

УДК 532.5:621.9.044

Чирков А.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: techlaser@mail.ru

ООО «Вятское машиностроительное предприятие «Лазерная техника и технологии»

Адрес организации: 610002, Россия, г. Киров, ул. Молодой Гвардии, д. 14

Князева И.А. – аспирант

E-mail: iraida_knyazeva@mail.ru

Вятский государственный университет

Адрес организации: 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36

Золотонос Я.Д. – доктор технических наук, профессор

E-mail: zolotonosov@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Технологические особенности лазерной сварки пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов

Аннотация

Данная статья посвящена технологическим особенностям, которые необходимо учитывать в процессе лазерной сварки пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов. Выявлена и обоснована необходимость одновременного ведения двух технологических процессов: навивки пружины и лазерной сварки. Данное технологическое решение позволяет получить требуемое качество сварного соединения при сохранении геометрических размеров готовой детали в поле допуска на размер. Применение данного инженерного решения обеспечивает высокую технологическую воспроизводимость качества изготовления пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов. Также в статье представлены результаты метрологических измерений и металлографических исследований сварных швов пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов.

Ключевые слова: теплообменные аппараты, пружинно-витой канал, лазерная сварка, технологические особенности, технологическая воспроизводимость качества.

Развитие современного производства обуславливает внедрение наукоемких технологий, к которым относится и лазерная обработка материалов. Такая обработка является одной из технологий, которые определяют современный уровень производства в промышленно развитых странах. Использование лазерной обработки материалов позволяет обеспечить высокое качество производимой продукции, заданную производительность, экологическую чистоту, а также экономию людских и материальных ресурсов.

Хорошо отработанные и экономически эффективные технологии дуговой сварки плавлением имеют ряд недостатков применительно к сварным конструкциям.

В первую очередь, это значительные деформации в процессе сварки, существенное тепловложение в сварное соединение, склонность к образованию горячих трещин.

В настоящее время на большинстве предприятий узлы теплообменного аппарата изготавливаются сваркой неплавящимся электродом в среде защитного инертного газа (ТИГ-сварка), но при сварке данным способом могут возникать прожоги, коробление поверхности, в зоне сварного соединения наблюдаются окисления, что ухудшает товарный вид изделия. Повышение качества, снижение длительности технологического цикла сварки, т.е. увеличение производительности и снижение себестоимости, требуют замены существующего способа ТИГ-сварки на более производительный и качественный способ.

Известно, что лазерная сварка характеризуется наименьшим тепловложением по сравнению с другими методами сварки. Поэтому ее применение должно быть целесообразно с точки зрения как остаточных напряжений и деформаций, так и уменьшения размеров зоны термического влияния.

Любое сравнение лазерной сварки с другими способами является достаточно условным, поскольку каждый метод сварки имеет свои определенные преимущества и недостатки, которые определяют области оптимального технико-экономического применения.

Преимущества лазерной сварки перед TIG-сваркой в основном заключаются в следующем:

1. За счет высокой концентрации энергии и малой площади пятна нагрева объем сварочной ванны при лазерной сварке в несколько раз меньше, что положительно сказывается на ряде характеристик как сварочного шва, так и изделия в целом. Уменьшение объема расплава и получение швов с большим отношением глубины проплавления к ширине шва дает возможность снизить деформации деталей до 10 раз. Это, в свою очередь, приводит как к значительной экономии металла (за счет уменьшения допусков), так и к повышению производительности (в результате экономии времени на правку после сварки), а также исключение послесварочной механической обработки.

Малый объем расплавленного металла и специфическая форма шва также улучшают условия кристаллизации, что повышает технологическую прочность и механические свойства сварных соединений.

2. Отсутствие электрода, близко расположенного к поверхности сварочной ванны, исключает попадание в нее инородных материалов.

3. Острая фокусировка луча и возможность передачи его на значительные расстояния позволяют осуществлять сварку в труднодоступных местах.

4. Термический цикл лазерной сварки характеризуется высокими скоростями нагрева и охлаждения, дает возможность уменьшить зону термического влияния, что позволяет снизить эффект фазовых и структурных превращений в околошовной зоне, приводящих к разупрочнению материала, трещинообразованию, снижению коррозионной стойкости и т.д.

5. Большие скорости сварки (до 9-11 м/мин) обеспечивают высокую производительность процесса, в десятки раз превышающую производительность дуговой сварки.

6. Сварные швы при лазерной сварке качественные и практически не имеют дефектов.

7. Использование передачи энергии по световоду при сварке твердотельными лазерами позволяет автоматизировать или роботизировать процесс и проводить его в различных пространственных положениях.

В совокупности все эти преимущества делают лазерную сварку экономически более выгодной, чем дуговую, несмотря на высокую стоимость лазерного оборудования.

В зависимости от конструкции свариваемых деталей, технологических требований и ряда других факторов возможно проведение лазерной сварки со сквозным проплавлением и без сквозного проплавления. Сквозное проплавление находит более широкое применение при сварке листовых нагруженных конструкций, а несквозное проплавление часто используют для герметизации или для соединения тонких деталей с массивными. Сварка возможна во всех пространственных положениях. Особенности технологии, связанные с большой скоростью процесса, прецизионностью и рядом других факторов, обуславливают возможность осуществления лазерной сварки с глубоким проплавлением только в автоматическом режиме.

Теплообменные аппараты используются практически во всех отраслях промышленности. Их основная задача – обеспечить передачу тепла от одного теплоносителя к другому и тем самым решить проблемы охлаждения, нагрева элементов технологического оборудования или обеспечить температурный режим технологических процессов [2].

Вопросам оптимизации конструкций теплообменных аппаратов посвящено большое количество научных исследований, в результате которых была доказана высокая эффективность применения пружинно-витых каналов в теплообменном оборудовании.

Изготовление элемента теплообменного аппарата в виде кольцевого пружинно-винтового канала производится путем навивки проволоки заданного диаметра на оправку требуемого диаметра круглой трубы с последующей лазерной сваркой по стыкам пружинной навивки.

Для отработки технологии лазерной сварки пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов применяются образцы-свидетели.

Образец-свидетель представляет собой пружинно-витой канал с длиной пружины 100 мм. Внешний вид образца-свидетеля представлен на рис. 1.

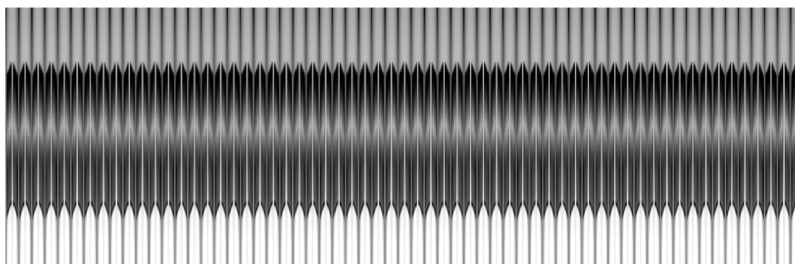


Рис. 1. Внешний вид образца-свидетеля пружинно-витого канала теплообменного аппарата

Особенностью лазерной сварки пружинно-витых каналов теплообменного оборудования является необходимость учета погрешности в изготовлении проволоки, которая накапливается с каждым витком. Данная особенность обуславливает необходимость прецизионного наведения луча лазера на стык витков.

Изготовление пружинно-витого канала теплообменного оборудования в два последовательных этапа: навивка пружины и последующая сварка не дает возможности автоматизировать процесс, так как при таком способе ведения технологического процесса перед сваркой каждого элемента необходимо производить корректировку программы движения лазерной головки с учетом погрешности в изготовлении проволоки.

Для этого необходимо как минимум два раза проводить процесс сварки в тестовом режиме (рис. 2), что, в свою очередь, увеличивает в несколько раз трудоемкость и длительность процесса получения готового изделия, а это оказывает непосредственное влияние на себестоимость изготовления пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов.

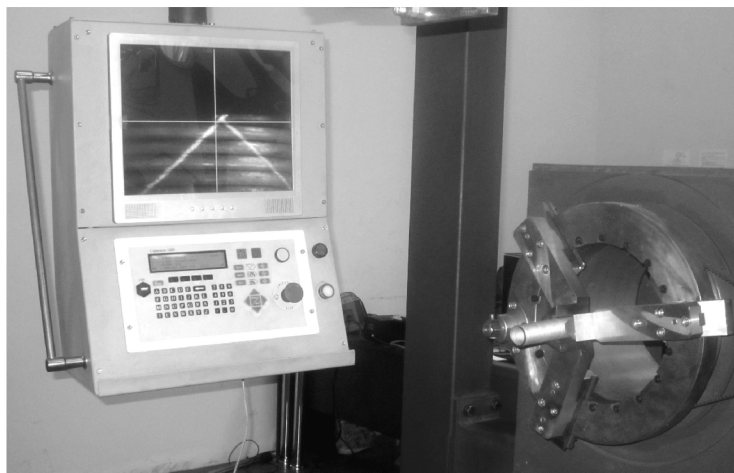


Рис. 2. Процесс сварки пружинно-витого канала теплообменного оборудования в тестовом режиме

Без проведения процесса сварки в тестовом режиме невозможно спрогнозировать погрешность проволоки, а следовательно, невозможно запрограммировать движение лазерной головки, при котором будет получен качественный сварной шов.

Для решения данной проблемы предлагается одновременное ведение двух технологических процессов: навивки пружины и лазерной сварки. Технически реализация данного способа требует нестандартного специализированного оборудования со встроенной системой активного слежения за положением лазерного луча относительно стыка витков пружины.

Данное технологическое решение позволяет получить требуемое качество сварного соединения при сохранении геометрических размеров готовой детали в поле допуска на размер. Применение данного инженерного решения обеспечивает высокую технологическую воспроизводимость качества изготовления пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов.

О качестве выполнения сварного соединения можно судить после проведения трех видов контроля:

1. Метрологический контроль геометрических размеров пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов, сваренных лазерной сваркой. При этом контролируется:

- длина пружинно-витого канала теплообменного аппарата – l , мм;
- глубина проплавления – h , мм;
- изменение толщины стенки трубы от фактического диаметра проволоки – t , мм.

После того, как сваренное изделие прошло метрологический контроль, то есть все размеры находятся в поле допуска на размер, проводится металлографический контроль сварного соединения.

2. Металлографический контроль сварных соединений пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов, выполненных лазерной сваркой. Данный вид контроля выполняется с целью исследования структуры шва и зоны термического влияния, установления наличия или отсутствия дефектов. Характер структур металла шва позволяет оценить его механические свойства.

3. Пневмогидравлические испытания пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов, сваренных лазерной сваркой. Данный вид контроля проводится с целью проверки плотности шва. Гидравлические испытания, помимо проверки плотности швов, дают возможность определить прочность пружинно-витого канала при наибольших нагрузках.

Вывод:

1. Высокая стабильность энергии луча лазера, равная 1 %, в сочетании с высокой точностью наведения луча лазера на стык свариваемых кромок, равной ± 10 мкм, позволяет гарантировать высокую точность воспроизведения геометрических параметров сварного шва и позволяет обеспечить стабильность механических свойств сварного соединения.

2. Автоматизация процесса лазерной сварки пружинно-витых каналов теплообменного оборудования в сочетании с высокой стабильностью энергии луча лазера и точностью наведения луча лазера на стык свариваемых кромок позволяет избежать дефектов сварного соединения и устранить зависимость получения высокого качества сварного соединения от функционального состояния сварщика и его квалификации.

3. Высокая скорость лазерной сварки в сочетании с минимальной шириной шва определяет низкий уровень погонной энергии сварочного процесса, минимизирует зону термического влияния и температуру нагрева сварного узла.

Таким образом, внедрение автоматизированной лазерной сварки с видеоконтрольной лазерной системой наведения луча лазера на стык свариваемых кромок обеспечивает высокую технологическую воспроизводимость сварочного процесса, гарантирует высокое качество сварного шва и практически исключает возможность образования дефектов сварного соединения.

Список литературы

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Чирков А.М.. Гибридные технологии лазерной сварки. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 68 с.
2. Багоутдинова А.Г., Золотонос Я.Д. Геометрическое моделирование сложных поверхностей пружинно-витых каналов теплообменных устройств // Известия КГАСУ, 2011, № 4 (18). – С. 185-192.

Chirkov A.M. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: techlaser@mail.ru

Vyatka machinbuilding enterprise Laser technics and technologies Ltd

The organization address: 610002, Russia, Kirov, Young Guard st., 14

Knyazeva I.A. – graduate student

E-mail: iraida_knyazeva@mail.ru

Vyatka State University

The organization address: 610000, Russia, Kirov, Moscovskaya st., 36

Zolotonosov Ya.D. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: zolotonosov@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Technological features of laser welding of spring-twisted channels of heat exchangers

Resume

The article discusses a method of making spring-twisted channels using the technology of laser welding. The advantages of laser welding to other types of welding for the manufacture of spring-twisted channel of heat exchangers are shown.

They are:

- Minimum molten weld pool due to the high ratio of concentration of the heat source;
- Less than the values of transverse and longitudinal shrinkage due to the minimum amount of weld pool;
- High-speed welding because of the process in deep penetration;
- Minimum heat affected zone due to high welding speeds;
- Minimum investment in heat welded construction;
- The possibility of welding at atmospheric conditions.

Two variants of the technological process. The rationale of two simultaneous processes: coiling spring and laser welding.

Simultaneous management of two processes: the winding spring gives the desired weld quality while maintaining the geometric dimensions of the finished part in the dimensional tolerance. Technology provides high reproducibility of manufacturing quality of spring-twisted channel of heat exchangers.

Shows the required control methods, the results of which judge the quality of the manufacture of spring-twisted channel heat exchangers can be judged.

- Metrological control of geometrical sizes of spring-twisted channel heat exchangers, welded together by laser welding.
- Metallographic examination of welds spring-twisted channel heat exchangers made by laser welding.
- Fluid-testing of spring-twisted channel of heat exchangers, welded together by laser welding.

Keywords: heat exchangers, spring-twisted channel, laser welding, technological features, technological reproducibility quality.

References

1. Grigoryanc A.G, Shiganov I.N, Chirkov A.M. Hybrid laser welding technology. Textbook. – M.: Publishing House of the MSTU. NE Bauman, 2004. – 68 p.
2. Bagoutdinova A.G., Zolotonosov Ya.D. Geometrical modelling of difficult surfaces of spring-twisted channels of heat exchange devices / News of the KSUAE, 2011, № 4 (18). – P. 185-192.