

# Машины для контактной микросварки, пайки и термообработки

**Микросварка в производстве малогабаритных и миниатюрных комплектующих изделий электроники и электротехники принадлежит к числу основных технологических процессов и оказывает большое влияние на качество и надежность изделия.**

**Александр Малащенко,  
К. Т. Н.,  
Владимир Вайнштейн**

general@relays.ru

Для соединения пленок и проводников в производстве полупроводниковых приборов и микросхем обычно применяют термокомпрессионную сварку, а для соединения более теплоемких деталей в узлах малогабаритных и миниатюрных изделий электроники и электротехники чаще всего используют лазерную [1] или контактную [2] микросварку.

Лазерную микросварку обычно используют для герметизации корпусов миниатюрных изделий или для соединения деталей в узлах, не допускающих существенного механического или термического воздействия<sup>1</sup>. В иных случаях технологи стараются применить более дешевую контактную микросварку<sup>2</sup>.

## Микросварка и способы ее выполнения

Микросварка (соединение деталей толщиной менее 0,5 мм), как и традиционная сварка, представляет собой процесс соединения твердых материалов, который происходит либо в жидкой фазе (сварка плавлением), либо в твердой фазе (сварка давлением и термодавлением).

Микросварку плавлением обычно выполняют с использованием для локального нагрева и расплавления соединяемых материалов сфокусированной энергии лазерного излучения (лазерная сварка), пучка электронов (электроннолучевая сварка) или ионов (плазменная сварка). При этих способах сварки плавлением желателен лишь теплофизический контакт между деталями в зоне сварки.

Получение сварного соединения в твердой фазе основано на взаимной диффузии материалов в зоне их «идеального» механического контакта, который может быть создан только при пластической деформации контактируемой зоны «холодных» деталей. Очевидно, что сравнительно простая (в техническом смысле) сварка давлением малоприменна в производстве малогабаритных и миниатюрных узлов. Однако деформация свариваемых деталей в случае их нагрева до температуры, не превышающей температуру плавления свариваемых материалов, может быть значительно уменьшена при одновременном ускорении процесса сварки.

Для подогрева зоны микросварки, осуществляемой термодавлением, на практике используют теплоту нагреваемого сдавливающего инструмента (термокомпрессионная сварка [2]), энергию ультразвука (ультразвуковая сварка [3]) или энергию электрического тока.

Термокомпрессионную сварку обычно применяют при производстве полупроводниковых приборов и микросхем для соединения не теплоемких деталей: тонких (0,5–5 мкм) пленок и микропроводов (10–150 мкм).

Для достаточного прогрева зоны сварки более толстых деталей, входящих к тому же в теплоемкие узлы, обычно используют энергию электрического тока. В процессе электрической сварки давлением прогрев зоны сварки осуществляется Джоулевым теплом, выделяемым электрическим током на сопротивлении этой зоны. Из электрических видов сварки термодавлением в производстве малогабаритных и миниатюрных изделий наибольшее применение получила контактная микросварка.



**Рисунок.** Внешний вид сварочной машины МТ-5 для контактной микросварки

<sup>1</sup> Технологические возможности лазерного излучения для сварки и других применений будут опубликованы в ближайших номерах журнала.

<sup>2</sup> Основные критерии, определяющие выбор лазерной или контактной микросварки для получения качественных и надежных соединений, являются предметом отдельного рассмотрения. Материалы по этой теме будут опубликованы в ближайших номерах журнала.

Контактную микросварку миниатюрных деталей традиционно выполняют на сварочных машинах типа ТКМ14, ТКМ15, имеющих источник конденсаторного типа, обеспечивающий для подогрева сварной зоны импульсный однополярный ток длительностью до 10 мс. Удовлетворительное качество сварки на машинах конденсаторного типа обычно обеспечивается на деталях с характерным размером 0,1–0,2 мм, когда не требуется значительная мощность электрического тока. Для сварки более энергоемких деталей необходимо увеличивать энергию импульса электрического тока, что, как и при мощной импульсной лазерной сварке, приводит к выплескам и значительному испарению свариваемых материалов.

Для выявления оптимальной формы тока при контактной микросварке более энергоемких соединений использовались многофункциональный измеритель параметров контактной точечной сварки МИКС-2 и электронный регистратор Р-3704, разработанные в компании «Электрик-МИКС». В качестве более энергоемких соединений исследовались медно-никелевые пружинные сплавы, свариваемые с контакт-деталью из серебряных сплавов (в том числе из композиционных металлокерамических сплавов серебра с никелем, которые используются для контактов слабых точечных электромагнитных реле). Работа проводилась в научно-исследовательском институте коммутационной техники НПК «Северная заря».

Исследования показали, что наилучшие результаты по прочности микросварки плавлением энергоемких соединений и отсутствию при этом выплесков достигаются при термическом цикле в 2–3 раза более длительном, чем могут практически обеспечивать конденсаторные источники тока. Следовательно, для получения более длительного термического цикла могут быть опробованы и более простые источники тока, например, источники переменного тока промышленной частоты.

Для формирования и управления сварочного тока промышленной частоты в машинах контактной микросварки на предприятии «Институт сварки России» были разработаны два типа управляемых источников.

Первый блок управления точечной сваркой (БУТС-2) предназначен для машин контактной микросварки с пневмоприводом и обеспечивает следующие параметры цикла сварки:

- сжатие на время от 0,1 до 1 с;
- нагрев в течение от 1 до 999 полупериодов тока частотой 50 Гц;
- проковка (сжатие после прохождения тока) от 0,1 до 1 с;
- пауза от 0,5 до 3 с.

Длительный нагрев (до 10 с) позволяет производить не только сварку основных материалов, но также их термообработку и пайку.

Циклы сварки блока управления БУТС-2 могут быть одиночными и пакетными. Кроме того, блок управления обеспечивает фазовую регулировку от 1 до 20 дискрет и стаби-

лизацию тока до  $\pm 5\%$  при изменении напряжения сети до  $\pm 10\%$ .

Устройство БУТС-2 также управляет работой пневматического электроклапана и тиристорного контактора, коммутирующего ток первичной обмотки сварочного трансформатора. Так как отсчет времени сварки производится в полупериодах, в блоке управления предусмотрена память полярности импульса тока для устранения намагничивания трансформатора.

Второй блок (БУТС-3) аналогичен предыдущему устройству, но предназначен только для управления машинами контактной микросварки с педальным приводом и содержит для этого автомат подключения к сети, что позволяет подключать блок непосредственно к сварочному трансформатору, обеспечивая защиту сети от перегрузки (допустимый ток сварки в первичной обмотке может достигать 50–100 А, а длительный ток не должен превышать 25 А).

Один цикл сварки при управлении блоком БУТС-3 начинается при срабатывании микровыключателя от педального привода и может продолжаться в течение от 1 до 9 полупериодов тока частотой 50 Гц. Для более точного дозирования энергии подогрева отсчет времени может производиться в полупериодах сетевого напряжения.

Блок управления БУТС-2 переменным током промышленной частоты, трансформатор тока, пневмопривод, прецизионный механизм сжатия электродов и измеритель параметров контактной сварки МИКС-2 образуют универсальную машину для исследования и выполнения контактной микросварки, пайки и термообработки.

Более простой набор, состоящий из блока управления БУТС-3 переменным током промышленной частоты, трансформатора тока и прецизионного механизма сжатия электродов, образует производственную машину для контактной микросварки типа МТ-5 (5 кА максимального тока короткого замыкания сварочного трансформатора).

Сварочные машины типа МТ-5 (на рисунке) могут широко применяться при производстве малогабаритных и миниатюрных изделий электроники и электротехники, и в настоящее время они уже внедрены в производство контактных узлов миниатюрных электромагнитных реле НПК «Северная заря».

#### Литература

1. Малащенко А.А., Мезенов А.В. Лазерная сварка металлов: Учеб. пособие для слушателей заочных курсов повышения квалификации ИТР по технологии и оборудованию сварочного производства. — М.: Машиностроение: 1984.
2. Микросварка в приборостроении /Аташ В.Е., Леонов В. П., Москвин Э. Г. — Рига: РТУ, 1996.
3. Николаев Г. А., Ольшанский Н. А. Специальные методы сварки. Учебное пособие для студентов вузов. Изд. 2-е, испр. и доп. М., «Машиностроение», 1975.

## Контактная микросварка, способы ее выполнения и особенности применения

При контактной сварке (КС) электроды внешней цепи источника тока также выполняют функцию инструмента, создающего электрический контакт как с самими деталями, так и между деталями в зоне сварки. В зависимости от величины тока и характера сдавливающего усилия электродов КС может происходить в твердой или в жидкой фазе (контактная сварка плавлением).

КС обладает многообразием способов исполнения.

По способу подвода сварочного тока различают одностороннюю КС, когда оба электрода находятся на одной из свариваемых деталей, и двустороннюю, когда один электрод находится на одной детали, а второй — на другой.

При выполнении КС могут быть получены точечные и протяженные, в том числе замкнутые, сварки, образуемые как на плоской поверхности, так и на поверхности, имеющей специально изготовленные выступы (рельефы, пуклевки).

Для КС может использоваться переменный ток промышленной или более высокой частоты, постоянный и импульсный ток.

При разработке технологии контактной микросварки и проектировании сварных узлов, особенно узлов, отличающихся разнообразием форм, размеров, сочетаний толщин и материалов, необходимо учитывать следующие факторы:

1. При сравнительно малых усилиях сжатия и малых собственных сопротивлениях деталей возрастает роль контактных сопротивлений как основных источников теплоты. Кроме того, значительное количество теплоты может выделяться и на электрическом контакте электрода и детали.
2. При жестких режимах (короткие и мощные импульсы тока) сварки повышается чувствительность процесса к выплескам и испарению металла, а также к увеличению рассеяния показателей прочности.
3. Сильное влияние на качество сварки и выбор ее режимов оказывают такие переменные факторы, как состояние поверхности в зонах контакта деталей между собой и с электродом, диаметр электрода, усилие и длительность сжатия электродов, величина, форма и длительность тока.
4. При КС на длительном постоянном или импульсном однополярном токе необходимо учитывать полярный эффект Пельтье<sup>3</sup>, который является причиной значительного смещения сварной зоны в одну из деталей, что может привести как к повышению прочности сварного соединения, так и к его снижению.

<sup>3</sup> Эффект Пельтье согласно Большой советской энциклопедии — это выделение или поглощение тепла при прохождении электрического тока через контакт (спай) двух различных проводников. Выделение тепла сменяется поглощением при изменении направления тока. Количество выделенного или поглощенного тепла  $Q$  пропорционально величине тока  $I$ , проходящего через спай:  $Q = \Pi I$ . Коэффициент Пельтье  $\Pi = -T\Delta\alpha$ , где  $T$  — абсолютная температура в кельвинах, а  $\alpha$  — разность термоэлектрических коэффициентов проводников.