

УДК 621.7.044

А.П. МЕЛЬНИЧУК

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ ПРИВАРНОЙ АРМАТУРЫ ВЫСОКОРЕСУРСНОГО ТРУБОПРОВОДА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА; ТРЕБОВАНИЯ К ЗАГОТОВКАМ И ОСНАСТКЕ

*Изложены некоторые особенности технологических операций гидродинамической штамповки приварной арматуры высокоресурсного трубопровода воздушных систем ЛА. Представлены сведения о составляющих технологического процесса – режимах, операциях, материалах, методиках расчетов. Приведены технические требования на отклонения геометрических и физических параметров заготовок. Сформулированы основные режимы подготовки заготовок из титановых сплавов ПТ-7М и ВТ1-0, стали 12Х18Н10Т. Предложена инженерная методика расчета энергосиловых параметров при реализации процесса гидродинамической штамповки трубчатых заготовок. Представлен алгоритм определения изначальной энергии с использованием как аналитического подхода, так и графического материала. Приведены требования к технологическому оснащению оборудования для гидродинамической штамповки и рекомендации по проектированию технологической оснастки.*

**Ключевые слова:** гидродинамическая штамповка, технологический процесс, приварная арматура, энергосиловые параметры, заготовка, оснастка.

### Введение

Трубопроводы противообледенительной системы и системы кондиционирования воздуха, относящиеся к воздушным системам летательных аппаратов (ЛА), рассчитаны на транспортировку больших объемов воздуха и находятся под действием динамических, циклических и повторно-статических нагрузок.

Одним из способов изготовления элементов высокоресурсного трубопровода является гидродинамическая штамповка (ГДШ) [1, 2].

В данной публикации изложены некоторые особенности технологических операций ГДШ приварной арматуры высокоресурсного трубопровода воздушных систем ЛА, в частности приведены сведения о составляющих технологического процесса – режимах, операциях, материалах и т.д., указаны требования к заготовкам и технологической оснастке.

В статье приведена также инженерная методика определения энергосиловых параметров процесса гидродинамической штамповки изделий из трубчатых заготовок.

### 1. Основные сведения об изделии и процессе

Высокоресурсный трубопровод воздушных систем ЛА изготавливают методом сборки-сварки из набора унифицированных элементов и приварной арматуры (табл. 1) [1].

Конструкционными материалами высокоресурсного трубопровода являются преимущественно титановые сплавы (ПТ-7М, ВТ1-0 и ОТ4-1) и коррозионно-стойкая сталь 12Х18Н10Т, а также, в ряде случаев, алюминиевые сплавы АМг2М и АМг3М.

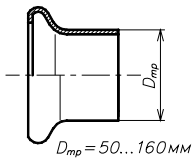
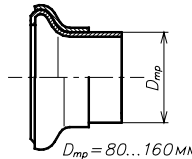
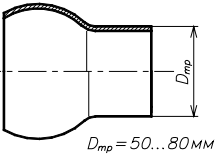
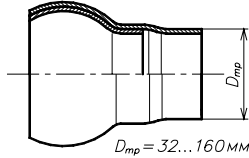
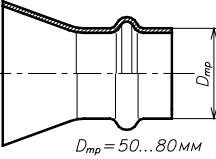
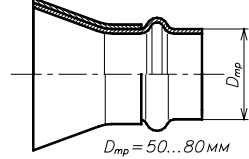
Элементы приварной арматуры изготавливают из цельнотянутых и сварных одношовных трубных заготовок в диапазонах диаметров и толщин, в которых изготавливаются трубопроводы. Отклонения по толщине и диаметру, шероховатость поверхности в зоне формообразования должны соответствовать требованиям конструкторской документации, а в зоне стыковки с трубным элементом – требованиям к полуфабрикатам в состоянии поставки. Некруглость в зоне концевой сечении под сварку для всего диапазона диаметров – не более 2 мм. Эти сечения подлежат торцовке в размер в соответствии с требованиями чертежа и калибровке (при необходимости) под автоматическую сварку. Допустимая перпендикулярность торцов не более 0,2 мм, отклонения наружного диаметра в зоне концевой сечении под сварку на длине 5...10 мм от торца +0,1...0,25 мм.

Возможны такие технологические варианты изготовления приварной арматуры:

- формообразование статическим давлением с применением эластичных наполнителей на универсальном прессовом оборудовании;
- импульсная обработка металлов давлением, в том числе – гидродинамическая штамповка [1].

Таблица 1

Основные виды приварной арматуры высокоресурсного трубопровода

Наименование	Эскиз	Наименование	Эскиз
Наконечник облегченный		Наконечник усиленный	
Наконечник сферический		Наконечник сферический усиленный	
Наконечник конусный		Наконечник конусный усиленный	

Гидродинамическую штамповку приварной арматуры на АНТК «Антонов» осуществляют на пресс-пушках ПП9 и ПП11М, гидроударном прессе СФТ-506. Принципиальная схема ГДШ изображена на рис. 1 [2].

Сущность процесса заключается в следующем (рис. 1): формоизменение заготовки 1 по профилю рабочей поверхности матрицы 2 производится дав-

лением передающей среды (жидкости) 4, вытесняемой из камеры (переходника ствола) 3 быстродвижущимся поршнем (снарядом) 5, обладающим в момент удара о поверхность жидкости кинетической энергией [3].

Структурно производственный процесс изготовления приварной арматуры методом ГДШ можно представить следующим образом [4]:

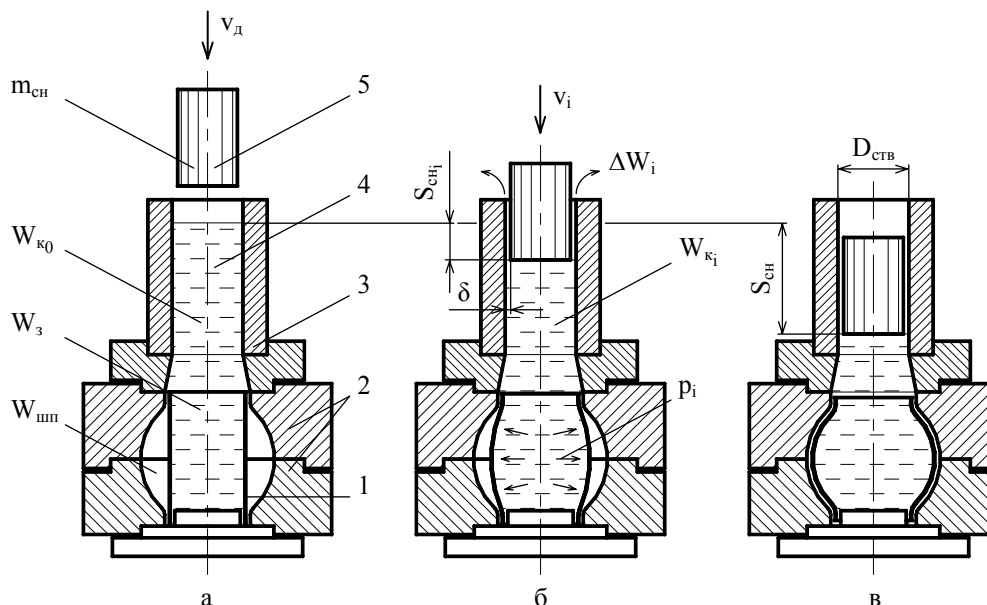


Рис. 1. Принципиальная схема технологического процесса гидродинамической штамповки:

1 – заготовка; 2 – оснастка; 3 – переходник ствола; 4 – передающая среда; 5 – снаряд;  
 $m_{сн}$  – масса снаряда;  $D_{ств}$  – диаметр ствола;  $v_d$  – дульная скорость снаряда;  $v_i$  – текущая скорость снаряда;  
 $p_i$  – текущее значение давления в формирующей камере;  $S_{сн}$ ,  $S_{снi}$  – перемещение снаряда и его текущее значение;  $\delta$  – зазор;  $\Delta W_i$  – различного рода потери;  $W_{к0}$ ,  $W_{кi}$  – начальный и текущий объемы переходника ствола;  
 $W_3$  – объем жидкости внутри заготовки;  $W_{штп}$  – объем заштамповой полости

1. Определение размеров заготовки:
  - диаметр  $D_0$ , мм – принимается равным минимальному диаметру детали;
  - высота  $H_0$ , мм

$$H_0 = \alpha + \Delta h, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – длина образующей детали;  
 $h$  – технологический припуск;  
 – допуски на  $D_0$  и  $H_0$  назначают по соответствующим РТМ (руководящим техническим материалам) предприятия. При отклонении заготовок от указанного допуска осуществляют их калибровку (на пресс-пушке или традиционными способами).

2. Подготовка заготовок к ГДШ:

- 2.1. Термообработка заготовки – отжиг:

- из стали 12Х18Н10Т – в нейтральной среде ( $T = 850 \pm 10$  °С;  $t = 20$  мин);
- из сплава ПТ-7М – в вакууме ( $T = 650 \pm 10$  °С;  $p = 10^{-3}$  мм рт.ст.;  $t = 30$  мин). Охлаждение в вакууме до 200°С;

- из сплава ВТ1-0 – в вакууме ( $T = 520 \dots 570$  °С;  $p = 10^{-3}$  мм рт.ст.;  $t = 15$  мин). Охлаждение в вакууме до 200°С.

- 2.2. Полировка наружной поверхности заготовки в зоне деформирования.

- 2.3. Наружную поверхность заготовки необходимо обезжирить бензином Б-70 и покрыть тонким и равномерным слоем лака ХВЛ-21 в два слоя с промежуточной сушкой в течение 15 мин при  $T = 20 \pm 10$  °С. При необходимости нанести на заготовку тонкий слой графитовой смазки.

3. Гидродинамическая штамповка деталей осуществляется за 2...3 перехода. Последний переход – калибровочный.

4. После каждого перехода необходимо удалить лаковое покрытие, обезжирить деталь промывкой в ацетоне с последующей протиркой фланелевой салфеткой, смоченной в бензине Б-70.

5. При подготовке заготовки к последующим переходам штамповки необходимо повторить действия, выполняемые в пункте 2.3.

6. После калибровочного перехода деталь торцевать в размер согласно чертежу и окончательно полировать.

## 2. Расчет энергосиловых параметров штамповки

Энергетический цикл гидродинамической штамповки на пресс-пушке характеризуется последовательным превращением одного вида энергии в другой – потенциальной энергии порохового заряда в работу деформирования заготовки [2, 3]. Конечным этапом цепочки всех энергопреобразований является формоизменение заготовки в готовую деталь

$$\frac{f \cdot \omega}{\theta} = \frac{A_{ж} + W_{деф}}{\eta_{ту} \cdot \eta_{эу}}, \quad (2)$$

где  $f \cdot \omega / \theta$  – полная потенциальная энергия порохового заряда, здесь  $\theta = k - 1$ ;  $f$  – сила пороха;  $k$  – показатель адиабаты;  $A_{сж}$  – работа сжатия жидкости;  $W_{деф}$  – работа деформирования заготовки;  $\eta_{ту}$ ,  $\eta_{эу}$  – коэффициенты полезного действия технологического и энергетического узлов соответственно.

Затрачиваемая на процесс деформирования работа  $W_{деф}$  определяется выражением

$$W_{деф} = \int_V \int_0^{\varepsilon_i} \sigma_i(\varepsilon_i) d\varepsilon_i dV, \quad (3)$$

где  $V$  – объем деформируемого участка;

$\varepsilon_i$  – интенсивность деформаций;

$\sigma_i(\varepsilon_i)$  – закон упрочнения материала.

Соотношение (3) с некоторыми допущениями применимо для инженерных расчетов. В действительности, при рассмотрении нестационарных процессов, интенсивность деформаций  $\varepsilon_i$  является функцией от времени  $t$  и определяется скоростью интенсивности деформаций, поэтому формула определения работы деформирования  $W_{деф}$  имеет вид

$$W_{деф} = \int_V \int_0^t \sigma_i \dot{\varepsilon}_i dt dV, \quad (4)$$

где  $\dot{\varepsilon}_i$  – скорость интенсивности деформаций;

$t$  – продолжительность процесса деформирования.

В статической постановке связь внешних и внутренних сил при деформировании заготовки определяется совместным решением уравнения Лапласа (уравнения равновесия), условия постоянства и условия пластичности:

$$\frac{\sigma_s}{R_s} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} = \frac{p}{h}; \quad (5)$$

$$\varepsilon_s + \varepsilon_\theta + \varepsilon_h = 0; \quad (6)$$

$$\sigma_s^2 - \sigma_s \sigma_\theta + \sigma_\theta^2 = \sigma_1^2. \quad (7)$$

где  $\sigma_s$ ,  $\sigma_\theta$  – главные напряжения в меридиональном (вдоль образующей) и широтном (окружном) направлениях;

$\sigma_1$  – интенсивность напряжений;

$R_s$ ,  $R_\theta$  – радиусы кривизны в меридиональном и широтном направлениях;

$p$  – нормальное давление передающей среды;

$h_0$ ,  $h$  – начальная и текущая толщина заготовки;

$\varepsilon_s$ ,  $\varepsilon_\theta$ ,  $\varepsilon_h$  – логарифмические (истинные) деформации вдоль образующей, окружные и по толщине соответственно.

Наиболее точное определение напряженно-деформированного состояния (НДС) заготовки при ГДШ возможно совместным решением уравнений движения тонких оболочек и пластического течения

в динамической постановке [5]. Однако, совместное решение этих уравнений возможно только численными методами. Поэтому в инженерных расчетах параметров НДС заготовки с определенными допущениями применимы соотношения (5–7) [6].

Величина интенсивности деформаций  $\varepsilon_i$  вычисляется из составляющих деформированного состояния заготовки по формуле

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_s - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_h)^2 + (\varepsilon_h - \varepsilon_s)^2}. \quad (8)$$

Зависимость интенсивности напряжений от интенсивности деформаций определяет физический закон упрочнения материала  $\sigma_i(\varepsilon_i)$ , представление аппроксимационной функции которого для разных материалов различно.

Для слабо упрочняющихся материалов физический закон можно представить в виде

$$\sigma_i = \sigma_T, \quad (9)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала.

По существу этим соотношением слабо упрочняющийся материал представляется как жесткопластичный.

Очень часто пользуются степенным законом упрочнения

$$\sigma_i = \beta \cdot \varepsilon_i^\alpha, \quad (10)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – аппроксимационные коэффициенты физического закона.

Рациональнее всего экспериментально полученный закон упрочнения аппроксимировать степенным рядом Маклорена, удерживая в нем количество членов, обеспечивающее заданную степень точности аппроксимации

$$\sigma_i = a_0 + \sum_{j=1}^n a_j \varepsilon_i^j. \quad (11)$$

Для получения приближенной величины работы деформирования можно использовать соотношение

$$W_{\text{деф}} = V \cdot k_c \int_0^{\varepsilon_{ic}} \sigma_i d\varepsilon_i; \quad (12)$$

$$A_c = k_c \int_0^{\varepsilon_{ic}} \sigma_i d\varepsilon_i, \quad (13)$$

где  $A_c$  – осредненная по объему штампуемой детали удельная работа деформации;

$k_c$  – коэффициент скоростного упрочнения.

Второй важной характеристикой технологического процесса, влияющей на величину потребного заряда пороха, является максимальное давление передающей среды  $p_{\text{max}}$ , реализуемое в гидравлической камере пресс-пушки.

Учитывая то, что уровень сжимаемости жидкости обычно находится в пределах 50...200 МПа, для оценки ее сжимаемости можно использовать из-

вестное уравнение в форме Тэта в виде

$$p = B \left[ \left( \frac{W_0}{W} \right)^n - 1 \right], \quad (14)$$

где  $p$  – давление в жидкости;  $W_0$  и  $W$  – начальный и текущий объемы жидкости;  $B$  и  $n$  – эмпирические величины, по данным Бриджмена и Гибсона, для пресной воды – соответственно 2940 кгс/см<sup>2</sup> и 7,47.

На достижение этого давления затрачивается работа адиабатического сжатия жидкости  $A_{\text{ж}}$ , определяемая выражением

$$A_{\text{ж}} = \int_{p_0}^{p_{\text{max}}} W dp. \quad (15)$$

Зависимость для ее определения в виде уравнения Тэта имеет вид [6]

$$A_{\text{ж}} = B \cdot W_0 \left\{ \frac{1}{n-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_{\text{max}}}{B} + 1 \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] + \left( 1 - \frac{1}{\sqrt[n]{\frac{p_{\text{max}}}{B} + 1}} \right) \right\}.$$

Достаточную для инженерных расчетов точность также дает приближенная формула

$$A_{\text{ж}} = \frac{p_{\text{max}}^2 W_0}{2K}, \quad (17)$$

где  $p_{\text{max}}$  – максимальное давление;  $K$  – модуль объемного сжатия жидкости, равный для пресной воды 22000 кгс/см<sup>2</sup>;  $B$  и  $n$  – эмпирические величины 2940 кгс/см<sup>2</sup> и 7,47 соответственно;  $W_0$  – первоначальный объем жидкости;  $W$  – объем жидкости при давлении  $p_{\text{max}}$ .

Величину потребной энергии удара в зависимости от требуемого давления можно определить также по диаграммам, которые предложены Г.К. Брониным (рис. 2).

Следует отметить, что объем рабочей жидкости, подлежащий сжатию в процессе штамповки  $W_0$ , не остается неизменным. Будучи в изначальном виде равным сумме  $W_{k_0}$  (объем камеры, или переходника ствола) и  $W_3$  (объема жидкости, заключенного внутри полостей заготовки и комплекта стыковочных элементов), в конце процесса объем сжимаемой жидкости  $W_k$  уменьшается на величину  $\Delta W_i$  – объем потерь через конструктивно обусловленные и случайные зазоры (рис. 1), т.е.

$$W_0 = W_{k_0} + W_3; \quad (18)$$

$$W_k = W_0 - \Delta W_i. \quad (19)$$

Также из рис. 1 ясно, что жидкость, вытесняемая снарядом из камеры в полость заготовки ( $W_a$ ),

заполняет увеличивающееся ее (заготовки) внутреннее пространство на величину объема заштамповой полости  $W_{шп}$ , и составляет

$$W_b = W_{шп} + \Delta W_i = \frac{\pi D_{ств}^2}{4} (S_{сн} + S_{сн_i}), \quad (20)$$

где  $S_{сн_i}$  – участок перемещения снаряда в камере до начала пластического деформирования заготовки;

$D_{ств}$  – диаметр ствола (калибр) конкретной технологической установки, является одним из главных показателей в технической характеристике пресс-пушки и составляет от 35 мм до 80 мм в реализованных конструкциях.

Очевидно, что оптимальным с точки зрения соотношения полезных и балластных энергозатрат при передаче энергии давления через формирующую жидкость является вариант равенства объема вытесняемой снарядом жидкости объему заштамповой полости, т.е.  $W_b = W_{шп}$ .

Если  $W_b < W_{шп}$ , то для штамповки детали потребуется более одного штамповочного перехода (рабочего цикла); если же  $W_b > W_{шп}$ , то потребуется дополнительная затрата энергии для сжатия балластного объема жидкости [7].

Таким образом, энергия, реализуемая в гидравлической камере при ГДШ, будет равна суммарной работе  $A_{\Sigma}$ , определяемой выражением

$$A_{\Sigma} = \frac{W_{деф} + A_{ж}}{\eta_{гв}}. \quad (21)$$

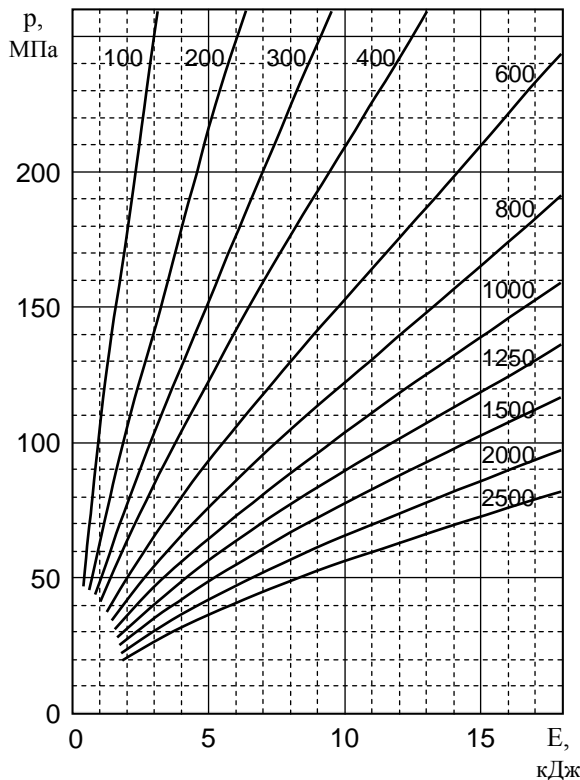


Рис. 2. Зависимость изменения давления от энергии удара при различных объемах жидкости ( $V, \text{см}^3$ )

В работе [6] приведены эмпирические значения интегрального КПД в функции от удельной массы снаряда для некоторых случаев ГДШ, где  $m_{снуд}$  – удельная масса снаряда, т.е. отношение массы снаряда к площади его поперечного сечения (табл. 2).

Таблица 2  
Значения КПД технологического узла для различных величин удельной массы снаряда

$m_{снуд}, \text{г/см}^2$	10	20	40	60	80
$\eta_{гв}$	0,52	0,43	0,35	0,31	0,27

Суммарная работа  $A_{\Sigma}$  должна быть равна кинетической энергии снаряда  $E_{сн}$  на дульном срезе, т.е.

$$E_{сн} = \frac{m_{сн} v_d^2}{2}, \quad (22)$$

где  $m_{сн}$  – масса снаряда;

$v_d$  – дульная скорость снаряда на срезе ствола.

Для аналитического определения энергии снаряда  $E_{сн}$  или его дульной скорости  $v_d$  необходимо провести баллистический расчет энергетического узла пресс-пушки, или использовать готовую баллистическую характеристику конкретной модели, приведенную в ее техническом паспорте.

Баллистическая характеристика пресс-пушки – диаграммы зависимости между массой снаряда  $m_{сн}$  его скоростью  $v_d$  и весом порохового заряда  $\omega$ .

В качестве примера на рис. 4 представлена баллистическая характеристика пресс-пушки ПП11М.

Таким образом, инженерная методика определения энергосиловых параметров штамповки и как конечный результат – исходного (потребного) заряда пороха сводится к следующему:

1. Определить объем жидкости  $W_0$  в гидравлической камере пресс-пушки – выражение (18).
2. Определить величину максимального давления жидкости  $p_{max}$  – система уравнений (5-7).
3. Определить работу сжатия жидкости  $A_{ж}$  по формуле (16) или зависимостям (рис. 2).
4. Определить работу деформирования заготовки  $W_{деф}$  – выражение (3) или (12).
5. Определить потребную кинетическую энергию снаряда  $E_{сн}$  и его дульную скорость  $v_d$  (при заданном значении массы снаряда  $m_{сн}$ ) – формулы (21) и (22).

6. Определить по баллистической характеристике  $v_d(\omega)$  конкретной пресс-пушки величину потребного заряда пороха  $\omega$ .

На практике определение потребного заряда пороха достигается путем последовательного приближения по представленной выше методике с последующим уточнением экспериментально.

### 3. Оборудование и оснастка для гидродинамической штамповки

Основная часть номенклатуры приварной аппаратуры высокоресурсных трубопроводов самолетов, спроектированных на АНТК «Антонов», изготавливается на пресс-пушке типа ПП11М (рис. 3, табл. 3) баллистическая характеристика которой изображена на рис. 4 [4].

Технологическая зона пресс-пушек типа ПП11М оснащена устройствами, позволяющими использовать унифицированную технологическую оснастку. При этом разъемные матрицы могут быть как с горизонтальным, так и с вертикальным стыком. Предпочтительно применение матриц второго типа, замыкаемых при штамповке коническими бандажами, которые на этих установках можно крепить как с нижней, так и с верхней стороны, а при большой высоте оснастки – с обеих сторон. Отдельные полуматрицы устанавливаются посредством промежуточных полуфланцев на плитах разъемного стола, подаваемого вместе с ними в технологическую зону. Посадочные места фланцев имеют вид «ласточкин хвост», выполнены по окружности верхнего пояса матриц и унифицированы по трем типоразмерам. Сами фланцы надевают на конические штыри стола. Совмещение профилей полуматриц обеспечено штифтами на плоскостях стыка. Дополнительные (вспомогательные) элементы оснастки – переходные кольца и опорные диски – крепятся на переходнике ствола и траверсе пресс-пушки [8].

Следует принимать во внимание возможность

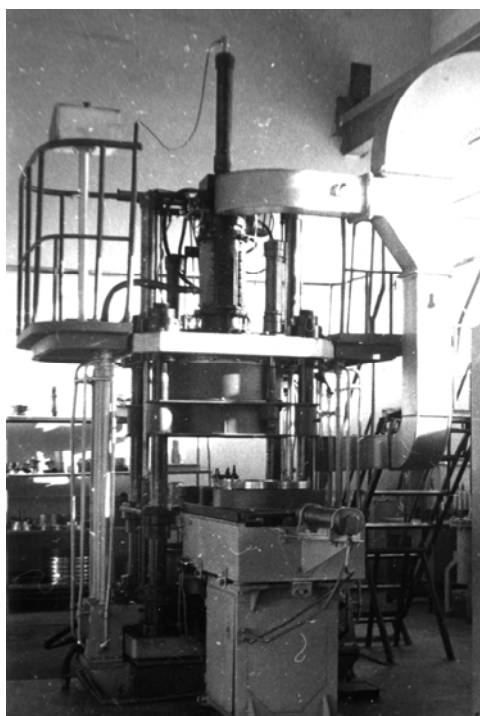


Рис. 3. Пресс-пушка ПП11М

Таблица 3  
Технические характеристики пресс-пушки ПП11М

Максимальная высота оснастки, мм	575
Максимальный диаметр оснастки, защищенной экраном, мм	650
Источник энергии	порох охотничий «Сокол»
Максимальная масса заряда, г	32
Количество патронов в магазинной коробке, шт	10
Располагаемая работа снаряда, кДж	55
Количество жидкости (воды) в переходнике ствола, мл	2400

осуществления на ПП11М любого количества штамповочных переходов без разборки штампового блока, т.е. многоимпульсное нагружение. При проектировании оснастки для таких процессов необходимо обращать внимание на меры по недопущению разгерметизации формирующих полостей матрицы.

Рекомендуется также уделять особое внимание обеспечению нераскрытия стыка матриц при штамповке.

Область целесообразного применения гидродинамической штамповки охватывает изготовление деталей трубопроводов высокой точности из труднодеформируемых материалов. Формообразование деталей из широко применяемых титановых сплавов осложнено их высокой упругостью, некоторым разбросом механических свойств [6].

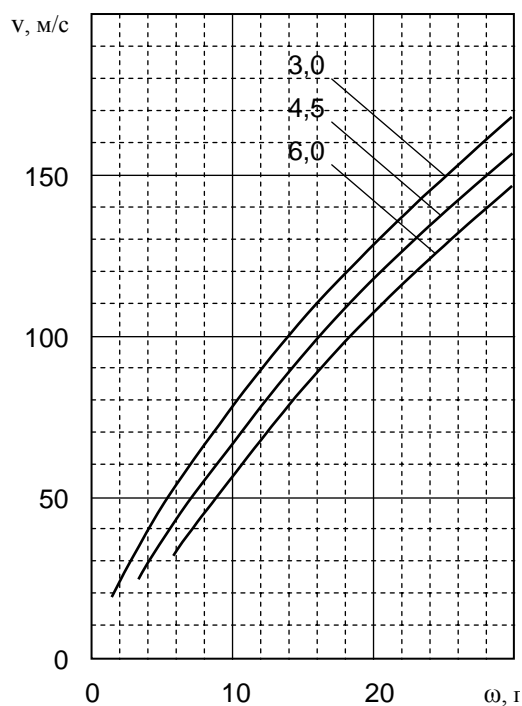


Рис. 4. Баллистическая характеристика пресс-пушки ПП11М ( $m_{сн}$ , кг)

Основная роль в достижении высокой точности при ГДШ трудно-деформируемых материалов отводится носителю форм – штамповой оснастке.

Для изготовления штампов, используемых при ГДШ, применяют различные металлы, в основном высокопрочные легированные стали. При выборе материала для матриц учитывают масштаб производства, характер выполняемой операции, размеры и геометрия штампуемой детали, а также механические свойства материала, из которого изготавливается деталь.

Рекомендуются следующие материалы для изготовления матриц [9]:

- формовочные матрицы простой формы – стали У8А, 8ХФ (или стали У8, У10);
- формовочные матрицы сложной формы – стали Х12М, 6ХВФ (или сталь Х12Ф1);
- вытяжные матрицы листовой чеканки – сталь У10А;
- вытяжные матрицы для вытяжки изделий из коррозионно-стойкой стали – чугуны СЧ32-52.

В связи с большими скоростями деформирования заготовок в матрицах рекомендуется предусматривать отверстия для выхода воздуха из рабочих зон. Отверстия располагают в матрице, как правило, в тех местах, где прилегание заготовки к ее рельефу происходит в последнюю очередь. Диаметр отверстий во всех случаях не рекомендуется выбирать большим толщины обрабатываемого материала.

Герметизация рабочей полости матрицы от попадания в нее жидкостной передающей среды можно осуществлять различными способами, что зависит от конструктивных особенностей штампуемой детали. При штамповке деталей из трубчатых заготовок герметизацию рабочей полости матрицы можно осуществлять [8]:

- парафинированием;
- уплотнением торцов заготовки густой смазкой;
- уплотнением торцов заготовки посредством резиновых колец;
- установкой внутри заготовки герметизирующего стаканчика из эластичного уплотнительного материала;
- калибровкой торцов.

Для передачи энергии от снаряда к деформируемой заготовке используются различные передающие среды. В ряде случаев технологичнее применять плотные (например, гидропласт) передающие среды, что позволяет отказаться от уплотнения заготовок в матрицах, облегчает установку заготовок и удаление готовых изделий, а также устраняет коррозию металлических частей установки и технологической оснастки, несколько повышает КПД передачи энергии от снаряда к заготовке [10].

Применение той или иной передающей среды определяется уровнем производства и размерами штампуемой детали. При серийном масштабе производства в качестве передающей среды применяют воду. Как передающая среда, она обеспечивает достаточную эффективность передачи энергии, высокое качество штампуемых деталей, позволяет легко автоматизировать процесс заполнения рабочих камер и технологической оснастки. Введение в воду антикоррозионных присадок позволяет исключить ее корродирующее действие на металлические части пресса и технологической оснастки.

## Заключение

Процессы гидродинамической штамповки обладают рядом особенностей и преимуществ перед традиционными методами штамповки.

Применение в высокотехнологических отраслях машиностроения процессов ГДШ на протяжении последних нескольких десятилетий позволило решить ряд производственных проблем в условиях опытного и серийного производств. Так, например, для самолетов Ан-74, Ан-124, Ан-225, Ан-70, Ан-140, Ан-148 изготавливаются с помощью рассматриваемых технологий более ста наименований деталей из титановых сплавов ПТ7М и ВТ1-0, стали 12Х18Н10Т [4, 9].

В статье освещены некоторые теоретические и прикладные материалы по результатам последних научно-технических работ в области высокоэнергетических технологий, в частности ГДШ [2, 7].

Внесены изменения, уточнения и дополнения в инженерную методику расчета энергосиловых параметров ГДШ, направленные на более точное определение как исходной (потребной) энергетики процесса, так и энергетических и силовых составляющих процесса.

## Литература

1. *Руководящий технический материал. Производство сварного высокоресурсного трубопровода. РТМ 1.4.1999-90 – М.: НИИТ. – 1991. – 234 с.*
2. Брагин А.П. Гидродинамическая штамповка на пресс-пушках, как одно из направлений импульсной обработки материалов давлением / А.П. Брагин // *Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 11 (47). – С. 296-304.*
3. Мацукин Ю.Г. Исследование гидродинамической штамповки на пресс-пушке: Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04 / Мацукин Юрий Григорьевич. – Х., 1966. – 223 с.
4. *Разработка и внедрение технологии формообразования деталей сложной конфигурации на*

пресс-пушке ПП11М: Научн.-техн. отчет о НИИР / Харьк. авиац. ин-т. – X., 1984. – 23 с. – № ГР 53470.

5. Мельничук А.П. Исследование процессов гидродинамической штамповки: обоснование определения напряженно-деформированного состояния тонкостенных осесимметричных оболочек / А.П. Мельничук // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – № 3 (50). – С. 41-46.

6. Мильченко Е.И. Исследование, разработка и внедрение технологических процессов изготовления высокоресурсного особотонкостенного титанового трубопровода воздушных систем ЛА: Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04 / Мильченко Евгений Иванович. – X., 1981. – 149 с.

7. Кривцов В.С. Анализ некоторых результатов научных и производственных исследований процессов гидродинамической штамповки элементов трубопроводов воздушных систем самолетов /

В.С. Кривцов, А.П. Брагин, А.П. Мельничук // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – Вып. 38. – С. 6-13.

8. Внедрение технологических процессов и модернизация оборудования для листовой гидродинамической штамповки: Научн.-техн. отчет о НИИР / Харьк. авиац. ин-т. – X., 1988. – 93 с. № ГР 01860018140.

9. Разработка технологии и оборудования для гидроударной штамповки трубчатых деталей изделия «400»: Научн.-техн. отчет о НИИР / ФТИ АН БССР – Минск, 1980. – 88 с. – № ГР 79016025.

10. Брагин А.П. Оценка возможности применения плотной передаточной среды в процессах штамповки на пресс-пушках / А.П. Брагин, В.Г. Касьян, Н.А. Луника // Обработка металлов давлением в машиностроении: Сб. науч. тр. – X.: Харьк. авиац. ин-т. – 1975. – Вып. 9. – С. 104-105.

Поступила в редакцию 27.01.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры технологии производства летательных аппаратов М.Е. Тараненко, Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», Харьков.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ШТАМПУВАННЯ ПРИВАРНОЇ АРМАТУРИ ВИСОКОРЕСУРСНОГО ТРУБОПРОВОДУ: ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ; ВИМОГИ ДО ЗАГОТОВОК ТА ОСНАЩЕННЯ

*О.П. Мельничук*

У статті викладені деякі особливості технологічних операцій гідродинамічного штампування приварної арматури високоресурсного трубопроводу повітряних систем ЛА. Представлені відомості щодо складових технологічного процесу – режимах, операціях, матеріалах, методиках розрахунків. Приведені технічні вимоги на відхилення геометричних та фізичних параметрів заготовок. Сформульовані основні режими підготовки заготовок з титанових сплавів ПТ-7М і ВТ1-0, сталі 12Х18Н10Т. Запропонована інженерна методика розрахунку енергосилових параметрів при реалізації процесу гідродинамічного штампування трубчастих заготовок. Представлений алгоритм визначення початкової енергетики з використанням як аналітичного підходу, так і графічного матеріалу. Приведені вимоги до технологічного оснащення устаткування для гідродинамічного штампування та рекомендації щодо проектування технологічного оснащення.

**Ключові слова:** гідродинамічне штампування, технологічний процес, приварна арматура, енергосилові параметри, заготовка, оснащення.

## MANUFACTURING PROCESSES OF HYDRODYNAMIC STAMPING OF TRAILING EDGES FOR HIGH-RESOURCE PIPELINES: DETERMINATION OF ENERGY-POWER PARAMETERS OF THE PROCESS; REQUIREMENTS FOR BLANKS AND RIGGING

*A.P. Melnychuk*

The peculiarities of particular technological operations of hydrodynamic stamping of trailing edges for high-resource air systems' pipelines are examined. The information about the constituents of technological process is given – methods, operations, materials, calculation procedures. Technical requirements for deviation of geometrical and physical parameters for blanks are given. The main methods of preparation of blanks of titanium alloys and steels are formulated. The engineering method of calculation of energy-power parameters during the process of hydrodynamic stamping of tubular blanks is validated and formed. The algorithm of determination of initial energy (required charge of gun powder) with the use of both analytical approach and graphical material is given. The requirements for technological equipment and rigging for hydrodynamic stamping are examined. The recommendations on designing of technological rigging are given.

**Key words:** hydrodynamic stamping, manufacturing process, trailing edges of pipelines, energy-power parameters, blank, rigging.

**Мельничук Александр Петрович** – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии производства летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.