

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ

Ратников Е. С., Горбач В. Р.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ланин В.Л. – д-р. техн. наук, профессор

В результате моделирование вихревых токов при индукционном нагреве в зазоре магнитопровода в частотном диапазоне 22 – 400 кГц установлены закономерности проявления краевого эффекта, заключающиеся в перераспределении векторов плотности вихревых токов и появлении разности потенциалов на краях нагреваемой детали.

Для моделирования вихревых токов при индукционном нагреве использован пакет ANSYS Electromagnetics Suite 19.2. Общая методика анализа включала построение модели, задание необходимых характеристик, определение области моделирования, настройку сетки и матрицы, проведение расчета, просмотр и анализ результатов.

Для моделирования в пакете ANSYS построена физическая модель индукционного устройства на магнитопроводе (рисунок 1), которая включала в себя следующие составные части:

1. Магнитопровод из феррита.
2. Обмотка из медного провода.
3. Деталь из латуни или другого материала.

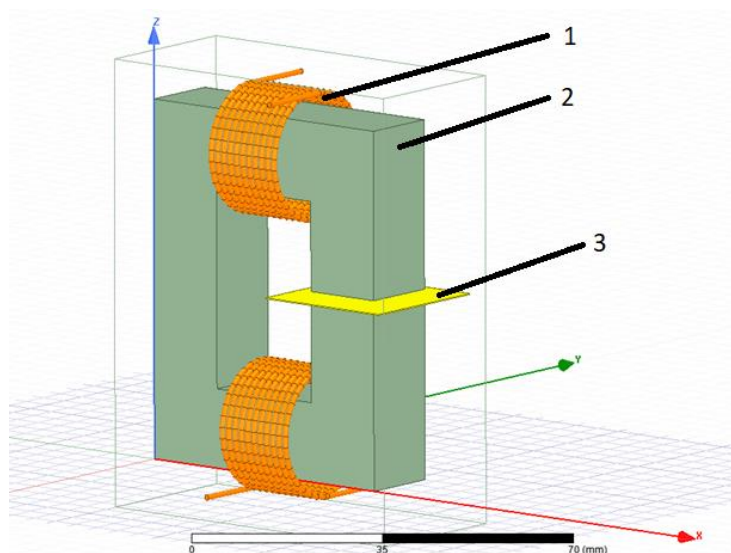


Рисунок 1 – Система локальной индукционной пайки: 1 – обмотка; 2 – магнитопровод; 3 – деталь

Моделирование проводилось при анодном токе генераторной лампы 2 А и различных частотах (22 кГц, 66 кГц, 200 кГц, 400 кГц). Были получены картины распределения векторов плотности вихревых токов в нагреваемой детали и графики плотности тока. Графики иллюстрируют распределение плотности тока вдоль линии, проходящей через центр детали по всей ее длине.

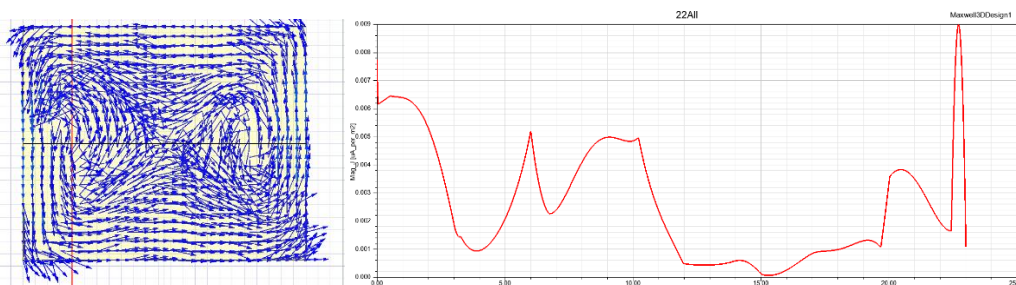


Рисунок 2 – Распределение векторов плотности тока в детали и график плотности тока при 22 кГц

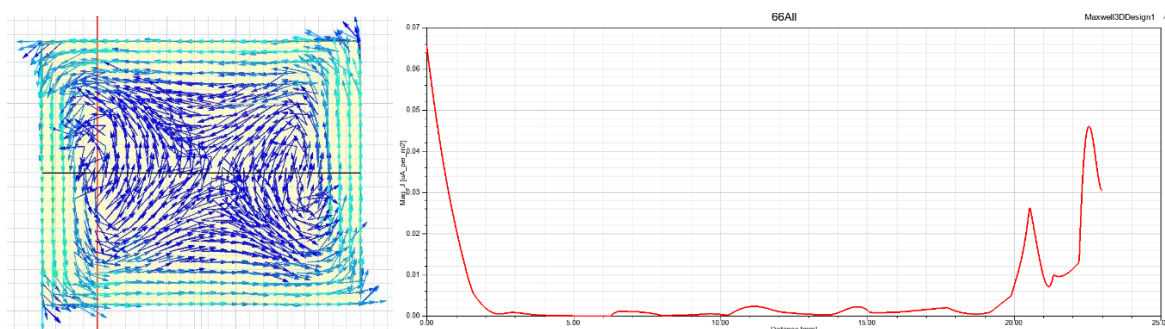


Рисунок 3 – Распределение векторов плотности тока в детали и график плотности тока при 66 кГц

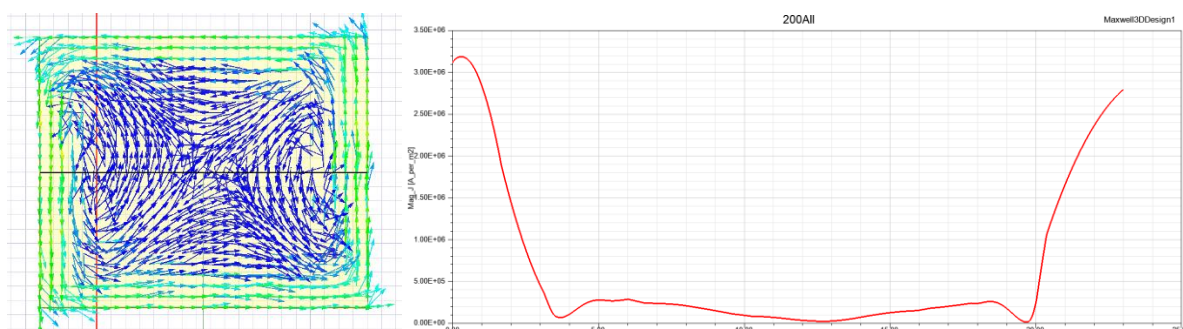


Рисунок 4 – Распределение векторов плотности тока в детали и график плотности тока при 200 кГц

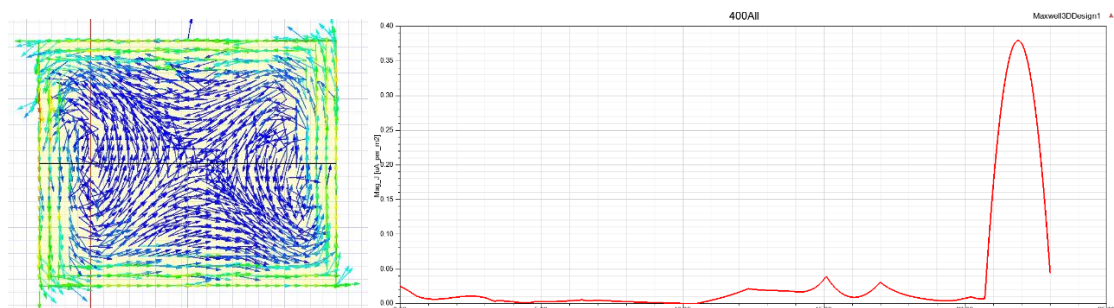


Рисунок 5 – Распределение векторов плотности тока в детали и график плотности тока при 400 кГц

Исходя из полученных результатов моделирования видно, что максимальная по модулю плотность токов (до $5.6 \cdot 10^9$ А/м²) была отмечена по краям детали, а минимальная ($8.6 \cdot 10^6$ А/м²) – в центре зазора магнитопровода. Под краевым эффектом понимается искажение электромагнитного поля и распределения источников теплоты в зоне концов нагреваемого тела (краевой эффект детали). При изменении мощности индукционного нагрева в пределах от 1,0 до 2,6 кВт напряжение на краях детали из латуни менялось от 0,53 до 1,08 В, а ток через замыкающую ветвь (рисунок 6) составил 1,3–1,56 А.

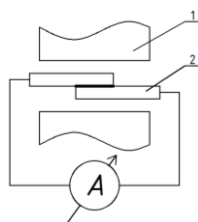


Рисунок 6 – Схема замыкающей ветви паяного соединения: 1 – магнитопровод; 2 – деталь

Учёт краевого эффекта индукционного нагрева позволяет более точно определить температурный профиль нагрева деталей в зазоре магнитопровода и тем самым обеспечить равномерность нагрева в процессах пайки или термообработки.

При индукционном нагреве в зазоре магнитопровода методом моделирования можно четко наблюдать проявление краевого эффекта, который необходимо учитывать в дальнейшем проектировании процессов индукционного нагрева.

Список использованных источников:

1. ANSYS Electromagnetics Suite 19.2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ansys.com/products/release-highlights/electromagnetics>.