

УДК 621.762.02

Обеспечение требований к качеству очистки и обезжиривания под кислород и гелий погружных емкостей из титановых сплавов, применяемых в изделиях ракетно-космической техники

С.С. Юхневич^{1,2}, А.И. Портных², Т.И. Степаненко²¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»² АО «Конструкторское бюро химавтоматики»

Ensuring the quality requirements for cleaning and degreasing for oxygen and helium submersible containers made of titanium alloys used in rocket and space technology products

S.S. Yukhnevich^{1,2}, A.I. Portnykh², T.I. Stepanenko²¹ Voronezh State Technical University² JSC Chemical Automatics Design Bureau

Рассмотрена необходимость повышенных требований к чистоте поверхностей деталей и сборочных единиц изделий ракетно-космической техники. Для обеспечения поставленных требований разработана технология, включающая в себя многоступенчатую очистку поверхностей погружных емкостей (шар-баллонов) от механических и жировых загрязнений на всех стадиях изготовления. В зависимости от вида загрязнений использованы различные методы очистки и контроля чистоты внутренних и наружных поверхностей погружных емкостей. Приведена зависимость 5-го класса чистоты жидкостей от числа частиц загрязнителя. Для окончательной очистки погружных емкостей по индивидуальному проекту изготовлено оборудование замкнутого типа в герметичном исполнении с регенерацией и фильтрацией обезжиривающей жидкости. В результате выполненных работ созданы принципиально новые технологические решения, реализация которых позволила сократить технологический цикл изготовления изделия, повысить его качество и надежность при работе в криогенной среде, снизить количество дефектов и обеспечить чистоту поверхностей в полном соответствии с требованиями конструкторской документации.

EDN: WTRTEO, <https://elibrary/wtrteo>

Ключевые слова: погружные емкости, шар-баллон, жировые загрязнения, класс чистоты, многоступенчатая очистка поверхностей, качество обезжиривания

The necessity of increased requirements for the cleanliness of the surfaces of parts and assembly units of rocket and space technology products is considered. To ensure the stated requirements, a technology has been developed that includes multi-stage cleaning of the surfaces of submersible tanks (spherical cylinder) from mechanical and fatty contaminants at all stages of manufacture. Depending on the type of contamination, various methods of cleaning and monitoring the cleanliness of the internal and external surfaces of submersible

tanks are used. The dependence of the 5 class of liquid cleanliness on the number of contaminant particles is presented. For the final cleaning of submersible containers, equipment was manufactured according to an individual design of a closed type in a hermetic design with regeneration and filtration of a degreasing liquid. As a result of the work performed, fundamentally new technological solutions were created, the implementation of which made it possible to reduce the technological manufacturing cycle, improve the quality and reliability of the product when working in a cryogenic environment, reduce the number of defects and ensure the cleanliness of surfaces in full compliance with the requirements of the design documentation.

EDN: WTRTEO, <https://elibrary/wtrteo>

Keywords: submersible containers, spherical cylinder, grease contamination, cleanliness class, multi-stage cleaning of the surfaces, quality for degreasing

Для размещения запасов газов в конструкциях летательных аппаратов применяют погружные емкости — шар-баллоны (ШБ) [1] из титановых сплавов [2], отличающиеся меньшей массой благодаря большей удельной прочности. Эти емкости, работающие в условиях погружения в среду сжиженного компонента топлива (кислорода), выполняют специальные функции — сжатый под высоким давлением газообразный гелий внутри ШБ раскручивает турбонасосный агрегат двигателя ракеты-носителя, вследствие чего к их конструкции предъявляют специальные требования [3–5].

В целях импортозамещения изделий, используемых для ракетно-космической техники, в АО «Конструкторское бюро химавтоматики» (АО «КБХА») освоено изготовление титановых ШБ вместимостью 25 и 130 л и ресивера (разновидность ШБ) вместимостью 25 л. ШБ, предназначенные для хранения нейтрального газа (гелия), представляют собой сферическую по

форме сварную конструкцию, содержащую две полусферы из титанового сплава ВТ6С, фланца из титанового сплава ВТ6С, биметаллического переходника и наконечника из стали 12Х18Н10Т-ВД (см. рисунок).

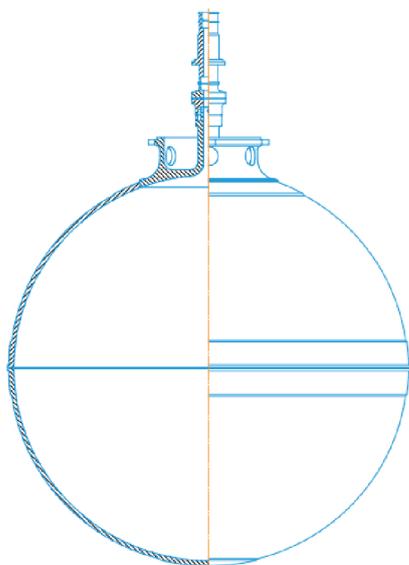
Чтобы исключить возможность возгорания и взрыва в процессе эксплуатации изделия, при изготовлении деталей и сборочных единиц ШБ предъявляют особые требования к технологическим процессам по эффективному удалению механических и поверхностных жировых загрязнений [6].

Согласно стандартам Российской Федерации, установлены девятнадцать классов чистоты жидкостей, где грубым является класс очистки 17, а наивысшим — 00. Для устранения в жидкостях механических примесей в основном предназначены физические методы очистки [7].

В соответствии с требованиями к конструкторской документации чистота внутренней поверхности ШБ должна быть не хуже 5-го класса чистоты по ГОСТ 17216–2001, т. е. число частиц загрязнителя, содержащихся в 100 см³ жидкости, при размере 50...100 мкм не должно превышать 4, а при размере 5...10 мкм — 500.

Качество обезжиривания наружной и внутренней поверхностей, определяемое по числу жировых загрязнений в растворителе после контрольного обезжиривания с учетом площади контролируемой поверхности, должно быть не более 50 мг/м².

Дополнительно к емкостям предъявляют повышенные требования по прочности, герметичности и качеству выполнения сварных швов. Традиционная технология изготовления ШБ заключается в сварке плавлением (электронно-лучевая, лазерная или аргодуговая сварка) двух полусфер [8]. При изготовлении ШБ в АО «КБХА» применяют электронно-



Эскиз ШБ

лучевую сварку в глубоком вакууме [9] с использованием специальных приспособлений для защиты от сварочных выделений (брызг) и подплавления [10]. Технология выполнения работ защищена патентами [11–13].

Цель работы — обеспечение повышенных требований конструкторской документации к качеству очистки и обезжиривания погружных емкостей из титановых сплавов с ограниченным доступом во внутреннюю полость, работающих в средах кислорода и гелия.

Необходимость высокой степени очистки поверхностей требует разработки высокоэффективных и безопасных технологий. Ввиду отсутствия технологии очистки трудноудаляемых загрязнений из внутренних поверхностей сферических емкостей с ограниченным доступом и для обеспечения требований конструкторской документации разработаны технологии многоступенчатой очистки поверхностей ШБ от механических и жировых загрязнений на всех стадиях изготовления с использованием новых методов и приспособлений.

Для устранения трудноудаляемых механических загрязнений (сварочных брызг), образованных в процессе выполнения сварочных операций на внутренней поверхности полых сферических сосудов из титановых сплавов с ограниченным доступом во внутреннюю полость [14], предложена и внедрена операция галтовки с заполнением ШБ керамическими гранулами в растворе компаунда. Очистку методом галтовки осуществляют с помощью многоместного приспособления на модернизированных установках, сделанных на базе токарно-винторезного станка 1М63.

Для удаления механических загрязнений с внутренней поверхности ШБ через фланец диаметром 20 мм разработан дополнительный метод очистки — промывка емкости под давлением дистиллированной водой с помощью мойки высокого давления и специально спроектированного приспособления с последующей продувкой горячим воздухом и сушкой. После этой операции ШБ транспортируют для очистки бензином в помещении промывки в легковоспламеняющейся жидкости. Обезжиривание бензином выполняют методом кантования перед проведением всех видов испытаний и перед окончательной очисткой. ШБ закрепляют в кантователе, заполняют полость бензином и вращают в разных плоскостях. Качество обезжиривания проверяют сливом бензина на бе-

лую салфетку из хлопчатобумажной ткани. Цикл повторяют до полного отсутствия загрязнений на салфетке.

Завершающая операция по изготовлению ШБ — очистка и обезжиривание внутренних полостей и наружных поверхностей специальной обезжиривающей жидкостью. По разработанному специалистами АО «КБХА» техническому заданию спроектирована и изготовлена закрытая герметичная установка, исключая попадание паров обезжиривающей жидкости в воздух, в состав которой входят блок регенерации, ректификационной очистки растворителя и блок рекуперации паров растворителя из камеры моечной и системы фильтрации.

Для обеспечения класса чистоты не хуже 5-го (по ГОСТ 17216–2001) окончательную очистку и контроль чистоты внутренних полостей ШБ выполняют в чистом помещении не хуже класса 8,5 ИСО согласно ГОСТ ИСО 14644–1, где контролируют счетную концентрацию аэрозольных частиц. Чистое помещение построено так, чтобы свести к минимуму поступление, генерацию и накопление частиц внутри себя [15] (допускаемое количество в 1 м³ воздуха аэрозольных частиц размером 0,5 мкм и более не должно превышать 11 000 000, а размером 5 мкм и более — 92 500). Заливаемую во внутреннюю полость специальную обезжиривающую жидкость очищают до класса чистоты не хуже 4-го по ГОСТ 17216–2001.

Чтобы очистить и обезжирить внутренние полости, ШБ закрепляют в кантователе, после чего по технологическим трубопроводам из емкости установки в полость ШБ подают обезжиривающую жидкость. Кантователь вращает ШБ в разных плоскостях, обеспечивая омывание всей контролируемой поверхности. Отработанная жидкость возвращается в бак для последующей очистки и повторного использования.

После очистки выполняют термовакуумную сушку ШБ с установкой специального переходника для исключения попадания воздуха из внешней среды во внутреннюю полость ШБ.

Обезжиривание наружных поверхностей осуществляют струйным методом в моечной камере установки в технологической оснастке.

Контроль очистки и обезжиривания проводят путем отбора проб обезжиривающей жидкости с дальнейшим определением степени загрязнения механическими примесями на при-

боре ГРАН-152.1, а содержание жировых загрязнений — на анализаторе Флюорат-02-5М.

В результате работ по освоению производства ШБ разработаны принципиально новые технологические решения, реализация которых позволила сократить технологический цикл изготовления ШБ, повысить их качество и надежность при работе в криогенной среде, снизить потребление обезжиривающей жидкости и исключить ухудшение экологической обстановки, уменьшить количество дефектов и обеспечить чистоту внутренних и наружных

поверхностей в полном соответствии с требованиями конструкторской документации.

Вывод

Разработана технология многоступенчатой очистки ШБ с ограниченным доступом во внутреннюю полость, применяемых в изделиях ракетно-космической техники, которая обеспечивает повышенные требования к чистоте внутренних и наружных поверхностей в соответствии с конструкторской документацией.

Литература

- [1] Мишин В.П., Карраск В.К., ред. *Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов*. Москва, Машиностроение, 1991. 415 с.
- [2] Дорофеева Е.С., Литвиненко Д.С., Янковская Н.Ф. и др. Некоторые особенности механической обработки титановых сплавов. *Решетневские чтения*. Т. 1. Красноярск, СибГАУ, 2017, с. 494–496.
- [3] Воробей В.В., Логинов В.Е. *Технология производства жидкостных ракетных двигателей*. Москва, Изд-во МАИ, 2001. 496 с.
- [4] Витковская А.А., Севостьянов А.К., Кириллов О.Н. Изготовление титановых шаробаллонов на Воронежском механическом заводе. В: *Научная опора Воронежской области*. Воронеж, ВГТУ, 2019, с. 93–96.
- [5] Рязанцев А.Ю., Юхневич С.С. Разработка и внедрение импортозамещающей технологии изготовления титановых баллонов. *Орбита молодежи-2019*. Санкт-Петербург, ВГТУ Военмех, 2019, с. 229–230.
- [6] Ермоленко Д.А., Журавлев В.Ю., Васянина А.Ю. и др. Адаптация систем бароаквариума к переводу на новый хладон. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Технические науки*, 2018, т. 1, № 14, с. 186–188.
- [7] Чуриков Д.О., Злобина И.В., Бекренев Н.В. Исследование влияния величины зазора, в котором возбуждаются ультразвуковые колебания, на степень очистки технологических жидкостей. *Вестник СГТУ*, 2023, № 1, с. 66–73.
- [8] Азингареев В.В., Амелеченко Н.А. Особенности технологии формообразования сферических поверхностей методом пластической деформации. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Технические науки*, 2012, т. 1, № 8, с. 7–8.
- [9] Гребенщиков А.В., Портных А.И., Еремин М.В. и др. Применение электронно-лучевой сварки при изготовлении титановых шаробаллонов. *Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Мат. док. межд. науч.-тех. конф.* Ч. 1. Самара, Самарский ун-т, 2016, с. 133–135.
- [10] Грицюк В.Г., Рязанцев А.Ю., Болдырев А.А. и др. Совершенствование технологической подготовки машиностроительного производства. В: *Современные технологии производства в машиностроении*. Воронеж, Научная книга, 2019, с. 56–61.
- [11] Гребенщиков А.В., Портных А.И., Шуваева Л.П. и др. *Способ электронно-лучевой сварки кольцевых соединений титановых сплавов*. Патент РФ 2016118569. Заявл. 12.05.2016, опубл. 16.11.2017.
- [12] Портных А.И., Татаринцев А.А., Паничев Е.В. и др. *Способ электронно-лучевой сварки деталей*. Патент РФ 2681067. Заявл. 17.01.2018, опубл. 01.03.2019.
- [13] Алимкина Л.П., Белавин А.И., Кочергин С.А. и др. *Подкладка для формирования кольцевого сварного шва*. Патент РФ 157428. Заявл. 09.07.2015, опубл. 10.12.2015.
- [14] Ковалев С.В., Юхневич С.С., Паничев Е.В. и др. *Способ электронно-лучевой сварки закрытых сферических и цилиндрических сосудов и защитное приспособление для его реализации*. Патент РФ 2733964. Заявл. 03.03.2020, опубл. 08.10.2020.
- [15] Борисова Я.П. Методы контроля чистой среды при производстве космического аппарата. *Исследования наукограда*, 2012, № 2, с. 11–16.

References

- [1] Mishin V.P., Karrask V.K., eds. *Osnovy konstruirovaniya raket-nositeley kosmicheskikh apparatov* [Fundamentals of spacecraft launch vehicle design]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991. 415 p. (In Russ.).
- [2] Dorofeeva E.S., Litvinenko D.S., Yankovskaya N.F. et al. [Some features of mechanical processing titanium alloys]. *Reshetnevskie chteniya*. T. 1 [Reshetnev Readings. Vol. 1]. Krasnoyarsk, SibGAU Publ., 2017, pp. 494–496. (In Russ.).
- [3] Vorobey V.V., Loginov V.E. *Tekhnologiya proizvodstva zhidkostnykh raketnykh dvigateley* [Technology of production of liquid rocket engines]. Moscow, Izd-vo MAI Publ., 2001. 496 p. (In Russ.).
- [4] Vitkovskaya A.A., Sevostyanov A.K., Kirillov O.N. Izgotovlenie titanovykh sharoballonov na Voronezhskom mekhanicheskom zavode [Manufacturing of titanium balloons at Voronezh Mechanical Plant]. V: *Nauchnaya opora Voronezhskoy oblasti* [In: Scientific support of the Voronezh region]. Voronezh, VGTU Publ., 2019, pp. 93–96. (In Russ.).
- [5] Ryazantsev A.Yu., Yukhnovich S.S. [Development and implementation of import-substituting technology for manufacturing titanium cylinders]. *Orbita molodezhi-2019* [Orbit of Youth-2019]. Sankt-Petersburg, BGTU Voenmekh Publ., 2019, pp. 229–230. (In Russ.).
- [6] Ermolenko D.A., Zhuravlev V.Yu., Vasyanina A.Yu. et al. Adaptation of the pressure chamber's systems for conversion to new freon. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavтики. Tekhnicheskie nauki*, 2018, vol. 1, no. 14, pp. 186–188. (In Russ.).
- [7] Churikov D.O., Zlobina I.V., Bekrenev N.V. Effects of the gap size with excited ultrasonic vibrations on the level of process liquid clarification. *Vestnik SGTU* [Vestnik Saratov State Technical University], 2023, no. 1, pp. 66–73. (In Russ.).
- [8] Azingareev V.V., Amelchenko N.A. Features of technology of spherical surfaces shaping by plastic deformation. Actual problems of aviation and astronautics. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavтики. Tekhnicheskie nauki*, 2012, vol. 1, no. 8, pp. 7–8. (In Russ.).
- [9] Grebenshchikov A.V., Portnykh A.I., Eremin M.V. et al. [Application of electron beam welding in manufacturing of titanium balloons]. *Problemy i perspektivy razvitiya dvigatelestroeniya. Mat. dok. mezhd. nauch.-tekh. konf.* Ch. 1 [Problems and Prospects of Engine Building Development Proc. Int. Sci.-Tech. Conf. P. 1]. Samara, Samarskiy un-t, 2016, pp. 133–135. (In Russ.).
- [10] Gritsyuk V.G., Ryazantsev A.Yu., Boldyrev A.A. et al. Sovershenstvovanie tekhnologicheskoy podgotovki mashinostroitel'nogo proizvodstva [Improvement of technological preparation of machine-building production]. V: *Sovremennyye tekhnologii proizvodstva v mashinostroenii* [In: Modern production technologies in mechanical engineering]. Voronezh, Nauchnaya kniga Publ., 2019, pp. 56–61. (In Russ.).
- [11] Grebenshchikov A.V., Portnykh A.I., Shuvaeva L.P. et al. *Sposob elektronno-luchevooy svarki koltsevyykh soedineniy titanovykh splavov* [Method of electron beam welding of ring compounds of titanium alloys]. Patent RU 2016118569. Appl. 12.05.2016, publ. 16.11.2017. (In Russ.).
- [12] Portnykh A.I., Tatarintsev A.A., Panichev E.V. et al. *Sposob elektronno-luchevooy svarki detaley* [Method of electron-beam welding of parts]. Patent RU 2681067. Appl. 17.01.2018, publ. 01.03.2019. (In Russ.).
- [13] Alimkina L.P., Belavin A.I., Kochergin S.A. et al. *Podkladka dlya formirovaniya koltsevoogo svar'nogo shva* [Lining for forming a ring weld seam]. Patent RU 157428. Appl. 09.07.2015, publ. 10.12.2015. (In Russ.).
- [14] Kovalev S.V., Yukhnovich S.S., Panichev E.V. et al. *Sposob elektronno-luchevooy svarki zakrytykh sfericheskikh i tsilindricheskikh sosudov i zashchitnoe prispособlenie dlya ego realizatsii* [Method for electron-beam welding of closed spherical and cylindrical vessels and protective device for its implementation]. Patent RU 2733964. Appl. 03.03.2020, publ. 08.10.2020. (In Russ.).
- [15] Borisova Ya.P. Clear environmental control method within spacecraft building process. *Issledovaniya naukoqrada* [The Research of the Science City], 2012, no. 2, pp. 11–16. (In Russ.).

Информация об авторах

ЮХНЕВИЧ Сергей Степанович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения». ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (394006, Воронеж, Российская Федерация, ул. 20-летия Октября, д. 84); главный инженер. АО «Конструкторское бюро химавтоматики» (394006, Воронеж, Российская Федерация, ул. Ворошилова, д. 20, e-mail: serge1975@yandex.ru).

ПОРТНЫХ Александр Иванович — кандидат технических наук, главный металлург — начальник управления. АО «Конструкторское бюро химавтоматики» (394006, Воронеж, Российская Федерация, ул. Ворошилова, д. 20, e-mail: portnykh@inbox.ru).

СТЕПАНЕНКО Татьяна Ивановна — ведущий инженер-технолог. АО «Конструкторское бюро химавтоматики» (394006, Воронеж, Российская Федерация, ул. Ворошилова, д. 20, e-mail: tatyastepanenka@yandex.ru).

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Юхневич С.С., Портных А.И., Степаненко Т.И. Обеспечение требований к качеству очистки и обезжиривания под кислород и гелий погружных емкостей из титановых сплавов, применяемых в изделиях ракетно-космической техники. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2025, № 12, с. 45–50.

Please cite this article in English as:

Yukhnevich S.S., Portnykh A.I., Stepanenko T.I. Ensuring the quality requirements for cleaning and degreasing for oxygen and helium submersible containers made of titanium alloys used in rocket and space technology products. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2025, no. 12, pp. 45–50.

Information about the authors

YUKHNEVICH Sergey Stepanovich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology. Voronezh State Technical University (394006, Voronezh, Russian Federation, 20-letiya Oktyabrya St., Bldg. 84); Chief Engineer. JSC Chemical Automatics Design Bureau (394006, Voronezh, Russian Federation, Voroshilova St., Bldg. 20, e-mail: serge1975@yandex.ru).

PORTNYKH Alexander Ivanovich — Candidate of Science (Eng.), Chief Metallurgist-Head of the Department. JSC Chemical Automatics Design Bureau (394006, Voronezh, Russian Federation, Voroshilova St., Bldg. 20, e-mail: portnykh@inbox.ru).

STEPANENKO Tatyana Ivanovna — Leading Manufacturing Engineer. JSC Chemical Automatics Design Bureau (394006, Voronezh, Russian Federation, Voroshilova St., Bldg. 20, e-mail: tatyastepanenka@yandex.ru).



Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
предлагает читателям монографию

«Высокочастотные гравитационные волны»

Авторы: И.В. Фомин, А.Н. Морозов, И.С. Голяк,
С.В. Червон, А.Л. Назолин

Представлен обзор возможных космологических и астрофизических источников высокочастотных гравитационных волн. Проанализированы связанные состояния гравитационного и электромагнитного полей в рамках задачи генерирования и детектирования гравитационных волн. Рассмотрены перспективные методы детектирования высокочастотных гравитационных волн.

Для физиков, интересующихся проблемами теории гравитации, космологии, занимающихся гравитационно-волновыми исследованиями, а также для студентов старших курсов, магистров и аспирантов.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; <https://press.bmstu.ru>