

УДК 620.179

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЧНОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ВИХРЕТОКОВОМ
КОНТРОЛЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А. С. КРЮКОВ, В. В. ЧЕГОДАЕВ, А. Г. ЖДАНОВ, В. П. ЛУНИН
ФГБОУ ВПО «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»
Москва, Россия

Контроль неоднородности электропроводящих материалов многослойных цилиндрических изделий – одна из распространенных задач вихретоковой дефектоскопии [1]. Отбраковка изделий осуществляется по степени неоднородности материала одного или нескольких слоев. В частности, неоднородность проводящего материала может определяться наличием дефектов в виде пустот. Причем форма таких дефектов не имеет значения, а важен его объем и местоположение в сечении изделия. Доступ к объекту контроля (ОК), в большинстве случаев, возможен только с внешней стороны, поэтому для выявления, локализации и оценки объема дефектов было предложено использовать многоэлементный накладной вихретоковый преобразователь (МНП) [2]. Каждый из элементов МНП (рис. 1) является дифференциальным и включает в себя две одинаковые катушки, намотанные на ферритовые сердечники. Число витков в каждой равно 150, а относительная магнитная проницаемость материала сердечников – 1000. При проектировании преобразователя такого типа очень важным является расчет необходимого числа одноэлементных вихретоковых преобразователей (ВТП), входящих в состав многоэлементного. Число элементов должно быть таким, чтобы суммарная зона контроля всех ВТП была равна длине окружности, образующей поверхность цилиндрического объекта. Превышение необходимого числа приведет к усложнению системы контроля и снижению ее производительности.

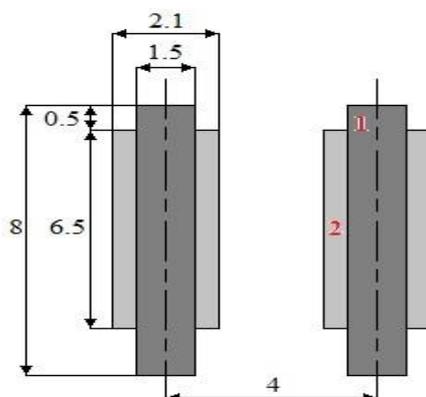


Рис. 1. Один из элементов МНП

В статье [3] представлен способ расчета необходимого числа одно-элементных ВТП для случая, когда контролируемую поверхность можно считать плоской по отношению к элементу МНП. Но при контроле изделий с малыми радиусами кривизны данное допущение может привести к значительной погрешности, поэтому в таком случае необходимо учитывать геометрию ОК. Конечно-элементное моделирование [4] – наиболее простой, быстрый и наглядный способ решения подобных задач.

Исследуемый в работе цилиндр состоит из двух слоев: диаметр внешнего слоя – 6,8 мм, его электрическая проводимость – 2,440 МСм/м, диаметр внутреннего слоя – 5,8 мм и его проводимость – 6,452 МСм/м. Для определения необходимого числа элементов МНП была построена конечно-элементная модель в программном пакете *Comsol Multiphysics*. В качестве дефекта использовалась проточка с центральным углом β на поверхности внутреннего слоя (рис. 2). Местоположение проточки в ОК относительно элемента МНП оставалось неизменным. Центр дефекта всегда располагался под краем ферритового сердечника одной из катушек с дальней стороны относительно второй катушки (рис. 3). Также дефект имел постоянные размеры $d = w = 0,5$ мм, а в процессе моделирования изменялся лишь центральный угол проточки. Плотность тока в катушке задавалась равной 1 А/мм^2 , частота тока – 60 кГц.

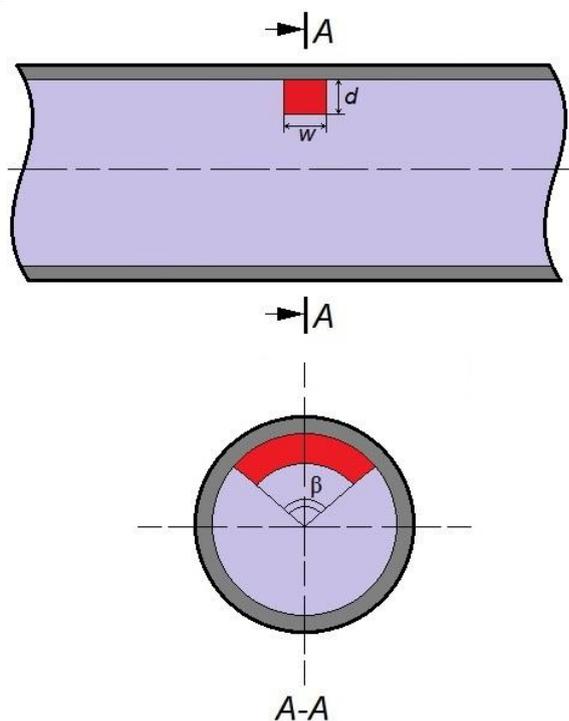


Рис. 2. Внешняя проточка с центральным углом β

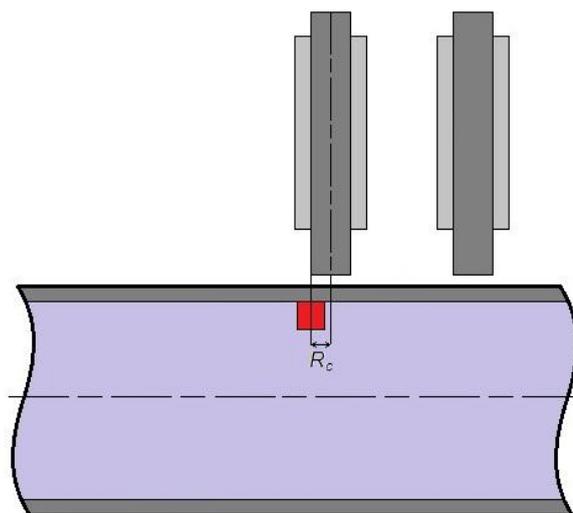


Рис. 3. Взаимное расположение проточки и ВТП (R_c – радиус сердечника)

Целью данной модели являлось определение центральных углов проточки, при которых сигнал от ВТП уменьшится на 10 % относительно сигнала при центральном угле дефекта в 360°.

В результате моделирования был получен набор годографов на комплексной плоскости дифференциального сопротивления элемента МНП для проточек с центральными углами (360°, 120°, 110°, 100°, 90°, 80°, 70°, 60°). Значения амплитуд годографов для каждой из них представлены в табл. 1. Под амплитудой годографа понимается расстояние от начала координат до наиболее удаленной от него точки годографа.

Расчет показал, что сигнал от ВТП уменьшается на 10 % относительно сигнала при центральном угле дефекта в 360° при $\beta \approx 95^\circ$. То есть для охвата всего периметра цилиндрического объекта контроля вихревыми токами МНП должен состоять из четырех одноэлементных ВТП.

Табл. 1. Значение амплитуд годографов для различных центральных углов проточки

$\beta,^\circ$	360	120	110	100	90	80	70	60
Амп., Ом	0,8841	0,8629	0,8436	0,8137	0,7702	0,7081	0,6220	0,5127
$\delta, \%$	0	2,4	4,6	8,0	12,9	19,9	29,7	42,0

Результаты конечно-элементного моделирования были использованы при разработке многоэлементного вихретокового преобразователя для контроля дисперсионных тепловыделяющих элементов [5]. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с данными экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов, В. Г. Неразрушающий контроль: кн. 3. Электромагнитный метод / В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, В. В. Сухоруков. – М., 1992.
2. Лунин, В. П. Проходной многоэлементный вихретоковый преобразователь / В. П. Лунин, А. Д. Покровский, В. В. Чегодаев // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – С. 71–73.
3. Чегодаев, В. В. Оценка эффективности вихревых токов при проектировании многоэлементного преобразователя для контроля парогенераторных труб / В. В. Чегодаев, В. П. Лунин, А. С. Крюков // Вестн. МЭИ. – 2013. – № 4. – С. 90–94.
4. Лунин, В. П. Метод конечных элементов в задачах прикладной электротехники / В. П. Лунин. – М., 1996.
5. Обработка сигналов многоэлементного преобразователя при вихретоковом контроле тепловыделяющих элементов реакторов АЭС / А. С. Крюков [и др.] // Вестн. «МЭИ». – 2013. – № 4. – С. 95–100.

E-mail: sasa-mail@inbox.ru

chegodaevvv@gmail.com

valery.lunin@mtu-net.ru

zhdanov.andrew82@gmail.com