

Знакомство с технологией шовно-роликовой герметизации

В статье описаны основные физические принципы, положенные в основу производственного технологического процесса, называемого шовно-роликовой сваркой. Данный тип соединения относится к разновидности резистивной сварки, при этом в качестве электродов выступают ролики, а результатом сварочного процесса является герметичный шов. То есть, говоря о шовно-роликовой сварке, мы говорим о корпусировании, а именно — о герметизации корпусов электронных компонентов.

**Александр Иванов
Дмитрий Кононыхин**

micro@ostec-group.ru

Общие принципы шовной роликовой сварки

Существующие сварочные процессы можно условно разделить на следующие типы:

- Сплавление. Происходит разогрев материалов свариваемых деталей до температуры плавления и образования интерметаллического соединения.
- Диффузия материалов. Материалы нагреваются до пластического состояния, и происходит их взаимная диффузия по соединяемой поверхности.
- Холодная сварка. Процесс без интенсивного нагрева, но при приложении большого давления; процесс механического формирования контакта.
- Пайка оплавлением. Процесс, при котором происходит разогрев третьего материала за счет температурных сопротивлений первых двух. Третий металл чаще всего входит в состав основных материалов и нагреваться должен выше +400 °С. По сути, происходит пайка двух частей с помощью третьего материала, выступающего в качестве припоя.

Последний из процессов обладает такими важными преимуществами, как прочность и гибкость паяных соединений. Такое соединение проще создать, к тому же пайка оплавлением хорошо подходит для соединения разнородных материалов, происходит при достаточно низких температурах за один цикл и наиболее экономична. Единственные требования здесь — отсутствие окислов на соединяемых поверхностях и их плотный контакт.

Процесс пайки оплавлением был выбран как наиболее оптимальный для реализации шовной роликовой сварки. Шовно-роликовое соединение используется для герметизации различного типа корпусов. Название само говорит о способе реализации: сварочный шов создается с помощью системы роликов. Рассмотрим более подробно механизм данной системы и ее работу. На рис. 1 изображен металлокерамический корпус с металлической крышкой в разрезе; ролики, являющиеся электродами, упираются на крышку, размещенную на корпусе.

Сборка перемещается в плоскости, перпендикулярной рисунку. Из общего объема мощности источника питания часть ее превращается в тепло внутри самого блока питания, часть — в проводниках, часть — в самой крышке, а еще часть — в месте контакта электродов и крышки, в котором происходит расплав. Ток, образованный с одной стороны источника питания, проходит через электрод, контакт между электродом и крышкой, саму крышку, контакт со вторым электродом, другой электрод и, наконец, уходит обратно в блок питания. Часть тока, попадающего в крышку от электрода, переходит на деталь, а затем обратно к крышке на противоположном краю, и не проходит через центр крышки. При правильном выборе проводников и блока питания местами максимального сопротивления цепи являются точки соприкосновения между электродами и крышкой, что особенно справедливо, если кромка электродов достаточно острая.

Процесс разогрева в месте контакта основан на производных от закона Ома $V = I \times R$. В соответствии с данным законом ток во всей цепи должен быть одинаковым при одинаковом напряжении. Параметр сопротивления, таким образом, является величиной, определяющей ток на каждом участке цепи и затраты источника энергии на преодоление этого сопротивления, выливающиеся в нагрев проводника. Затрачиваемая энергия в общем случае определяется как $P = I \times V$, а энергия, идущая на разогрев проводника, — $P = I^2 \times R$, где V — напряжение источника питания, I — ток в цепи, R — сопротивление, P — мощность. Из последней формулы можно определить, что сильнее будет разогреваться проводник с наибольшим сопротивлением и разогрев будет пропорционален квадрату протекающего через данный проводник тока.

В первом приближении можно считать пренебрежимо малыми сопротивления источника питания

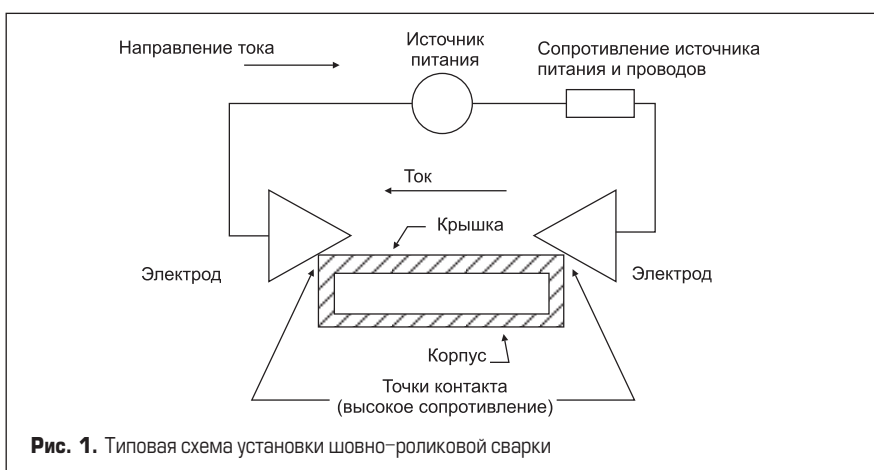


Рис. 1. Типовая схема установки шовно-роликовой сварки

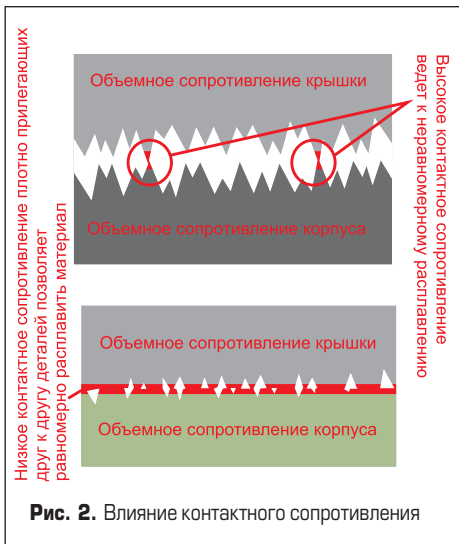


Рис. 2. Влияние контактного сопротивления

и проводов (обычно проводники и электроды изготавливаются из материалов высокой проводимости, а значит низкого сопротивления), а максимальным — сопротивление свариваемых деталей. Здесь тоже необходимо разделить сопротивление свариваемых деталей на объемное и контактное. Объемное — это сопротивление металла крышки и корпуса. Контактное — сопротивление контакта электродов-крышки, крышки-корпуса. Они определяют количество теплоты, генерируемой в этих областях.

Рис. 2 показывает, что плохой контакт электрод-крышка и крышка-корпус приведет к сильному разогреву именно в этих местах. Сварка осуществляется за счет нагрева элементов электрическим током, проходящим через них в течение определенного времени. Температура сварки зависит от сварочного тока, электрического сопротивления заготовок, контактного сопротивления между ними и усилия их сжатия. Для

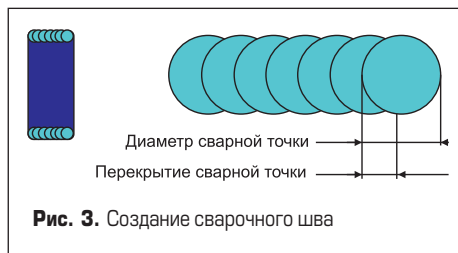


Рис. 3. Создание сварочного шва

удержания расплавленного металла в ограниченном объеме к свариваемым деталям необходимо приложить достаточное усилие. Однако с увеличением усилия сжатия уменьшается контактное сопротивление. Для сварки заготовок с малым контактным сопротивлением необходимо увеличивать ток, напряжение и мощность сварки. Чем выше сварочное усилие, тем больше для выполнения одной и той же сварки должны быть сварочный ток, напряжение, мощность или время сварки. Количество теплоты, выделяемое во время сварки, вычисляется по формуле $Q = I^2 R T$, или произведение квадрата тока сварки (I), сопротивления заготовок (R) и продолжительности процесса (T). Поэтому во время шовно-роликовой сварки для исключения нагрева за счет контактного сопротивления необходимо обеспечивать плотный контакт роликов с крышкой.

Источником питания в шовной роликовой сварке служит высокочастотный блок питания, выдающий сварочные импульсы задаваемой длительности и мощности, например импульсный блок HF 25, им оснащены системы шовной роликовой сварки SM8500 и AF8500 фирмы Miyachi Unitek. В данных системах происходит перемещение сборки при неподвижных электродах таким образом, что электроды перемещаются по краю сборки, выдавая с определенной последовательностью сварочные импульсы, образующие сварочный шов.

Как видно на рис. 3, сварной шов создается серией импульсов определенной мощности и частоты следования. Мощность импульса определяет диаметр сварной точки, а частота следования импульсов — степень перекрытия сварных точек и, следовательно, интенсивность нагрева и распределение теплового фронта разогрева металла при перемещении сборки. Именно эти два параметра будут влиять на качества шва, а значит, и на качество сварного соединения и степень герметичности прибора.

Требования, предъявляемые к геометрии и материалу корпусов и крышек герметизируемых изделий

- Минимальная высота монтажного кольца (ободка основания) или расстояние между плоскостью, где происходит сварка, и нижней плоскостью основания корпуса или выводов должна составлять 0,5 мм (рис. 4а). Иначе может произойти касание электродами не только места сварки, но и поверхности корпуса. При потере электродами контакта возможны искрения и прожиги крышки.
- Внешние габариты крышки не должны превышать внешние габариты монтажного кольца (ободка основания) корпуса (рис. 4б, в). Рекомендуется использовать крышки, у которых внешние габариты меньше соответствующих размеров монтажного кольца на 0,2 мм (0,008”), однако крышки с габаритными размерами, равными размерам монтажного кольца, также могут привариваться удовлетворительно.
- Внутренние габаритные размеры ступенькообразной крышки (рис. 4б, в) должны быть меньше соответствующих размеров монтажного кольца (ободка основания) минимум

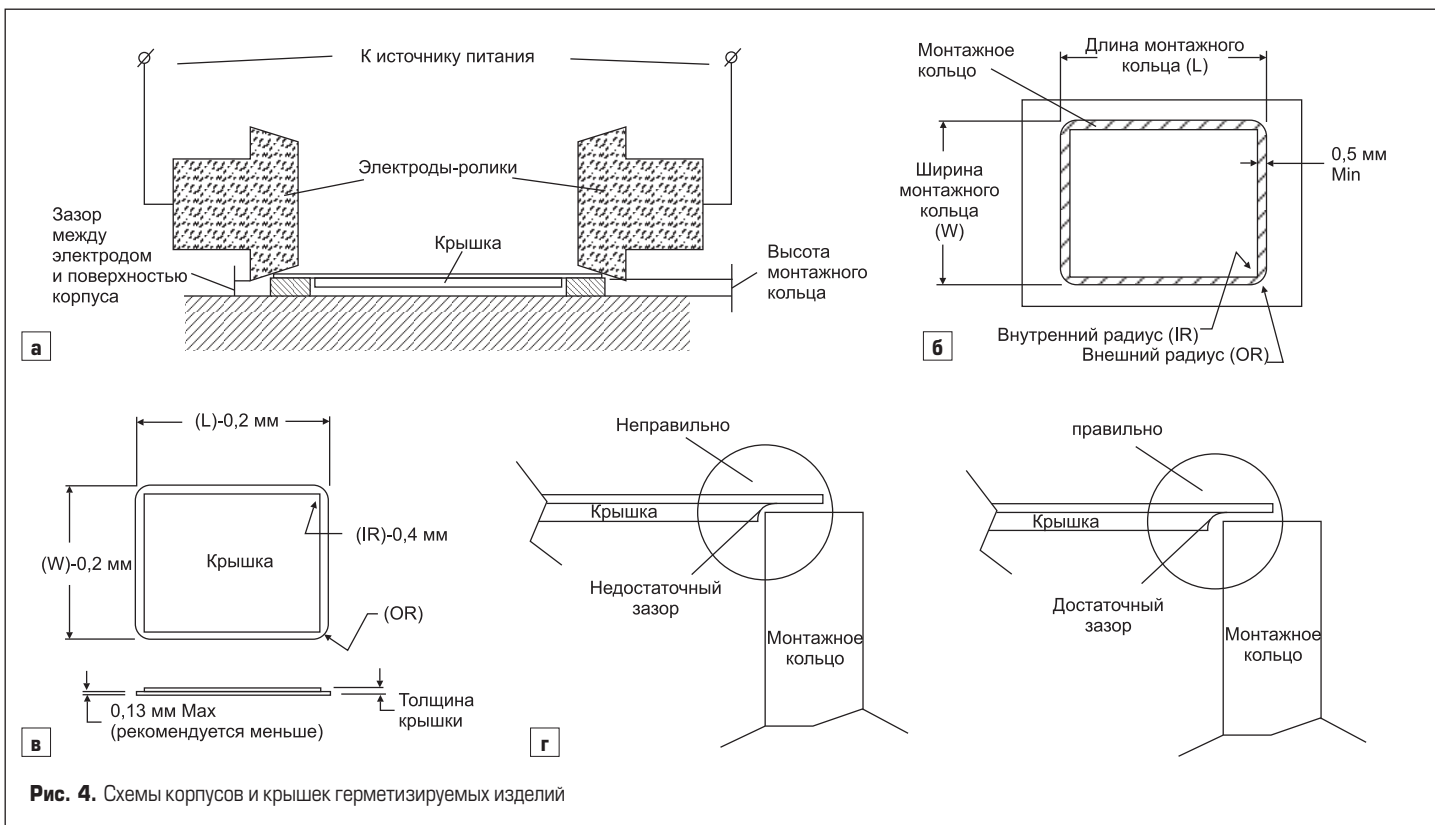


Рис. 4. Схемы корпусов и крышек герметизируемых изделий

на 0,2 мм (0,008"). Однако при проектировании необходимо учесть допуски на размеры кольца и крышки, радиус вытрава ступеньки (рис. 4г), а для автоматической раскладки крышек — еще и допуск на точность механического перемещения крышки на кольцо.

- Радиус скругления углов крышки должен быть равным радиусу скругления углов монтажного кольца (ободка основания), при этом составлять как минимум 0,5 мм и не превышать 1,5 мм. Для ступенькообразной крышки внутренний радиус скругления должен быть больше внутреннего радиуса скругления монтажного кольца на 0,4 мм (рис. 4б, в).

- Толщина края крышки для сварки должна составлять $0,1 \pm 0,03$ мм ($0,004 \pm 0,001$ ").

Стандартными материалами крышки и уплотнительного кольца являются:

- ковар (53%Fe, 29%Ni, 17%Co, 0,3%Mn, 0,2%Si, 0,02%C) — температура плавления +1450 °C;
- фени 42 (58%Fe, 41%Ni, 0,4%Mn, 0,2%Si, 0,05%C (max)) — температура плавления +1427 °C;
- никель — температура плавления +1454 °C;
- сталь.

Основным материалом все же выбирается ковар — из-за близкого значения его коэффициента температурного расширения ($KTR = 6,2$) с керамикой ($KTR = 6,8$ при температуре +25...+400 °C) и стеклом ($KTR = 6,3-7$ при температуре +25...+400 °C).

Вне зависимости от того, какой материал является основным для реализации шовно-роликовой сварки, рекомендуется использовать крышки и уплотнительные кольца с предварительным плакированием одним из следующих материалов:

- никель (слой 3 мкм);
- золото (1 мкм).

Основным материалом для плакирования является никель. При этом различают никель, нанесенный электролитическим методом, и химический. На рис. 5 приведены температуры плавления различных материалов. Видно, что химический никель имеет более низкую температуру плавления, нежели электролитический, из-за включений фосфора. Однако включение в никель фосфора приводит к коррозионному растрескиванию материала под действием напряжения.

Подбор электродов для шовно-роликовой сварки

Корректно подобранные электроды позволяют оптимизировать параметры сварочного процесса. При подборе электрода основными являются максимальный диаметр ролика и угол наклона (рис. 6).

Максимальный диаметр ролика подбирается, исходя из минимального размера герметизируемого корпуса. Из-за постоянного контакта с герметизируемой поверхностью со временем рабочая поверхность ролика вырождается и стачивается, поэтому данный параметр подбирается так, чтобы добиться однородности эрозии рабочей поверхности ролика и продлить тем самым

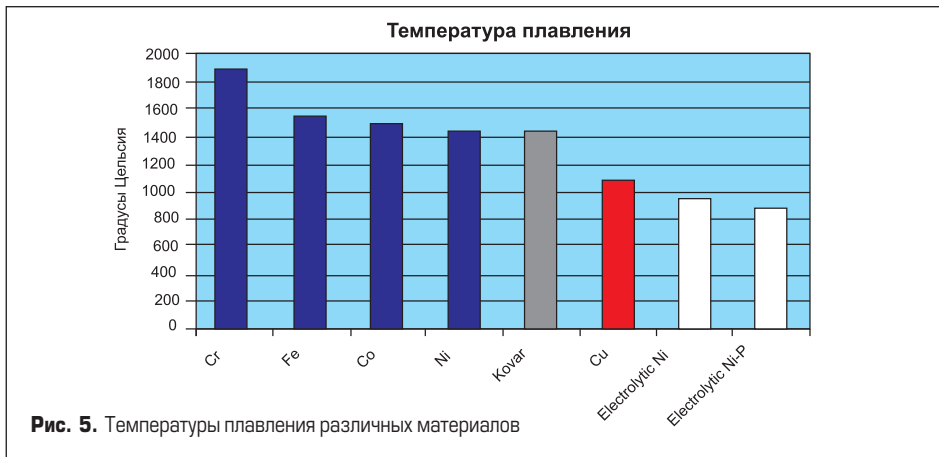


Рис. 5. Температуры плавления различных материалов

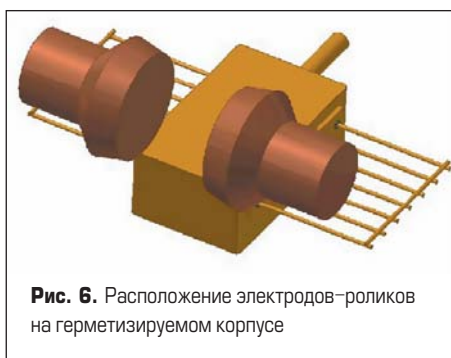


Рис. 6. Расположение электродов-роликов на герметизируемом корпусе



Рис. 7. Типовое значение угла ролика составляет 12°

срок его службы. Максимальный диаметр ролика должен быть таким, чтобы длина его окружности была соизмерима с минимальным размером корпуса. Углы наклона влияют на концентрацию тепла и распространение теплового фронта.

При острых углах электродов (до 45°) будет происходить концентрация тепла на краю сборки, а при малых углах тепло будет распределяться более равномерно по всей крышке, и для создания сварного шва потребуются большие мощности. Причин тому несколько:

- Малые углы означают большую площадь контакта, которая при той же силе, приложенной к электроду, приводит к более низкому давлению. В результате будет достигнута большая температура для одних материалов и меньшая для других, что приведет к необходимости использования различных температур и, следовательно, различных энергий.
- Большая площадь также увеличивает размер ванны расплава металла, что требует дополнительной энергии.

- Чем больше площадь пятна контакта, тем меньше доля общей подводенной энергии от источника питания переходит в тепло в нужном месте.

Для создания очень широкого шва типовые значения угла начинаются от 7° (при этом конечная температура сборки не имеет решающего значения) до 45°, когда необходим обратный процесс. Обычно для большинства применений подходит угол 12° (рис. 7).

Подбор параметров сварочного процесса

Рассмотрим основные параметры шовно-роликовой сварки.

- Мощность сварки может изменяться в диапазоне (справедливо для установок фирмы Miyachi) 50–2500 А; 0,1–99 мс с шагом в 0,1 мс. На рис. 8 отображено меню

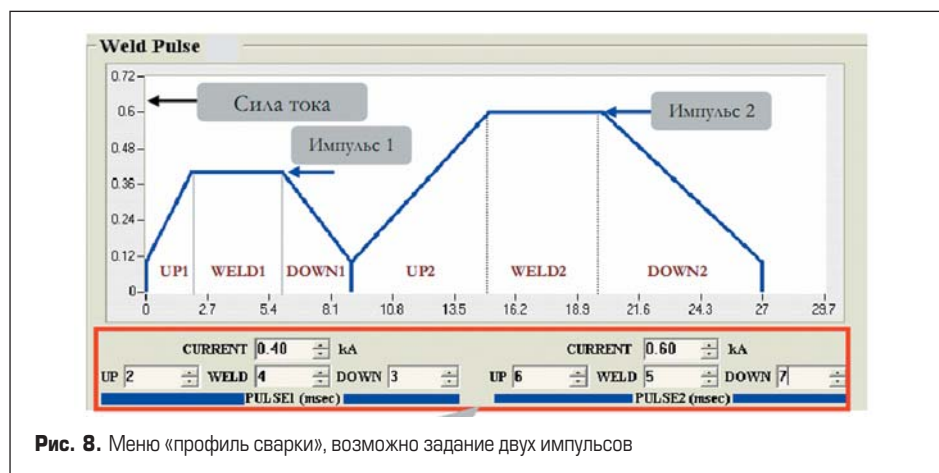


Рис. 8. Меню «профиль сварки», возможно задание двух импульсов

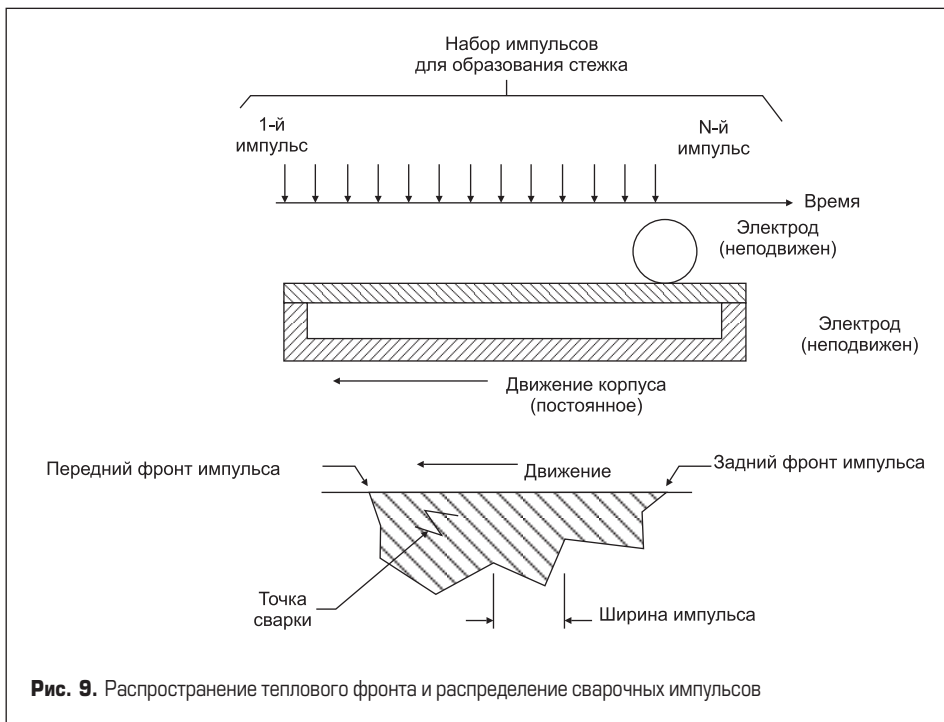


Рис. 9. Распространение теплового фронта и распределение сварочных импульсов

профиля сварочного импульса. Во время перемещения роликов блок питания выдает на электроды сварочные импульсы определенной амплитуды и длительности. Эти импульсы подаются с определенной частотой, устанавливаемой параметром Spot Spacing (расстояние между точками сварки). Таким образом, мы можем регулировать степень перекрытия сварочных импульсов, распространение теплового фронта и качество сварки.

- Скорость сварки может изменяться (для установок фирмы Miyachi) в диапазо-

не 2,5–38 мм/с (0,1–1,5 дюйма в секунду). Данное значение определяет, насколько быстро перемещаются электроды относительно свариваемой поверхности во время сварки. Если после герметизации заметны цвета побежалости на крышке, значит, корпус перегревался в момент сварки и необходимо уменьшить именно рассматриваемый параметр. Необходимо помнить, что распространение теплового фронта зависит в совокупности от скорости сварки и расстояния между сварными точками. На рис. 9 показано распределение импуль-

сов (задается параметром расстояния между сварными точками). Электрод неподвижен, корпус движется с заданным параметром скорости сварки, происходит распространение теплового фронта, расплавление никеля на крышке и сплавление ее с корпусом.

- Усилие сварки, диапазон изменения которой для установок фирмы Miyachi составляет 250–5000 г. Данное значение указывает на давление в граммах, которое будет оказываться электродом на свариваемую поверхность. Обычно для используемых в производстве маленьких кварцевых осцилляторов керамических корпусов задается давление в 1400 г. Усилие сварки подбирается таким образом, чтобы исключить паразитное контактное сопротивление электрод–крышка и вариативность контактного сопротивления крышка–корпус, т. е. поддерживать его стабильное значение. Именно эти три параметра являются основополагающими при шовно-роликовой сварке.

Применение шовно-роликовой сварки

Основная область применения шовно-роликовой сварки — герметизация различных типов металлических и металлокерамических корпусов микросхем (рис. 10–11). Преимуществами подобного метода являются его простота и дешевизна, так как не требуется применение специальных материалов. К тому же системы шовно-роликовой сварки отличаются компактностью и высокой степенью универсальности, что позволяет использовать их для герметизации корпусов различных типоразмеров (рис. 12). При этом возможна интеграция данных систем в атмосферные камеры различной направлен-

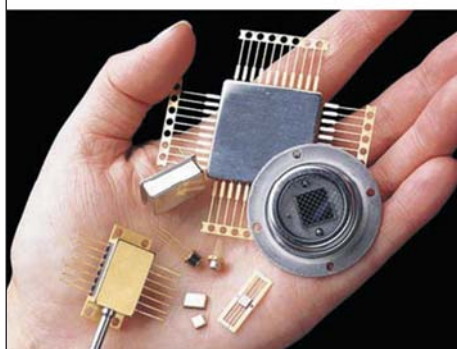
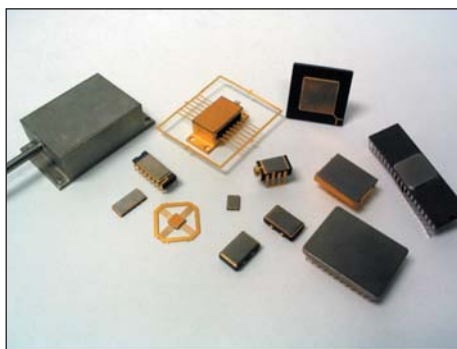


Рис. 10. Примеры корпусов, герметизируемых установкой шовно-роликовой сварки

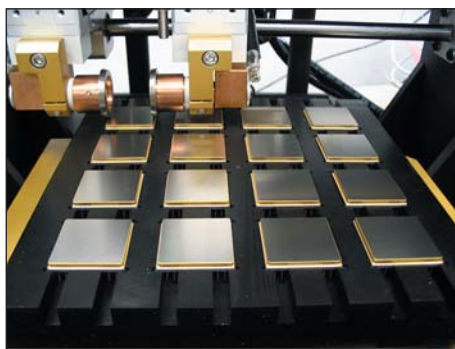


Рис. 11. Групповая и одиночная шовно-роликовая сварка

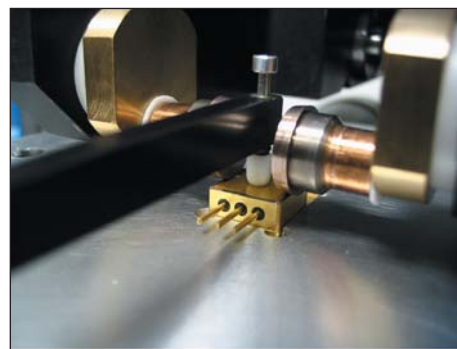




Рис. 12. Различные типы роликов, применяемых в шовно-роликовой сварке

Таблица 1. Системы шовно-роликовой сварки

Тип	AF8500 Системы монтажа, прихватки и шовной роликовой сварки групповой обработки	SM8500 Система параллельной шовной роликовой сварки одиночной обработки
Внешний вид		
Размер деталей, мм	3–203	
Точность позиционирования, мм	±0,050	
Усилие сварки (регулируется)	Стандарт: 500–5000 г; опция Low Force: 200–500 г	
Линейная скорость сварки, мм/с	макс. 38	
Возможность герметизации круглых корпусов	Нет	Да
Сжатый воздух, бар	минимум 4,137	
Вакуумный инструмент для размещения крышек на корпусе	950 мбар (опциональный диффузионный насос)	Нет
Калибровка	В соответствии со стандартами NIST	
Ток выхода блока питания HF25, А	50–2400±2	
Ширина импульса HF25, мс	0,3–2000	
Ток на входе блока питания HF25	192–264 В (номинально 240 В), 3 фазы, 50/60 Гц, 25 А; 320–440 В (номинально 400 В), 3 фазы, 50/60 Гц, 20 А	
Видеосистема (опция)	SVGA камера высокого разрешения Cognex (1280×1024) для автоматического совмещения крышек с корпусом	Система для визуального совмещения крышки с корпусом

сти — от поддержания необходимого уровня вакуума до контроля параметров влажности и определенного состава атмосферы.

Система шовно-роликовой сварки, интегрированная в атмосферную камеру, идеально подходит для герметизации микросхем специального применения высокой надежности (космос, авиация, мореплавание и т. д.), так как обеспечивает высокую герметичность изделия и обеспечивает заданную атмосферу

внутри микросборки. Герметичность изделия при строгом контроле внутренней атмосферы также важна для оптоэлектронных приборов: лазерных диодов, акустооптических модуляторов и др. Герметичность изделия при контроле влажности среды актуальна для всех микросхем, так как продлевает срок их службы и уменьшает вероятность выхода из строя из-за замыкания внутренних контактов.



Рис. 13. Атмосферные камеры MX2000 и Alpha

В таблице и на рис. 13 представлены системы шовно-роликовой сварки и атмосферные камеры для них от компании Miyachi Unitek.