

Е. С. РАТНИКОВ, В. Л. ЛАНИН

Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники
Минск, Беларусь

При индукционном нагреве деталей в зазоре магнитопровода действуют электромагнитные силы, стремящиеся вытолкнуть деталь из рабочей зоны. Проведено моделирование этих сил для деталей из магнитных и немагнитных материалов, чтобы оценить теоретическое воздействие этой силы на нагреваемую деталь и использовать в дальнейшем для увеличения коэффициента растекания припоя.

Моделирование проводилось в пакете ANSYS Electromagnetics Suite [1] с вычислением силы Лоренца с помощью встроенного калькулятора ANSYS. Сначала для моделирования была выбрана медная деталь 27x27 мм, толщиной 0.2 мм. Моделирование проводилось на частотах 60 и 250 кГц. При плотности меди, равной 8,96 г/см³, масса такой детали составляет 1,3 г, соответственно, чтобы сдвинуть такую деталь необходимо приложить силу в 12.8 мН.

В качестве магнитной детали была выбрана деталь из никеля таких же размеров, масса которой составила 1,297 г, и чтобы сдвинуть такую деталь необходимо приложить силу в 12.73 мН.

По результатам моделирования для медной детали, если предположить, что направления составляющих мгновенной силы совпадают, то максимальная мгновенная сила составила бы 12.62 мН для частоты 60 кГц и 14 мН для частоты 250 кГц. Результаты моделирования для детали из никеля показали, что при частоте 60 кГц на деталь действует сила 0,13 мН, а на частоте 250 кГц – 0,003 мН. Таким образом, с ростом частоты тока в индукторе действие электромагнитных сил значительно снижается.

При экспериментальном исследовании вибрации возбуждались подачей на дополнительную обмотку (10 витков) индуктора переменного тока от ВСА-5К частотой 100 Гц и амплитудой до 30 В и величине тока порядка 6 А. После расплавления припоя создавались вибрации амплитудой 1–2 мм в вертикальной плоскости. Вибрации создавались только в ферромагнитных телах (никель, ковар). Исследования проводились по схеме, приведенной на рис. 1.

Сила вибрации определялась из уравнения Лоренца:

$$F = BIl, \quad (1)$$

где B – индукция магнитного поля в зазоре,

I – величина тока в детали,
 l – длина детали.

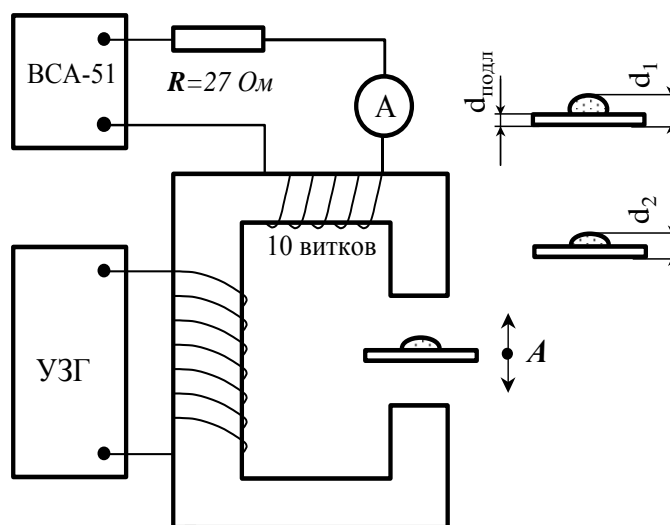


Рис. 1. Схема исследования действия электромагнитных сил

Для расчета индукции магнитного поля приняты следующие данные: $\mu=1000$, $\mu_0=1,25 \cdot 10^{-6}$, напряженность магнитного поля $H=(0,25-3,0) \cdot 10^5$ А/м. Тогда индукция магнитного поля $B=37,7$ Тл, при внешнем замыкании образца длиной $2 \cdot 10^{-4}$ м и величине тока в нем $I=2$ А электромагнитная сила $F=15$ мН. Сила трения образца на поверхности основания определялась по формуле:

$$F_{\text{тр}} = \alpha F_{\text{н}} = \alpha mg, \quad (2)$$

где α – коэффициент трения,
 m – масса детали.

Если коэффициент трения $\alpha=0,1-0,15$, масса образца 250 мг, то сила трения составляет $0,3 \cdot 10^{-3}$ Н. Таким образом, сила Лоренца практически в 50 раз превышает силу инерции образца и вызывает его вибрации в магнитном поле индуктора. При массе образца с припоем 500 мг, сила трения составит $0,6 \cdot 10^{-3}$ Н, а превышение силы Лоренца над силой инерции – 25 раз.

Таким образом, электромагнитные силы при локальном индукционном нагреве обладают достаточной величиной, чтобы вытолкнуть деталь из зазора магнитопровода. Эти силы возможно использовать для создания вибраций в процессах пайки деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Electronics Simulation Software | Ansys. Электронный ресурс: <https://www.ansys.com/products/electronics>.

2. Simulation Capabilities | Ansys Maxwell. Электронный ресурс:
<https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-maxwell/maxwell-capabilities>