

## **О степени влияния конструктивно-технологических факторов на процесс пневмоударной вытяжки**

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

На основе анализа влияния основных конструктивно-технологических факторов (скорость нагружения, радиус закругления, относительная толщина и материал заготовки, степень деформирования) на процесс пневмоударной вытяжки деталей гидросредой разработан алгоритм инженерного расчета энергосиловых параметров процесса, необходимых для формообразования. Предложена методика количественной оценки влияния этих параметров на качественные показатели штампуемости деталей и определены технологические возможности процесса пневмоударной вытяжки.

**Ключевые слова:** пневмоударная штамповка, вытяжка, технология, показатели, конструктивно-технологические.

**Введение.** Сущность метода ударно-импульсной штамповки жидкостью заключается в том, что штамповка деталей осуществляется импульсом высокого давления, создаваемого в результате удара быстродвижущегося бойка по замкнутому объему жидкости, заполняющей рабочую камеру.

Основными преимуществами ударно-импульсной штамповки являются: отсутствие пуансона или матрицы; мобильность и широкие технологические возможности при изготовлении сложнорельефных деталей глубокой вытяжкой.

### **Постановка проблемы и анализ последних исследований**

Разработка технологических процессов вытяжки сопряжена с расчетом энергосиловых параметров, необходимых для осуществления полного формообразования рельефа детали.

Метод высокоскоростного деформирования с использованием оборудования пневмоударной штамповки жидкостью позволяет управлять процессом, что дает возможность получать детали высокой точности и качества, но обладает специфическими особенностями по сравнению с инструментальной штамповкой, которые необходимо учитывать при проектировании технологических процессов и штамповой оснастки [1-3].

Недостаточное количество научно обоснованных практических рекомендаций по разработке технологии пневмоударной вытяжки препятствует в некоторых случаях реализации на практике технико-экономических преимуществ и положительных особенностей этого метода штамповки.

**Цель исследования** – Совершенствование методики учета основных факторов влияния на процесс пневмоударной вытяжки с учетом штампуемого материала, относительной толщины заготовки, а также особенностей самого метода высокоскоростного формообразования и конфигурации вытягиваемой детали.

### **Изложение основного материала**

Известно, что операция вытяжки характеризуется предельно допустимыми деформациями, которые отображаются числовым значением коэффициентов штампуемости (формообразования) материала [4], обеспечиваемых в конкретных условиях. В нашем случае при пневмоударной штамповке этот факт отражается предлагаемой параметрической зависимостью

$$k_{np.уст}^j = k_{np.0}^j \prod_{i=1}^n k_i, \quad (1)$$

где  $j$  – вид деформирования (вытяжка, формовка и т.д.);

$k_{np.0}$  – предельная величина показателя штампуемости материала (степень вытяжки);

$k_i$  – параметр, отражающий влияние основных факторов, определяющих течение процесса.

Следовательно, при анализе номенклатуры штампуемых деталей в первую очередь должен быть определен этот показатель ( $k_{np.уст}$ ) по геометрии детали или в случае необходимости экспериментальным путем.

Запишем в общем виде параметрическое уравнение для определения истинной предельной степени вытяжки:

$$k_{np.уст} = k_{np.0} \cdot k_\alpha \cdot k_r \cdot k_s, \quad (2)$$

где  $k_{np.0}$  – предельная степень вытяжки;  $k_\alpha \cdot k_r \cdot k_s$  – коэффициенты,

учитывающие влияние скорости нагружения заготовки (параметра  $\alpha$ ), радиуса закругления матрицы  $r_m$ , относительной толщины заготовки  $S$ .

Для большинства применяемых при пневмоударной штамповке материалов предельная степень вытяжки колеблется в пределах 1,60...2,20 [5,6].

Таблица 1

Предельная степень вытяжки ряда конструкционных материалов при пневмоударном формообразовании

Материал	$k_{np.0}$	Материал	$k_{np.0}$	Материал	$k_{np.0}$	Материал	$k_{np.0}$
АМцМ	1,94	30ХГСА	1,45	ЭИ878	2,1	ЭП693ВД	2,2
АМг6М	1,87	08кп	1,95	ЭИ402	1,97	Д16АМ	1,85
М1М	1,92	10кп	1,9	12Х13Н10Т	2,03	ВТ1-0	1,78
АМг3М	1,94	ЭИ659	1,49	Х18Н9Т	2,1	ОТ4-1	1,6
Л62		Х13	1,92	ЭИ894	2,2	ОТ4	1,54

Относительная масса бойка  $\alpha = m_b / m_{ж}$  ( $m_b$  – масса бойка,  $m_{ж}$  – масса жидкости) однотипно влияет на предельную степень вытяжки для всех исследованных материалов, что позволяет учитывать это влияние с помощью поправочных коэффициентов  $k_\alpha$ . Учитывая, что предельные степени вытяжки определяли при  $\alpha = 0,119$ , примем значение  $k_\alpha$  для этого случая за единицу.

Остальные значения  $k_\alpha$  соответственно составляют:

$\alpha$	0,119	0,177	0,226	0,654	1,822
$k_\alpha$	1,0	0,96	0,94	0,915	0,88

Уменьшение относительной массы бойка позволяет не только увеличить предельные степени вытяжки заготовки, но и одновременно снизить уровень радиальных деформаций  $\varepsilon_3$  в опасном сечении заготовки.

Изменение относительного радиуса закругления перетяжной кромки матрицы вызывает одинаковое изменение предельной степени вытяжки для всех исследуемых листовых материалов, причем эта особенность наблюдается при

различных значениях  $\alpha$  для прямой схемы вытяжки. Ввиду этого появилась возможность учитывать влияние радиуса  $r_M$  на предельную степень вытяжки заготовки с помощью единого коэффициента  $k_r$ . В случае  $k_r = 1,0$  принимаем  $r_M = 4S$ , так как при этом значении радиуса определяли предельные значения степени вытяжки  $k_{np0}$ . Изменение радиуса  $r_M$  сказывается не только на степени вытяжки, но и на величине и характере распределения радиальных деформаций вдоль образующей вытягиваемых изделий.

Значения коэффициентов  $k_r$  составляют:

$r_M$	$2S$	$4S$	$6S$	$8S$	$10S$
$k_r$	0,99	1,00	1,015	1,05	1,09

Особенно заметное влияние радиус  $r_M$  оказывает на радиальные деформации донной части изделия, значения которых можно уменьшить почти в три раза, увеличив радиус  $r_M$  с  $2S$  до  $12S$ . Увеличение радиуса  $r_M$  способствует получению изделий с более равномерной толщиной стенки, причем при  $r_M = (8...10)S$  максимальные деформации  $\varepsilon_3$  не превосходят  $0,20...0,25$  и становятся сравнимыми с деформациями при вытяжке в обычных штампах.

Относительная толщина заготовки  $S/D_3$  является основным технологическим параметром, характеризующим геометрические размеры заготовки. Она определяет жесткость заготовки, давление, необходимое для вытяжки, предельную степень вытяжки. Влияние этой величины на предельную степень вытяжки при обычной штамповой вытяжке известно [4]. Однако вытяжка тонколистовых заготовок в условиях пневмоударного нагружения имеет ряд отличительных особенностей, которые могут заметно изменить характер влияния величины относительной толщины заготовки на предельную степень вытяжки (см. табл. 2).

Таблица 2

Значения коэффициентов  $k_s$  для различных материалов

Относительная толщина заготовки, %	АМцМ, Д1АМ, М1М, М1Т, Л62, Л63Т, Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, ВЖ98, ЭП693ВД	Стали 08кп, 10кп, 08пс; ВТ1-0, ОТ4-1, ОТ4
2,6-2,0	1,01-1,00	1,09-1,08
2,0-1,5	1,00-0,97	1,08-1,05
1,5-1,0	0,97-0,92	1,05-1,00
1,0-0,6	0,92-0,87	1,00-0,95
0,6-0,4	0,87-0,84	0,95-0,92
0,4-0,2	0,84-0,82	0,92-0,90
0,2-0,1	0,82-0,80	0,90-0,88

Относительная толщина заготовки  $S/D_3$  оказывает также влияние на характер и величину изменений максимальных радиальных деформаций в опасном сечении образцов. В качестве критерия этих деформаций используют относительное утонение  $\Delta S/S$ , где  $\Delta S$  – разница между начальной и конечной толщиной материала в опасном сечении. Максимальное утонение достигается при вытяжке заготовок предельного размера, который изменяется в соответствии

со значениями предельной вытяжки. Таким образом, утонение зависит только от того, насколько близко степень вытяжки заготовки приближается к предельному значению.

Так как закономерность изменения максимальных радиальных деформаций  $\epsilon_3$  при различных условиях вытяжки одинакова, то их изменение можно описать простой аппроксимирующей зависимостью

$$\epsilon_3 = \epsilon_{3\max} k_\epsilon, \quad (3)$$

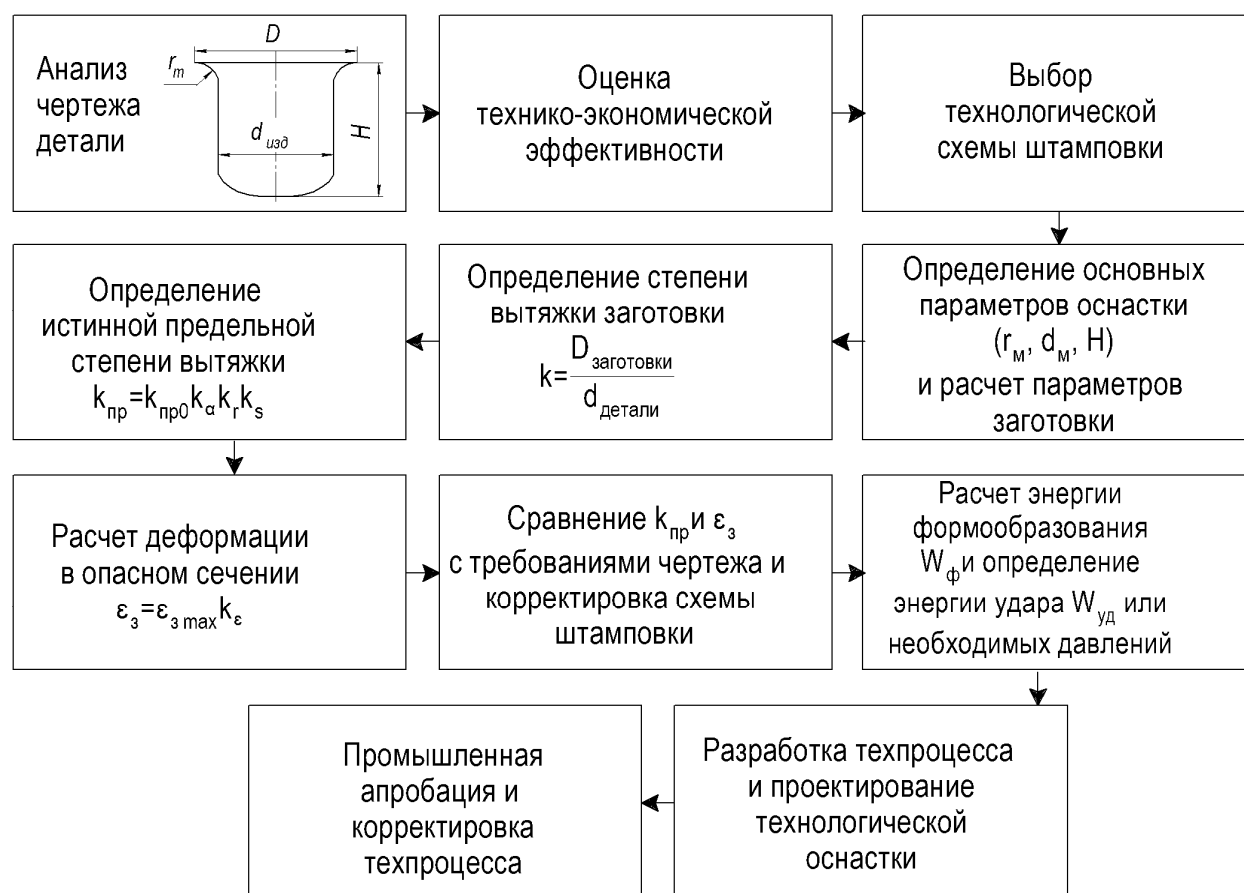
где  $\epsilon_{3\max}$  – максимально возможная для материала радиальная деформация, взятая из работы [4];

$k_\epsilon$  – коэффициент, учитывающий влияние отношения  $k/k_{np}$  на  $\epsilon_3$ .

Значения коэффициента  $k_\epsilon$  при различных значениях  $k/k_{np}$  составляют:

$k/k_{np}$	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6
$k_\epsilon$	0,62	0,4	0,19	0,09	0,08

Учитывая перечисленные выше особенности процесса пневмоударной вытяжки жидкой средой, технологический процесс можно представить в такой последовательности выполнения основных операций (рисунок)



Типовая последовательность разработки процесса пневмоударной вытяжки

На этапе анализа чертежа детали определяют геометрические размеры изделия, требуемую точность изготовления, фактические значения степени вытяжки, максимально допустимые радиальные деформации изделия, получают в первом приближении схему вытяжки (прямую, реверсивную, фрикционную и т.д.) и выбирают основные параметры оснастки (радиус закругления вытяжной матрицы, диаметр матрицы, ее глубину, тип смазки). Форму заготовок и их размеры выбирают в соответствии с требованиями обычной листовой штамповки в инструментальных штампах. Затем устанавливают степень вытяжки, определяют ограничения по чистоте поверхности детали и корректируют параметры оснастки. Согласно геометрическим параметрам детали и оснастки определяют требуемые размеры рабочей камеры (диаметр ее выходного сечения и высоту, количество рабочей жидкости, диаметр и глубину контейнера), а также требуемый для получения необходимый уровень давлений. Необходимый уровень максимальных давлений для последующих переходов определяют исходя из возможности получения минимального радиуса сопряжения между дном и стенкой изделия по известной зависимости.

Важным параметром при разработке процесса вытяжки является утонение материала заготовки в опасном сечении. Деформацию заготовки рассчитывают в такой последовательности: по ранее установленным значениям степени вытяжки  $k$  и предельной степени вытяжки в данных условиях  $k_{np}$  определяют относительную степень вытяжки  $k/k_{np}$ ; в зависимости от значения  $k/k_{np}$  устанавливают значение коэффициента соответственно материалу заготовки устанавливают максимально возможное значение радиальной деформации  $\varepsilon_{3\max}$ ; определяют значение радиальной деформации в опасном сечении заготовки  $\varepsilon_3 = \varepsilon_{3\max} k$ .

Полученные значения  $k_{np}$  и  $\varepsilon_3$  сравнивают со значениями необходимой для получения изделия степени вытяжки  $k$  и допустимого утонения. Если  $k_{np} > k$ , а  $\varepsilon_3 < \varepsilon_{3\text{дон}}$ , то процесс пневмоударной вытяжки изделия можно осуществить по прямой схеме вытяжки. В случае превышения требуемой степени вытяжки  $k_{np}$  необходимо скорректировать схему штамповки с использованием методов или приемов интенсификации самого формообразования.

После определения схемы штамповки проектируют технологическую оснастку. При этом сохраняются ранее определенные значения радиуса закругления матрицы, диаметра заготовки и радиусов сопряжения. Конструктивное решение остальных элементов оснастки определяется в основном формой и размерами изделия. Матрицу необходимо проектировать с учетом ее использования для различных толщин заготовок [7].

Важным технологическим параметром процесса вытяжки является энергия удара, необходимая для получения изделия заданной формы из определенной заготовки.

Энергию удара  $W_{y\partial}$  определяем с учетом интегрального КПД процесса  $\eta$ , который в зависимости от условий штамповки и технологической операции может изменяться от 0,5 до 0,7. Для процесса вытяжки на оборудовании модели Т-1324 можно принять КПД процесса  $\eta = 0,4$  [6]. Тогда

$$W_{y\partial} = (1/\eta) \cdot W_{\phi} = 2,5 \cdot W_{\phi}, \quad (4)$$

где  $W_{\phi} = P_{cp} h_{\partial}$  – энергия формообразования;

$P_{cp} = 0,8LS\sigma_6$  – среднее усилие вытяжки;

$h_{\partial}$  – высота детали;

$L$  – периметр вытягиваемой детали по средней линии.

Энергию удара бойка, необходимую для получения, например, деталей прямоугольной формы (коробки), определяем по уравнению

$$W_{y\partial} = 0,8 \cdot (1/\eta) \cdot L \cdot S \cdot h_{\partial} \cdot \sigma_{\partial}. \quad (5)$$

Для деталей круглой формы (обтекателя, чашки)

$$W_{y\partial} = 2,5 \cdot (1/\eta) \cdot d_{\partial} \cdot S \cdot h_{\partial} \cdot \sigma_{\partial}. \quad (6)$$

**Выводы.** Для процесса пневмоударной вытяжки с использованием гидравлической среды:

1. Определены основные факторы влияния на технологический процесс вытяжки и установлены их количественные характеристики и закономерности.

2. Предложена методика инженерного расчета энергосиловых параметров нагружения и даны практические рекомендации по разработке технологического процесса вытяжки для различных материалов с учетом основных факторов влияния.

3. Установлено, что доминирующим фактором является относительная масса бойка.

### Список литературы

1. Листовая штамповка с использованием импульсных нагрузок [Текст] / В.Н. Чачин, Ю.Е. Шамарин, А.Ю. Журавский и др. – К.: УМК ВО, 1989. – 108 с.

2. Оборудование для ударной импульсной штамповки [Текст] / Е.А. Фролов, А.Е. Аулов, В.П. Усанин, Ю.М. Свиридов // Передовой опыт. – М.: ЦНИИИ и ТЭИ. – 1987. – №11. – С. 26 – 29.

3. Фролов, Е.А. Особенности пневмоударной штамповки сложнорельефных деталей [Текст] / Е.А. Фролов, И.В. Манаенков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3(54). – Х., 2008. – С. 101 – 109.

4. Исаченков, Е.И. Штамповка резиной и жидкостью [Текст] / Е.И. Исаченков. – М.: Машиностроение, 1967. – 367 с.

5. Петраковский, В.С. Оценка штампуемости материалов при гидроударной вытяжке листового металла [Текст] / В.С. Петраковский // Импульсные методы обработки металлов. – Минск: Наука и техника. – 1977. – С. 123 – 131.

6. Пневмоударная и статикодинамическая штамповка сложнорельефных листовых деталей упругими средами [Текст]: моногр. / [Е.А. Фролов, А.Я. Мовшович, И.В. Манаенков и др.]. – Х.: УкрГАЗТ. – Краматорск: ДГМА, 2010. – 287 с.

7. Конструирование инструментов для ударной импульсной штамповки [Текст] / А.Я. Мовшович, И.В. Манаенков В.В. Косенков, Ю.М. Свиридов // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. Нац. техн. ун-ту «ХПІ». – Вип. 2(17). – Х., 2008. – С. 248 – 255.

Поступила в редакцию 19.03.2018

## **Про ступінь впливу конструктивно-технологічних чинників на процес пневмударного витягування**

На основі аналізу впливу основних конструктивно-технологічних чинників (швидкість навантаження, радіус заокруглення, відносна товщина і матеріал заготовки, ступінь деформування) на процес пневмударного витягування деталей гідросередовищем, розроблено алгоритм інженерного розрахунку необхідних для формоутворення енергосилових параметрів. Запропоновано методику кількісної оцінки впливу цих параметрів на якісні показники штампувальної здатності деталей і визначено технологічні можливості процесу пневмударного витягування.

**Ключові слова:** пневмударне штампування, витягування, технологія, показники, конструктивно-технологічні.

## **On the Degree of Influence of Structural and Technological Factors on the Process of Air Hammer Extraction**

In the given work the researches of influence of residual stresses of sheet details obtained at dividing operations, arising from a deformed condition of a workpiece and a redistribution of stresses in a detail after punching holes in them are given. Dimension distortion values are determined depending on the design parameters of the workpiece and the part. The engineering method of calculation of stamping errors, which takes into account the influence of residual stresses, is proposed.

**Keywords:** pneumatic impact stamping, drawing, technology, indicators, constructive and technological.

### **Сведения об авторе:**

**Ясько Станислав Георгиевич** – ст. преподаватель, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина.

e-mail: s.g.yasko@gmail.com; ORCID:0000-0001-6228-705X.