

ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С КОЛЬЦЕВОЙ ФОКУСИРОВКОЙ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

К.Р. МУРАТОВ¹, Э.И. АБДРАХМАНОВ¹, С.А. ПОПОВА¹, О.В. ГАЛЬЦЕВА²

¹Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

²Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: muratows@mail.ru

При выполнении вихретокового контроля на предмет обнаружения поперечных трещин оценку их ширины, как правило, не выполняют [1]. В работе предлагается рассмотрение поперечной трещины как элемент электрической цепи – конденсатор. На рисунке 1,а схематично показано распределение силовых линий вихревого электрического поля и вихревых токов на проводящей поверхности, которые представляют собой соосные окружности. Ось катушки возбуждения вихретокового преобразователя (ВТП) перпендикулярна поверхности. При наличии поперечной трещины (рис.1,б), из-за невозможности преодоления зарядами трещины, они накапливаются на ее поверхностях. То есть локально трещина представляет собой заряженный конденсатор. В результате эти заряды создают дополнительное кулоновское поле, которое в совокупности с вихревым электрическим, согласно закону Ома, определяет характер линий тока (красная линия).

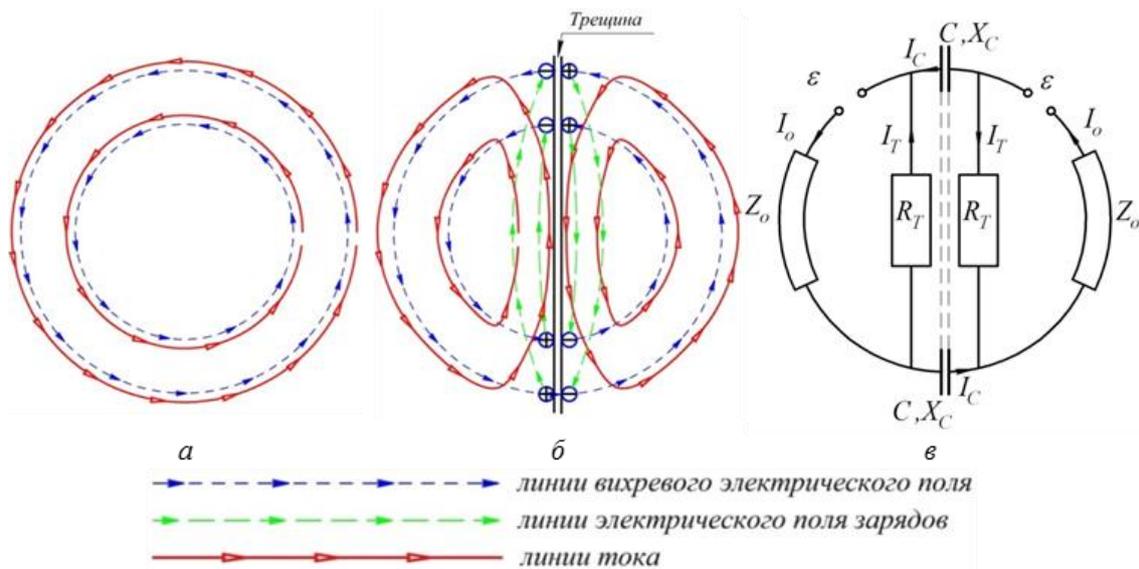


Рисунок 1 – (а,б) Характер линий напряжённости электрического поля и вихревых токов в отсутствии трещины и без нее. (в) Эквивалентная электрическая схема распределения токов вблизи трещины

Таким образом мы приходим к эквивалентной электрической схеме (с переменным током циклической частоты ω), изображенной на рисунке 1,в. Здесь трещина представляет собой два конденсатора ёмкостью C и соответствующим ёмкостным сопротивлением $X_C = -i/\omega \cdot C$, соединённых двумя резисторами, сопротивление R_T которых представляет собой прилегающий к трещине слой проводящей среды. Элемент $Z_o = R_o + i \cdot \omega \cdot L_o$ символизирует эффективный слой материала вдоль линий вихревого поля (активное сопротивление R_o , индуктивность L_o , обусловленная взаимным влиянием вихревых токов). ЭДС индукции, наводимая ВТП в материале представлена элементами ϵ .

В результате вносимое относительное напряжение будет определяться выражением:

$$u_{\text{ВН}}^{\text{отн}} = \omega \cdot k \frac{X_C - R_T}{R_T X_C + Z_o (X_C - R_T)}, \quad (1)$$

где: k – коэффициент учитывающий геометрию ВТП, магнитные свойства ОК и, по сути, представляет собой комбинацию взаимных индуктивностей катушки возбуждения, объекта контроля и измерительной катушки.

Коэффициент k является действительной величиной, поэтому фаза и величина относительного вносимого напряжения согласно (1) определяется соотношением $(X_C - R_T)/(R_T X_C + Z_o (X_C - R_T))$. Тогда, рассматривая ширину раскрытия трещины как расстояние между обкладками конденсатора, можем получить аналитическое выражение для оценки этой ширины по вносимому напряжению $u_{\text{ВН}}^{\text{отн}}$. Для увеличения чувствительности можно также использовать различные резонансные решения.

Необходимо понимать, что приведённая модель влияния трещины и свойств ОК является предельно упрощённой поскольку линии вихревого электрического поля не сосредоточены в узком кольце. Однако предлагаемый подход остается соблазнительным ввиду достаточной прозрачности в аналитическом представлении.

Численное моделирование с помощью программного пакета Elcut показало возможность кольцевой фокусировки вихревых токов. Для этого необходимо локализовать «выступающее» в рабочей зоне ВТП переменное магнитное поле с помощью магнитопровода специальной формы. На рисунке 2,а представлен стандартный вариант конструкции возбуждающей катушки ВТП, на рисунке 2,б – магнитопровод, охватывающий катушку снаружи и внутри. На рисунках 2,в,г,д показан результат моделирования. Можем видеть, что специальная форма магнитопровода позволяет локализовать вихревые токи.

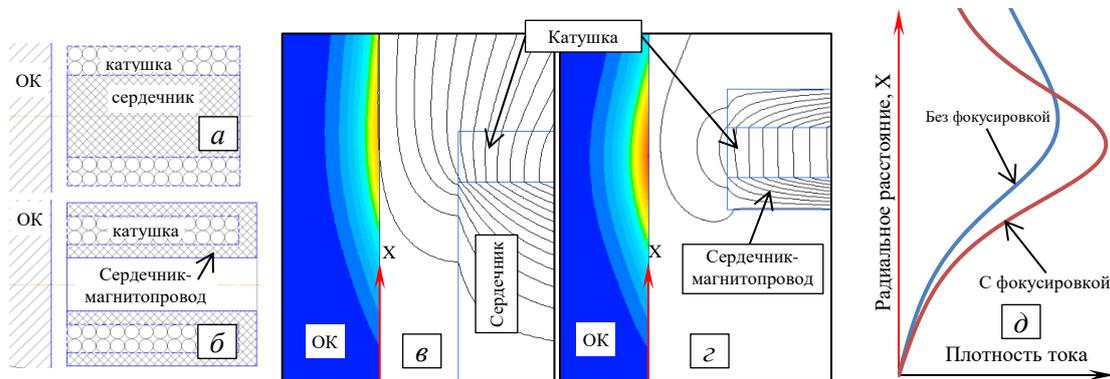


Рисунок 2 – (а,б) Конструкция ВТП с простым сердечником и фокусирующим магнитопроводом. (в,г) Результат моделирования без кольцевой фокусировки и с ней. (д) Распределение плотности тока в радиальном направлении на проводящей поверхности.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т./под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 2. Кн. 2. Вихревоковый контроль/Ю.К. Федосенко и др. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2006. С. 362.