

## СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНИКОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

*Чертов Е.Д., Егоров В.Г., Васечкин М.А., Давыдов О.Ю., Безлепкин И.Л.  
Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж*

**Ключевые слова:** диффузионная сварка, тонкостенный цилиндрический переходник, титановый сплав, нержавеющая сталь.

**Аннотация.** Некоторые трубопроводные системы современной авиационной и ракетно-космической техники в своей конструкции имеют элементы, изготовленные из титановых сплавов и нержавеющей стали. Для соединения таких элементов друг с другом требуются специализированные биметаллические переходники. На основе проведенного анализа способов создания биметаллических конструкций установлено, что диффузионная сварка в вакууме является наиболее подходящим способом для изготовления биметаллических тонкостенных цилиндрических переходников на основе титановых сплавов и нержавеющей стали.

## METHOD FOR MANUFACTURING THIN-WALLED CYLINDRICAL ADAPTERS MADE OF TITANIUM ALLOY AND STAINLESS STEEL

*Chertov E.D., Egorov V.G., Vasechkin M.A., Davydov O.Yu., Bezlepkin I.L.  
Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh*

**Keywords:** diffusion welding, thin-walled cylindrical adapter, titanium alloy, stainless steel.

**Abstract.** Some pipeline systems of modern aviation and rocket and space technology have elements made of titanium alloys and stainless steels in their design. To connect such elements to each other, specialized bimetallic adapters are required. Based on the analysis of methods for creating bimetallic structures, it was found that diffusion welding in a vacuum is the most suitable method for the manufacturing of bimetallic thin-walled cylindrical adapters based on titanium alloys and stainless steels.

Вопросами создания биметаллических слоистых композитных материалов занимаются ученые разных стран. Наибольший вклад в развитие данной области вносят ученые России, США, Германии и Китая.

Основными направлениями исследований являются получение биметаллов при помощи прокатки, сварки взрывом и вакуумной диффузионной сварки.

Анализ известных способов изготовления биметаллических труб позволяет сделать вывод, что для изготовления биметаллических тонкостенных труб на основе титановых сплавов и нержавеющей стали наиболее подходящим способом является диффузионная сварка в вакууме.

Диффузионная сварка широко применяется при производстве различных конструкций, в том числе биметаллических цилиндрических оболочек. Преимуществом процесса является высокая прочность сварки при минимальной толщине диффузионного слоя, простой переход от размера к размеру, широкие возможности управления качеством [1]. Не требует использования дорогостоящих припоев, флюсов, электродов, а также не нуждается в дополнительной механической обработке и не требует термической обработки.

Основными технологическими параметрами диффузионной сварки являются: давление прижатия между контактирующими свариваемыми

поверхностями, температура и продолжительность сварки [2]. Высокое давление способствует интенсификации процессов формирования новых химических связей и объемной диффузии, обеспечению сплошности соединения и разрушению оксидных пленок на поверхности металлов. Скорость взаимной диффузии ускоряется с повышением температуры сварки. При этом температуру и время сварки обычно выбирается как можно меньше, так как активная диффузия может привести к сильному изменению химического состава на границе соединения и образованию хрупких интерметаллических фаз.

Одной из проблем при диффузионной сварке цилиндрических оболочек является обеспечение требуемого контактного давления между свариваемыми поверхностями [3-6].

На рисунке 1 приведен способ изготовления тонкостенных цилиндрических переходников из титанового сплава и нержавеющей стали [7].

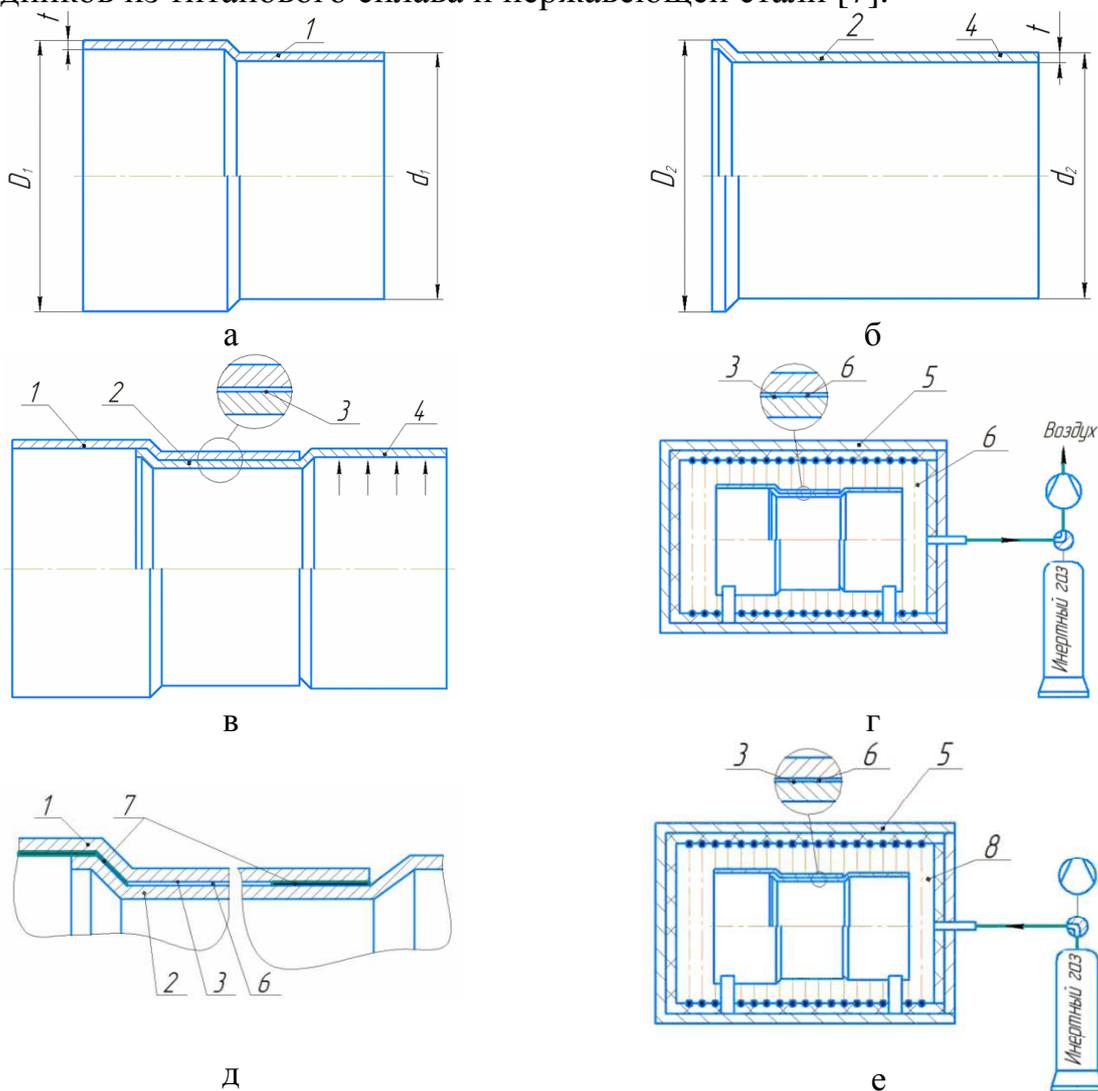


Рис. 1. Способ изготовления тонкостенных цилиндрических переходников из титанового сплава и нержавеющей стали: а – трубчатая деталь переходника из титанового сплава; б – трубчатая деталь переходника из нержавеющей стали; в – соединение трубчатых деталей переходника; г – откачка воздуха с образованием вакуума, нагрев и выдержка при температуре рекристаллизации титанового сплава; д – блокировка технологического зазора оксидными пленками; е – заполнение контейнера инертным газом, нагрев и выдержка при температуре диффузионной сварки до образования диффузионно-сварного соединения

Способ осуществляют следующим образом. При телескопическом соединении трубчатую деталь переходника из нержавеющей стали 2 располагают внутри трубчатой детали переходника из титанового сплава 1 с образованием технологического зазора 3. Для предотвращения взаимного перемещения деталей в осевом направлении патрубков 4 трубчатой детали переходника из нержавеющей стали 2 раздают, например, при помощи устройства для калибровки [8].

Предварительно собранную заготовку переходника помещают в полость контейнера 5, из которого откачивают воздух с образованием вакуума 6 в контейнере 5 и в технологическом зазоре 3. Откачку воздуха сочетают с нагревом трубчатых деталей 1, 2 до температуры начала рекристаллизации титанового сплава и выдерживают до блокировки технологического зазора 3 в телескопическом соединении по краям поверхности контакта трубчатых деталей 1, 2 оксидными пленками 7, образующимися при нагреве на поверхности трубчатой детали переходника из титанового сплава 1.

Далее контейнер 5 заполняют инертным газом 8, нагревают и выдерживают заготовку переходника при температуре диффузионной сварки до образования диффузионно-сварного соединения, в том числе, как за счет разности в деформациях при температурном расширении трубчатых деталей 1, 2 в радиальном направлении, так и разности между давлениями инертного газа 8 в контейнере 5 и вакуума 6 в технологическом зазоре 3 телескопического соединения.

Размещение трубчатой детали переходника из нержавеющей стали внутри трубчатой детали переходника из титана в телескопическом соединении способствует качественному механическому сцеплению охватываемых цилиндрических поверхностей в процессе диффузионной сварки, так как коэффициент температурного расширения нержавеющей стали превышает коэффициент температурного расширения титана. Термические деформации внутренней трубчатой детали переходника из нержавеющей стали будут опережать деформации наружной трубчатой детали переходника из титана, что интенсифицирует контактное взаимодействие свариваемых охватываемых цилиндрических поверхностей в процессе диффузионной сварки. Соединение трубчатых деталей переходника для предотвращения их взаимного перемещения в осевом направлении будет способствовать преобладанию радиальных деформаций при температурном расширении над осевыми, что вносит дополнительный вклад в улучшение механического сцепления цилиндрических поверхностей.

Таким образом, повышается качество биметаллических трубчатых переходников путем интенсификации контактного взаимодействия свариваемых охватываемых цилиндрических поверхностей в процессе диффузионной сварки за счет оптимального взаимного расположения деталей трубчатых переходников с разными коэффициентами температурного расширения.

Усилению контактного взаимодействия служит и разность между давлениями инертного газа в контейнере и вакуума в технологическом зазоре в телескопическом соединении при диффузионной сварке. Причем для образования вакуума в технологическом зазоре не требуется его принудительной предварительной блокировки путем приварки доннышек, заглушек, патрубков и

т.п. Откачку воздуха из технологического зазора в телескопическом соединении и контейнера производят одновременно, попутно производя нагрев деталей переходника и их выдержку при температуре рекристаллизации титанового сплава. Образующиеся при нагреве на поверхности трубчатой детали переходника из титанового сплава оксидные пленки автоматически блокируют технологический зазор в телескопическом соединении по краям поверхности контакта трубчатых деталей. Следовательно, в замкнутом объеме технологического зазора сохраняется вакуум.

Таким образом, снижается трудоемкость изготовления трубчатых переходников «титан – нержавеющая сталь» за счет рационального образования технологического зазора в телескопическом соединении с вакуумом для создания дополнительного взаимного надавливания между поверхностями трубчатых деталей переходников после заполнения контейнера инертным газом, нагрева и выдержки трубчатых деталей при температуре диффузионной сварки до образования диффузионно-сварного соединения.

Изготовленные в соответствии с приведенным способом образцы тонкостенных цилиндрических переходников из титанового сплава BT1-0 и нержавеющей стали AISI 304 показали высокие эксплуатационные характеристики при испытаниях пульсирующим внутренним давлением.

#### Список литературы

1. Чепурко М.И. Биметаллические материалы. – Л.: Судостроение, 1984. – 272 с.
2. Антонов В.П., Бачин В.А., Квасницкий В.А. Диффузионная сварка материалов: Справочник / Под ред. Н.Ф. Казакова – М.: Машиностроение, 1981. – 271 с.
3. Остренко В.Я., Чепурко М.И. Биметаллические трубы. – М.: Металлургия, 1974. – С. 114.
4. Патент №2438842 РФ. Способ изготовления биметаллической трубы / А.П. Савицкий. – Заявка №2010118931/02 от 11.05.10; опубл. 10.01.12, Бюл. № 1.
5. Карпович Е.В., Карпович И.И. Математическое моделирование процесса диффузионной сварки осесимметричных биметаллических соединений // Вестник ИТУ «ХПИ». – 2014. – №62(1104). – С.58-70.
6. Патент №2666818 РФ. способ изготовления диффузионной сваркой трубчатых переходников титан – нержавеющая сталь / А.А. Уваров, А.Н. Семенов. – Заявка №2017132744 от 20.09.17; опубл. 12.09.18, Бюл. № 26.
7. Патент №2802246 РФ. Способ изготовления диффузионной сваркой трубчатых переходников «титан – нержавеющая сталь» / В.Г. Егоров, М.А. Васечкин В.В. Пешков, А.В. Дегтярев, О.Ю. Давыдов, В.В. Найденко, И.Л. Безлепкин. – Заявка №2023101688 от 26.01.23; опубл. 23.08.23, Бюл. № 24.
8. Vasechkin M.A., Davydov O.Yu., Egorov V.G., Egorov S.V., Matveeva E.V. Increasing the strength of welded thin-walled axisymmetric vessels made of corrosion-resistant steel // Paper Journal of Physics: Conference Series. 2020, vol. 1515(3), p. 032033.

#### Сведения об авторах:

*Чертов Евгений Дмитриевич* – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технической механики;

*Егоров Владислав Геннадьевич* – д.т.н., профессор, профессор кафедры технической механики;

*Васечкин Максим Алексеевич* – к.т.н., декан подготовительного факультета для иностранных граждан;

*Давыдов Олег Юрьевич* – к.т.н., доцент, доцент кафедры технической механики;

*Безлепкин Илья Леонидович* – аспирант.