

УДК 621.7.044

А.П. МЕЛЬНИЧУК

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

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ ПРИВАРНОЙ АРМАТУРЫ ВЫСОКОРЕСУРСНОГО ТРУБОПРОВОДА: ИЗГОТОВЛЕНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ И КОНУСНЫХ НАКОНЕЧНИКОВ

*Изложены некоторые особенности технологических операций гидродинамической штамповки сферических и конусных наконечников высокоресурсного трубопровода воздушных систем ЛА. Представлены основные схемы типовых технологических процессов гидродинамической штамповки приварной арматуры. Отмечены особенности технологии изготовления двухслойных усиленных сферических и конусных наконечников, которые состоят из двух элементов – наружного (охватывающего) и внутреннего; оба элемента должны иметь между собой прочное неподвижное беззазорное сочленение, обеспечиваемое штамповочной операцией – одной или несколькими. Рассмотрено несколько альтернативных вариантов маршрутных технологий изготовления деталей отмеченного типа. В качестве примера приведена маршрутная технология изготовления сферического наконечника АНУ.7400.001.011 для трубчатой заготовки  $\text{Ø}50 \times 0,8$  мм из титанового сплава ПТ-7М.*

**Ключевые слова:** гидродинамическая штамповка, технологический процесс, сферический и конусный наконечники, заготовка, операция.

### Введение

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

В самолетостроении при монтаже отдельных участков трубопроводов широкое распространение получило соединение сфера-конус (рис. 1), обеспечивающее герметичность стыка участков магистралей, компенсацию их угловых и линейных переме-

щений под воздействием переменных эксплуатационных нагрузок. К элементам соединения сфера-конус – сферическим и конусным наконечникам предъявляют жесткие требования соответствия критериям качества и технологичности.

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

В предыдущей публикации были приведены требования к геометрическим и физическим параметрам заготовок, а также к технологическому оснащению оборудования для гидродинамической штамповки; предложена инженерная методика расчета энергосиловых параметров при реализации этого процесса [3].

Данная статья является логическим продолжением предыдущей, где рассмотрены технологические операции изготовления некоторых элементов приварной арматуры высокоресурсного трубопровода методом ГДШ – сферических и конусных наконечников. Также, в качестве примера, приведена маршрутная технология изготовления сферического наконечника АНУ.7400.001.011 из титанового сплава ПТ-7М.

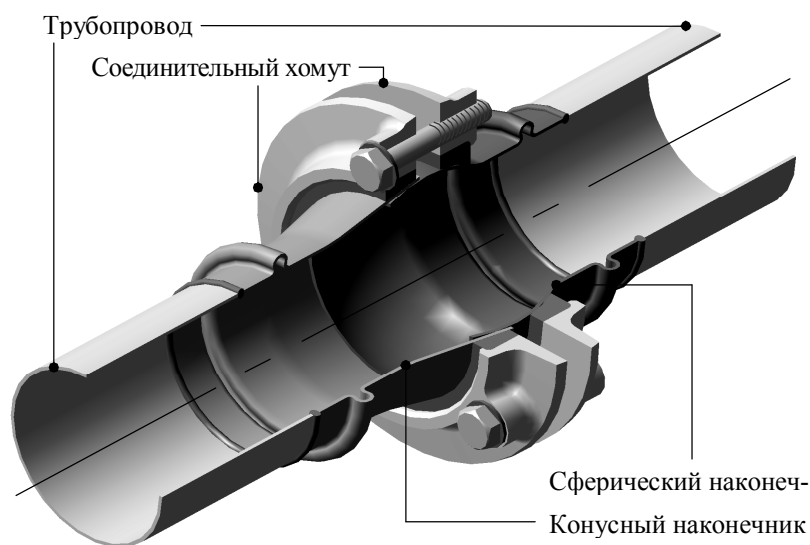


Рис. 1. Соединение трубопровода типа сфера-конус

## 1. Общая характеристика технологических процессов изготовления сферических и конусных наконечников

При разработке технологических процессов изготовления изделий заданы, как правило, чертеж детали и механические характеристики материала заготовки.

Разработку технологии гидродинамической штамповки деталей осуществляют в установленной последовательности [4 – 6]:

- анализ конструктивных особенностей детали;
- расчет размеров заготовок и их выбор;
- выбор конструкции и проектирование технологической оснастки;
- определение энергосиловых параметров процесса;
- определение режимов обработки;
- разработка технологических карт.

В общем, состав типового технологического процесса изготовления на пресс-пушке элементов соединения сфера-конус сводится к следующему:

- подготовить оснастку и заготовку;
- установить заготовку в матрицу;
- подать матрицу в технологическую зону пресс-пушки;
- произвести сборку штамповой оснастки и подготовить пресс-пушку к рабочему циклу (выстрелу);
- штамповать;
- произвести разборку штамповой оснастки;
- извлечь матрицу из технологической зоны пресс-пушки;

- снять отштампованную деталь.

После выполнения формообразующего перехода деталь термообработать (рекристаллизационный отжиг). Последний переход – калибровочный, выполняется с установкой калибровочного заряда.

Формообразование некоторых элементов, например конусов, целесообразно производить попарно из одной заготовки с последующим их разделением [5].

В отличие от изготовления однослойных элементов, технологический процесс получения двухслойных наконечников имеет ряд особенностей. Импульсная штамповка позволяет каждый вид деталей изготавливать в одном штампе.

Так, при формовке наконечников оба слоя преимущественно штампуют поочередно, причем внутреннюю деталь штампуют по ранее отформованной наружной. После раздачи первой заготовки деталь торцуют до номинального размера для получения возможности установки второго слоя вовнутрь.

На рис. 2 представлены готовые изделия – усиленные сферические и конусные наконечники для различных трубопроводов, соответствующих диаметрам 32, 42, 50 и 80 мм, а на рис. 3 и 4 показана оснастка и заготовка перед вторым переходом штамповки [4].

Конструкция усиленных наконечников зачастую дополнена кольцевым рифтом, обеспечивающим неразъемность и дополнительную жесткость соединения. Однако наличие такого конструктивного элемента делает неприемлемым использование матрицы с горизонтальным разъемом.

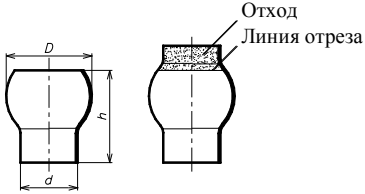
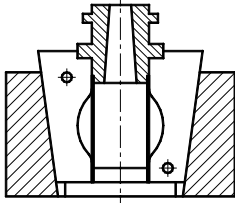
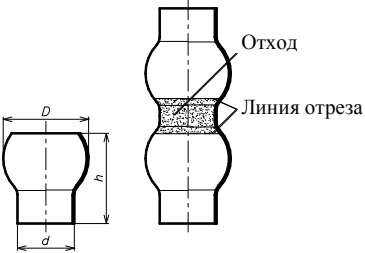
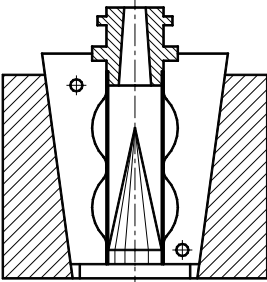
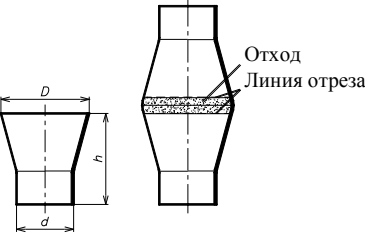
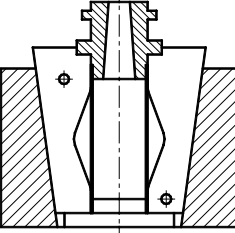
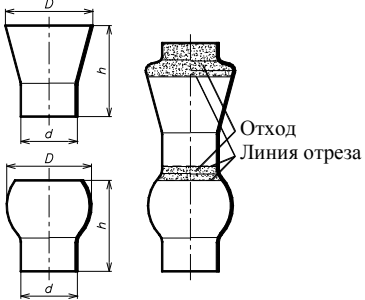
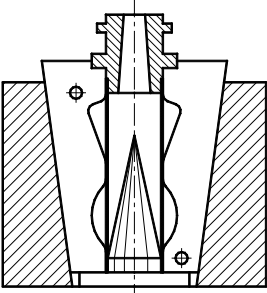
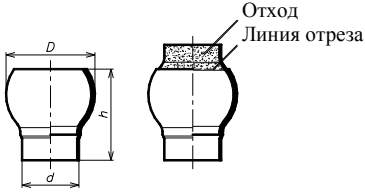
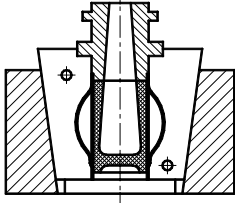
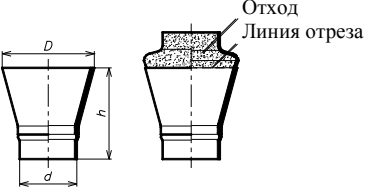
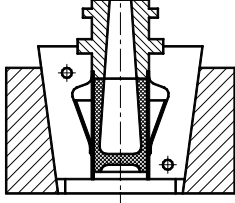
Схемы типовых техпроцессов ГДШ сферических и конусных наконечников представлены в табл. 1.



Рис. 2. Готовые изделия – усиленные сферические и конусные наконечники для труб диаметрами 32, 42, 50 и 80 мм

Таблица 1

Схемы типовых технологических процессов гидродинамической штамповки приварной арматуры

	Типовая деталь и схема отштамповки	Эскиз типовой оснастки
Облегченные элементы соединения трубопроводов – сферические и конусные наконечники		
		
		
		
Усиленные наконечники сфера и конус		
		

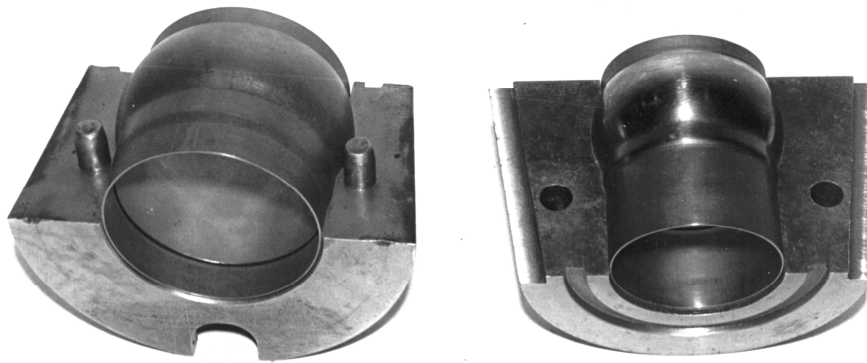


Рис. 3. Оснастка и заготовки наконечника сферического усиленного перед вторым переходом

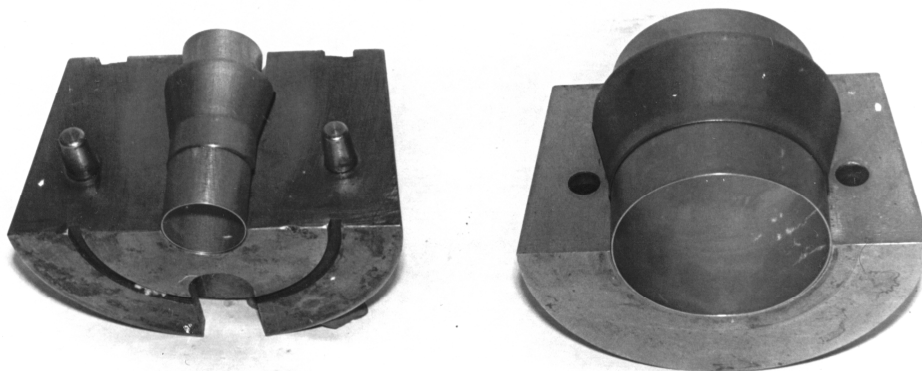


Рис. 4. Оснастка и заготовки наконечника конусного усиленного перед вторым переходом

## 2. Технологический процесс изготовления наконечника сферического усиленного

Рассмотрим на примере наконечника сферического усиленного процесс изготовления наиболее характерных представителей приварной арматуры высокоресурсного трубопровода согласно руководящим техническим материалам [1], заводской шифр детали АНУ.7400.001.000.СБ (табл. 2).

Деталь состоит из двух элементов – наружного (охватывающего), и внутреннего. Наружная поверхность охватывающего элемента является рабочей в составе трубопровода, сопрягаемой с ответной конической деталью, и поэтому должна иметь высокую точность и чистоту обработки. Оба элемента должны иметь между собой прочное неподвижное беззазорное сочленение, обеспечиваемое штамповочной операцией, одной или несколькими.

Принципиально возможно наличие нескольких альтернативных вариантов маршрутных технологий изготовления деталей подобного типа [4 – 6]. Предпочтительный для каждого конкретного про-

изводства технологический цикл изготовления деталей выбирают из нескольких возможных вариантов, исходя из объективных технологических возможностей производства и в соответствии с субъективными предпочтениями конкретных исполнителей.

Во-первых, одной из базовых основ построения техпроцесса является тип (вид) полуфабриката заготовки (рис. 5). Он может быть цельнотянутой (рис. 5, а) или сварной трубой (рис. 5, б), а также стаканчиком (рис. 5, в), полученным вытяжкой из листа.

Во-вторых, выбор операции штамповки зависит от состава оборудования, который даже в пределах

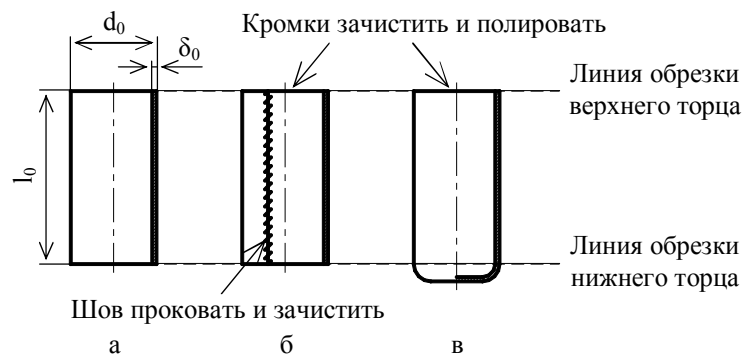


Рис. 5. Варианты заготовок из различных полуфабрикатов: а – цельнотянутая труба; б – сварная труба; в – стаканчик, полученный вытяжкой из листа

одного производственного объединения или комплекса (например, такого как АНТК «Антонов») может включать в себя: пресс-пушки ПП9 и ПП11М, прессы ПГУ-150 и СФТ-506.

Эти установки различаются геометрическими параметрами формирующих камер, уровнем механизации, а главное – энергетическими характеристиками, что в первую очередь определяет величину, форму и длительность образующихся в их формирующих камерах и действующих на заготовку импульсов внешней нагрузки.

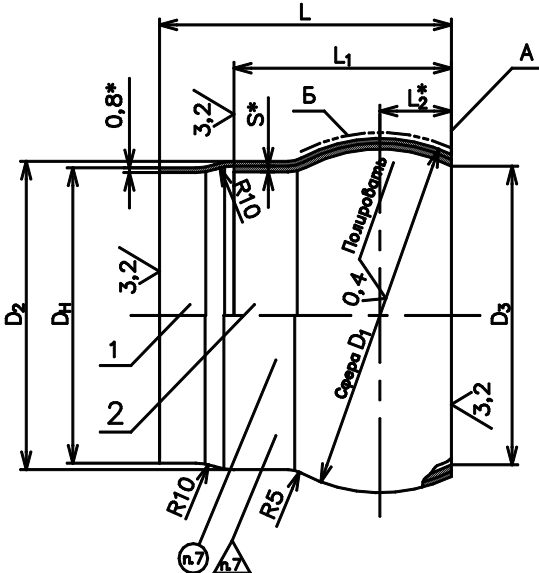
Наконец, в-третьих, возможны различные технологические схемы создания собственно неразъемного соединения элементов двухслойной детали

с калиброванной наружной поверхностью. При этом могут быть реализованы схемы (рис. 6) раздельной штамповки элементов с последующей заштамповкой внутренней заготовки в предварительно изготовленную наружную оболочку, установленную в матрицу окончательной формы (рис. 6, а и 6, б), или совместное деформирование обеих оболочек, вставленных одна в другую, импульсом давления, обеспечивающим одновременную штамповку пакета (рис. 6, в) также в матрице окончательной формы.

В табл. 2 представлены геометрические параметры, технические условия и эскиз рассматриваемого наконечника сферического усиленного АНУ.7400.001.000.СБ [4].

Таблица 2

Наконечник сферический усиленный АНУ.7400.001.000.СБ

Обозначение изделия	$D_H$ , мм	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$D_3$ , мм	$L_1$ , мм	$L$ , мм	$L_2^*$ , мм	$S^*$ , мм	Масса, кг
	+0,25 +0,10	+0,2	+0,2 -0,3	H11	+0,2				
АНУ.7400.001.003	32	40	34,2	31,6	30	45	9,2	0,8	0,027
АНУ.7400.001.005	36	44	38,2	36,0	31	46	9,5	0,8	0,032
АНУ.7400.001.007	42	49	44,2	41,4	32	46	10	0,8	0,036
АНУ.7400.001.011	50	60	52,2	50,5	36	51	12,5	1,0	0,056
АНУ.7400.001.015	63	72	65,2	62,5	38	51	13,8	1,0	0,073
АНУ.7400.001.017	70	80	72,2	69,8	41	55	15	1,0	0,089
АНУ.7400.001.019	80	90	82,2	79,2	46	58	17	1,0	0,109
Эскиз наконечника сферического усиленного АНУ.7400.001.000.СБ						Технические условия			
						<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неуказанные предельные отклонения размеров, форм и расположения поверхностей по ОСТ 100022-80.</li> <li>2. * Размеры для справок.</li> <li>3. <math>D_H</math> – наружный диаметр трубопровода.</li> <li>4. Допустимое смещение кромок дет. поз. 1 и 2 относительно друг друга по торцу А не более 0,6 мм.</li> <li>5. Неуказанная шероховатость поверхностей дет. поз. 1 и 2 <math>\checkmark</math>.</li> <li>6. Риски и царапины на поверхности Б не допускаются.</li> <li>7. Маркировать и клеймить по ОПИ-63-94.</li> </ol>			

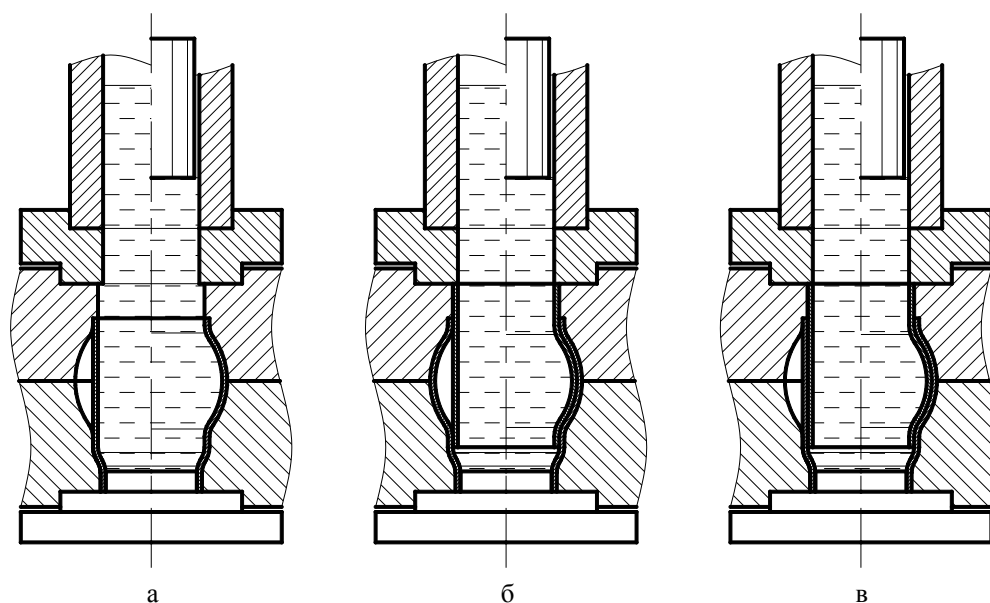


Рис. 6. Технологические схемы реализации процесса соединения оболочек:  
а – штамповка наружной оболочки; б – заштамповка внутренней оболочки в наружную;  
в – совместная одновременная штамповка оболочек

Общими операциями для всех трех маршрутных технологий являются:

- подготовка полуфабриката любого типа заготовки перед первой ее установкой в штамповый блок, содержащая операции подрезки торцов до нужного размера, их зачистки, калибровки отрезков труб по наружному диаметру, полировки наружной поверхности, обезжиривания и покрытия лаком (рис. 7);

- промежуточная термообработка (одна или несколько) согласно инструкции ВИАМ № 685-76 с контролем на отсутствие  $\alpha$ -слоя.

Типовая маршрутная технология на примере наконечника сферического АНУ.7400.001.011 для трубчатой заготовки  $\varnothing 50 \times 0,8$  из титанового сплава ПТ-7М выглядит следующим образом, где детали № 1 и № 2 – элементы наружной и внутренней оболочек соответственно [4]:

- разрезать заготовки – детали 1 и 2;
- подрезать торец – детали 1 и 2;

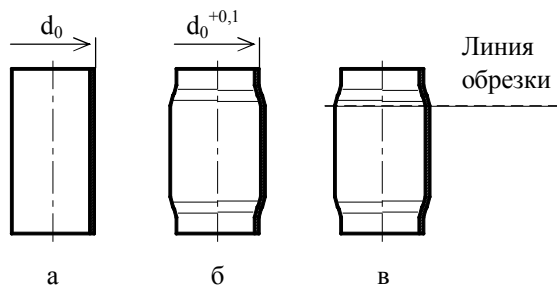


Рис. 7. Подготовка заготовки наружной оболочки:  
а – исходный полуфабрикат; б – штамповка заготовки наружной оболочки; в – заготовка наружной оболочки

- полировать – деталь 1;
- обезжирить – деталь 1 и 2;
- отжиг вакуумный полный – детали 1 и 2;
- штамповать – деталь 1;
- обезжирить – деталь 1;
- отжиг вакуумный полный – деталь 1;
- калибровать – деталь 1;
- подрезать – деталь 1;
- штамповать совместно – детали 1 и 2;
- полировать наружную поверхность;
- обезжирить;
- маркировать, клеймить.

Выполнение некоторых операций сопряжено с определением силовых параметров процесса гидродинамической штамповки [3], гарантирующих стабильное получение деталей, соответствующих техническим условиям чертежа.

## Заключение

В данной статье и публикации [3] приведены и частично систематизированы разрозненные сведения об составляющих технологического процесса ГДШ элементов приварной арматуры высокоресурсного трубопровода воздушных систем ЛА – режимах, операциях, методиках расчетов, материалах, заготовках, оснастке. Приведенные материалы базируются на производственные инструкции, технологические карты, маршрутные и директивные технологии, руководящие технические материалы отраслевых НИИ, технические отчеты по научно-исследовательским работам и т.д.

Выполнен анализ типовых технологических операций ГДШ сферических и конусных наконечни-

ков, реализованных в производственных и в лабораторных условиях, определены возможности их качественного улучшения.

В статье также отображены некоторые особенности технологии изготовления усиленного сферического наконечника, который состоит из двух элементов – наружного и внутреннего. Рассмотрено несколько альтернативных вариантов маршрутных технологий изготовления деталей этого типа.

### Литература

1. *Руководящий технический материал: Производство сварного высококачественного 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. Мельничук А.П. *Технологические процессы гидродинамической штамповки приварной арматуры высококачественного трубопровода: определение энергосиловых параметров процесса; требования к заготовкам и оснастке* / А.П. Мельничук // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2009. – № 1 (58). – С. 24-31.

4. *Разработка и внедрение технологии формообразования деталей сложной конфигурации на пресс-пушке ПП11М: Научн.-техн. отчет о НИР* / Харьк. авиац. ин-т. – Х., 1984. – 23 с. – № ГР 53470.

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

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

Поступила в редакцию 27.03.2009

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

### ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ШТАМПУВАННЯ ПРИВАРНОЇ АРМАТУРИ ВИСОКОРЕСУРСНОГО ТРУБОПРОВОДУ: ВИГОТОВЛЕННЯ СФЕРИЧНИХ І КОНУСНИХ НАКОНЕЧНИКІВ

*О.П. Мельничук*

Відображені особливості технологічних операцій гідродинамічного штампування сферичних і конусних наконечників високачественного трубопроводу повітряних систем ЛА. Представлені основні схеми типових технологічних процесів гідродинамічного штампування приварної арматури. Відмічені особливості технології виготовлення двошарових посилених сферичних та конусних наконечників, які складаються з двох елементів – зовнішнього (охоплюючого) і внутрішнього; обидва елементи повинні мати між собою міцне нерухоме з'єднання, що не має зазорів; це з'єднання забезпечується штампувальною операцією – однією або декількома. Розглянуто декілька альтернативних варіантів маршрутних технологій виготовлення деталей відміченого типу. Як приклад наведена маршрутна технологія виготовлення сферичного наконечника АНУ.7400.001.011 для трубчастої заготовки Ø50×0,8 мм з титанового сплаву ПТ-7М

**Ключові слова:** гідродинамічне штампування, технологічний процес, приварна арматура, сферичний і конусний наконечники, заготовка, операція.

### MANUFACTURING PROCESSES OF HYDRODYNAMIC STAMPING OF TRAILING EDGES FOR HIGH-RESOURCE PIPELINES: MANUFACTURING OF SPHERICAL AND CONE TIPS

*A.P. Melnychuk*

The peculiarities of technological operations of hydrodynamic stamping of spherical and cone tips for high-resource air systems' pipelines are examined. The main schemes of typical manufacturing processes of hydrodynamic stamping of trailing edges are given. The peculiarities of manufacturing of bilayer strengthened spherical and cone tips consisting of two elements – outward (wraparound) and inner. Both elements must have the durable immovable gapless joint between themselves provided by stamping operation – one or several. Some alternative variants of rout technologies of manufacturing of such part types are examined. As an example, a rout technology of manufacturing of spherical tip АНУ.7400.001.011 for tubular blank Ø50×0,8 mm of titanium alloy is given.

**Key words:** hydrodynamic stamping, manufacturing process, spherical and cone tip, blank, technological operation.

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