

УДК 620.179.14

В.В. Герасимов, О.Л. Герасимова

АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИГНАЛА ПЕРЕКОСА КАТУШКИ С ТОКОМ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ МАТЕРИАЛА

Аннотация. Проанализированы зависимости модуля и фазы внесенного в катушку сопротивления от угла отклонения её оси от нормали к поверхности материала. Исследована чувствительность фазы сопротивления к углу отклонения оси катушки относительно нормали к пластинкам из меди и композитного материала. Изменение модуля внесенного в катушку сопротивления при перекосе оси последней относительно нормали к поверхности материала аппроксимировано полиномом 2-й степени.

Ключевые слова: внесенное сопротивление, модуль, фаза, активная и реактивная компоненты, композитный материал.

Введение. При сканировании накладными датчиками изделий из композитных материалов вносимое в вихретоковый датчик сопротивление имеет комплексный характер и состоит из активной и реактивной компоненты. В предыдущих наших публикациях [1, 2] материалы исследований были изложены в терминах действительной и мнимой составляющей, что имеет понятный физический смысл. Но в научных публикациях по проблемам физики и математики комплексные величины представляют также в форме амплитуда-фаза. Особенно такая форма представления распространена в области высоких и сверхвысоких частот. Да и в неразрушающем контроле для подавления мешающих факторов используют всевозможные фазовые методы, например [3]. Поэтому представляет интерес зависимость модуля (амплитуды) и фазы внесенного в катушку сопротивления [1] от угла отклонения оси катушки от нормали к поверхности исследуемого материала.

Постановка задачи. Цель работы — представление сигнала отклонения катушки с током от нормали к поверхности исследуемого материала в терминах модуль-фаза вносимого сопротивления и исследование зависимости этих характеристик от угла отклонения катушки от нормали к поверхности.

© Герасимов В.В., Герасимова О.Л., 2009

Обоснование полученных результатов. Данные для исследований были те же, что и в [1]. Зависимости модуля и фазы внесенного в катушку сопротивления, нормированного на исходное реактивное сопротивление катушки, от угла отклонения оси катушки от нормали к поверхности пластины из меди и композитного материала представлены на рис. 1.

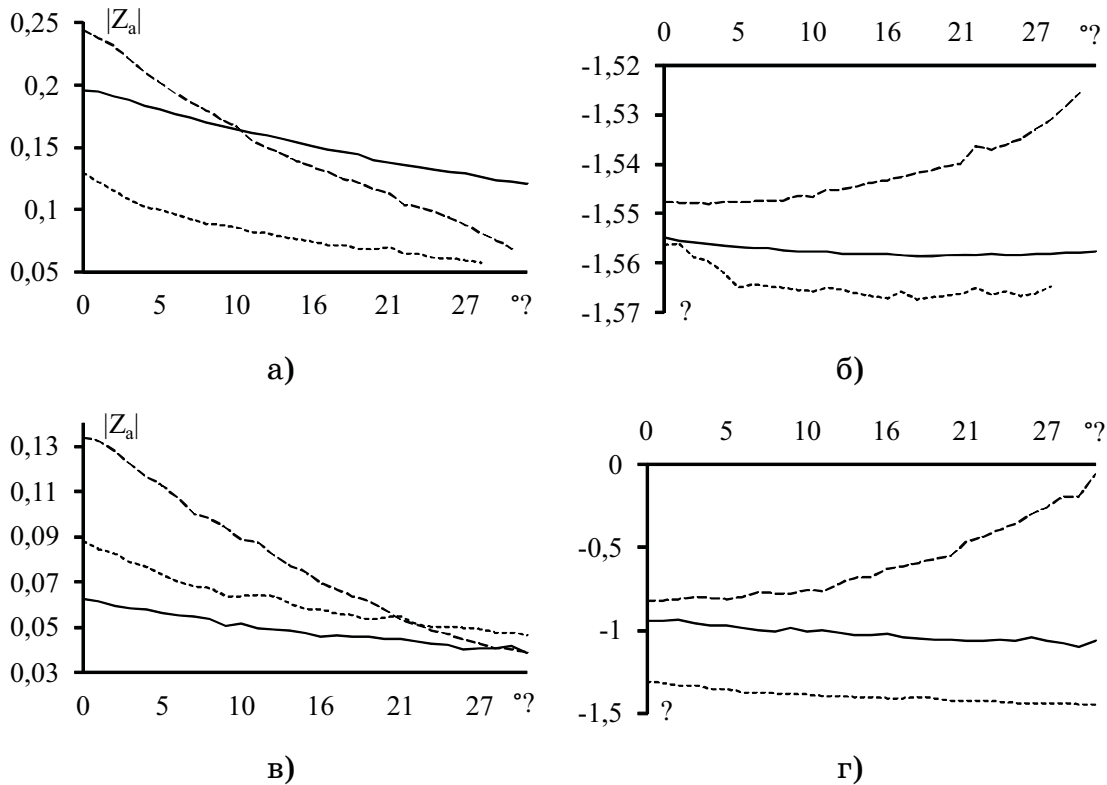


Рисунок 1 - Зависимость модуля и фазы внесенного в катушку сопротивления от угла отклонения её оси от нормали к поверхности исследуемого материала: а), б) — медная пластина; в), г) — пластина из композита; 1-я катушка — , 2-я катушка, 3-я катушка

В случае медной пластинки реактивная часть внесенного в катушку сопротивления превышает по абсолютному значению активную часть в 20 и более раз. Поэтому зависимость модуля внесенного сопротивления от угла отклонения катушки в основном повторяет соответствующую зависимость для реактивной части внесенного сопротивления, зеркально отражая последнюю относительно оси абсцисс (рис. 1а). Соответственно фаза внесенного сопротивления почти постоянна на всем диапазоне угла отклонения и равняется примерно $\pi/2$. Только для второй катушки (52 витка, с

магнитопроводом) наблюдается незначительное уменьшение абсолютного значения фазы с увеличением угла отклонения.

В случае пластинки из композитного материала активная и реактивная компоненты внесенного в катушку сопротивления одного порядка, а потому зависимость модуля внесенного в катушку сопротивления от угла отклонения отличается от зависимостей отдельно активной и реактивной составляющей. Зависимость фазы внесенного сопротивления ведет себя аналогично соответствующей зависимости в случае медной пластинки, а именно для первой и третьей катушек фаза практически постоянна во всем диапазоне угла отклонения. И только для второй катушки наблюдается выраженная зависимость фазы внесенного сопротивления от угла отклонения. При этом следует отметить значительное повышение чувствительности фазы внесенного в катушку сопротивления от угла отклонения в случае пластинки из композитного материала.

Проанализируем эту чувствительность для второй катушки. В обоих случаях с достоверностью аппроксимации $R^2 \approx 0.99$ зависимость фазы от угла описывается полиномиальной зависимостью

$$\varphi(\theta) = a\theta^2 + b\theta + c, \quad (1)$$

где для медной пластинки коэффициенты полинома (1) равны соответственно $a=4 \cdot 10^{-5}$, $b=-4 \cdot 10^{-4}$, $c=-1.5469$; для пластинки из композита — $a=1.1 \cdot 10^{-3}$, $b=-9 \cdot 10^{-3}$, $c=-0.7991$. Квадратичный и линейный коэффициенты полинома (1) для пластинки из композита больше соответствующих коэффициентов для медной пластинки почти на два порядка.

Далее по методике, предложенной в [1], были изложены зависимости модуля внесенного в катушку сопротивления от угла отклонения оси катушки от нормали к поверхности исследуемого материала. Сначала модуль внесенного сопротивления был аппроксимирован тремя функциями: линейной, полиномом 2-й степени и экспоненциальной (табл. 1).

Качество аппроксимации указанными функциями зависимости модуля внесенного в катушку сопротивления от угла отклонения оси катушки от нормали к поверхности медной пластинки практически совпадает с качеством аппроксимации этими же функциями мнимой части внесенного в катушку сопротивления над той же пластиной [1] — расхождение между коэффициентами R^2 не превышает 0.6 %, а в

среднем составляет 0.18 %. Расхождение коэффициентов аппроксимации модуля и действительной части внесенного в катушку сопротивления для медной пластины достигает единиц и десятков процентов. В случае пластинки из композитного материала качество аппроксимации этими же функциями зависимости модуля внесенного в катушку сопротивления отличается от качества аппроксимации действительной и мнимой составляющей внесенного сопротивления примерно одинаково — в среднем 0.75ч1.35 %.

Таблица 1

Коэффициент достоверности аппроксимации для функций $y_1=ax+b$,
 $y_2=ax^2+bx+c$ и $y_3=ae^{-bx}$.

Материал	$f(x)$	1-я катушка	2-я катушка	3-я катушка
медь	y_1	0.9898	0.9831	0.9281
	y_2	0.999	0.997	0.9841
	y_3	0.9979	0.9926	0.9735
композит	y_1	0.9633	0.9784	0.935
	y_2	0.9876	0.9986	0.9873
	y_3	0.9764	0.9976	0.9684

Затем, также согласно методике, предложенной в [1], были исследованы дополненные выборки, моделирующие отклонение оси катушки от нормали к поверхности материала на определенный угол и возврат в исходное положение (табл. 2). Движение катушки принималось равномерным — катушка мгновенно начинала отклоняться с равномерной скоростью до определенного угла, затем мгновенно менялся знак скорости и она возвращалась к исходному положению. Такая модель движения отличается от более сложного закона колебания оси вихретоковых датчиков около нормали к поверхности материала при сканировании поверхности композитов, наблюдаемого в практике. Но использование более сложного (приближенного к наблюдаемому в практике) закона движения датчика слабо влияет на качество аппроксимации [4], поэтому в этой работе мы использовали более простое, равномерное колебание оси датчика около нормали к поверхности исследуемого материала.

В среднем качество аппроксимации дополненных выборок полиномами увеличилось с 0.965 [1] до 0.973. При этом стоит отметить, что если в предыдущем случае [1] минимальный

коэффициент аппроксимации падал до значения 0.8177, то теперь он не опускается ниже 0.9478.

Таблица 2

Аппроксимация дополненных выборок полиномом 2-й степени

Материал	диапазон	1-я катушка	2-я катушка	3-я катушка
медь	0°–15°–0°	0.9569	0.9629	0.9888
	0°–20°–0°	0.9603	0.9793	0.9884
	0°–25°–0°	0.9628	0.9834	0.9858
композит	0°–15°–0°	0.9478	0.9531	0.9824
	0°–20°–0°	0.9755	0.965	0.9822
	0°–25°–0°	0.9821	0.9719	0.9848

Выводы. Переход от представления вносимого в катушку сопротивления при отклонении оси последней от нормали к поверхности материала в форме активной и реактивной составляющей к форме модуль-фаза показал следующие результаты:

- максимальная чувствительность фазы внесенного в катушку сопротивления к изменению угла отклонения её оси к поверхности материала в случае пластинки из композита почти на два порядка больше максимальной чувствительности для медной пластинки;
- при определенных конструктивных параметрах катушки фаза внесенного сопротивления практически не зависит от угла отклонения её оси от нормали к поверхности и для композитов, и для меди;
- дополненные выборки модуля внесенного в катушку сопротивления в качестве сигнала перекоса лучше описываются полиномом 2-й степени, чем выборки отдельно активной и реактивной составляющей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов В. В. Исследование сигнала перекоса вихретокового датчика / Герасимов В. В., Герасимова О. Л. // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов — Вып. 5(16) — Днепропетровск, 2001. — с. 39 – 41.
2. Герасимов В. В. Двумерное моделирование в вихретоковой дефектоскопии композитных материалов / Герасимов В. В., Герасимова О. Л. // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. — Вып. 6(41) — Днепропетровск, 2005. — с. 124 – 133.
3. Дорофеев А. Л. Электроиндуктивная дефектоскопия / Дорофеев А. Л., Казамапов Ю. Н. — М.: Машиностроение, 1980. — 212 с.
4. Хандецкий В. С. Динамика изменения векторного потенциала рамки при сканировании поверхностных трещин с различной геометрией / Хандецкий В. С., Герасимов В. В. // Вісник Дніпропетровського університету, сер. "Фізика, радіоелектроніка". — 2008. — Вип. 15, № 2/1. — С. 99 – 105.

Получено 26.09.2009г.