. Свиридов<sup>1</sup>, В.В. Косенко<sup>1</sup>, А.Я. Мовшович<sup>2</sup>, А.В. Ряховский<sup>3</sup><sup>1</sup>ГП «Харьковский НИИ технологии машиностроения», Харьков<sup>2</sup>Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков<sup>3</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ГИДРОУДАРНОЙ ШТАМПОВКИ

Приведены данные для определения силовых параметров процесса гидроударной штамповки и обеспечения определенного уровня давления в технологическом блоке.

**Ключевые слова:** штамповка, параметр, боек, волна сжатия.

### Введение

Сущность метода ударно-импульсной штамповки заключается в том, что штамповка деталей осуществляется импульсом высокого давления, создаваемого в результате удара быстродвижущегося бойка по замкнутому объему жидкости (или эластичной среды), заполняющих технологическую (рабочую) камеру оборудования. Этот метод относится к безпуансонной штамповке, так как в качестве оснастки используется только одна ее часть (матрица), а ответной частью является передающая среда (жидкость, полиуретан). Данной технологией и на существующем в настоящее время ударно-импульсном оборудовании возможно выполнение всех видов штамповки деталей из листовых и пространственных заготовок толщиной от 0,1 до 4,0 мм.

Самой сложной технологией изготовления деталей для любых методов штамповки является штамповка-вытяжка, особенно деталей сложной формы. При разработке технологического процесса ударно-импульсной штамповки деталей из листовой заготовки необходимо производить расчет силовых и энергетических параметров штамповки. Задача определения действующих на заготовку давлений требует для своего решения такой модели нагружения камеры, которая должна учитывать основные соотношения процесса энергообмена в технологическом блоке. Таким образом, эффективность штамповки во многом определяют силовые параметры процесса и обеспечение определенного уровня давления в технологическом блоке, и следует рассматривать, как необходимое условие успешного проведения операции.

### Основная часть

Остановимся на данном вопросе подробнее. В начальный момент удара о жидкость в зоне соударения появляются динамические напряжения и деформации, которые распространяются от площадки соударения по жидкости и бойку в виде волн сжатия конечной скоростью. В процессе деформирования заготовки под действием стыков в оснастке появляются так называемые гидродинамические утечки.

Часть энергии не установившегося движения жидкости преобразуется в энергию стенок технологического блока, которая, как показали эксперименты, не превышает 3 – 4% общей энергии удара.

Энергию, идущую на деформацию основания технологического блока с учетом жесткости конструкции, можно рассчитать по формуле:

$$W_{\text{осн}} = P_{\text{max}}^2 / 2K_{\text{осн}} \cdot [pD_{\text{к}}^2 / 4]^2, \quad (1)$$

где  $K_{\text{осн}}$  – жесткость основания;  $D_{\text{к}}$  – выходной диаметр рабочей камеры.

Расчеты показывают, что в рабочей камере с  $D_{\text{к}}=180$  мм, высотой бойка – 100 мм, массой бойка – 15 кг при жесткостях стола 1100 и 850 МН/м, на полезное сжатие жидкости расходуется 49 – 58% запасенной энергии, а остальная часть тратится на упругое деформирование элементов конструкции технологического блока. При этом с увеличением давления количество энергии, идущей на полезное сжатие жидкости, в общем балансе энергии уменьшается, а количество энергии на упругое деформирование элементов конструкции увеличивается.

Снижение жесткости основания действует аналогичным образом. Если на рабочем столе жесткостью  $K_{\text{ст}}$  заготовка с жесткостью  $K_3$ , то жесткость всего основания равна:

$$K_{\text{осн}} = K_{\text{осн}} \cdot K_3 / [K_{\text{ст}} + K_3] \cdot K_{\text{ст}}. \quad (2)$$

Или с учетом того, что  $F_3 \neq F_{\text{кам}}$  ( $F_3$  и  $F_{\text{кам}}$  – площадь деформируемой части заготовки в плане и площадь сечения рабочей камеры):

$$K_{\text{осн}} = K_{\text{осн}} \cdot K_3 / [F_3 / F_{\text{ст}} \cdot K_{\text{ст}} + K_3] = K_{\text{ст}} / [1 + F_3 / F_{\text{ст}} \cdot K_{\text{ст}} / K_3], \quad (3)$$

где  $F_{\text{ст}}$  – площадь рабочего стола. Присутствие на дне камеры матрицы с заготовкой снижает жесткость основания и, следовательно, увеличивает количество энергии, необходимой для ее деформирования.

Следовательно, во всех практических случаях конечная жесткость рабочей камеры технологического блока гидроударной установки оказывает заметное влияние на энергообмен между элементами технологического блока и численное значение силовых и кинематических параметров удара бойка.

Наличие в рабочей камере заготовки, непрерывно изменяющей геометрию в процессе деформирования, существенно корректирует поле давлений, имеющее место в жидкости, но при отсутствии заготовки. Поэтому задача расчета давлений сводится к изучению волновых процессов в 3-мерном пространстве с заданными начальными давлениями и краевыми условиями на границе. Для процессов гидроударной штамповки с целью упрощения расчетов использовалось решение со следующими допущениями. Предположение об абсолютной жесткости стенок камеры позволило свести 3-мерную задачу к плоской или одномерной. В этом случае существенными считаются две независимые переменные: геометрическая координата  $X$  вдоль цилиндрической поверхности камеры и время  $t$ . На плоскостях с координатой  $X = \text{const}$  все характеристики движения одинаковы. При этом упругость реальных стенок при их небольшой деформации может быть учтена введением приведенного объемного модуля сжатия жидкости, комплексно учитывающего упругие свойства не только жидкости, но и стенок камеры.

Пластическое деформирование заготовки в условиях динамического нагружения также представляет сложный процесс. Модель такого процесса зависит как от поставленной задачи, так и от требуемой точности её решения.

Если ограничиться определением основных параметров процесса (давления, действующего на заготовку и общей длительностью процесса), то задача значительно упрощается, так как позволяет использовать метод приведения, который в свою очередь, дает возможность ограничиться одномерной моделью процесса. Заготовка рассматривается как система с одной степенью свободы. Следующее допущение основано на предположении, что скорость распространения волн в жидкости бесконечно большая и давление одинаково в любой точке жидкости и в каждый момент времени. Данные предположения позволили построить упрощенную физическую модель удара, согласно которой процесс удара можно рассматривать как движение твердого тела (бойка) на упругом основании с начальной скоростью, равной скорости бойка в момент контакта с жидкостью:

$$m\delta[d^2x/dt^2] = -p(t) \cdot F_{\text{кам}} \quad (4)$$

Тогда давление в рабочей камере без заготовки:

$$P = P_{\text{max}} \cdot \sin t \sqrt{E \cdot F_{\text{кам}} / (L \cdot m_6)}; \quad (5)$$

$$P_{\text{max}} = \sqrt{2E \cdot W_6 / V}, \quad (6)$$

где  $F_{\text{кам}}$  – площадь сечения камеры;  $V$  – объем жидкости в камере;  $W_6$  – энергия бойка в момент контакта с жидкостью;  $m_6$  – масса бойка;  $t$  – толщина слоя жидкости в рабочей камере.

Математическая модель процесса значительно усложняется в случае рассмотрения волновых процессов в жидкости. Неустановившееся движение жидкости в жесткой цилиндрической камере с де-

формируемым основанием может быть исследовано на основании решения волнового уравнения:

$$c^2 [d^2 U(x,t) / dx^2 - d^2 U(x,t) / dt^2] = 0; \quad c^2 = E / \rho, \quad (7)$$

где  $c$ ,  $E$ ,  $\rho$  – скорость звука, приведенный модуль объемного сжатия, плотность жидкости;  $U$  – продольное смещение частиц жидкости относительно положения равновесия;  $x$  – координата Лагранжа исследуемого сечения рабочей камеры.

Для упрощения расчетов принимаем следующее: одно граничное условие отражает равенство упругого сопротивления жидкости сжатию в сечении  $x = 0$  силе инерции и силе упругой реакции основания, связанной с его перемещением, другое отражает равенство силы инерции бойка силе упругого сопротивления жидкости сжатию и сечении  $x = h$ .

Решение данной задачи выполнялось в виде суммы (ряда) некоторых стационарных состояний системы (свободные колебания), что позволило произвести асимптотический анализ и получить сглаженную картину, позволяющую дать хорошее и, главное, более ясное представление о процессе и решать отдельные практические задачи для следующих частных случаев. Случай 1 – абсолютно жесткая камера с недеформируемым основанием. Случай 2 – удар бойка по стержню со свободными концами. Случай 3 – удар бойка по жидкости, ограниченной жесткой камерой с деформируемым основанием; коэффициент относительной жесткости основания  $p$  и инерционный коэффициент  $y$  основания имеют конечные значения, отличные от нуля ( $n > 0$ ,  $y > 0$ ). Этот случай наиболее интересен и его можно рассматривать как математическую модель процесса нагружения технологических камер при гидроударной штамповке. При этом практическое значение имеют:

1. Перемещение основания камеры с заготовкой ( $x = 0$ ) во времени:

$$U = 2V_0^1 / c \cdot \sum \beta_i^2 \sin \beta_i ct / (n-y \beta_i^2) \cdot \omega_i \quad (8)$$

где  $\omega_i$  – круговая частота колебаний системы;

$\beta_i = \omega_i h / c$  – безразмерная частота;

$V_0$  – скорость бойка в момент соприкосновения с жидкостью;

$\omega$  – круговая частота колебаний.

Скорость движения основания с заготовкой:

$$V = 2V_0 \sum [\beta_i^2 \sin \beta_i ct / h] / [(n-y \beta_i^2) \omega_i]. \quad (9)$$

2. Давление на заготовку:

$$P = E \cdot dU / dx = 2V_0 E / c \sum [\beta_i^2 \sin \beta_i ct / t] / \omega_i. \quad (10)$$

Давление в любом сечении рабочей камеры в любой момент времени:

$$P = 2V_0 E / c \sum \left\{ \beta_i \cos \beta_i \cdot \left[ \beta_i^2 \sin \beta_i \cdot x / L \right] / \left[ (n - y \beta_i^2) \right] \times \left[ \sin \beta_i ct / L \right] \right\} \omega_i; \quad (11)$$

Необходимые временные параметры являются результатом исследования на экстремум функций (8) – (11).

## Выводы

Рассмотренная математическая модель процесса нагружения технологических камер гидроударных установок дает возможность по этим зависимостям определять давление в любом сечении камеры как функцию времени.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили точность предложенной математической модели процесса нагружения технологических камер, что позволило разработать методику расчета необходимых величин давлений для различных процессов гидроударной штамповки (формовка, штамповка выпяжкой, раздача, обжим и т.д.).

## Список литературы

1. Фролов Е.А. Определение давлений при гидроударной штамповке / Е.А. Фролов, Ю.М. Свиридов // Вестник НТУ «ХПИ»: сб. науч. тр. – Х.: НТУ «ХПИ», 2001. – № 11. – С. 38-43.

2. Антоненко А.А. Технологические возможности ударной импульсной штамповки жидкостью / А.А. Антоненко, Ю.М. Свиридов, Е.А. Фролов // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. науч.-техн. сб. – Х.: НТУ «ХПИ», 2004. – Вып. 67. – С. 30-36.

3. Фролов Е.А. Выбор метода импульсного формообразования для получения сложнорельефных тонколистовых деталей в условиях дискретно нестабильных программах выпуска изделий. Технологии XXI века / Е.А. Фролов, А.Я. Мовшович, В.С. Иванов // Сб. статей по материалам 13-й междунар. науч.-пр. конф. / под ред. д.т.н., проф. Н.В. Захарова. – Сумы: СНАУ, 2006. – С. 17-22.

4. Косенко В.В. Технологические возможности и расчет силовых и энергетических параметров ударно-импульсной штамповки. Технология приборостроения: науч.-техн. ж. / В.В. Косенко, А.В. Ряховский, Ю.М. Свиридов. – Х.: ГП НИТИП, 2011. – № 1. – С. 48-50.

Поступила в редколлегию 10.09.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.Н. Фоменко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ГІДРОУДАРНОГО ШТАМПУВАННЯ

Ю.М. Свіридов, В.В. Косенко, А.Я. Мовшович, А.В. Ряховський

Приведені данні щодо визначення силових параметрів процесу гідроударного штампування та забезпечення певного рівня тиску в технологічному блоці.

**Ключові слова:** штампування, параметр, бойок, хвиля стиснення.

## DETERMINATION OF POWER PARAMETERS OF PROCESS OF HYDROPERCUSSIVE STAMPING

Yu.M. Sviridov, V.V. Kosenko, A.Ya. Movshovich, A.V. Ryakhovskiy

Information is resulted for determination of power parameters of process of the hydropercussive stamping and providing of certain level of pressure in a technological block.

**Keywords:** stamping, parameter, anvil block, wave of compression.