

Авиационная и ракетно-космическая техника

УДК 621.791.72

doi: 10.18698/0536-1044-2021-8-67-73

Апробация технологии импульсной лазерной сварки тонкостенных оболочковых конструкций из стали 12X18H10T на установке BULAT LRS 300

П.В. Бахматов, Н.О. Плетнев

ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Testing the Technology of Pulsed Laser Welding of Thin-Walled Shell Structures of Steel 12X18H10T on the BULAT LRS 300 Installation

P.V Bakhmatov, N.O. Pletnev

Komsomolsk-na-Amure State University

Приведены результаты внедрения лазерной сварки в технологический процесс производства ответственных конструкций на примере деталей (корпуса и крепежного элемента) пьезоэлектрического акселерометра PeA12. Отработаны режимы лазерной сварки кольцевых швов тонкостенных оболочковых конструкций. Сконструирована и изготовлена сварочная оснастка. Проведены механические испытания и испытания на герметичность, показавшие положительные результаты, которые удовлетворяют техническим требованиям, предъявляемым к сварным соединениям пьезоэлектрического акселерометра PeA12.

Ключевые слова: лазерная сварка, неразъемные соединения, герметичность сварных швов, прочность основного металла, сварка аустенитных сталей

The work was carried out by combining the efforts of the staff of the Department of Welding and metallurgical technologies and Technopark of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Komsomolsk-on-Amur State University. The article considers the results of laser welding introduction into the technological process of the critical structure production on the example of parts (housing and fastening element) of the PeA12 piezoelectric accelerometer. The laser welding modes for circular seams of thin-walled shell structures have been developed. Welding equipment has been designed and manufactured. Mechanical and tightness tests were carried out, which showed positive results that meet the technical requirements for the accelerometer welded joints.

Keywords: laser welding, permanent joints, welded seam tightness, base material strength, austenitic steel welding

При выполнении работ Технопарком Комсомольского-на-Амуре государственного университета встал вопрос о проведении сварки двух деталей (корпуса и крепежного элемента) пьезоэлектрического акселерометра РеА12 для использования в шахтах. Материал конструкции — нержавеющая сталь 12Х18Н10Т.

При применении дуговой сварки неплавящимся электродом в защитной атмосфере инертного газа (TIG) качество сварных соединений всех элементов удовлетворяло требованиям ГОСТ 14771–79. Однако размещение пьезоэлектрического акселерометра РеА12 связано с точным позиционированием, вследствие чего любая деформация в процессе сварки недопустима.

С учетом наличия оборудования и опыта сотрудников кафедры «Технология сварочного и металлургического производства» Комсомольского-на-Амуре государственного университета принято решение об использовании лазерной сварки (ЛС). Такая сварка обеспечивает решение этой проблемы благодаря высокой концентрации луча, уменьшающего зону термического влияния.

Высокие точность и концентрация ЛС позволяют сваривать детали малой толщины намного качественнее, чем при традиционных видах сварки, а также не использовать присадочный материал, повышая экономический показатель при производстве.

К основным особенностям ЛС относятся [1–3]:

- возможность реализации механизма кинжального проплавления, обеспечивающего минимизацию размеров зоны термического влияния благодаря концентрации лазерного луча большой мощности в области воздействия;

- высокий энергетический коэффициент полезного действия процесса сварки;

- высокий уровень физико-механических свойств сварного шва;

- способность точного дозированного подвода энергии в зону сварки.

Особенностями лазерной обработки материалов также являются локальный характер теплового воздействия, минимальная термическая деформация, широкий диапазон регулирования энергетических характеристик лазерного луча, обеспечивающих жесткий термический режим с высокими скоростями нагрева и охлаждения, возможность получения качественных сварных швов и высокопрочных поверхностных слоев [4].

Методика экспериментального исследования. Корпус пьезоэлектрического акселерометра РеА12 состоит из трех деталей — цилиндра, хвостовика и фланца (рис. 1). Для получения неразъемного соединения деталей корпуса использовали двустороннее угловое соединение.

Крепежный элемент пьезоэлектрического акселерометра РеА12 содержит фигурный фланец 1, два кронштейна 2 и подвес 3 (рис. 2).

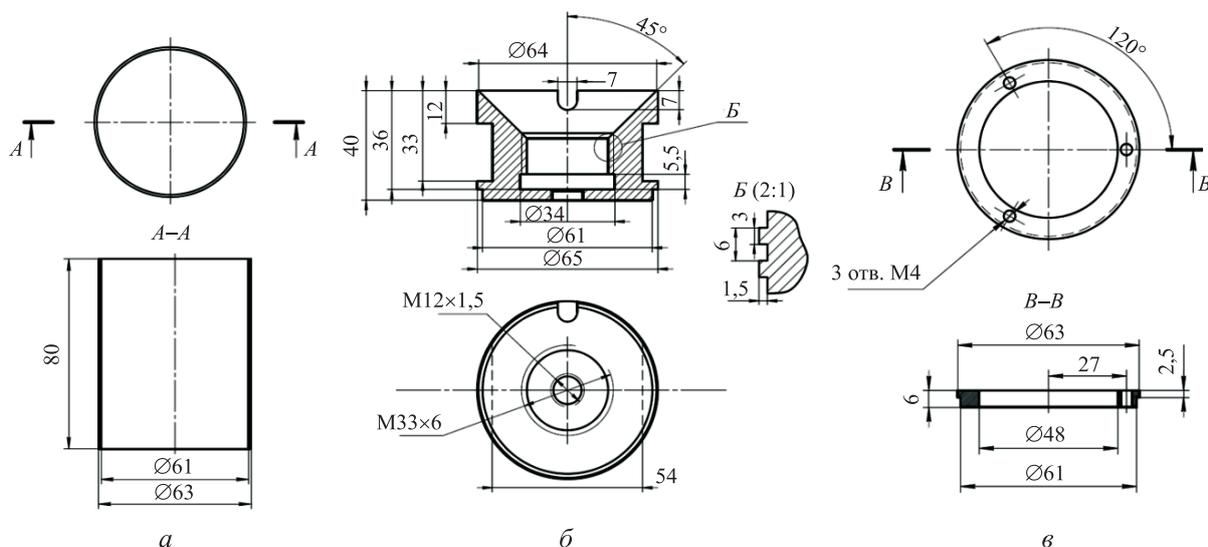


Рис. 1. Конструктивные схемы цилиндра (а), хвостовика (б) и фланца (в) корпуса пьезоэлектрического акселерометра РеА12

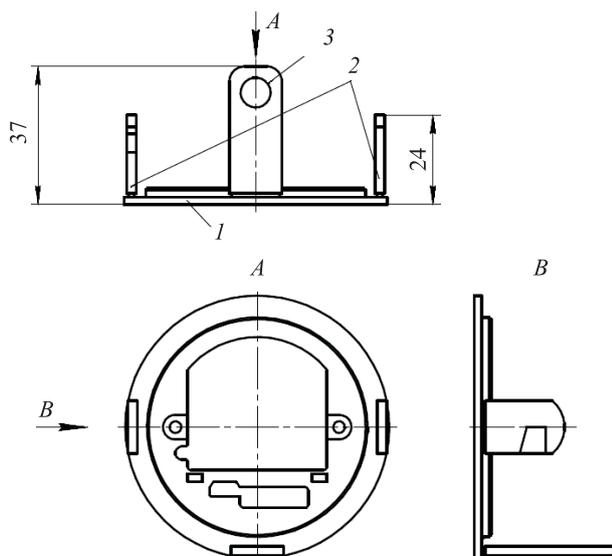


Рис. 2. Конструктивная схема крепежного элемента пьезоэлектрического акселерометра PeA12

Неразъемные соединения получали на лазерной технологической установке BULAT LRS 300. В исследованиях, проведенных ранее [5], установлено, что для сварки тонкостенных конструкций (толщиной до 1 мм) наиболее подходит частотный режим лазера при следующих параметрах: форма импульса — трапецидальная со значением 8 на регуляторе фокусного расстояния; максимальное рабочее напряжение — 450 В; частота и длительность импульса — 7 Гц и 12,5 мс соответственно.

Указанные режимы использовали для дальнейшей апробации, так как толщина свариваемых деталей 1,5...2,0 мм, а сварку проводили с двух сторон, что обеспечивало гарантированное проплавление и герметичность соединения.

Для отработки режимов ЛС применяли сварные образцы в виде трубы диаметром 45 мм, толщиной стенки 1,5 мм, мерной длины 30 мм с возможностью доступа с обратной стороны для двустороннего формирования кольцевых швов. Выполняли одно- и двусторонние швы с присадочной проволокой Telwin 802061 диаметром 0,8 мм и без нее. Свариваемые кромки обрабатывали шабером, обезжировали ацетоном и обезвоживали спиртом.

Испытания на статическое растяжение образцов типа VIII по ГОСТ 6996–66 проводили на разрывной машине Instron 3382. Контроль герметичности осуществляли пневматическим испытанием, а также цветной дефектоскопией по схеме, приведенной на рис. 3.

Для лучшей проверки герметичности испытуемый объект погружали в воду. О герметичности соединений судили после пятиминутной выдержки по наличию или отсутствию пузырьков воздуха.

Результаты исследований. Результаты испытаний на статическое растяжение образцов из стали 12X18H10T толщиной 1,5 мм приведены в таблице, где σ и ϵ — напряжение и деформация (перемещение) при растяжении. Видно, что все образцы разрушены по основному металлу и согласованы с требованиями ГОСТ и свойствами основного металла.

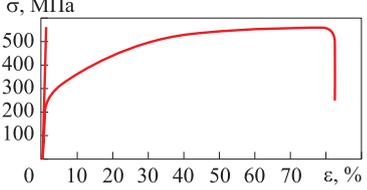
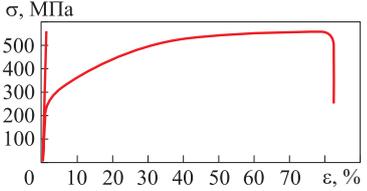
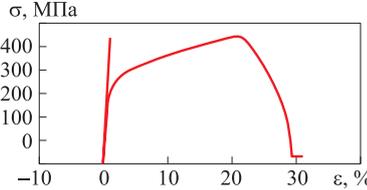
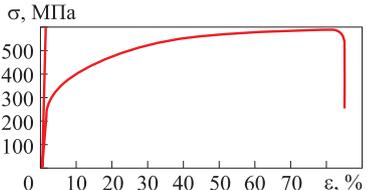
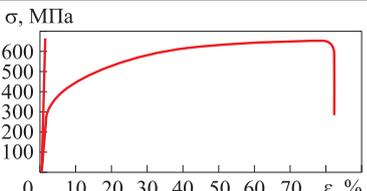
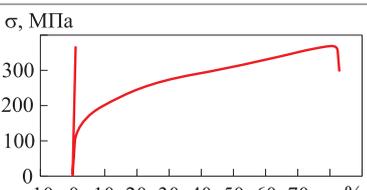
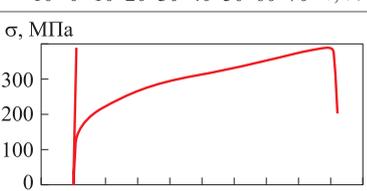
Во время пневматических испытаний при давлении воздуха в системе 0,4 МПа обнаружены пузырьки воздуха в сварном соединении (выполненном аргодуговой сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом) заглушки со штуцером. Принято решение остановить испытания и признать удовлетворительными прочность и герметичность швов, полученных ЛС на технологической установке BULAT LRS 300.

Сварку крепежного элемента пьезоэлектрического акселерометра PeA12 проводили в специальном устройстве — сварочной оснастке (рис. 4, а), где прочно закрепляли детали, чтобы избежать зазора между ними и исключить отклонения геометрических размеров конструкции. Для ЛС деталей корпуса также использовали сварочную оснастку (рис. 4, б).



Рис. 3. Технологическая схема пневматического испытания образцов

Механические свойства образцов из стали 12Х18Н10Т толщиной 1,5 мм

Тип сварного шва	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Диаграмма растяжения	Вид разрушенного образца
Двусторонний без присадочной проволоки	111	560,1		
	130	563,9		
	137	444,1		
Односторонний с присадочной проволокой	128	591,2		
	153	648,4		
Основной металл	81	390,4		
	99	390,4		

Полученные сварные соединения (рис. 5, а, б) проверяли на наличие видимых дефектов визуально-оптическим контролем, который не выявил поверхностных дефектов и откло-

нений в геометрических параметрах конструкции.

Для определения герметичности корпуса датчика выполняли капиллярный контроль



Рис. 4. Размещение деталей пьезоэлектрического акселерометра РеА12 в сварочной оснастке:
а — крепежного элемента;
б — корпуса (цилиндра и хвостовика)



Рис. 5. Внешний вид готовых изделий пьезоэлектрического акселерометра РеА12:
а — крепежного элемента; б — корпуса

качества методом керосиновой пробы. Все сварные швы оказались герметичными.

Опытную партию изделий передали заказчику, который дополнительно испытал кольцевые швы сварных соединений на прочность и герметичность (рис. 6). О чем свидетельствует акт проведения испытаний, подтвердивший качество сварных соединений.



Рис. 6. Проведение испытания на герметичность сварных швов корпуса датчика

Выводы

1. Получены качественные неразъемные соединения деталей из стали 12Х18Н10Т лазерной сваркой на технологической установке BULAT LRS 300. Подтверждено, что для сварки деталей толщиной 1,5 мм оптимальным является частотный режим лазера со следующими параметрами: форма импульса — трапецеидальная; рабочее напряжение — 450 В; частота и длительность импульса — 7 Гц и 12,5 мс соответственно.

2. Предел прочности созданных неразъемных соединений соответствует нормативным требованиям и в среднем на 30 % больше, чем у основного металла.

Литература

- [1] Григорьянц А.Г., ред. *Технологические процессы лазерной обработки*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 663 с.
- [2] Ready J.F., Farson D.F., Feeley T., eds. *LIA handbook of laser materials processing*. Orlando, LIA, 2001. 704 p.
- [3] Пантелеенко Ф.И., Девойно О.Г., Лапковский А.С. и др. Особенности процесса лазерной сварки разнородных материалов на железной и медно-никелевой основе. *Наука и техника*, 2014, № 1, с. 7–11.
- [4] Гнусов С.Ф., Оришич А.М. Структурно-фазовое состояние и механические свойства сварных соединений при лазерной сварке титана и нержавеющей стали. *Известия Томского политехнического университета*, 2012, т. 321, № 2, с. 94–99.
- [5] Бахматов П.В., Плетнев Н.О. Влияние режимов лазерной сварки тонкостенных конструкций на структуру и свойства сварных соединений из нержавеющей сталей. *Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета*, 2019, т. 1, № 2, с. 82–89.
- [6] Шелягин В.Д., Лукашенко А.Г., Лукашенко Д.А. и др. Лазерная сварка тонколистовой нержавеющей стали. *Автоматическая сварка*, 2011, № 4, с. 45–49.

- [7] Li S., Chen G., Katayama S., et al. Relationship between spatter formation and dynamic molten pool during high-power deep-penetration laser welding. *Appl. Surf. Sci.*, 2014, vol. 303, pp. 481–488, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.03.030>
- [8] Гольцев В.Ю. *Методы механических испытаний и механические свойства материалов*. Москва, МИФИ, 2012. 226 с.
- [9] Ушаков А.Б., Морозова О.П., Бегунов И.А. и др. Технология лазерной сварки магистральных трубопроводов. *Газовая промышленность*, 2017, № S2, с. 100–107.
- [10] Липпольд Дж.С., Котеки Д.Д. *Металлургия сварки и свариваемость нержавеющей сталей*. Санкт-Петербург, Изд-во Политехнического университета, 2011. 467 с.
- [11] Шипилов А.В., Коновалов А.В., Бровка В.В. и др. Управление структурой сварных соединений при орбитальной tig-сварке технологических трубопроводов компрессорных станций. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2011, № 6, с. 44–52, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2011-6-44-52>
- [12] Григорьянц А.Г., ред. *Лазерные аддитивные технологии в машиностроении*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 280 с.
- [13] Курынцев С.В. Исследование влияния термической обработки на распределение химических элементов в области линии сплавления сварного шва, полученного расфокусированным лазерным излучением. *Сварка и диагностика*, 2019, № 5, с. 35–39.
- [14] Курынцев С.В., Гильмутдинов А.Х., Шиганов И.Н. Сварка расфокусированным лазерным лучом. *Сварочное производство*, 2016, № 2, с. 36–47.
- [15] Москвитин Г.В., Поляков А.Н., Биргер Е.М. Применение методов лазерной сварки в современном промышленном производстве. *Сварочное производство*, 2012, № 6, с. 36–47.

References

- [1] Grigor'yants A.G., ed. *Tekhnologicheskije protsessy lazernoj obrabotki* [Technological processes of laser processing]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2006. 663 p.
- [2] Ready J.F., Farson D.F., Feeley T., eds. *LIA handbook of laser materials processing*. Orlando, LIA, 2001. 704 p.
- [3] Panteleenko F.I., Devoyno O.G., Lapkovskiy A.S., et al. Peculiar features of laser welding process for dissimilar materials on ferrum or copper-nickel base. *Nauka i tekhnika* [Science & Technique], 2014, no. 1, pp. 7–11 (in Russ.).
- [4] Gnyusov S.F., Orishich A.M. Structural-phase state and mechanical properties of welded joints at laser welding of titanium and stainless steel. *Izvestiya Tomskogo Politehnicheskogo Universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], 2012, vol. 321, no. 2, pp. 94–99 (in Russ.).
- [5] Bakhmatov P.V., Pletnev N.O. Influence of modes of laser welding of thin-walled structures on the structure and properties of welded joints of stainless steel steels'. *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Scientific Notes of Komsomolsk-on-Amour State Technical University], 2019, vol. 1, no. 2, pp. 82–89 (in Russ.).
- [6] Shelyagin V.D., Lukashenko A.G., Lukashenko D.A., et al. Laser welding of thin sheet stainless steel. *Avtomaticheskaya svarka* [Automatic Welding], 2011, no. 4, pp. 45–49 (in Russ.).
- [7] Li S., Chen G., Katayama S., et al. Relationship between spatter formation and dynamic molten pool during high-power deep-penetration laser welding. *Appl. Surf. Sci.*, 2014, vol. 303, pp. 481–488, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.03.030>
- [8] Gol'tsev V.Yu. *Metody mekhanicheskikh ispytaniy i mekhanicheskie svoystva materialov* [Methods of mechanical tests and mechanical properties of materials]. Moscow, MIFI Publ., 2012. 226 p.
- [9] Ushakov A.B., Morozova O.P., Begunov I.A., et al. Laser welding technology for major pipelines. *Gazovaya promyshlennost'* [Gas Industry], 2017, no. S2, pp. 100–107 (in Russ.).
- [10] Lippold J.C., Kotecki D.J. *Welding metallurgy and weldability of stainless steels*. Wiley, 2005. 376 p. (Russ. ed.: *Metallurgiya svarki i svarivaemost' nerzhaveyushchikh staley*. Sankt-Petersburg, Izd-vo Politehnicheskogo universiteta Publ., 2011. 467 p.).

- [11] Shipilov A.V., Kononov A.V., Brovko V.V., et al. Joint weld structure control during orbital TIG-welding of compressor plant industrial pipelines. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 2011, no. 6, pp. 44–52, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2011-6-44-52> (in Russ.).
- [12] Grigor'yants A.G., ed. *Lazernye additivnyye tekhnologii v mashinostroyenii* [Laser additive technologies in machine building]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2018. 280 p.
- [13] Kuryntsev S.V. Studies of the effect of thermal treatment on the distribution of chemical elements in the area of the weld fusion line obtained by focused laser radiation. *Svarka i diagnostika* [Welding and Diagnostics], 2019, no. 5, pp. 35–39 (in Russ.).
- [14] Kuryntsev S.V., Gil'mutdinov A.Kh., Shiganov I.N. Welding with a defocused laser beam. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2016, no. 2, pp. 36–47 (in Russ.). (Eng. version: *Weld. Int.*, 2017, vol. 31, no. 2, pp. 151–156, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2016.1223919>)
- [15] Moskvitin G.V., Polyakov A.N., Birger E.M. Application of laser welding methods in industrial production. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2012, no. 6, pp. 36–47 (in Russ.). (Eng. version: *Weld. Int.*, 2013, vol. 27, no. 7, pp. 572–580, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2012.715953>)

Статья поступила в редакцию 05.03.2021

Информация об авторах

БАХМАТОВ Павел Вячеславович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология сварочного и металлургического производства». ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (681013, Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация, ул. Ленина, д. 27, e-mail: mim@knastu.ru).

ПЛЕТНЕВ Никита Олегович — старший преподаватель кафедры «Технология сварочного и металлургического производства». ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (681013, Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация, ул. Ленина, д. 27, e-mail: nik1111ta@mail.ru).

Information about the authors

BAKHMATOV Pavel Vyacheslavovich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Welding and Metallurgical Production. Komsomolsk-na-Amure State University (681013, Komsomolsk-on-Amur, Russian Federation, Lenin St., Bldg. 27, e-mail: mim@knastu.ru).

PLETNEV Nikita Olegovich — Senior Lecturer, Department of Welding and Metallurgical Production. Komsomolsk-na-Amure State University (681013, Komsomolsk-on-Amur, Russian Federation, Lenin St., Bldg. 27, e-mail: nik1111ta@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Бахматов П.В., Плетнев Н.О. Апробация технологии импульсной лазерной сварки тонкостенных оболочковых конструкций из стали 12X18H10T на установке BULAT LRS 300. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 8, с. 67–73, doi: [10.18698/0536-1044-2021-8-67-73](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-8-67-73)

Please cite this article in English as:

Bakhmatov P.V., Pletnev N.O. Testing the Technology of Pulsed Laser Welding of Thin-Walled Shell Structures of Steel 12X18H10T on the BULAT LRS 300 Installation. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2021, no. 8, pp. 67–73, doi: [10.18698/0536-1044-2021-8-67-73](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-8-67-73)