

## АКТИВАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ИЗДЕЛИЯХ ЭЛЕКТРОНИКИ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

к.т.н., доцент В.Л.ЛАНИН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*

*Предложены и исследованы методы совместной активации процессов формирования соединений в изделиях электроники концентрированными потоками ЭМ 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 зависит 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 (ЭМ) поле, регулируемости нагрева во времени и по размерам зоны соединения. ВЧ нагрев характеризуется наибольшей эффективностью для металлов, имеющих больше удельное сопротивление и магнитную проницаемость, и уменьшается обратно пропорционально корню квадратному из частоты колебаний. Однако снижение частоты колебаний увеличивает электродинамический эффект перемешивания припоя в микрizonaх и его растекание по поверхностям соединяемых материалов [2].

ЭМ нагрев с помощью специализированной оснастки - индукторов в диапазоне звуковых и ультразвуковых частот 10 - 66 кГц при отношении глубины проникновения к толщине детали  $b/h < 0,5-1,0$  требует значительных удельных мощностей (до  $10^6$  Вт/м<sup>2</sup>), 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<sup>2</sup>, необходимостью водяного охлаждения индукторов, экранирования генераторов и индукторов [4]. Повышение эффективности ЭМ 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 ЭМ нагрев изделий с воздействием механических вибраций [6]. Для создания механических вибраций воздействуют на припой пондеромоторными силами в процессе ЭМ нагрева. Для этого в зоне нагрева образуют электрически замкнутый контур, в котором наводят вихревые токи. Сила, возникающая в процессе взаимодействия ЭМ поля и вихревого тока  $I$  в проводнике длиной  $l$ , направлена как показано на рис. 1 и определяется по формуле

$$F = \frac{U_m}{4.44 S_c f w} I, \quad (1)$$

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

$$\frac{P_{эм}}{P_s} = \frac{BI}{\sigma l D} \quad (2)$$

покажет относительный рост коэффициента растекания припоя

$$K = Sp / S_0, \quad (3)$$

где  $S_p$ ,  $S_0$  - площади растекшегося и исходного припоя соответственно.

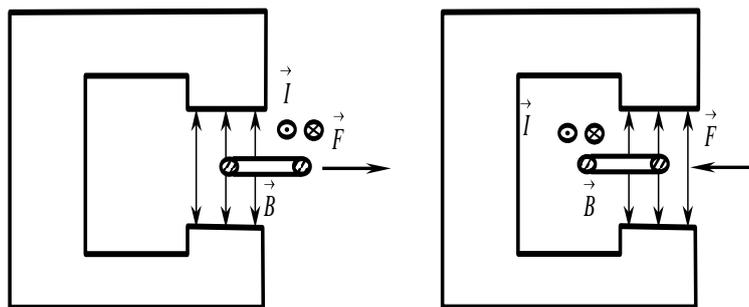


Рис. 1. Взаимодействие контура с током в электромагнитном поле

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

Для исследования действия ЭМ давления на расплав припоя, замкнутый контур был сформирован на печатной плате таким образом, чтобы исходная доза припоя располагалась на контактной площадке в зоне действия ЭМ поля, а замыкающий участок контура – за 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 составляла 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 достигнуто соответствующей ориентацией изделия в магнитопроводе индуктора.

Для повышения качества паяных соединений и улучшения смачивания паяемых поверхностей ВЧ колебания в диапазоне 100 – 1000 кГц модулировали УЗ сигналом частотой 18 - 66 кГц от внешнего источника - УЗ генератора с глубиной модуляции 20 – 100%. Модуляцией ВЧ колебаний в расплавленном припое создавали силы электромагнитного давления  $F$ , величина которых пропорциональна квадрату напряженности магнитного поля  $H$  и обратно пропорциональна корню квадратному из частоты и удельного электрического сопротивления металла  $\rho$

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

где  $\kappa$  – коэффициент пропорциональности.

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<sup>2</sup>. Возникающее в припое переменное давление УЗ 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

$$A = \frac{\kappa P_k m}{100 \sqrt{\rho \cdot f}}, \quad (5)$$

где  $P_k$  – 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 УЗ колебаний в зону ЭМ нагрева изделий электроники, что позволяет отказаться от УЗ 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  $10^{-4}$  Тор припоем ПСрМИн-63В при температуре  $800^{\circ}\text{C}$  в течение 10 – 20 с и глубиной УЗ модуляции величиной 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 толсто пленочной металлизацией ВЧ колебания модулировались частотой 0,05-50,0 кГц и амплитудой 150 В от генератора НЧ при различной глубине модуляции. Качество соединения оценивалось в зависимости от частоты сигнала и глубины модуляции (табл.1).

Таблица 1

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 (участок I на рис. 2). После расплавления припоя (точка а) необходимо снизить интенсивность ВЧ нагрева в зависимости от требуемого температурного режима процесса пайки (участок II). Это позволяет избежать перегрева припоя, а также снизить общий нагрев изделия. После окончания пайки напряжение с индуктора снимают (точка в, участок III) и изделие охлаждают.

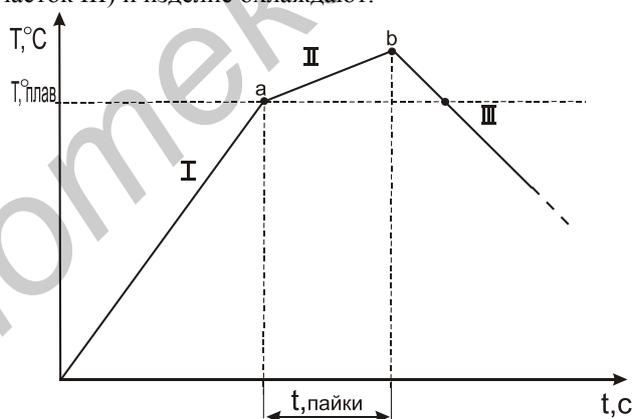


Рис. 2. Регулирование скорости ВЧ нагрева

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 использованием генератора ВЧИ-4-10 в режиме:  $I_a = 1,5 - 2 \text{ A}$ ,  $I_c = 0,25 - 0,35 \text{ A}$  время пайки не более 15 – 20 с, а нагрев платы -  $60 - 70^{\circ}\text{C}$ .

## Выводы

Разработанные методы активации процессов формирования соединений концентрированными потоками ЭМ 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 ЭМ нагрева возможно автоматизировать путем применения автоматических транспортных устройств и систем управления на основе ЭВМ или микропроцессоров, что создает предпосылки перехода к безлюдной технологии производства.

### Литература

1. Ланин В.Л. Пайка электронных сборок. - Мн.: НИЭИ Мин. Эконом., 1999. –116 с.
2. Ланин В.Л. Эффективность нагрева концентрированными потоками энергии при пайке в электронике // Электронная обработка материалов.-2002.- №2.- С.17- 20.
3. Авсиевич И.В., Ланин В.Л. Особенности электромагнитного нагрева изделий малых размеров // Весці АН Беларусі. 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 Беларусі. 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 Междунар. науч.-техн. конф. – Т. 1. – Новополоцк, 2002. - С.14-17.
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.29-31.
7. Ланин В.Л. Моделирование высокочастотного электромагнитного нагрева в процессах пайки электронных устройств // Известия Белорусской инженерной академии 2002.- № 2(14)/2.- С. 167-169.