

В. Н. А т а м а н о в

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКА
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ
КОРПУСОВ ФОТОПРИЕМНИКОВ**

Приведены результаты исследования формирования соединений при шовной сварке тонкостенной оболочки с помощью одностороннего подвода сварочного тока. Представлены кинематическая схема разработанного полуавтомата для герметизации фотоприборов и технологические режимы сварки.

E-mail: epe@bmstu.ru

Ключевые слова: *фотоприемники, шовная сварка, токоподвод, рекристаллизация, герметичность, кинематическая схема, производительность.*

С увеличением выпуска полупроводниковых фотоприемников все большее значение приобретает снижение трудоемкости их производства, в том числе и трудоемкости процесса герметизации, составляющей 20...45% общей трудоемкости, а также максимальная механизация и автоматизация.

Герметизация корпусов фотоприборов является одной из важнейших операций технологического процесса, так как от качества ее выполнения зависит выход годных изделий и их надежность. Поэтому при герметизации необходимо соблюдать некоторые специфические требования, а именно:

- процесс должен обеспечивать герметичность корпусов;
- во избежание повреждений элементов конструкции прибора должно обеспечиваться минимальное термомеханическое воздействие на спай стекло–металл и на полупроводниковую структуру;
- процесс и оборудование должны обеспечивать получение стабильного качества соединений в условиях массового производства;
- процесс должен быть пригодным для механизации и автоматизации.

Отметим, что к некоторым типам фотоприборов предъявляются жесткие требования по сохранению конструктивных размеров, что связано с условиями их дальнейшего использования в аппаратуре.

Корпус фотоприбора (рис. 1) представляет собой тонкостенный цилиндр 1 с впаянным оптическим стеклом 2. Внутри цилиндра размещается ножка 3 с гермовыводами 4, которая предназначена для крепления полупроводниковой структуры и точной ее ориентации относительно оптического окна; 5 — герметизирующий сварной шов. Материал корпуса — ковар 29 НК. Для предохранения от коррозии детали корпуса покрыты слоем никеля толщиной 3...6 мкм.

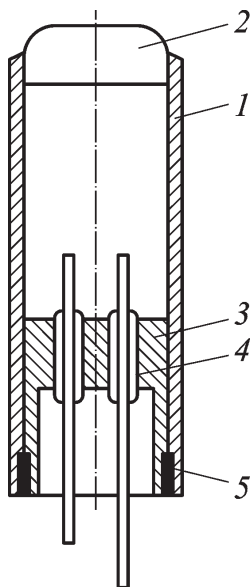


Рис. 1. Корпус фотоприбора

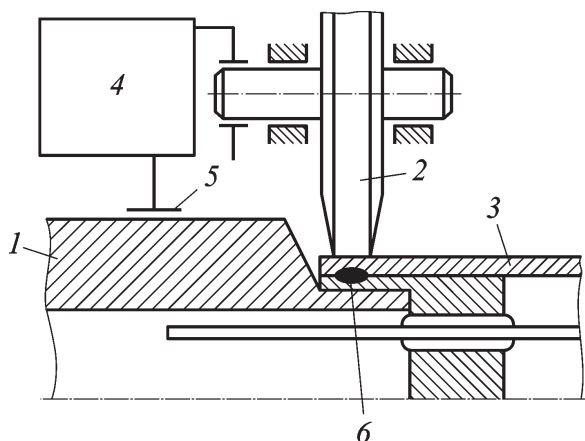


Рис. 2. Схема сварки при двустороннем подводе сварочного тока

Требования, предъявляемые к процессу герметизации, определяют широкое применение для этих целей шовной контактной сварки. По широко распространенной технологии, сварка осуществляется при использовании двустороннего подвода сварочного тока, для чего один из электродов выполнен в виде медной оправки, а второй — в виде ролика. На рис. 2 представлена схема сварки, где 1 — токоподводящая оправка, приводимая во вращение электроприводом; 2 — ролик; 3 — свариваемый корпус; 4 — источник сварочного тока; 5 — скользящие токоподводящие контакты; 6 — сварной шов. Сварку осуществляют проходящим током путем формирования последовательного ряда частично перекрывающихся сварных точек при совместном вращении оправки с установленным на ней корпусом фотоприбора и ролика. Однако описанный традиционный метод сварки имеет существенные недостатки применительно к данной конструкции корпуса, основными из которых можно назвать следующие:

- большая трудоемкость вспомогательных операций, связанных с установкой и фиксацией корпуса на оправке, а также съемом изделий после сварки;
- быстрый износ оправки, которую, как показывают данные многолетней практики, необходимо менять после герметизации 200–250 корпусов;
- нестабильность геометрических размеров сварного шва по длине;
- наличие скользящих контактов в токоподводах к оправке и ролику, что является одной из основных причин нестабильности сопротивления сварочного контура и, как следствие, нестабильности результатов сварки.

При проведении исследований и проектировании решалась задача разработки процесса и оборудования, позволяющих существенно

повысить производительность при одновременной стабилизации качества получаемых сварных соединений.

При этом очевидно, что достижение требуемой производительности процесса герметизации возможно при значительном сокращении затрат времени на вспомогательные операции, исключении скользящих контактов в сварочном контуре и введении автоматического управления параметрами процесса.

Анализ возможных методов реализации шовной контактной сварки показал, что поставленные задачи могут быть решены при использовании одностороннего токоподвода, при котором отсутствует необходимость во внутренней оправке, вследствие чего сокращается число вспомогательных операций. Для исключения скользящих контактов в сварочном контуре было предложено осуществлять сварку при прокатывании корпуса по двум плоским, параллельно расположенным электродам, выполненным в виде пластин, совершающим при сварке возвратно-поступательное движение.

Экспериментально установлено, что без внутренней оправки при силе нажатия сварочных электродов менее 14 Н и времени протекания сварочного тока, достаточного для образования одной точки, до 12 мс удается получать соединение свариваемых деталей без общей деформации корпуса.

Сварные соединения образуются за счет плавления никелевого покрытия, наносимого на детали корпуса. Рекомендуемая ширина шва при этом составляет 0,4 мм.

На рис. 3 показана схема предложенного одностороннего токоподвода для герметизации корпусов фотоприборов, где 1, 2 — плоские электроды, 3 — свариваемый корпус, 4 — источник сварочного тока, L — расстояние между электродами.

Для приведенной схемы токоподвода необходимо было разработать устройство, которое подводит свариваемый корпус к электродам, осуществляет его прижатие к ним с заданной силой и за счет вращения корпуса осуществляет его прокатывание по рабочим поверхностям последних.

Различия в ширине электродов и их положении относительно корпуса обуславливают неоднородность температурного и электрического полей, создаваемых проходящим током. В области корпуса, прилегающей к электроду 1 (см. рис. 3), происходит

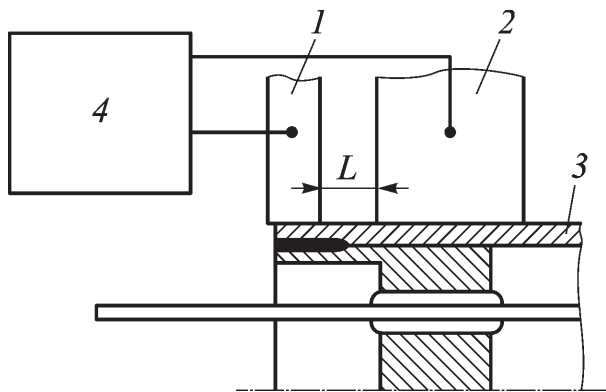


Рис. 3. Схема сварки при одностороннем подводе сварочного тока

концентрация линий тока, которая определяется границей корпуса и суммарной толщиной деталей, расположенных под электродом. Уменьшенный теплоотвод от этой зоны по сравнению с зоной, находящейся под электродом 2, приводит к развитию в области концентрации тока более высоких температур. В связи с этим начало плавления наблюдается в зоне, расположенной под электродом 1.

Данный момент является положительным с той точки зрения, что электрод 2 расположен непосредственно над металлостеклянными спаями гермовыводов, которые критичны к термомеханическим воздействиям. Поэтому для дальнейшего снижения температуры в этой области за счет увеличения теплоотвода электрод 2 выполнен с развитой рабочей поверхностью

При малых расстояниях L (в нашем случае $L = 0,8$ мм, что определяется конструкцией корпуса, см. рис. 3) электрический ток, проходящий по наружной детали, вызывает значительный разогрев металла в зазоре между электродами. У ковара 29 НК при нагреве до $950 \dots 1050$ °С наблюдается сильный рост зерна (вторичная рекристаллизация). Одновременно в тонких оболочках возможна потеря вакуумной плотности [1]. В связи с этим определялся уровень температур в области между электродами с помощью микротермопар, приваренных в различных ее точках. Регистрация термоЭДС проводилась с использованием электронного осциллографа.

Результаты измерений показали, что максимальные температуры локализованы в узкой зоне шириной порядка 0,25 мм, которая примыкает к электроду 1 (см. рис. 3). Значения температур в этой зоне превышают температуру рекристаллизации ковара и составляют $1100 \dots 1300$ °С. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при выполнении шовной сварки с односторонним подводом сварочного тока может нарушаться герметичность корпусов вследствие ухудшения вакуумных свойств основного металла (межкристаллитные течи).

Поэтому было предложено ограничивать температуру нагрева верхней детали за счет отвода теплоты в электрод, для чего рабочая поверхность электрода (рис. 4) делается со скосом. Начальное положение рабочей поверхности электрода показано штриховой линией. Размеры зоны сплавления деталей корпуса определяются параметрами режима сварки и конечным положением электрода (сплошная линия).

В начальный момент сварки электрод и корпус контактируют в точке (штриховая линия на рис. 4). По мере разогрева зоны сварки под действием силы нажатия электрода p происходит его осадка, в результате чего наиболее нагретая зона металла в зазоре между электродами вступает в контакт с холодной поверхностью

электрода и происходит значительный отвод теплоты от наиболее нагретой зоны корпуса. Экспериментально установленный оптимальный угол скоса электрода из условий качественного формирования соединения и сохранения вакуумной плотности основного металла составляет $6^\circ \dots 9^\circ$.

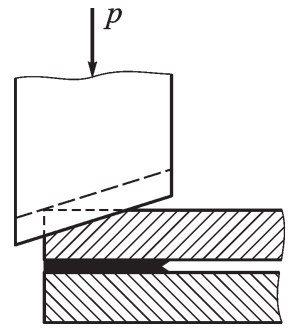


Рис. 4. Схема перемещения электрода при сварке

Как отмечалось ранее, в начальный момент времени происходит точечный контакт между электродом и корпусом, в связи с чем существует высокая вероятность образования начальных выплесков металла корпуса за счет высокой концентрации теплоты в точке контакта. Для исключения этого явления сварка проводилась с автоматической стабилизацией амплитудного значения напряжения на сварочных электродах. При поддержании постоянного амплитудного значения напряжения на сварочных электродах происходит автоматическое ограничение сварочного тока в зависимости от сопротивления зоны сварки и пропорциональное его увеличение по мере развития пятна контакта. В качестве источника сварочного тока использовался источник повышенной частоты с автоматическим регулированием параметров режима сварки (источник разработан на кафедре ФН-7 МГТУ им. Н.Э. Баумана [2]) со следующими характеристиками:

- 1) режим работы – точечный, шовный;
- 2) форма сварочного тока — разнополярные импульсы тока повышенной частоты с микропаузами между отдельными импульсами;
- 3) длительность пачки импульсов 3...30 мс;
- 4) длительность паузы между пачками импульсов 5...80 мс;
- 5) пределы регулирования амплитуды сварочного тока 500...3000 А;
- 6) частота сварочного тока 500...1500 Гц.

Применение источника с автоматическим регулированием параметров режима позволило полностью исключить начальные выплески из-под электрода и стабилизировать формирование сварного шва.

Проведенные исследования легли в основу создания полуавтоматической установки для герметизации фотоприборов шовной контактной сваркой с использованием одностороннего токоподвода [3].

Кинематическая схема полуавтомата приведена на рис. 5. Полуавтомат имеет сварочные электроды 2, выполненные в виде двух плоских, параллельно расположенных пластин, помещенных в направляющие. Электроды имеют возможность возвратно-поступательного движения. Длина рабочей поверхности электродов в 1,5–2 раза больше, чем длина окружности свариваемого изделия. Пружины 1 предварительно поджаты и служат для создания сварочного давления электродов 2 на изделие 3. Механизм вращения 6 приводит в движение

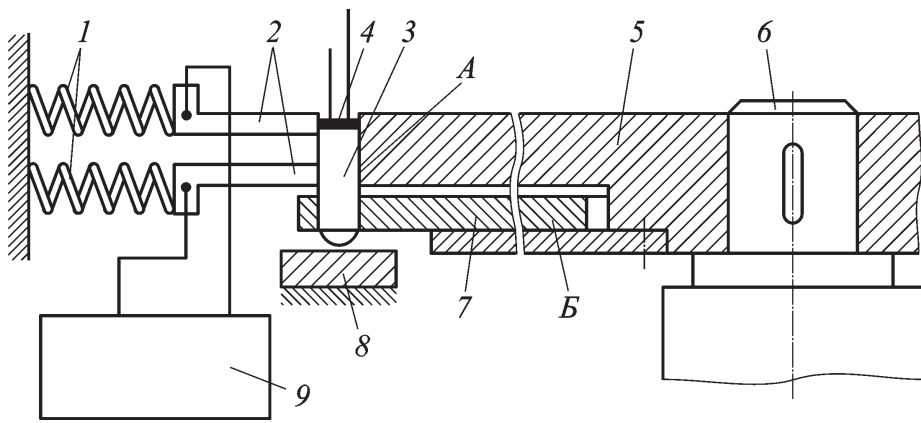


Рис. 5. Кинематическая схема полуавтомата

барабан 5 с постоянной угловой скоростью, который служит для обкатки изделия 3 по рабочим поверхностям электродов 2 при сварке и передаче вращения подающему диску 7. Этот диск помещен в проточку барабана и служит для подачи свариваемого изделия в зону сварки, т.е. в контакт со сварочными электродами. По окружности подающего диска расположены отверстия, в которые помещают свариваемые изделия. Шаг отверстий выбирается таким, чтобы два изделия одновременно не могли находиться в контакте со сварочными электродами. Опорный столик 8 может вертикально перемещаться и служит для регулирования положения зоны сварки изделия 3 относительно электродов по высоте. В опорном столике предусмотрено отверстие, через которое при дальнейшем перемещении после сварки изделие 3 под действием сил тяжести поступает в накопитель.

Полуавтомат работает следующим образом. При включении (9 — источник питания) механизма вращения 6 (см. рис. 5) начинает вращаться барабан 5 и увлекает за счет сил трения по поверхности Б подающий диск 7. Когда свариваемое изделие не находится в контакте с электродами, подающий диск 7 вращается с той же скоростью, что и барабан 5. Изделие 3 опускают в отверстие подающего диска, который при своем вращении перемещает в зону сварки. Изделие опирается на опорный столик 8 и скользит по нему. Поскольку расстояние между рабочими поверхностями электродов 2 и поверхностью А барабана 5 меньше диаметра свариваемого изделия, последнее нажимает на электроды, заставляя их перемещаться и сжимать предварительно поджатые пружины 1. Таким образом, к изделию прикладывается сварочное давление. В момент начала перемещения сварочных электродов дается команда на включение сварочного тока. За счет сил трения между корпусом свариваемого изделия 3, поверхностью А барабана и рабочими поверхностями электродов 2 свариваемое изделие 3 прокатывается по рабочим поверхностям электродов 2 и образуется сварной шов 4. Время протекания сварочного тока устанавливается необходимым для получения перекрытия шва по длине, после чего сварочный ток выключается. При дальнейшем вращении подающий диск доставляет готовое изделие к отверстию в опорном столике, через которое

изделие падает в накопитель, освобождая отверстие подающего диска для следующего изделия.

При сварке изделий большого диаметра, когда перемещение электродов оказывается значительным и, следовательно, сварочное давление может существенно изменяться при сварке рабочая поверхность электродов выполняется вогнутой с тем же радиусом, что и радиус приводного барабана.

На разработанном и изготовленном полуавтомате проводилась герметизация корпусов фотоприемников, выполненных из ковара 29 НК толщиной 0,2 мм с покрытием из никеля толщиной 5 мкм, с диаметром корпуса 4 мм и длиной 8 мм.

При диаметре приводного барабана 150 мм подающий диск имеет 18 отверстий по окружности и вращается со скоростью 2 об/мин. Давление сварочных электродов устанавливалось 12 Н на каждый электрод. Сварка осуществлялась пачками импульсов тока частотой 1,5 кГц и длительностью 7 мс, длительность паузы между пачками импульсов составляла 20 мс. Реальная производительность с учетом времени на профилактические и наладочные работы составляет около 10 тыс. приборов в смену.

Выводы. 1. Контактная шовная сварка тонкостенных телескопических соединений может выполняться при использовании одностороннего подвода сварочного тока.

2. Предложенная конструкция сварочных электродов со скошенной рабочей поверхностью позволяет избежать рекристаллизации основного материала в зазоре между сварочными электродами.

3. Использование стабилизации амплитудного значения напряжения на электродах позволяет исключить начальный выплеск металла при точечном контакте электрод–деталь.

4. Разработанное оборудование позволило осуществлять шовную контактную сварку без скользящих контактов в сварочном контуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прецизионные сплавы: Справочник / Под ред. Молотилова. – М.: Металлургия, 1980.
2. А.С. № 837671. Источник питания для контактной сварки на повышенных частотах.
3. А.С. № 1277501. Устройство для контактной сварки телескопических соединений.

Статья поступила в редакцию 10.11.2011

Валерий Николаевич Атаманов родился в 1940 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1963 г., Канд. техн. наук, доцент кафедры “Электротехника и промышленная электроника”. Автор более 50 научных работ в области промышленной электроники.

V.N. Atamanov (b. 1940) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1963. Ph. D. (Eng.), assoc. professor of “Electrical Engineering and Industrial Electronics” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 50 publications in the field of industrial electronics.