

## Зависимость величины максимальной напряженности импульсного магнитного поля на поверхности металлического образца от его толщины

Павлюченко В.В., Дорошевич Е.С.

Белорусский национальный технический университет

На основании проведенных исследований нами установлены следующие закономерности распределения напряженности магнитного поля на поверхности электропроводящего немагнитного материала при воздействии на него импульсным магнитным полем:

1. Максимальная величина тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля вторичного источника  $H_{\tau Sm}$  на поверхности электропроводящего немагнитного материала, созданного линейным первичным источником магнитного поля, прямо пропорциональна толщине материала  $d$  и его удельной электропроводности  $\sigma$  и обратно пропорциональна времени нарастания импульса поля  $t_{max}$

$$H_{\tau Sm} = \frac{c \cdot d \cdot \sigma}{t_{max}},$$

вплоть до некоторой толщины материала  $d_{пред}$ , называемой предельной, где  $c$  – постоянная.

2. Предельная толщина материала  $d_{пред}$ , при которой выполняется линейная зависимость  $H_{\tau Sm}$  от  $d$ , прямо пропорциональна времени нарастания импульса поля  $t_{max}$ :

$$d_{пред} = p \cdot t_{max},$$

где  $p$  – постоянная, зависящая от  $\sigma$  материала.

3. При толщине материала  $d$  большей, чем предельная толщина  $d_{пред}$ , максимальная величина тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля вторичного источника поля  $H_{\tau Sm}$  определяется следующим соотношением:

$$H_{\tau Sm} = k_S \cdot H_{\tau 0m} (1 - e^{-bd}),$$

где  $b$  – коэффициент, зависящий от  $\sigma$  и  $t_{max}$ ,  $k_S$  – коэффициент, равный отношению величин максимальных тангенциальных составляющих магнитного поля вторичного  $H_{\tau Sm}$  и первичного

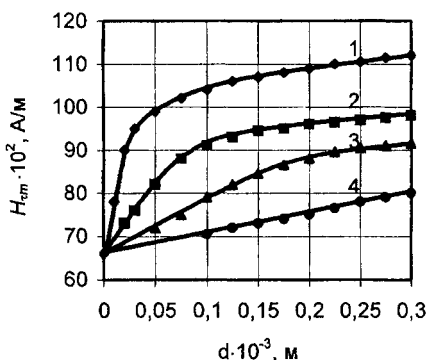
$H_{\tau 0m}$  источников поля при толщине материала  $d$ , стремящейся к бесконечности:

$$k_s = \frac{H_{\tau Smd \rightarrow \infty}}{H_{\tau 0m}}$$

Исследования проведены в диапазоне средних магнитных полей ( $4 \cdot 10^3 \div 1 \cdot 10^5$ ) А/м при воздействии на поверхность материала импульсами магнитного поля линейного первичного источника, а именно, протяженным линейным токопроводом, через который пропускали импульс тока. Форма импульсов тока – полусинусоида, время нарастания которой ( $1 \cdot 10^{-6} \div 5 \cdot 10^{-3}$ ) с. Источником вторичного поля  $H_{\tau Sm}$  являлось движение электронов в материале. В качестве датчиков магнитного поля использовали магнитные носители с толщиной рабочего слоя  $1 \cdot 10^{-5}$  м и датчики Холла с размерами чувствительного элемента  $1 \times 1 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>.

Измерения проведены на пластинах из алюминия толщиной от  $1 \cdot 10^{-5}$  м до  $1 \cdot 10^{-2}$  м, изготовленных в виде сплошных материалов, а также составленных из слоев. Полученные результаты были проверены и дополнены измерениями на образцах из меди, свинца и олова.

Приводим результаты измерений, на основании которых выведены указанные закономерности.



На рис. 1 изображены зависимости максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля на поверхности образца из алюминия  $H_{\tau m}$  от толщины образца  $d$  для времен нарастания импульсов тока первичного источника поля  $t_{max}$  соответственно: 1 –

$4,2 \cdot 10^{-6}$  с, 2 –  $18 \cdot 10^{-6}$  с, 3 –  $50 \times 10^{-6}$  с, 4 –  $105 \cdot 10^{-6}$  с.

Величину максимальной тангенциальной составляющей вторичного поля  $H_{\tau Sm}$  находили путем вычитания известной величины  $H_{\tau 0m}$  первичного источника из измеренной величины  $H_{\tau m}$ :

$$H_{\tau Sm} = H_{\tau m} - H_{\tau 0m}.$$

В данном случае  $H_{\tau 0m} = 6,6 \cdot 10^3$  А/м.

Из приведенных зависимостей видно, что они могут быть представлены в виде линейных и экспоненциальных функций. Начальные участки зависимостей являются линейными, а,

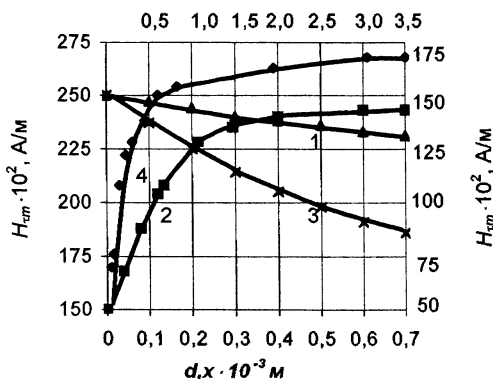
значит, тангенс угла наклона  $\alpha = \frac{H_{\tau Sm}}{d}$  является

характеристикой материала при данном времени нарастания импульсов. Линейная зависимость  $H_{\tau Sm}$  от  $d$  выполняется примерно до величины  $H_{\tau Sm}$ , равной  $\frac{H_{\tau Smi}}{e}$ , где  $H_{\tau Smi}$  —

предельная величина  $H_{\tau Sm}$  для времени нарастания импульсов  $t_{imax}$  при толщине материала, стремящейся к бесконечности  $d \rightarrow \infty$ . При этом предельная толщина материала  $d_{пред}$  при которой выполняется линейная зависимость  $H_{\tau Sm}$  от  $d$  может

быть определена по формуле  $d_{пред} = \frac{\delta^2}{am}$ , где  $\delta$  — эффективная

глубина проникновения магнитного поля в материал,  $a$  — постоянная, зависящая от удельной электропроводности материала  $\sigma$ ,  $m$  — единичный коэффициент размерности.



На рис. 2 изображены зависимости 1 и 2 максимальной тангенциальной составляющей магнитного поля  $H_{\tau m}$  на поверхности материала из алюминия от

его толщины  $d$ , а также зависимости 3 и 4 максимальной величины поля первичного источника от расстояния  $x$ , отсчитываемого от места расположения поверхности материала вглубь в отсутствие материала. Максимальная величина напряженности магнитного поля первичного источника на поверхности материала равна  $H_{\tau,0m} = 1,5 \cdot 10^4$  А/м, а ее изменение с расстоянием  $x$  в отсутствие материала соответствует зависимостям 3 и 4. Время нарастания импульсов: зависимость 1 –  $5 \cdot 10^{-6}$  с, зависимость 2 –  $1,4 \cdot 10^{-4}$  с.

При этом зависимости 1 соответствуют шкалы  $(150-275) \cdot 10^2$  А/м и  $(0-0,7) \cdot 10^{-3}$  м; 2 –  $(150-275) \cdot 10^2$  А/м и  $(0-3,5) \times 10^{-3}$  м; 3 –  $(50-175) \cdot 10^2$  А/м и  $(0-0,7) \cdot 10^{-3}$  м; 4 –  $(50-175) \cdot 10^2$  А/м и  $(0-3,5) \cdot 10^{-3}$  м.

Зависимости 1 и 2, изображенные на рис. 2 аналогичны зависимостям 1÷4 рис. 1. Отличие численных данных в них обусловлено разным расстоянием источников поля от поверхности материалов, а, следовательно, разными величинами  $H_{\tau,0m}$  на поверхности и по глубине материала.

Тангенсы углов наклона линейных участков зависимостей максимальных тангенциальных составляющих напряженности магнитного поля вторичного источника  $H_{\tau sm}$  от толщины образцов  $d$  определяются удельной электропроводностью материала  $\sigma$ , временем нарастания импульсов поля  $t_{max}$  и зависит от величины максимальной напряженности магнитного поля  $H_{\tau,0m}$ . Полученные нами закономерности справедливы также для линейно нарастающих импульсов магнитного поля и импульсов другой формы при наложении определенных условий на формы переднего и заднего фронтов импульсов. Процессы, которые при этом происходят, являются переходными. В случае стационарных процессов следует учитывать явление после действия от предыдущих импульсов магнитного поля.

Результаты данной работы могут быть использованы при расчетах распределения импульсных магнитных полей в электропроводящих материалах, а также при конструировании электромагнитных экранов, при разработке импульсных магнитных излучателей в медицинских приборах, в дефектоскопии для определения дефектов сплошности и структуры материалов с разрешением электрических свойств материалов и их дефектов по глубине.