

УДК 621.7.044

А.П. БРАГИН, А.П. МЕЛЬНИЧУК

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

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ ПОДВИЖНОГО СФЕРИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Рассмотрены особенности технологических операций гидродинамической штамповки подвижного неразъемного сферического соединения трубопроводов воздушных систем ЛА. Сферическое шарнирное соединение состоит из двух элементов – наружного и внутреннего. Элементы соединения должны иметь сочленение по всей поверхности контакта, обеспечивающее возможность взаимного углового перемещения с плавным ходом и плотным прилеганием контактирующих поверхностей, обладающих строго сферической формой. Технологический процесс изготовления подвижного сферического соединения включает операции штамповки, штамповки-сборки и механической обработки. Для реализации операций гидродинамической штамповки необходим точный расчет технологических параметров процесса.

Ключевые слова: гидродинамическая штамповка, технологические операции, подвижное неразъемное сферическое соединение, трубопровод.

Введение

Способы гидродинамической штамповки применяются в высокотехнологических отраслях промышленности – авиационной, ракетно- и судостроительной. Главным достоинством способа является его простота, высокая энерговооруженность – до 100 кДж при достижении в формующей, не имеющей специальных уплотнений, камере давлений до 500 МПа [1, 2].

Применение технологических процессов гидродинамической штамповки позволило решить ряд производственных проблем в условиях опытного и серийного производства.

Наиболее освоенными, широко внедренными в производство и подкрепленными основательной

теоретической базой, являются технологические операции гидродинамической штамповки приварной арматуры особотонкостенного высокоресурсного трубопровода системы кондиционирования воздуха и противообледенительной системы самолетов [3].

Одним из вариантов подвижного неразъемного соединения трубопроводов воздушных систем ЛА является сферическое соединение (рис. 1), получаемое методом гидродинамической штамповки.

Подвижное неразъемное сферическое соединение трубопроводов

Сферические подвижные соединения (рис. 2) применяются в некоторых воздушных системах самолетов для соединения участков трубопроводов, где возможны небольшие отклонения осей, например, при вибрациях, колебаниях, деформациях, нагреве и т.п.

Элементы соединения: наружный 1, внутренний 2 должны иметь возможность взаимного отклонения на $5...10^\circ$ с плавным ходом и плотным прилеганием контактирующих поверхностей (рис. 3). Сочленяемые части трубопровода, как правило, имеют одинаковый диаметр.

Необходимым условием получения качественного соединения, отвечающего поставленным требованиям, является обеспечение строгой сферичности поверхности контакта элементов – отклонение от нее неизбежно приводит к заклиниванию соединения.

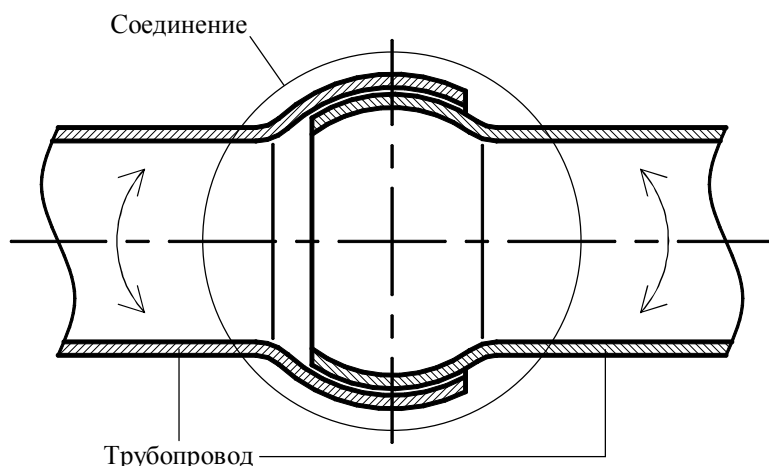


Рис. 1. Схема подвижного неразъемного сферического соединения трубопроводов



Рис. 2. Вид подвижного сферического соединения

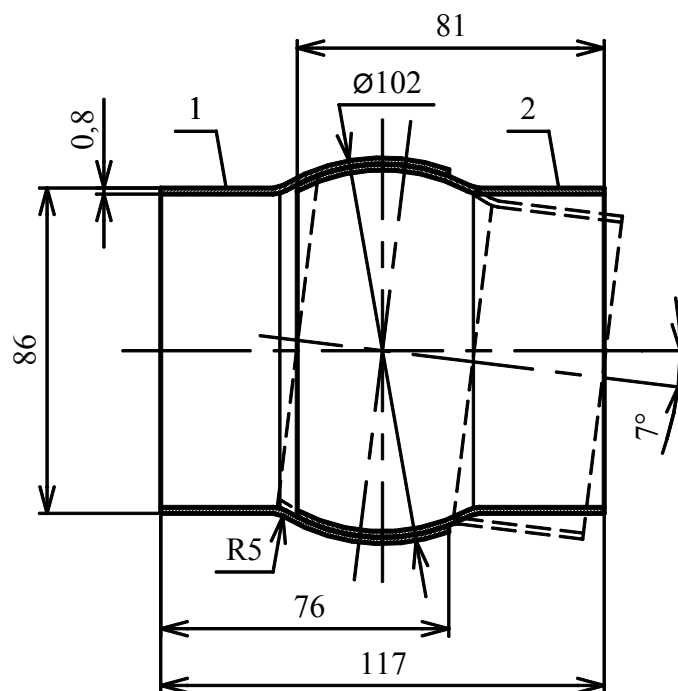


Рис. 3. Конструкция подвижного сферического соединения: 1 – наружный; 2 – внутренний элементы соединения

Технологические операции изготовления подвижного сферического соединения

Технологический процесс изготовления сферического шарнирного соединения включает операции штамповки, штамповки-сборки и механической обработки.

Операции штамповки и штамповки-сборки сферического соединения выполняют в двух матрицах (рис. 4). Штамп операции штамповки изображен на рис. 4, а, где давлением передающей среды диаметр заготовки наружного элемента увеличивается на двойную толщину ее стенки:

$$D_1 = D_0 + 2h, \quad (1)$$

где D_1 – диаметр заготовки наружного элемента после операции штамповки;

D_0 – наружный диаметр исходной заготовки;

h – толщина заготовки.

В широкой части матрицы диаметр ее полости равен величине D_1 , а в узкой части (у основания заготовки) соответствует D_0 .

В процессах гидродинамической штамповки в качестве передающей среды используется преимущественно вода, поэтому в полости заготовки дополнительно может размещаться эластичный элемент, предотвращающий затекание жидкости в заштамповую полость.

После операции штамповки заготовку извлекают из матрицы. На ее внутренней поверхности выполняют проточку (рис. 5) треугольного профиля

с острым углом у вершины и глубиной, примерно равной половине толщины стенки. В дальнейшем на ее месте будет торец наружного элемента. Чтобы обеспечить выполнение этого условия, проточку выполняют от места перегиба на расстоянии H , равном длине дуги L сферического участка готового наружного элемента в меридиональном сечении.

В дальнейшем технологический процесс осуществляется во втором штампе, который изображен на рис. 4, б. Наружный элемент с проточкой размещают в нижней полуматрице. Заготовку внутреннего элемента шарнира вставляют в наружный элемент до упора, после чего устанавливают верхнюю полуматрицу.

Собранный таким образом штамп устанавливают на пресс-пушку, и полость заполняют передающей средой (водой). При рабочем цикле давление передающей среды деформирует одновременно обе заготовки, выкладывая их на сферическую поверхность матрицы. Наружный элемент ложится на поверхность матрицы, при этом проточка с треугольным профилем закрывается, и внутренняя поверхность элемента образует гладкую сферическую поверхность. По этой поверхности как по матрице выкладывается внутренний элемент. Эта операция штамповки одновременно является и сборочной, поскольку из двух деталей образуется неразъемное соединение.

Отштампованный сферический шарнир извлекают из штампа. Он замкнут, так как технологический припуск наружного элемента облегает цилин-

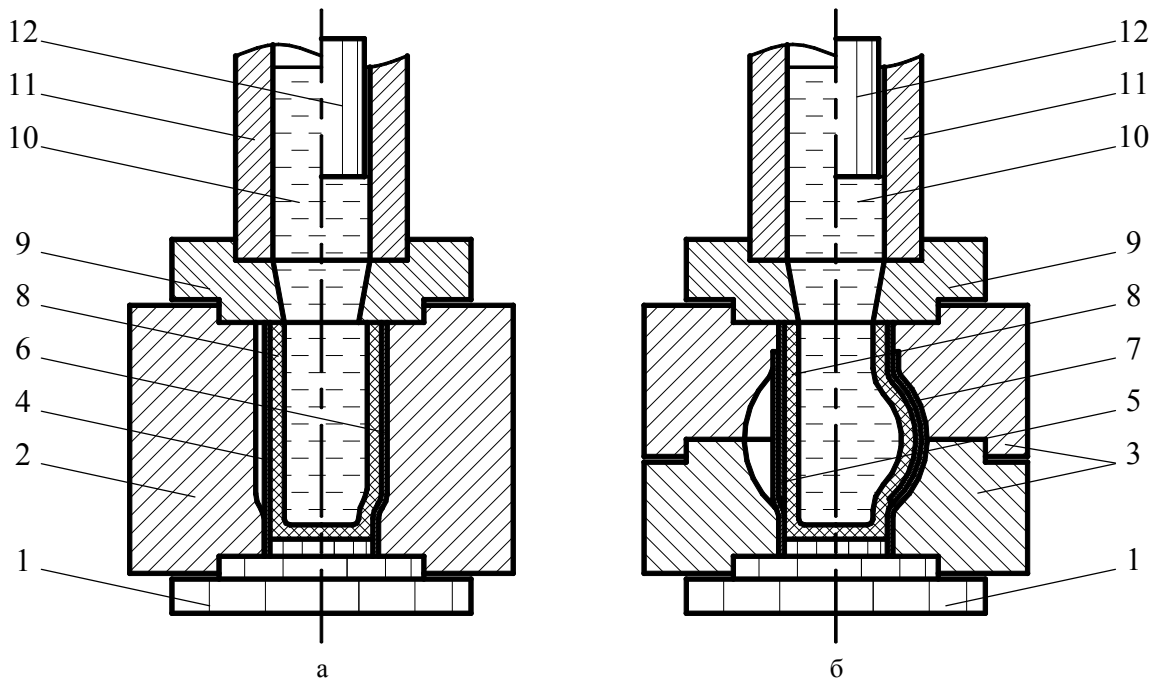


Рис. 4. Технологическая схема изготовления подвижного сферического соединения:
 а – первый переход – штамповка наружной оболочки; б – второй переход –
 совместная штамповка-сборка наружного и внутреннего элементов соединения;
 1 – опора; 2 – матрица; 3 – полуматрицы; 4 – заготовка наружного элемента; 5 – заготовка
 внутреннего элемента; 6 – заготовка после первой операции штамповки; 7 – заготовки после операции
 штамповки-сборки; 8 – эластичный герметизирующий стакан; 9 – соединительное кольцо;
 10 – передающая среда (вода); 11 – переходник ствола; 12 – снаряд

дрическую поверхность внутреннего элемента. Поэтому участок наружного элемента, ограниченный треугольной проточкой, удаляют режущим инструментом. При этом наличие проточки гарантирует, что поверхность контакта не будет повреждена инструментом.

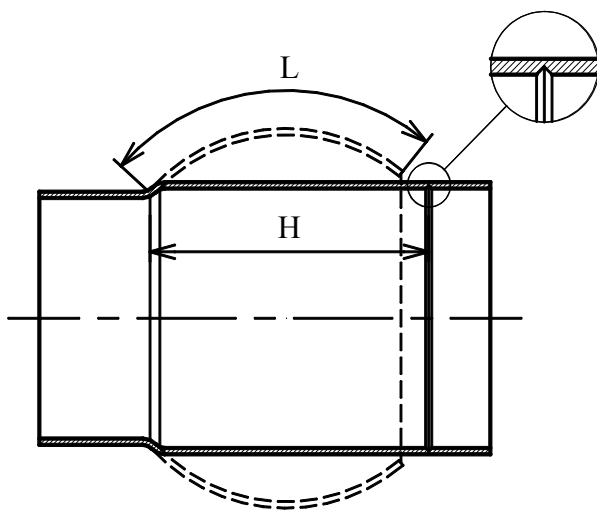


Рис. 5. Выполнение проточки на наружном элементе соединения

Размеры отделяемого технологического участка назначают, соблюдая следующие условия: торец

его не должен попадать в зону воздействия передающей среды, иначе в угол, образованный матрицей и торцом наружного элемента, будет проштамповываться внутренний элемент. Если это случится на сферической поверхности, то произойдет замыкание шарнира (неисправимый брак), а если на цилиндрической поверхности – то усложнится удаление технологического участка.

В случае необходимости улучшения герметичности данного типа соединения трубопроводов возможна установка уплотнительного кольцевого элемента между подвижными сферическими частями шарнира. Схема такого соединения представлена на рис. 6.

Технологический процесс изготовления соединения в этом исполнении несколько отличается от представленного выше и состоит из трех штамповочных операций: поочередная штамповка наружного и внутреннего элементов, совместная штамповка-сборка всех составляющих соединения – наружной и внутренней оболочки, а также уплотнительного кольца.

После каждой операции отштампованные элементы подвергаются механической обработке. На рис. 7 представлена схема технологического процесса изготовления подвижного сферического соединения с уплотнительным кольцом.

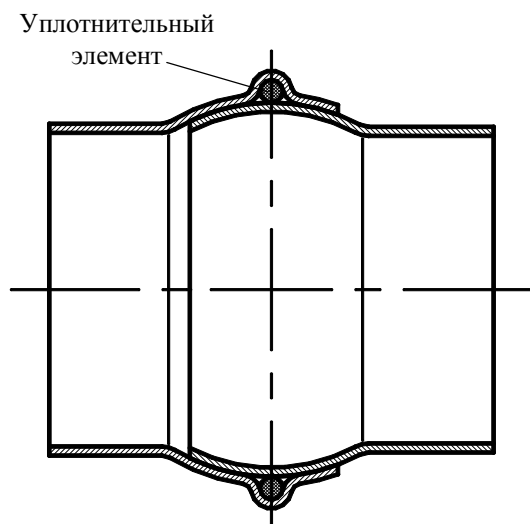


Рис. 6. Подвижное сферическое соединение с уплотнительным кольцевым элементом

Определение технологических параметров операций штамповки

Для осуществления операций гидродинамической штамповки необходимо выполнить расчет технологических параметров процесса на каждом этапе.

Определение параметров штамповки сводится к расчету основных составляющих процесса [3]:

- определение объема жидкости в гидравлической камере;
- определение величины требуемого давления жидкости в формующей камере;
- определение напряженно-деформированного состояния заготовки;
- определение работы сжатия жидкости и ра-

боты деформирования заготовки;

– определение потребной кинетической энергии снаряда и его дульной скорости.

В ряде работ представлены теоретические, инженерные и экспериментальные методики определения составляющих параметров процессов гидродинамической штамповки тонкостенных цилиндрических деталей [2 – 5].

В процессе нагружения жидкости при ударе снаряда происходит упругое ее сжатие и частичные потери через зазоры, что приводит к уменьшению объема жидкости в формующей камере. Жидкость, вытесняемая снарядом из переходника ствола в полость заготовки, приводит к увеличению внутреннего объема заготовки, т.е. ее деформированию.

Давление в жидкости зависит от степени ее сжатия. При гидродинамической штамповке нагружение жидкости в гидравлической камере производится летящим снарядом, который тормозится при контакте с ней, в результате чего кинетическая энергия снаряда преобразуется в потенциальную энергию сжатой жидкости.

Давление жидкости в формующей камере при ее сжатии может быть определено с помощью экспериментально полученных диаграмм или с использованием уравнения Тэта [3]:

$$p = B \left[\left(\frac{W_0}{W} \right)^n - 1 \right], \quad (2)$$

где W_0 и W – начальный и текущий (конечный) объемы жидкости;

B и n – эмпирические величины, по данным Бриджмена и Гибсона, для пресной воды – соответственно 29400 МПа и 7,47.

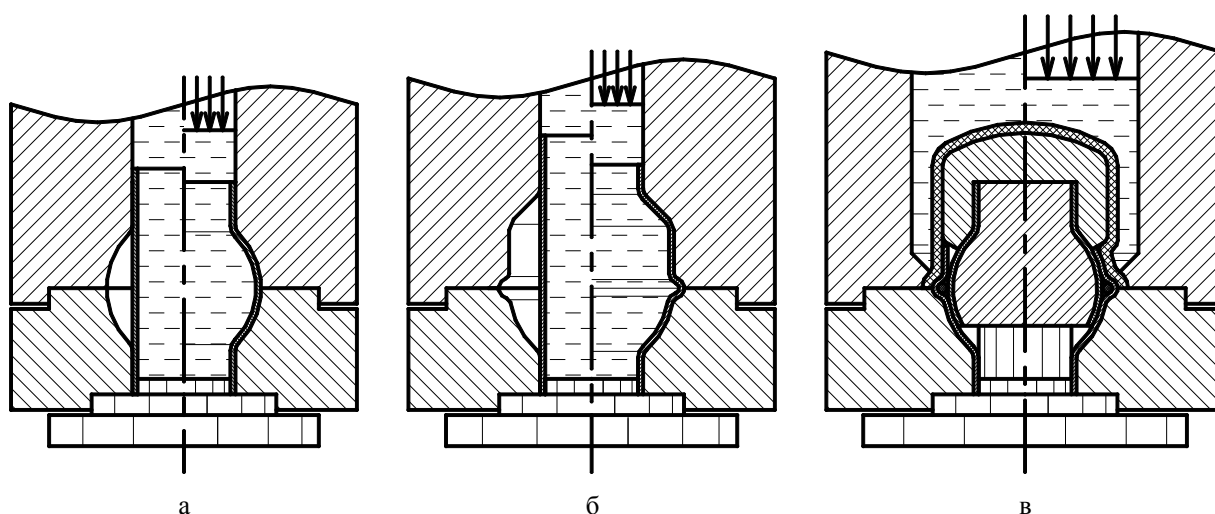


Рис. 7. Схема технологического процесса изготовления подвижного сферического соединения с уплотнительным кольцом:
 а – штамповка внутренней оболочки; б – штамповка наружной оболочки;
 в – совместная штамповка-сборка наружного и внутреннего элементов соединения

Уравнение Тэта дает приемлемые результаты при давлении до 1200 МПа – в процессах гидродинамической штамповки реализуется давление до 500 МПа.

Деформирование тонкостенных цилиндрических заготовок описывается геометрическими и физическими нелинейными уравнениями теории тонких оболочек с использованием теории пластического течения с учетом изотропного упрочнения в динамической постановке.

Уравнения движения элемента оболочки в приращениях с учетом инерционных сил в цилиндрической системе координат имеют вид [6]:

$$r h \rho \frac{d^2 r}{dt^2} = p r \sin \alpha + \frac{\partial}{\partial S} (N_s r \cos \alpha) - \frac{\partial}{\partial S} (Q r \sin \alpha) - N_\theta ; \quad (3)$$

$$r h \rho \frac{d^2 z}{dt^2} = p r \cos \alpha - \frac{\partial}{\partial S} (N_s r \sin \alpha) - \frac{\partial}{\partial S} (Q r \cos \alpha) ; \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial S} (M_s r) - M_\theta \cos \alpha - Q r = 0 , \quad (5)$$

где r, z – текущие эйлеровы координаты оболочки;

h – текущая толщина оболочки;

α – угол между нормалью к поверхности элемента оболочки и положительным направлением оси z ;

ρ – плотность материала;

S – длина дуги вдоль меридиана;

p – нормальное давление, действующее на оболочку;

Q – перерезывающая сила;

$N_s, N_\theta, M_s, M_\theta$ – продольные силы и изгибающие моменты (погонные) в меридиональном (вдоль образующей) и широтном (окружном) направлениях.

Затрачиваемая на процесс деформирования заготовки работа определяется выражением

$$A_{\text{деф}} = \int \int_V \sigma_i \dot{\epsilon}_i dt dV , \quad (6)$$

где V – объем деформируемого участка заготовки;

t – продолжительность процесса деформирования;

σ_i – интенсивность напряжений;

$\dot{\epsilon}_i$ – скорость интенсивности деформаций.

На достижение необходимого давления жидкости затрачивается работа адиабатического ее сжатия, определяемая соотношением

$$A_{\text{сж}} = \int_{W_0}^W p dW , \quad (7)$$

где W_0 и W – начальный и конечный объемы жидкости;

p – давление жидкости в формующей камере.

Суммарная работа в гидравлической камере расходуется на сжатие жидкости, выполнение работы деформирования заготовки и разного рода энергетические потери, определяемые величиной КПД технологического узла [2, 3]:

$$A_\Sigma = \frac{A_{\text{деф}} + A_{\text{сж}}}{\eta_{\text{ту}}} , \quad (8)$$

где $\eta_{\text{ту}}$ – КПД технологического узла установки.

Реализованная в формующей камере суммарная работа равна кинетической энергии снаряда на дульном срезе ствола установки для гидродинамической штамповки

$$E_{\text{сн}} = \frac{m_{\text{сн}} v_d^2}{2} , \quad (9)$$

где $m_{\text{сн}}$ – масса снаряда;

v_d – дульная скорость снаряда на срезе ствола.

Заключение

Статья посвящена особенностям технологических операций изготовления подвижного неразъемного сферического соединения трубопроводов воздушных систем ЛА. Сферическое шарнирное соединение состоит из двух элементов – наружного и внутреннего. Представлена конструкция соединения для трубопровода $\varnothing 86$ мм.

Элементы сферического соединения должны иметь сочленение по всей поверхности контакта, обеспечивающее возможность взаимного отклонения с плавным ходом и плотным прилеганием контактирующих поверхностей. Необходимым условием получения качественного соединения является обеспечение строго сферической поверхности контакта элементов.

Технологический процесс изготовления сферического шарнирного соединения включает операции штамповки, штамповки-сборки и механической обработки. Штамповку и штамповку-сборку сферического соединения выполняют в двух матрицах: в первой выполняется штамповка наружной оболочки, во второй – штамповочно-сборочная операция – совместная штамповка-сборка наружного и внутреннего элементов соединения, вставленных один в другой.

Также в статье представлена схема технологического процесса изготовления подвижного сферического соединения с уплотнительным кольцом.

Для реализации операций гидродинамической штамповки необходим точный расчет технологических параметров процесса, который заключается в определении: объема жидкости в гидравлической камере, величины потребного давления жидкости, напряженно-деформированного состояния заготов-

ки, работы сжатия жидкости и работы деформирования заготовки, потребной кинетической энергии снаряда и его дульной скорости.

Литература

1. 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.

2. Мацукин Ю.Г. Исследование гидродинамической штамповки на пресс-пушке: Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04 / Мацукин Юрий Григорович. – Х., 1966. – 223 с.

3. 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. – Х., 1981. – 149 с.

4. Родько С.Я. Исследование, разработка и внедрение процессов гидродинамического формообразования тонколистовых деталей летательных аппаратов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04 / Родько Сергей Яковлевич. – Х., 1985. – 238 с.

5. Мельничук А.П. Моделирование технологических процессов гидродинамической штамповки законцовок трубопроводов воздушных систем летательных аппаратов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04 / Мельничук Александр Петрович. – Х., 2006. – 207 с.

6. Кривцов В.С. Особенности описания деформирования тонкостенных цилиндрических деталей при гидродинамической штамповке / В.С. Кривцов, А.П. Мельничук // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2001. – Вып. 25. – С. 28-34.

Поступила в редакцию: 11.11.2009

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

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ШТАМПУВАННЯ РУХОМОГО СФЕРИЧНОГО З'ЄДНАННЯ ТРУБОПРОВІДІВ

О.П. Брагин, О.П. Мельничук

Розглянуто особливості технологічних операцій гідродинамічного штампування рухомого нероз'ємного сферичного з'єднання трубопроводів повітряних систем ЛА. Сферичне шарнірне з'єднання складається з двох елементів – зовнішнього і внутрішнього. Елементи з'єднання повинні мати контакт по всій поверхні, що забезпечує можливість взаємного кутового переміщення з плавним ходом і щільним приляганням контактуючих поверхонь, які повинні мати строго сферичну форму. Технологічний процес виготовлення рухомого сферичного з'єднання включає операції штампування, штампування-складання і механічної обробки. Для реалізації операцій гідродинамічного штампування необхідний точний розрахунок технологічних параметрів процесу.

Ключові слова: гідродинамічне штампування, технологічні операції, рухоме нероз'ємне сферичне з'єднання, трубопровід.

MANUFACTURING OPERATIONS OF HYDRODYNAMIC STAMPING FOR MOVABLE SPHERICAL JOINTS OF PIPELINES

A.P. Bragyn, A.P. Melnychuk

The peculiarities of manufacturing operations for hydrodynamic stamping of movable undetachable spherical joints of pipelines for aircraft air systems are considered. The spherical hinged joint consists of two elements – outer and inner. Connectable elements should have a whole-surface contact, which provides a possibility of mutual angular movement with smooth motion and dense contact of spherical surfaces. The process of spherical joint manufacturing includes the following operations: stamping, stamping-assembling and machining. Technological parameters of the process should be precisely calculated for realization of hydrodynamic stamping operations.

Key words: hydrodynamic stamping, manufacturing operations, movable undetachable spherical joint, pipeline.

Брагин Александр Павлович – канд. техн. наук, в.н.с. кафедры технологии производства летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

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