

Ворох Д.А., Ковалкин Ю.П., Шадрин В.К., Шляпников П.А., Кузьмин П.И.

БЕСКОНТАКТНЫЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ УПРОЧНЁННОГО СЛОЯ ПОСЛЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вихретоковый метод контроля основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля (ОК) этим полем.

Метод отличается наличием возможности бесконтактного контроля и способностью поля датчика проникать под поверхность и контролировать подповерхностные дефекты и структуру металла.

Обобщённая структурная схема взаимодействия ОК и вихретокового преобразователя (ВТП) [1, 2] представлена на рис. 1.

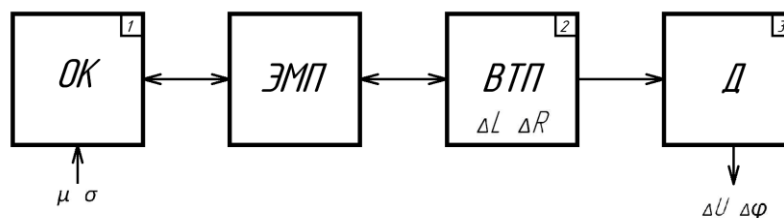


Рис. 1. Обобщённая структурная схема взаимодействия ОК и ВТП

Входными параметрами, которые впоследствии оцениваются, являются магнитная проницаемость μ и проводимость σ ОК. Выходными параметрами системы являются приращение выходного напряжения ΔU и приращение фазы выходного напряжения $\Delta \varphi$, снимаемые с детектора (Д). ОК и ВТП взаимодействуют через электромагнитное поле (ЭМП).

В общем случае работа вихретокового метода при определении параметров металлической поверхности состоит в следующем. На обмотки ВТП подаётся переменное напряжение известной частоты и амплитуды, в результате взаимодействия поля ВТП и близкорасположенного ОК (не более радиуса измерительной катушки ВТП) в ОК наводятся вихревые токи, далее эти токи в пространстве возбуждают вторичное электромагнитное поле. После взаимодействия поля катушки и вторичного электромагнитного поля ОК электрические параметры ВТП изменяются [3,4]. Изменение внесённого сопротивления ΔR обусловлено изменением проводимости ОК, а изменение внесённой индуктивности ΔL обусловлено изменением магнитной проницаемости ОК.

Вихревые токи протекают не только по поверхности ОК, но и в его толще. И чем ниже частота питающего напряжения и меньше магнитная проницаемость ОК, тем глубже

поле проникает в исследуемый образец. На этом эффекте основана дефектоскопия, например, сварных швов металлоконструкций. В этом случае можно обнаружить под поверхностью ОК полости или иные объёмные инородные образования.

Также на этом эффекте построена и структуроскопия металлических поверхностей. Для определения параметров поверхностного слоя по его глубине (например, твёрдости, глубины упрочнённого слоя и т.д.) необходимо менять частоту питающего напряжения ВТП в широких пределах. На рис. 2 представлен один из вариантов измерительной установки для определения внутренних напряжений в приповерхностном слое металла, например, после термохимической обработки. В качестве первичного преобразователя используется мостовой ВТП, сигнал с которого детектируется синхронным детектором [5,6]. В зависимости от исследуемых металлов и используемых частот питающих напряжений возможно исследовать слои до единиц миллиметров с шагом в десятки микрометров.

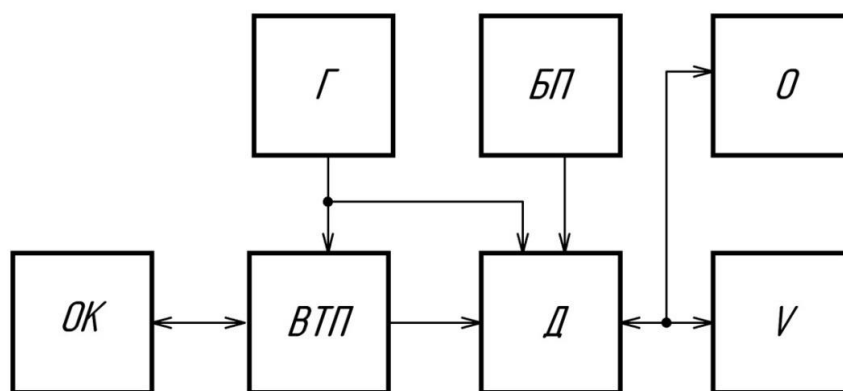


Рис. 2. Структурная схема установки:

ОК – объект контроля; БП – блок питания, SPD76303;

ВТП – вихретоковый преобразователь; Д – детектор; О – осциллограф, OWONDS8302;

V – вольтметр, В7–16А; Г – генератор, OWONAG2052

Для проверки предложенного метода был исследован модельный образец с глубиной упрочнённого слоя 25 мкм. Фотография поперечного среза образца и результаты обработки экспериментальных данных представлены на рис. 3, где h – глубина поверхностного слоя.

Образец из стали 12Х18Н9Т подвергался азотированию при температуре 510 °С в течение 112 часов. В качестве карбюризатора в печь подавался газ аммиак. В результате термообработки в поверхностном слое образца образовалась плотная кристаллическая структура.

Анализируя экспериментальные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), можно отметить, что на участке глубин от 140 до 70 мкм не происходит изменений (кроме статических) выходного напряжения ВТП. На участке от 70 до 30 мкм происходят

выраженные изменения выходного напряжения, что свидетельствует об изменениях электрических свойств, происходящих в поверхностном слое металла.

Таким образом, применение вихретокового метода позволит контролировать качество изготовления металлических элементов.

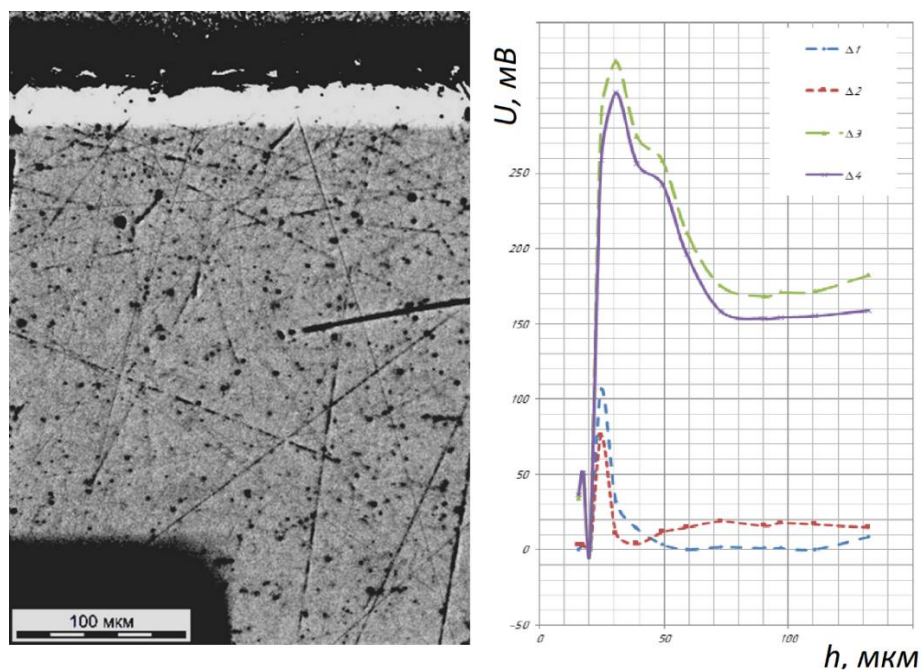


Рис. 3. Модельный образец и результаты обработки АЧХ ВТП

Библиографический список

1. Иванова, Я.А. Мостовой вихретоковый преобразователь перемещения и его конструктивная компоновка [Текст] / Я.А. Иванова, Е.А. Руденко, А.Н. Садыков, Д.А. Ворох // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: матер. Всерос. науч.-техн. конф. – Самара: ООО «Офорт», 2016. – С. 73-76.
2. Данилин, А.И. Первичный преобразователь для реализации оптоэлектронного дискретнофазового метода измерения деформаций лопаток турбомашин [Текст] / А.И. Данилин, В.А. Медников, А.Ж. Чернявский, А.С. Капустин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2003. – Т. 5. – №2. – С. 388-395.
3. Данилин, А.И. Анализ частотных характеристик мостового вихретокового преобразователя перемещения [Текст] / А.И. Данилин, Д.А. Ворох // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: матер. Всерос. науч.-техн. конф. – Самара: ООО «Офорт», 2016. – С. 77-80.
4. Ворох, Д.А. Мостовой вихретоковый преобразователь и анализ его экспериментальных частотных характеристик [Текст] / Д.А. Ворох, А.И. Данилин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т. 18. – № 4 (6). – С. 1268-1271.
5. Ворох, Д.А. Синхронный детектор для мостового вихретокового преобразователя [Текст] / Д.А. Ворох, А.И. Данилин, У.В. Бояркина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2017. – Т.19. – № 4. – С. 167-170.
6. Ворох, Д.А. Математическая модель синхронного детектора для мостового вихретокового преобразователя [Текст] / Д.А. Ворох, А.И. Данилин, Е.Е. Дудкина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2018. – Т. 20. – № 6 (2). – С. 391-394.