УДК 621.3.023

АКТИВАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ИЗДЕЛИЯХ ЭЛЕКТРОНИКИ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

канд. техн. наук, доц. В.Л. ЛАНИН
(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники)

Предложены и исследованы методы совместной активации процессов формирования соединений в изделиях электроники концентрированными потоками электромагнитной энергией и механическими вибрациями, возбуждаемыми в изделиях и расплаве за счет пондеромоторных сил и модуляцией высокочастотных колебаний.

Введение. Электромагнитный нагрев изделий электроники за счет наведенных в них вихревых токов отличается высокой скоростью, бесконтактностью, локальностью. Эффективность нагрева записи! от ряда факторов: электрофизических свойств материалов, частоты тока, конструкции нагревательного устройства и др. [1]. Вследствие поверхностного эффекта тепловая энергия локализуется в тонком слое, толщина которого определяется глубиной проникновения токов высокой частоты (ВЧ). Качество контактных соединений зависит от скорости и равномерности нагрева материалов в электромагнитном поле, регулируемости нагрева во времени и по размерам зоны соединения. ВЧ-нагрев характеризуется наибольшей эффективностью для металлов, имеющих большее удельное сопротивление и магнитную проницаемость, и уменьшается обратно пропорционально корню квадратному из частоты колебаний. Однако снижение частоты колебаний увеличивает электродинамический эффект перемешивания припоя в микрозонах и его растекание по поверхностям соединяемых материалов [2].

Электромагнитный нагрев с помощью специализированной оснастки - индукторов в диапазоне звуковых и ультразвуковых частот 10-66 кГц при отношении глубины проникновения к толщине детали б/h < 0,5 - 1,0 требует значительных удельных мощностей (до 10^6Вт/м^2), реализуемых от мощных ВЧ-генераторов [3]. Использование ВЧ-диапазона 400 - 2000 кГц повышает локальность и избирательность нагрева, обеспечивает более высокие скорости подвода мощности, однако ввиду невысокого КПД индукторов (0,2 - 0,4) характеризуется удельной мощностью до 10^4 Вт/м^{2}д необходимостью водяного охлаждения индукторов, экранирования генераторов и индукторов [4]. Повышение эффективности электромагнитного нагрева направлено на увеличение напряженности поля в рабочей зоне и уменьшение его неравномерности по ширине нагреваемой зоны, что достигается расположением витков индуктора в одной плоскости, применением магнитопроводов из феррита и др. [5].

Методы исследований. Для повышения качества контактных соединений изделий электроники (ИЭ) за счет увеличения коэффициента растекания припоя и более полного заполнения им капиллярных зазоров в соединении предложено сочетать электромагнитный нагрев изделий с воздействием механических вибраций [6]. Для создания механических вибраций воздействуют на припой мондеромоторными силами в процессе электромагнитного нагрева. Для этого в зоне нагрева образуют электрически замкнутый контур, в котором наводят вихревые токи. Сила, возникающая в процессе взаимодействия электромагнитного поля и вихревого тока I в проводнике длиной l, направлена, как показано на рис. 1, и определяется по формуле

$$F = \frac{U_m}{4{,}44 S_c \cdot fw} Il, \tag{1}$$

где U_m – амплитуда напряжения; S – площадь магнитопровода, w – число витков, f – частота тока.

Для увеличения коэффициента растекания припоя необходимо, чтобы давление $P_{эм}$, создаваемое на расплав припоя силой F, превосходило давление сил поверхностного натяжения припоя. Тогда отношение

$$\frac{Pэм}{Ps} = \frac{BIl}{\sigma \pi D} \tag{2}$$

покажет относительный рост коэффициента растекания припоя

$$K = Sp / So, \tag{3}$$

где S_p, S_0 – площади растекшегося и исходного припоя соответственно.

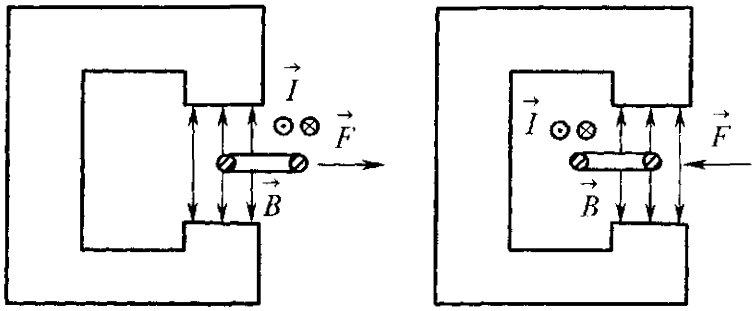

Рис. 1. Взаимодействие контура с током в электромагнитном поле

Моделирование с помощью MathCad 7.0 по уравнениям (1) – (3) при B = 0,4 Тл, I = 2 – 5А, $D = 1 \cdot 10^{-2}$ м показало, что коэффициент растекания припоя за счет сил электромагнитного поля может возрасти в 1,2 – 1,3 раза [7].

Для исследования действия электромагнитного давления на расплав припоя замкнутый контур был сформирован на печатной плате таким образом, чтобы исходная доза припоя располагалась на контактной площадке в зоне действия электромагнитного поля, а замыкающий участок контура - за его пределами, Тогда под действием вихревого тока и индукции магнитного поля на припой действует пондеромоторная сила, которая растягивает припой по поверхности. Скорость нагрева припоя с замкнутым контуром увеличилась на 15-20 %, а коэффициент растекания припоя - в 1,5 - 1,8 раза, в зависимости от тока подмагничивания.

При нагреве в зазоре магнитопровода индуктора с момента расплавления припоя до завершения его растекания паяемому изделию сообщали низкочастотные вибрации путем подачи переменного тока подмагничивания частотой 50 - 400 Гц и амплитудой 1 - 10 А в индуктирующую обмотку. Амплитуда вибраций пропорциональна величине тока подмагничивания, магнитной проницаемости материала, длине незакрепленной части детали и составила 0,5 - 5 мм для тока подмагничивания 1-10 А. Направление вибраций паяемых деталей устанавливали таким образом, чтобы они совпадали с направлением вектора средней скорости течения припоя в паяемый зазор, что достигалось соответствующей ориентацией изделия в магнитопроводе индуктора.

Для повышения качества паяных соединений и улучшения смачивания паяемых поверхностей ВЧ-колебания в диапазоне 100-1000 кГц модулировали ультразвуковым сигналом частотой 18-66 кГц от внешнего источника - ультразвукового генератора - с глубиной модуляции 20 - 100 %. Модуляцией ВЧ-колебаний в расплавленном припое создавали силы электромагнитного давления F:

$$F = \frac{\kappa H^2}{\sqrt{\rho \cdot f}}, \tag{4}$$

где κ – коэффициент пропорциональности; H – напряженность магнитного поля; f, ρ – частота и удельное электрическое сопротивление металла соответственно.

За счет введения ферромагнитного сердечника внутрь индуктора концентрировали переменное магнитное поле в зоне нагрева до напряженности 30 – 50 А/м и создавали электромагнитное давление в припое до 10^4 Вт/м^2. Возникающее в припое переменное давление ультразвуковой частоты вызывало развитие кавитационных явлений и микропотоков в припое и интенсифицировало процесс смачивания паяемых поверхностей. Модуляция ВЧ-напряжения сигналом частотой 0,05 – 100 кГц при глубине модуляции 10 – 100 % вызывала в паяемых деталях низкочастотные вибрации амплитудой

$$A = \frac{\kappa P_\kappa m}{100\sqrt{\rho \cdot f}}, \tag{5}$$

где P_κ – колебательная мощность ВЧ-генератора; m – глубина модуляции.

Колебания паяемой детали амплитудой 0,1 – 1,0 мм с момента расплавления припоя и в течение времени пайки 3 – 10 с приводят к разрушению окисных пленок на припое и улучшению процесса смачивания припоем паяемых поверхностей.

Таким образом, реализуется бесконтактный ввод ультразвуковых колебаний в зону электромагнитного нагрева изделий электроники, что позволяет отказаться от ультразвуковых преобразователей и волноводов, значительно уменьшить размеры зоны активации, улучшить растекание припоя и обеспечить более полное заполнение паяных швов в соединениях малых размеров.

Результаты исследований и их обсуждение. При ВЧ-пайке электронно-вакуумных приборов в вакууме 10^{1} Торр припоем ПСрМИн-63В при температуре 800 °С в течение 10 - 20 с и глубине ультразвуковой модуляции 80 % обеспечивался непрерывный и качественный паяный шов. Увеличение глубины модуляции с 20 до 100 % повысило коэффициент растекания припоя в 2 раза. При пайке рамки корпуса микросборки из титанового сплава ВТ-1 к керамической плате с толстопленочной металлизацией ВЧ-колебания модулировались частотой 0,05 - 50,0 кГц и амплитудой 150 В от генератора низкой частоты при различной глубине модуляции. Качество соединения оценивалось в зависимости от частоты сигнала и глубины модуляции (таблица).

Зависимость качества паяного шва от глубины модуляции

Частота сигнала модуляции, кГц	Время пайки при глубине модуляции, %				Качество паяного шва
	30	60	80	100	
0,05	7,5	7,0	6,5	6,8	Удовлетворительное
0,1	7,0	6,3	5,5	6,5	Хорошее
1,0	7,5	7,2	6,0	6,5	– " –
10,0	8,5	8,0	7,5	7,5	– " –
50,0	10,5	10,0	8,5	8,0	Удовлетворительное

Сокращение времени нагрева и повышение качества соединений достигнуто при глубине модуляции ВЧ-колебаний 80 %.

При ВЧ-нагреве также важно оперативно регулировать скорость нагрева так, чтобы паяемые детали и припой одновременно достигали температуры пайки. На индуктор подают ВЧ-напряжение и нагревают изделие (рис. 2, участок 1). После расплавления припоя (см. рис. 2, точка а) необходимо снизить интенсивность ВЧ-нагрева в зависимости от требуемого температурного режима процесса пайки (см. рис. 2, участок II). Это позволяет избежать перегрева припоя, а также снизить общий нагрев изделия. После окончания пайки напряжение с индуктора снимают (см. рис. 2, точка h, участок 111) и изделие охлаждают.

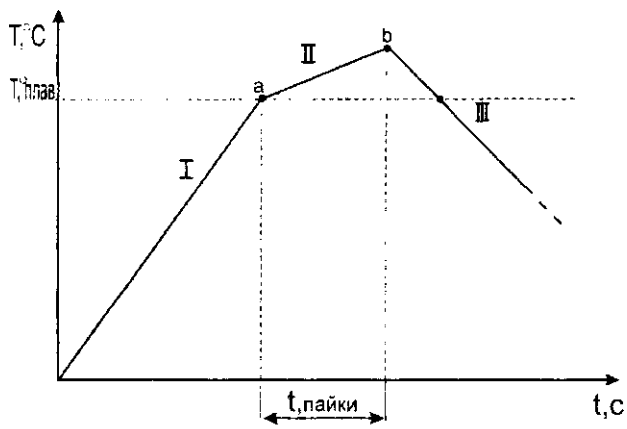

Рис. 2. Регулирование скорости ВЧ-нагрева

Для эффективного регулирования скорости ВЧ-нагрева в электрическую цепь индуктора включены индуктивные контуры, расположенные на общем основании, снабженном ферромагнитным сердечником. Увеличивая магнитную связь между контурами с помощью сердечника, уменьшали электромагнитную энергию в индукторе и снижали тем самым скорость ВЧ-нагрева после достижения температуры плавления припоя в 1,5 - 2,5 раза. Таким образом, реализован «мягкий режим» формирования контактных соединений в ИЭ.

Для повышения качества электрических соединений многовыводных разъемов в металлизированные отверстия многослойной печатной платы ее поверхность охлаждали после снятия ВЧ-напряжения с индуктора химически нейтральной жидкостью - спиртоглицериновой смесью. Жидкость, обволакивая участки пайки, защищала припой от окисления и снижала нагрев платы. Для ВЧ-пайки с использовани-

ем генератора ВЧИ-4-10 (Ia = 1 , 5 - 2 A; Ic - 0,25 - 0,35 A) время пайки - не более 1 5-20 с, а нагрев платы составил 60 - 70 °С.

Выводы. Разработанные методы активации процессов формирования соединений концентрированными потоками электромагнитных энергией позволят обеспечить высокопроизводительный бесконтактный нагрев с помощью наведенных в материале деталей вихревых токов, активировать расплавленный припой за счет механических вибраций и улучшить тем самым его смачивание и растекание по паяемым поверхностям. Скорость нагрева увеличивается примерно в 10 раз по сравнению с нагревом теплопроводностью, локализуется зона нагрева, улучшаются условия труда обслуживающего персонала. Активированный процесс электромагнитного нагрева возможно автоматизировать путем применения автоматических транспортных устройств и систем управления на основе ЭВМ или микропроцессоров, что создает предпосылки перехода к технологии производства без участия человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланин В.Л. Пайка электронных сборок, - М н . : НИЭИ Мин-ва экономики, 1999. - 116 с,
2. Ланин В.Л. Эффективность нагрева концентрированными потоками энергии при пайке в электронике // Электронная обработка материалов. - 2002. - № 2. - С. 1 7 - 2 0 .
3. Авсиевич И.В., Ланин В.Л. Особенности электромагнитного нагрева изделий малых размеров // Весці АН Беларусь Сер. фіз.-тэхн. навук. - 1995, - №° 1. - С. 33 - 35.
4. Румак Н.В., Ланин В.Л., Чернышевич И.Н. Экономичный бесконтактный нагрев энергией переменного магнитного поля // Весці АН Беларусь Сер. фіз.-тэхн. навук. - 1994. - № 2. - С. 94 - 96.
5. Lanin V.L. Efficiency of heating sources at soldering in electronics // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы II между нар. науч.-техн. конф. - Новополоцк, 2002.-Т. 1 . - С . 1 4 - 17.
6. Ланин В.Л., Черник А.А., Чернышевич И.Н. Применение электромагнитного нагрева для процессов пайки электронных устройств // Современные проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы междунар. научн.-техн. семинара. - Новополоцк, 2000. - С. 29 - 3 1 .
7. Ланин В.Л. Моделирование высокочастотного электромагнитного нагрева в процессах пайки электронных устройств // Известия Белорусской инженерной академии.-2002. - № 2(14)/2. - С. 167 - 169.