

Технология и технологические машины



БРОВКО
Андрей Викторович
инженер-технолог
(ОАО НПП «Салют»)

BROVKO
Andrey Viktorovich
industrial engineer
(of JSC SPE «Salut»)

УДК 621.791

Проблемы автоматической сварки волноводов радиолокационных станций

А.В. Бровко

Проведен анализ технологии изготовления волноводов, в результате которого установлена возможность совершенствования технологии изготовления волноводов из алюминиевых сплавов путем использования автоматической дуговой сварки. При этом необходимо решить вопрос формирования периметрического сварного шва коробчатой конструкции.

Ключевые слова: волновод, алюминиевый сплав, автоматическая сварка, формирование шва.

Problems of automatic welding of radar waveguides

A.V. Brovko

The manufacturing technology of waveguides has been reviewed, resulting in finding an opportunity to improve the manufacturing process of aluminum alloy waveguides by means of automatic arc welding. At the same time it is necessary to solve the box-like circumferential welding seam formation problem.

Keywords: waveguide, aluminum alloy, automatic welding, welding seam formation.

Радиолокационные станции (РЛС) — важный элемент морского, воздушного, наземного транспорта и других устройств, без которых невозможно существование современной технологической среды. Одним из металлоемких и важных элементов РЛС являются вол-

новоды (волноводные тракты сверхвысоких частот (СВЧ)). С помощью волноводных трактов сигналы генератора передаются на излучатели антенных устройств, а также осуществляется передача отраженных волн от объекта на приемные устройства. В настоящее время наибольшую трудоемкость изготовления, сложность конструкции и протяженность (длину) имеют волноводные тракты СВЧ на судах [1].

На рисунке 1 приведен пример размещения волноводных трактов СВЧ. Конкретная длина и количество волноводных трактов зависит от типа судна и количества РЛС. Изготовление волноводов для судов аналогично волноводам других РЛС.

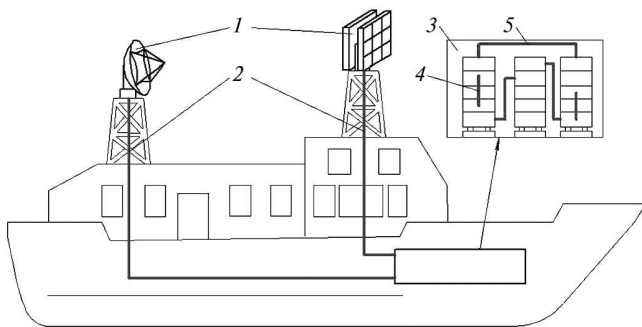


Рис. 1. Компоновка РЛС на судне:

- 1 — антенное устройство; 2 — магистральный тракт;
- 3 — аппаратное помещение; 4 — межблочный тракт;
- 5 — межприборный тракт

Особенностью конструкции большинства волноводов является:

- коробчатая конструкция прямоугольного сечения;
- изготовление волноводных трактов СВЧ из разборных секций (прямых, радиусных, скрученных и конусных волноводов), механически соединяемых между собой;
- каждый волновод (секция) представляет собой неразъемную конструкцию (сварную или паяную) трубы и двух фланцев;
- конструкции фланцевых сочленений должны обеспечить необходимую точность совпадения каналов соединяемых элементов.
- использование конструкционных материалов с высокой электрической проводимостью, низкой плотностью и хорошими удельными прочностными характеристиками.

Современные волноводы для передачи дециметровых и метровых волн в подавляющем большинстве случаев изготавливают из сплавов алюминия (АД00, АМЦ, АМг6, АД31 и др.). И только часть волноводов для передачи преимущественно волн сантиметрового диапазона изготавливается из медных сплавов [2], основным недостатком которых является высокая стоимость и значительный вес.

Анализ конструкций волноводов показал, что требование к геометрии прямоугольного сечения волноводов вытекает из особенностей распространения волн по проводнику. Физический принцип прохождения волн по сечению волновода схематично представлен на рис. 2.

Фазовая скорость распространения волны по волноводу

$$V = \frac{c}{\sqrt{1 - \cos^2 Q}},$$

где c — скорость света; $\cos Q = \frac{\lambda}{2a}$. Таким образом, сечение волновода связано с расчетной

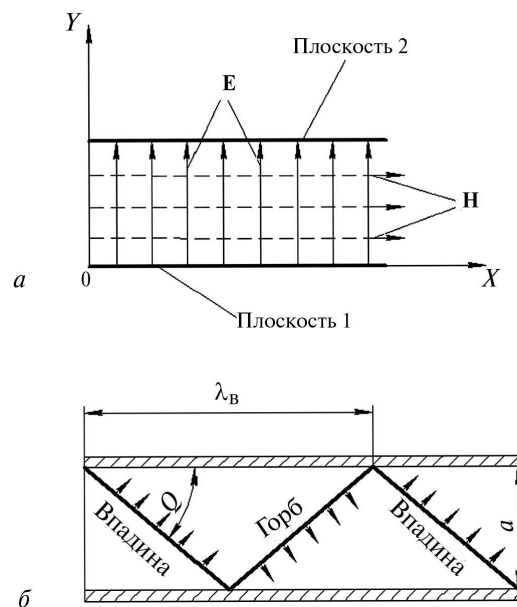


Рис. 2. Схема движения волн по сечению волновода:

- a — пространственная направленность векторов поля в волноводe (H — вектор напряженности магнитного поля, E — вектор напряженности электрического поля);
- b — схема движения волны вдоль волновода (λ — длина волны; a — расстояние между стенками волновода, Q — угол направления вектора волны)

фазовой скоростью; λ — длина волны; a — расстояние между стенками волновода.

При выборе размеров волновода необходимо соблюдать следующие условия: $a < \lambda < 2a$; $\lambda > 2b$.

Конструкция типовых соединений трубы и фланца представлена на рис. 3.

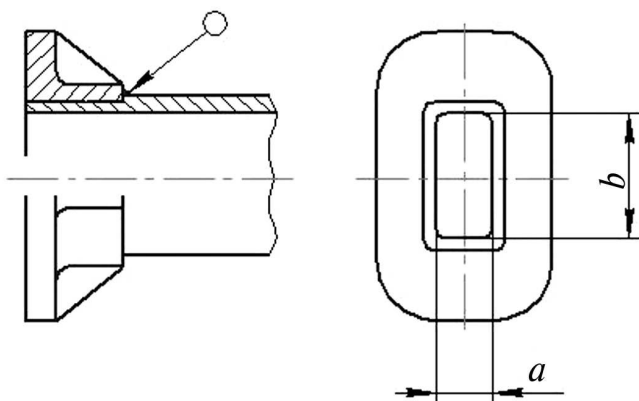


Рис. 3. Типовая конструкция сварного соединения трубы и фланца

Для унификации конструкции волновода использован стандартизованный ряд сечений волнопроводов, примеры которых представлены в таблице.

Как следует из приведенных примеров размеров стандартного ряда, практически всегда выполняется соотношение $b = 2a$. Кроме того стандартизации подвергнуты присоединительные размеры фланцев волнопроводов [3].

Физические принципы работы волновода обуславливают жесткие требования к его геометрии, выполнение которых должна обеспечить технология изготовления. Получение замкнутого профиля любой, в том числе прямоугольной, формы на таком высокопластичном материале как алюминий и его сплавах не представляет особой сложности [4]. Изготовление фланцев любой формы, путем механической обработки также вполне решаемая задача, при использовании современных станков с числовым программным управлением. В тоже

время, технологический процесс сварки может существенно повлиять на геометрические размеры волнопроводов.

Сварка волнопроводов должна обеспечить точность формы сечения волновода и геометрическую точность обтюривающей поверхности фланцев, что доказывает преимущества автоматической дуговой сварки по сравнению с ручными способами сварки плавлением.

К сварным соединениям волнопроводов предъявляются требования прочности и герметичности. Требование прочности обусловлено действием вибрационных нагрузок на волнопроводы в диапазоне частот 5...120 Гц с ускорением 2,5g. Требование герметичности волнопроводов обусловлено необходимостью заполнения внутренних полостей волнопроводов технологическим газом при их эксплуатации и предотвращения попадания морской влаги во внутреннюю полость волнопроводов. Соответственно размеры и количество допустимых дефектов сварных швов волнопроводов строго регламентированы, что повышает требования к технологии сварки. Использование автоматической сварки способно существенно повысить стабильность получения качественных сварных соединений по сравнению с ручными способами сварки.

Применяемые алюминиевые сплавы позволяют получать качественные сварные соединения (рис. 4), однако при ручной сварке в зависимости от квалификации сварщика швы могут иметь значительную нестабильность геометрических размеров (неравномерность ширины шва, выпуклости или вогнутости шва и т. д.). При ручной сварке высока вероятность образования пор и усадочных раковин (рис. 5 и 6). Сварные швы, выполненные автоматической сваркой, имеют более стабильную форму и более мелкую чешуйчатость (рис. 7).

Основные проблемы сварки волнопроводов обобщены на рис. 8.

Применение различных технологических приемов при автоматической аргодуговой свар-

Таблица

Материал изготовления	Сечение волновода $a \times b$						
	1×2	4,5×9	8×16	15×35	45×90	90×180	165×330
Латунные сплавы							
Алюминиевые сплавы	5,5×11	8×16	10×23	20×40	25×58	34×72	55×110

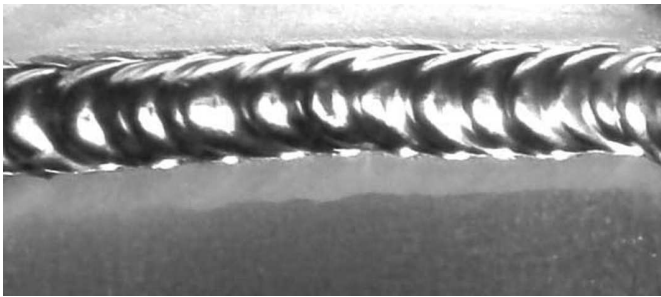


Рис. 4. Внешний вид сварного соединения, выполненного ручной сваркой



Рис. 5. Усадочная раковина и мелкие поверхностные поры в сварном шве

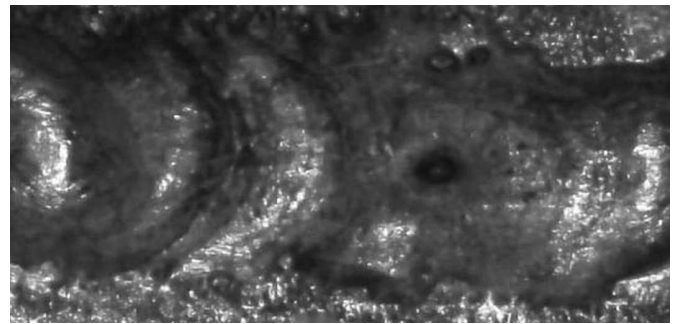


Рис. 6. Крупные поверхностные поры в сварном шве

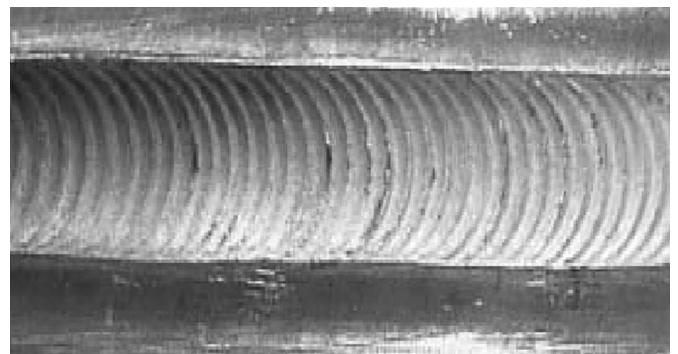


Рис. 7. Внешний вид сварного соединения, выполненного автоматической сваркой

ке алюминиевых сплавов способно исключить процесс образования пор [5]. Однако, указанные преимущества автоматической сварки получены для простых по форме сварных швов (продольных швах). Сварные швы на волноводах имеют преимущественно прямоугольную форму и требуют, соответственно, специально-

го изучения, особенно в местах переходов от одной поверхности к другой.

В атомной энергетике имеется положительный опыт автоматической сварки периметрическим швом шестигранной трубы чехлов тепловыделяющих сборок [6], который показал, что основной трудностью периметрической



Рис. 8. Основные проблемы, существующие при сварке волноводов

сварки некруглого профиля является качественное формирование сварного шва на ребрах. Применительно же к периметрической сварке прямоугольного сечения проблема формирования сварного шва на ребре может стоять еще более остро, поскольку угол между смежными гранями еще более острый (120° на шестигранном чехле и 90° на волноводе). Таким образом, для решения проблемы автоматической сварки волноводов предстоит решить, в том числе и вопрос формирования сварного шва на ребрах волновода.

Выводы

1. Для дальнейшего совершенствование технологии изготовления волноводов необходима разработка технологии автоматической дуговой сварки конструкций прямоугольного сечения. Использование автоматической сварки позволит решить следующие задачи: повышение точности конструкции, улучшение качества сварного соединения, уменьшение шероховатости поверхности шва и повышение производительности труда.

2. При разработке технологии автоматической сварки периметрических сварных соединений необходимо решить вопросы формирования сварных швов на ребрах прямоугольной конструкции.

Литература

1. Байрашевский А.М., Ничипоренко Н.Т. Судовые радиолокационные системы. М.: Транспорт, 1973. 352 с.

2. Седышев В.П., Стрельников И.В. Волноводные тракты СВЧ на судах. Л.: Судостроение, 1981. 184 с.

3. Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники. М.: Сов. радио, 1967. 651 с.

4. Бушиминский И.П. Изготовление элементов конструкции СВЧ. М.: Высшая школа, 1974. 304 с.

5. Пористость при сварке цветных металлов / В.В. Редчиц, В.А. Фролов, В.А. Казаков, В.И. Лунин. М.: Технология машиностроения, 2002. 448 с.

6. Создание оборудования для приварки головки к многогранной трубе / Л.Н. Щавелев, М.С. Келин, С.П. Бородкин, Л.В. Чалакин // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерная техника и технология. Вып. 4: Сварка в ядерной технологии. 1989. С. 10–14.

References

1. Bairashevskii A.M., Nichiporenko N.T. *Sudovye radiolokatsionnye sistemy* [Shipboard radar systems] Moscow, Transport publ., 1973. 352 p.

2. Sedyshev V.P., Strel'nikov I.V. *Volnovodnye trakty SVCh na sudakh* [Microwave waveguides on ships]. Leningrad, Sudostroenie publ., 1981. 184 p.

3. Fel'dshteyn A.L., Iavich L.R., Smirnov V.P. *Spravochnik po elementam volnovodnoi tekhniki* [Reference elements waveguide technology]. Moscow, Soviet radio publ., 1967. 651 p.

4. Bushminskii I.P. *Izgotovlenie elementov konstruksii SVCh* [Fabrication of structural elements of the microwave]. Moscow, High school publ., 1974. 304 p.

5. Redchits V.V., Frolov V.A., Kazakov V.A., Lunin V.I. *Poristost' pri svarke tsvetnykh metallov* [Porosity when welding nonferrous metals]. Moscow, Tekhnologiiia mashinostroeniia publ., 2002. 448 p.

6. Shchhavelev L.N., Kelin M.S., Borodkin S.P., Chalakin L.V. *Sozdanie oborudovaniia dlia privarki golovki k mnogogrannoi trube* [Development of equipment for the welding head to the versatile pipe]. *Voprosy atomnoi nauki i tekhniki. Ser. Iadernaia tekhnika i tekhnologiiia*, issue 4, *Svarka v iadernoi tekhnologii*, 1989, pp. 10–14.

Статья поступила в редакцию 15.10.2012

Информация об авторе

БРОВКО Андрей Викторович (Москва) — инженер-технолог ОАО НПП «Салют». (Россия, 111123, г. Москва, ул. Плеханова, 6, e-mail: A.V.Brovko@yandex.ru).

Information about the author

BROVKO Andrey Viktorovich (Moscow) — industrial engineer of JSC SPE «Salut» (Str. Plechanow, 6, 111123, Moscow, Russia, e-mail: A.V.Brovko@yandex.ru).