

ФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА В ВОЗДУШНОМ ЗАЗОРЕ МАГНИТОПРОВОДА

Д. Ю. Ковалев, В. Л. Ланин, М. Е. Рахлин, Д. Е. Юшко

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Рассмотрена задача повышения эффективности индукционного нагрева деталей в воздушном зазоре магнитопровода. В результате экспериментальных исследований определены закономерности краевого эффекта в нагреваемой детали. Для обеспечения равномерности индукционного нагрева деталей и сокращения времени пайки применен электрический замыкатель паяемых деталей, который с помощью прибора-регулятора образует вторичный контур с низким электрическим сопротивлением и высокой плотностью вихревых токов.

Ключевые слова: индукционный нагрев, магнитопровод, физические эффекты.

PHISICAL EFFECTS OF INDUCTION HEATING IN AIR GAP OF MAGNETIC CORE

D. Y. Kovalioui, V. L. Lanin, M. E. Rakhlin, D. E Yushko

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

The problem of increasing the efficiency of induction heating of parts in the air gap of a magnetic circuit is considered. As a result of experimental studies, the patterns of the edge effect in the heated part have been determined. To ensure uniform induction heating of parts and reduce soldering time, an electric circuit breaker for soldered parts is used, which forms a secondary circuit with low electrical resistance and high eddy current density using a regulator device.

Keywords: induction heating, magnetic circuit, physical effects.

Индукционный нагрев деталей вихревыми токами широко применяется в серийном производстве благодаря высокой скорости, локальности зоны избирательного нагрева, использовании любой газовой среды (вакуума, защитного газа, воздуха), автоматизации процесса. Использование магнитопровода для концентрации электромагнитной энергии в области зазора позволяет повысить эффективность нагрева. Однако при индукционном нагреве в зазоре магнитопровода наблюдаются краевой и электродинамический эффект. При краевом эффекте происходит искажение электромагнитного поля и распределения источников теплоты в зоне концов нагреваемого тела. Электродинамический эффект проявляется в выталкивании детали из зоны нагрева. Эти эффекты во многом определяют качество нагрева и энергетические характеристики устройств индукционного нагрева. Целью работы являлась оптимизация параметров индукционного нагрева деталей в воздушном зазоре магнитопровода при пайке деталей в процессе сборки электронных модулей.

Индукционное устройство для формирования контактных соединений легкоплавкими припоями содержало П-образный магнитопровод из феррита марки 600 НН с незамкнутой магнитной цепью и две обмотки. Индуктирующая обмотка подключалась к ВЧ генератору 1 (рис. 1). Параметры ВЧ напряжения контролировали вольтметром В7-73/1 и частотомером ЧЗ-67. Температуру в рабочей зоне измеряли с помощью термопары ХК, прикрепленной к детали 4 и цифрового измерителя температуры ТРМ-205 5. Напряженность магнитного поля в зазоре магнитопровода 2 оценивали по величине ЭДС в измерительной рамке вольтметром типа В7-73/1. Для изменения магнитной проницаемости сердечника в дополнительную обмотку подавали постоянный ток подмагничивания величиной 1–5 А от источника 3 [2].

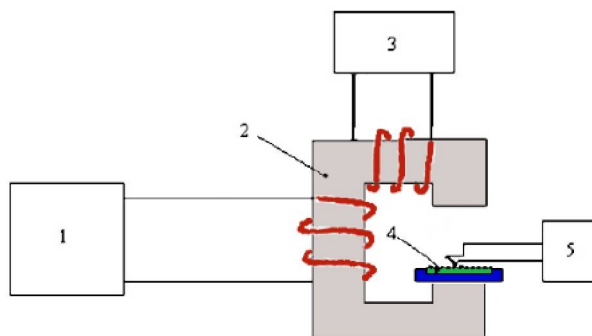


Рис. 1. Схема индукционного нагрева в зазоре магнитопровода:
1 – генератор; 2 – магнитопровод; 3 – источник тока; 4 – детали;
5 – измеритель температуры

Величина напряженности магнитного поля рассчитывалась как:

$$H = U_m / \mu_0 (4,44 \cdot Sfw),$$

где U_m – амплитуда напряжения на рамке; μ_0 – абсолютная магнитная проницаемость, S – площадь рамки; f – частота тока; w – число витков рамки.

При частоте нагрева 66 кГц напряженность магнитного поля составила $4,5 \cdot 10^5$ А/м², а неоднородность поля – 1,3–1,4 относительно центра детали (рис. 2).

В результате краевого эффекта на краях детали, подвергаемой индукционному нагреву в воздушном зазоре магнитопровода, возникает разность потенциалов, которая зависит от мощности нагрева и от удельного сопротивления материала детали. Для повышения эффективности индукционного нагрева деталей применен электрический замыкатель тока, в виде пластины из проводящего материала, которая с помощью прибора-регулятора, образует вторичный контур с низким электрическим сопротивлением и высокой плотностью вихревых токов. Это позволило устранить потери магнитного потока в окружающем пространстве и повысить эффективность индукционного нагрева.

Индукционный нагрев применен при пайке силовых контактов электронного модуля с помощью припойной пасты ПП-250. В образованном замкнутом вторичном контуре из паяемых контактов и электрического замыкателя величина вихревых токов находилась в пределах 6–10 А. Скорость индукционного нагрева возросла в 2 раза и составила 50 °С/с.

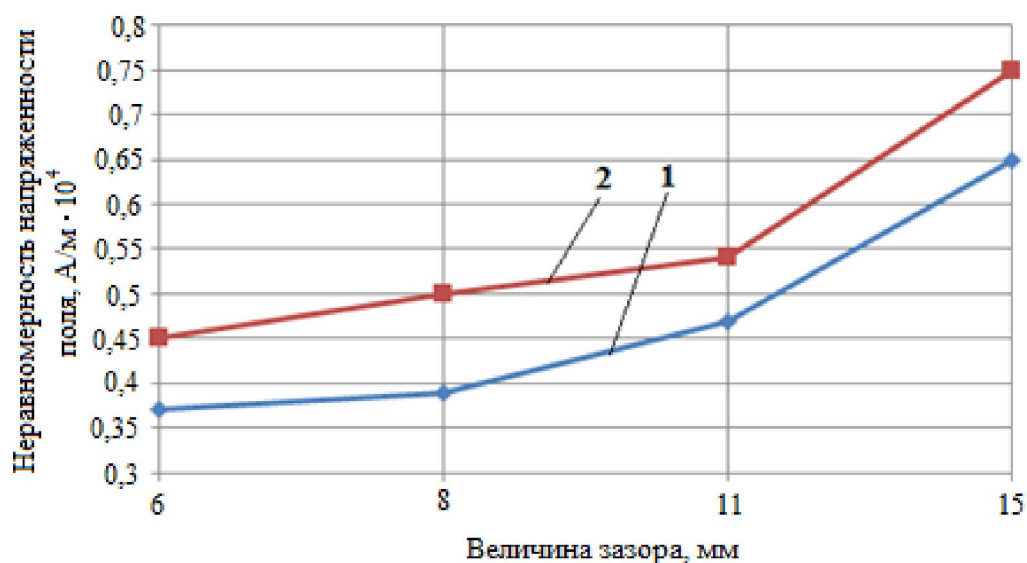


Рис. 2. Зависимости изменения напряженности относительно центра от величины зазора:

1 – на частоте 66 кГц; 2 – на частоте 22 кГц

Учет физических эффектов индукционного нагрева при нагреве деталей в воздушном зазоре магнитопровода позволяет более точно установить оптимальный температурный профиль формирования паяных соединений. Применение электрического замыкателя паяемых деталей, образующего вторичный контур с низким электрическим сопротивлением, устраняет потери магнитного потока в окружающем пространстве и повышает эффективность индукционного нагрева.

Литература

1. Induction Heating. Industrial Applications / Ed. by S. Lupi. Paris, U.I.E., 1992. – 142 p.
2. Румак, Н. В. Экономичный бесконтактный нагрев энергией переменного магнитного поля / Н. В. Румак, В. Л. Ланин, И. Н. Чернышев // Весті АН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1994 – № 2 – С. 94–96