Анализ и сравнение характеристик магнитопроводов при установке индукционного датчика с пайкой из красной меди

Влияние магнитопровода на магнитные линии плоского индукционного датчика  
Ситуация с магнитными линиями, когда медная трубка датчика установлена без магнитопровода:



Ситуация с магнитными линиями при установке магнитопровода на медную трубку датчика:



Сравнение приведённых двух рисунков показывает следующие различия между отсутствием и установкой магнитопровода:

1.При отсутствии магнитопровода магнитные линии распределены относительно рассеянно, а при установке магнитопровода они становятся более концентрированными;

2.Так как относительная магнитная проницаемость магнитопровода очень высока (обычно не ниже 1000), после его установки магнитное сопротивление цепи значительно уменьшается, что приводит к увеличению эффективной индукции магнитного поля. Это является основной причиной заметного повышения эффективности индукции при установке магнитопровода;

3.После установки магнитопровода магнитные линии в основном ограничены пределами самого магнитопровода, другими словами, магнитное поле не выходит за его пределы и не вызывает индукционного нагрева внешних металлических объектов;

4.Встроенный магнитопровод позволяет снизить необходимый ток датчика, тем самым уменьшая собственные потери датчика.

II. Разные типы магнитопроводящих материалов  
На данный момент используются два основных типа магнитопроводящих материалов: феррит и кремниesteel. Преимущества феррита заключаются в низких потерях на высоких частотах, но его недостаток в том, что насыщенная индукция магнитного поля низка (для высокочастотных типов обычно менее 0.3T). Преимущества кремниевой стали включают высокую насыщенную индукцию магнитного поля (более 1.2T) и высокую магнитную проницаемость, но её недостаток — большие потери на высоких частотах по сравнению с ферритом. Однако, использование тонких листов с низкими потерями может эффективно значительно уменьшить потери на высоких частотах.

В применении индукционной пайки с медными трубками, необходимо пропускать очень большие высокочастотные токи через медную трубку индуктора. Например, ток в индукторах с одной петлей или с открытым вставным типом мощностью 60 кВт может иметь эффективное значение от 3000 до 5000 А, а частота составляет около 18 кГц. Если используется медная трубка размером 10 мм × 10 мм, то при токе с эффективным значением 4000 А пик насыщения магнитной индукции Bm в магнитопроводящем материале можно приблизительно вычислить по следующей формуле:

Bm ＝ （I×1.414 / 0.01）×1.256/1000000 .....(в Тесла)

Где I — это эффективное значение тока индуктора, умноженное на 1.414 для получения пикового тока, 0.01 — это ширина медной трубки, а 1.256/1000000 — это константа. Подставив значения в формулу:

Bm ＝ 4000×1.414 / 0.01 ×1.256/1000000 ＝ 0.71T

Таким образом, значение превышает насыщенную индукцию магнитного поля феррита, но остается в пределах насыщенной индукции магнитного поля кремниевой стали. Поэтому в этом случае следует использовать кремниевую сталь в качестве магнитопроводящего материала.

III. Ключевые моменты при использовании кремниевой стали в качестве магнитопроводящего материала

1.Нельзя использовать обычные кремниевые стали стандартного типа, так как из-за слишком больших потерь на высоких частотах это может привести к неэффективности, а также к перегреву кремниевой стали, превышающему её точку Кюри, что приведет к потере магнетизма и даже к негативному эффекту.

2.Обычно необходимо выбирать кремниевую сталь с номинальными потерями не более 90 Вт/кг и толщиной листа не более 0.27 мм.

3.Следует выбирать кремниевую сталь с ориентированными зернами, при этом направление ориентации должно быть перпендикулярным к изделию.

4.Листы должны иметь изоляцию между ними, а температура изоляции должна быть высокой; при укладке листов необходимо соблюдать единство направления резки.

5.Открытие кремниевой стали должно быть немного меньше диаметра медной трубки, чтобы она могла быть вставлена в медную трубку с использованием водяного охлаждения для рассеивания тепла.

IV. Комплексное сравнение производительности

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Проект | Без магнитопроводящего материала | Вставка феррита | Вставка кремниевой стали с низкими потерями |
| Распределение магнитных линий | дисперсия | Сосредоточенное (когда фактическая магнитная индукция ниже насыщенной индукции феррита, далее называется «несатурация») дисперсия (когда фактическая магнитная индукция выше насыщенной индукции феррита, далее называется «насыщение») | Сосредоточенное |
| Эффективная магнитная индукция и эффективный магнитный поток | Низкие | Высокие (при несатурации)  Низкие (при насыщении) | Высокие |
| Индукционный ток | Большой | Менее большой | Минимальный |
| Потери индуктора | Большой | Менее большой | Минимальный |
| Потери самого магнитопроводящего материала | Отсутствуют | Небольшие | Более высокие |
| Ограничение магнитного поля | Отсутствуют, утечка магнитного поля, может нагревать окружающий металл | При несатурации утечек нет; при насыщении есть утечка | Нет утечек, не нагревает окружающий металл |
| Мощность источника питания  (Необходимый уровень мощности источника питания для сварки одинаковых медных изделий) | Высокий выходной ток высокой частоты, высокая необходимая мощность, высокая стоимость оборудования | Низкий выходной ток высокой частоты, меньшая необходимая мощность, снижение стоимости оборудования | Ещё меньший выходной ток высокой частоты, ещё меньшая необходимая мощность, низкая стоимость оборудования |
| Общая эффективность индукционного нагрева | Низкая | Средняя | Высокая |