

УДК 620.179.14 : 621.3.084 : 621.3.014.4 : 621.3.082.74

МОСТОВОЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ И АНАЛИЗ ЕГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

© 2016 Д.А. Ворох, А.И. Данилин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 15.11.2016

В статье рассматривается структурная схема экспериментальной установки для изучения основных свойств вихретокового преобразователя (ВТП). В качестве результатов исследования ВТП, представлены частотные характеристики ВТП при пяти различных зазорах между ВТП и объектом контроля (ОК). Анализ частотных характеристик выявил три основных рабочих области ВТП. В статье так же представлены зависимости выходного напряжения ВТП от зазора между ВТП и ОК при фиксированной частоте питающего напряжения. По результатам исследований сформулированы выводы. Ключевые слова: вихретоковый, многочастотный, ВТП, АЧХ, поверхностный слой, наклеп, упрочнение, зазор, индуктивность, сопротивление.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с развитием новых технологий формирования поверхностного модифицирования конструкционных материалов возрастает необходимость в оперативном неразрушающем контроле (НК) их параметров и характеристик. Решение подобных задач, позволяющих контролировать качество продукции без нарушения ее пригодности к использованию по назначению, базируется на использовании различных физических методов и средств, классифицируемых по ГОСТ 18353-73 МНК [1], как преобразователи, реализующие магнитные, электрические, радиоволновые, тепловые, оптические, радиационные, акустические и электромагнитные - вихретоковые методы.

Слой металла с измененными физико-механическими свойствами, структурой, фазовым и химическим составом называется поверхностным слоем. Эти изменения могут вноситься при механической обработке деталей, так как его поверхность и прилегающие слои металла подвергаются значительному воздействию переменных сил деформации и трения со стороны инструмента, неравномерному разогреванию до высоких температур и т.д. Одним из параметров состояния поверхностного слоя являются остаточные напряжения, которые можно сформировать, проведя, например, процедуру упрочнения (наклепа).

Деформационное упрочнение (наклеп) поверхностного слоя оценивается глубиной h_n , степенью U_n и градиентом наклепа $U_{гр}$. Определение этих параметров можно произвести, контролируя изменение микротвердости H_n по

Ворох Дмитрий Александрович, аспирант.

E-mail: fallout2s@yandex.ru

Данилин Александр Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры радиотехники. E-mail: aidan@ssau.ru

сечению детали, или рентгеноструктурным методом. Эти два метода, по сути, являются разрушающими вследствие того, что глубина наклепа может достигать 0,5 мм [2]. В первом случае для определения микротвердости подразумевается формирование косого среза на ОК, после чего с известным шагом по поверхности среза, вдавливаются индентор, затем по площади и глубине отпечатка оценивают микротвердость. Во втором случае происходит измерение ширины дифракционной линии и последующее удаление части поверхностного слоя электролитическим путем на известную глубину.

Указанные процедуры определения параметров твердости поверхностного слоя могут производиться только на входном или выходном контроле, но не в период эксплуатации детали.

Для решения задач оперативного НК можно применять ВТП. Известно [3], что глубина проникновения поля в поверхностный слой объекта контроля (ОК) зависит от частоты питающего ВТП напряжения. Таким образом, для определения параметров поверхностного упрочненного слоя по его глубине, необходимо менять частоту питающего напряжения ВТП в широких пределах. В данной статье исследуется мостовой ВТП, который, в отличие от ВТП абсолютного типа, обладает рядом преимуществ, подробно рассмотренным в [4]. Принципиальная схема мостового преобразователя представлена в [5]. Целью данной статьи является экспериментальное исследование частотных свойств мостового ВТП.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для экспериментального исследования частотных характеристик мостовых ВТП разработан и изготовлен лабораторный стенд, структурная схема которого представлена на рис. 1. Структурная схема содержит генератор качающейся

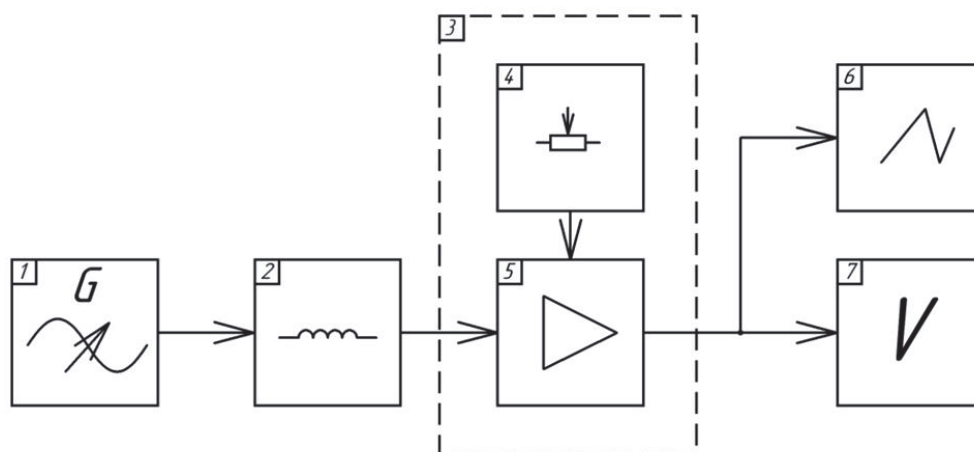


Рис.1. Структурная схема экспериментального стенда для исследования амплитудно-частотных характеристик ВТП

частоты 1, мостовой ВТП 2, дифференциальный амплитудный детектор 3, состоящий из блока коррекции 4 и усилителя-детектора 5, вольтметр постоянного тока 6 и осциллограф 7.

В конструкции стенда предусмотрена возможность установки ВТП на заданное расстояние относительно ОК, в качестве которого использовался лист фольгированного стеклотекстолита с толщиной медной фольги 0,35 мм. Экспериментальный образец ВТП содержит две обмотки по 15 и две обмотки по 14 витков провода ПЭЛ-0,3 для опорных и измерительных катушек, соответственно. Внутренний диаметр катушек равен 10 мм, внешний 18 мм, толщина катушек 1мм. Расстояние между опорными и измерительными катушками 12мм, экранирование катушек не применялось. Вид амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) ВТП, напяти различных зазорах

между информационными катушками ВТП и ОК, приведен на рис. 2.

Анализируя экспериментальные графики, на них можно выделить три характерных участка.

Области малой крутизны. Данные области находятся в разных частотных диапазонах. Первый диапазон (2...7) МГц. Второй диапазон принадлежит частотам (15...35) МГц. В этих частотных областях следует ожидать характеристику зависимости амплитуды выходного сигнала ВТП от зазора (рисунок 3), монотонной и с небольшой крутизной преобразования, что и подтверждается результатами эксперимента (рисунок 3).

Область частот вблизи значения 7,5 МГц, где зависимость выходного напряжения от зазора не существенно зависит от зазора

Область большой крутизны. Эта область находится в диапазоне частот (7,5...15) МГц. В данной

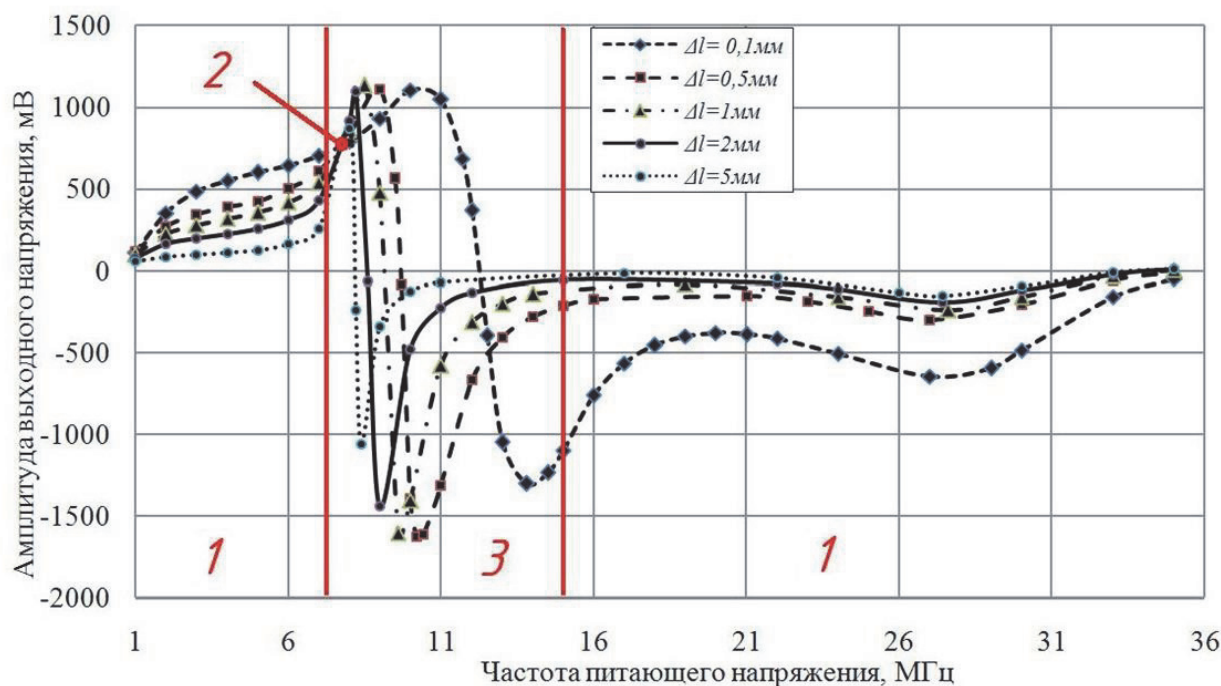


Рис. 2. Экспериментальные амплитудно-частотные характеристики ВТП

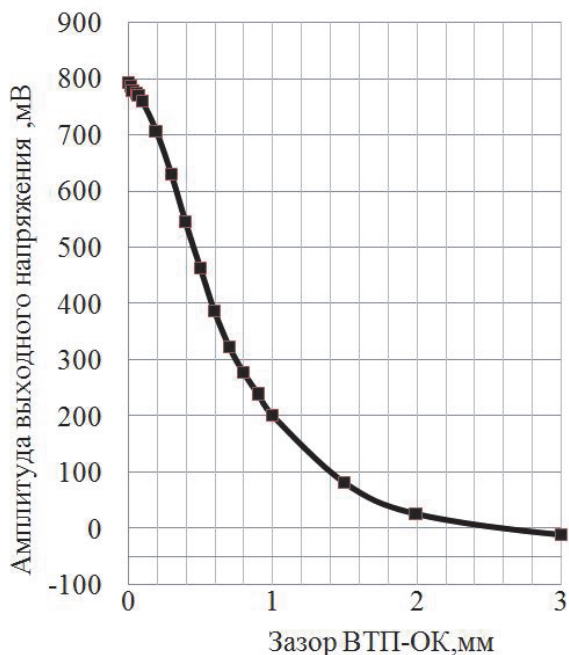


Рис. 3. Зависимость амплитуды выходного сигнала от зазора между ОК и ВТП в первой частотной области

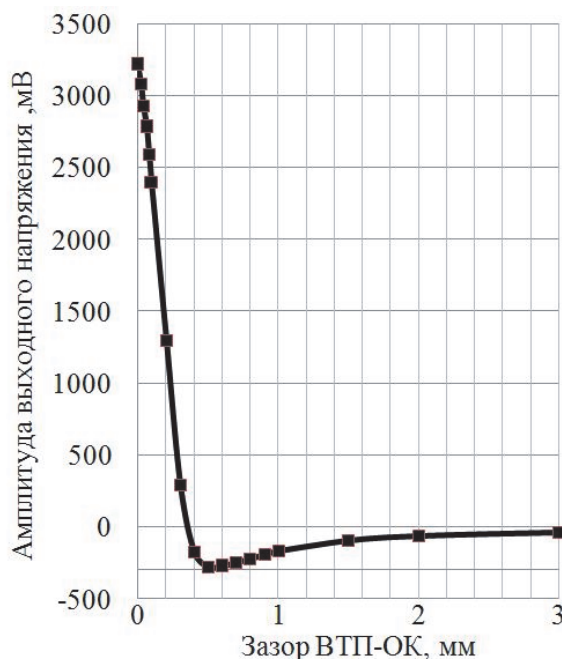


Рис. 4. Зависимость амплитуды выходного сигнала от зазора между ОК и ВТП в третьей частотной области

области частот прогнозируемая характеристика зависимости амплитуды от зазора должна иметь немонотонный вид и обладать достаточно большой крутизной, т.к. на данном участке происходит совместное влияние на амплитуду выходного напряжения частотных свойств цепи и текущего значения зазора, что также подтверждается результатами эксперимента (рис. 4). К недостаткам этой области можно отнести температурную нестабильность параметров индуктивного моста вследствие последующего изменения геометрических размеров катушек. Температурное влияние сопровождается появлением в выходном полезном сигнале напряжения смещения порядка 5% от максимального выходного напряжения при нулевом зазоре.

В рамках данной статьи предполагается, что ОК изменяет параметры ВТП двумя путями. Первый путь это изменение индуктивной составляющей катушки, то есть добавление к базовому значению индуктивности L1 и L4 некоторой добавки $\pm \Delta L$ [3]. Второй путь - это изменение активной составляющей катушки, то есть добавление к базовому значению сопротивлений обмоток L1 и L4 некоторой добавки ΔR , которая отражает потери энергии от протекания вихревых токов в поверхностном слое ОК [3].

ВЫВОДЫ

1. Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что существует сложная взаимосвязь между амплитудой выходного сигнала ВТП, частотой питающего напряжения ВТП и зазором между ВТП и ОК.

2. Изменение частот питающих напряжений ВТП, позволяет управлять крутизной преобразования величины зазора между измерительными обмотками и ОК в выходное напряжение преобразователя.

3. Эффект изменения крутизны преобразования иллюстрируется графиками, представленными на рисунках 3 и 4, когда протяженный участок зависимости «Амплитуда выходного сигнала – зазор» с низкой крутизной преобразования (рисунок 3), можно преобразовать в аналогичную зависимость с большей крутизной, но в меньшем диапазоне изменения зазоров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.
2. Митряев К.Ф. Повышение эксплуатационных свойств деталей путем регулирования состояния поверхностного слоя при механической обработке: Учебное пособие. Куйбышев: КуАИ, 1986. 91 с.
3. Горкунов Б.М., Тюпа И.В., Тищенко А.А. Выбор рациональных размеров катушек вихретокового преобразователя для контроля металлических изделий // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. 2008. № 2. С.26-32.
4. Мостовой вихретоковый преобразователь перемещения и его конструктивная компоновка / Д.А. Ворох, Я.А. Иванова, Е.А. Руденко, А.Н. Садыков // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы всероссийской научно-технической конференции. Самара, 2016. С. 73-76

5. Первичный преобразователь для реализации оптоэлектронного дискретно-фазового метода измерения деформаций лопаток турбомашин /

А.И. Данилин, В.А. Медников, А.Ж. Чернявский, А.С. Капустин // Известия Самарского научного центра РАН. 2003. Т. 5. № 2. С. 388-395.

EDDY CURRENT BRIDGE CONVERTER AND ANALYSIS OF ITS EXPERIMENTAL FREQUENCY CHARACTERISTICS

© 2016 D.A. Vorokh, A.I. Danilin

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The article deals with a block diagram of the experimental setup for the study of the basic properties of the eddy current transducer (ECT). As an ECT study results, it shows the frequency characteristics of the ECT at five different gaps between the ECT and the control object (CO). An analysis of the frequency characteristics identified three main working area of the ECT. Also in the article are presented depending on the output voltage ECT of the gap between the probe and the CO, at a fixed frequency of the supply voltage. According to the research conclusions are formulated.

Keywords: eddy current, multi-frequency, ECT, frequency response, surface layer hardening, hardening, gap inductance, resistance.

Dmitry Vorokh, Graduate Student.

E-mail: fallout2s @ yandex.ru

Alexander Danilin, Doctor of Technics, Professor at the Radio Engineering Department. E-mail: aidan@ssau.ru