

обладают низким уровнем автоматизации, а совершенствование средств технического обслуживания является актуальной задачей.

Остапчук Тимофей Витальевич, студ. гр. 1223-250302D, tymofe1.ov07@mail.ru

УДК 620.179.14

МНОГОПАРАМЕТРОВЫЕ МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ

Л.А. Лаврова, А.Ю. Лавров

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара

Ключевые слова: электромагнитный контроль, вихретоковый контроль, многопараметровый неразрушающий контроль.

В изделиях сложной геометрии, особенно в многослойных структурах и при соединении разнородных материалов в деталях сложной формы, большую актуальность приобретает контроль качества изделий на стадиях их изготовления и при дальнейшей эксплуатации. Обнаружение дефектов изделий проводится различными методами. Достаточно эффективно для обнаружения дефектов в изделиях со сложной пространственной геометрией, например при запрессовке резины в металлических корпус штока [1], в деталях из полимерных композиционных материалов, используется ультразвуковой контроль качества. Высокую надежность обнаружения дефектов сплошности и оценку их геометрических параметров даст применение вихретокового метода. Однако, при применении вихретокового преобразователя (ВТП) на точность результатов контроля влияют следующие факторы: величина зазора между ВТП и контролируемой поверхностью, локальная шероховатость и кривизна поверхности, краевого эффект, магнитные пятна. Повысить эффективность электромагнитного контроля возможно применением многопараметровых методов.

Для определения общих принципов многопараметрового контроля рассмотрим характерные особенности многочастотного метода и метода высших гармоник.

Многочастотный метод основан на проявлении поверхностного эффекта в электропроводящих средах вследствие возникновения в них вихревых токов. При намагничивании объекта контроля, представляющего собой электропроводящее изделие, глубина проникновения электромагнитного поля в токопроводящем изделии зависит от относительной магнитной проницаемости μ_r , удельного сопротивления ρ , и частоты ω и определяется по формуле:

$$\delta = c \cdot \sqrt{2 \frac{\varepsilon_0}{\omega \cdot \mu_r} \rho}, \quad (1)$$

где c – скорость света, ε_0 – электрическая постоянная, $\omega = 2\pi \cdot f$.

Учитывая постоянные величины скорости света c и электрической постоянной ε_0 и заменяя в формуле (1) удельное сопротивление ρ на проводимость σ , приходим к расчетной формуле:

$$\delta = \frac{503}{\sqrt{\sigma \cdot \mu_r \cdot f}} \quad (2)$$

Выражение (2) показывает, что выбор ряд частот f позволяет задавать варианты глубины проникновения поля в материал.

Контролируемое изделие намагничивается многочастотным полем, представляющим собой суперпозицию нескольких полей ряда гармонических частот. Учитывая, что каждая составляющая этого сложного поля проникает на различную глубину, и несет в себе информацию об электромагнитных свойствах этой части структуры контролируемого изделия, то характеристики контролируемого изделия в целом определяются по его отклику на каждую составляющую многочастотного возбуждающего поля и представляют собой информацию полной структуры изделия.

Многочастотный метод может применяться в устройствах контроля толщины материала или покрытия [2], для выявления внутренних дефектов типа трещин, структурных неоднородностей или инородных включений в электропроводящих изделиях сложной формы, а также контроля слабопроводящих магнитных покрытий и слоистых композиционных материалов, применяемых в аэрокосмической отрасли [3].

Общий принцип построения устройств контроля, основанных на применении многочастотного метода, показан на функциональной схеме, приведенной на рисунке 1.

На электромагнитный преобразователь (ЭП) подается суммированный сигнал от n генераторов (Γ) различной частоты. Из выходного сигнала ЭП, промодулированного параметрами Π_n контролируемого изделия, каждый из группы n детекторов D_n выделяет информативный сигнал X_n о состоянии зоны (части) контролируемого изделия. Далее суммирующим устройством информативные сигналы X_n детекторов преобразуются в обобщенный сигнал, который отображается на устройстве индикации.

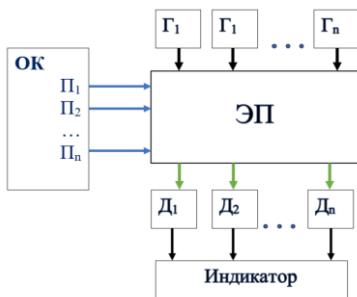


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства контроля, основанном на применении многочастотного метода

Метод высших гармоник основан на возникновении гармонических составляющих напряженности и индукции поля в ферромагнитном изделии при намагничивании его синусоидальным полем. Нелинейные свойства электромагнитных характеристик ферромагнитных материалов обуславливают появление высших гармоник, которые несут в себе дополнительную информацию об изменении структуры, наличии внутренних напряжений, дефектов изделия и их геометрических размеров, так как первая и высшие гармоники одних и тех же параметров ферромагнитных материалов имеют существенно различные функциональные зависимости. При этом параметры контролируемого изделия оцениваются комплексированием информации об амплитудах, или фазах, или ортодоксальных составляющих гармоник.

Общий принцип построения устройств контроля, основанных на применении метода высших гармоник, показан на функциональной схеме, приведенной на рисунке 2.

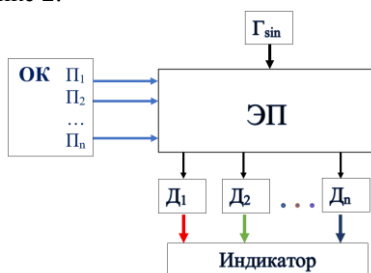


Рисунок 2 – Функциональная схема устройства контроля, основанном на применении метода высших гармоник

Существенным отличием от ранее рассмотренного метода является использование генератора (Г) синусоидальной формы, от которого подается сигнал на электромагнитный преобразователь (ЭП). Из выходного сигнала ЭП, промодулированного параметрами Π_n контролируемого изделия, каждый из группы n детекторов $\mathcal{D}_n$ выделяет заданные гармонические составляющие (например, первую, третью и пятую гармоники). Далее суммирующим устройством информативные сигналы X_n детекторов, пропорциональные амплитудам гармоник, преобразуются в обобщенный сигнал, который отображается на устройстве индикации.

Рассмотрев вышеприведенные многопараметровые методы, можно выделить общие принципы многопараметрового контроля с электромагнитным преобразованием:

1. Методы основаны на возбуждении контролируемых изделий электромагнитным полем.
2. Информативные параметры выделяются из многомерного выходного сигнала электромагнитного преобразователя.
3. Оценка контролируемого параметра изделия осуществляется по совокупности информативных параметров сигнала.

Критериями классификации методов многопараметрового контроля является:

1) вид возбуждающего электромагнитного поля, например, одночастотное, многочастотное, с модуляцией (по амплитуде или частоте), импульсное;

2) информативные параметры сигнала, например, амплитудно-фазовые параметры сигнала, мгновенные значения выходного сигнала, временные характеристики сигнала по опорным уровням напряжения.

При проектировании многопараметрового устройства контроля можно выбрать любой вид возбуждающего электромагнитного поля и вид информативных параметров сигнала. Однако, целесообразно выбирать вид возбуждающего электромагнитного поля таким, чтобы в сигнале наиболее сильно проявлялись те свойства, которые по своей природе связаны с контролируемыми свойствами изделий. Например, для контроля качества структуры ферромагнитных изделий возбуждающее электромагнитное поле следует выбрать одночастотным с модуляцией по амплитуде, поскольку изменение структуры ферромагнитного материала приводит к изменению его нелинейных свойств, а изменение нелинейности ферромагнитного материала легко выявляется путем его перемагничивания модулированным по амплитуде электромагнитным полем.

При построении математических моделей многопараметрового контроля необходимо учитывать конструктивные особенности датчика и методологию определения обобщающей характеристики – коэффициента конструктивной чувствительности вихретокового преобразователя [4].

Список использованных источников

1. Далин М. А., Овчинников В. А. Ультразвуковой контроль качества соединения разнородных материалов в деталях сложной геометрии // Авиационные материалы и технологии. 2006. №1.

2. Губин М. Автоматизированное устройство неразрушающего контроля [Текст] / М. Губин // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2025. № 10 (252). – С.124-127.

3. Малушин Д.С. Многопараметровый контроль многослойных структур импульсным вихретоковым методом [Текст] Д.С. Малушин // Письма в журнал технической физики. 2019. Т. 45. № 15. С. 17-20.

4. Вебер В.А. Математическое моделирование многопараметрового контроля с учетом конструктивных особенностей вихретоковых преобразователей. [Текст] В.А. Вебер // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2019. Т. 11. № 4. С. 73-79.

Лаврова Лилиана Александровна, асп. гр. А2_02.05.09, lavrova.la@ssau.ru

Лавров Андрей Юрьевич, к.т.н., доцент каф. электротехники, lavrov.ayu@ssau.ru