

ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЛЕГКОСПЛАВНЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ: АНАЛИЗ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ

В.Ю. Белянков, А.Е. Гольдштейн

*Томский политехнический университет, г. Томск
Научный руководитель: Гольдштейн А.Е., д.т.н., профессор кафедры
физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

Одной из важных задач контроля, эффективно решаемой с использованием накладных ВТП, является измерение толщины стенки труб из электропроводящих немагнитных материалов, а также толщины диэлектрических покрытий этих труб либо воздушного зазора между ВТП и поверхностью трубы [1, 2].

Достоинствами накладных преобразователей являются их универсальность, возможность контроля объектов плоской, цилиндрической, и сложной форм с односторонним доступом к объекту контроля, локальность, позволяющая обеспечить высокую разрешающую способность и точно определить зону дефекта при сканировании поверхности объекта контроля [3].

Применительно к рассматриваемой задаче взаимодействия магнитного поля накладного ВТП с электропроводящей трубой использование метода конечных элементов (МКЭ) позволяет осуществить анализ влияния на выходной сигнал преобразователя не только удельной электрической проводимости материала σ , толщины стенки T и наружного диаметра трубы D , зазора между ВТП и поверхностью трубы y , но, в отличие от упомянутых аналитических моделей, и анализ влияния линейной x и угловой α несоосностей ВТП и трубы, неодинаковости толщины и наличия локальных утонений стенки трубы. В качестве объекта контроля рассматривалась широко распространенная бурильная труба из немагнитного материала с номинальным наружным диаметром $D = 147$ мм. Частота тока возбуждения принималась равной 100 Гц.

На рис. 1, *а* схематично показана конструкция накладного трансформаторного ВТП, обычно используемого для контроля толщины стенки немагнитных электропроводящих изделий [1, 3, 4]. На рис. 1, *б* приведены полученные численным моделированием годографы относительного вносимого напряжения ВТП от изменения толщины стенки трубы (сплошная линия) и зазора (пунктирная линия). Ромбовидными точками показаны результаты эксперимента. Анализ зависимостей рис. 1, *б* показывает, что результаты компьютерного и физического моделирования в данном диапазоне изменений влияющих параметров от-

личаются не более чем на 3 %, что говорит об их достаточно высокой адекватности.

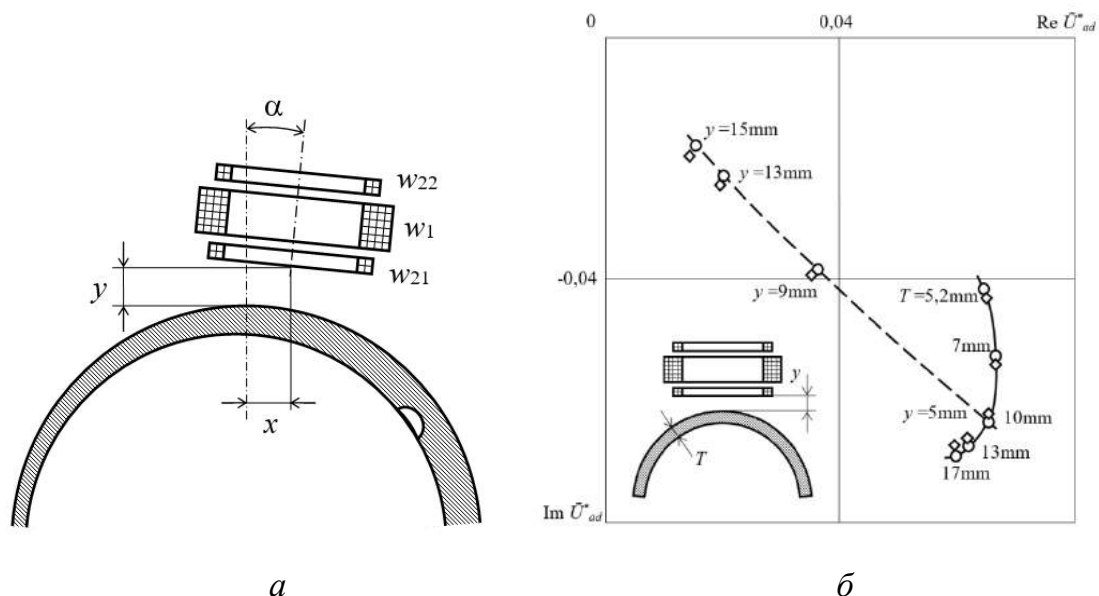


Рис. 1. Накладной ВТП, находящийся во взаимодействии с электропроводящей трубой (а) и расчетные (○) и экспериментальные (◇) зависимости относительного вносимого напряжения ВТП от изменения толщины стенки трубы T и зазора y (б)

На рис. 2, а приведены полученные численным моделированием при других значениях влияющих параметров годографы относительного вносимого напряжения ВТП от изменения толщины стенки трубы T , зазора y и удельной электропроводности материала σ . Качественно эти результаты совпадают с результатами, получаемыми при использовании аналитической модели [3]. Количественное расхождение в исследуемом диапазоне изменений влияющих параметров не превышает 7 %.

На рис. 2, б приведены результаты численного моделирования влияния на сигнал накладного ВТП кривизны поверхности объекта контроля. Пунктирной линией показан годограф от изменения зазора y для случая плоской поверхности. Сплошными линиями показаны годографы от изменения радиуса кривизны R в диапазонах (50...∞) мм и (−∞...−73) мм. При этом положительные значения радиуса соответствуют выпуклой поверхности (наружная поверхность трубы), а отрицательные значения радиуса – вогнутой поверхности (внутренняя поверхность трубы).

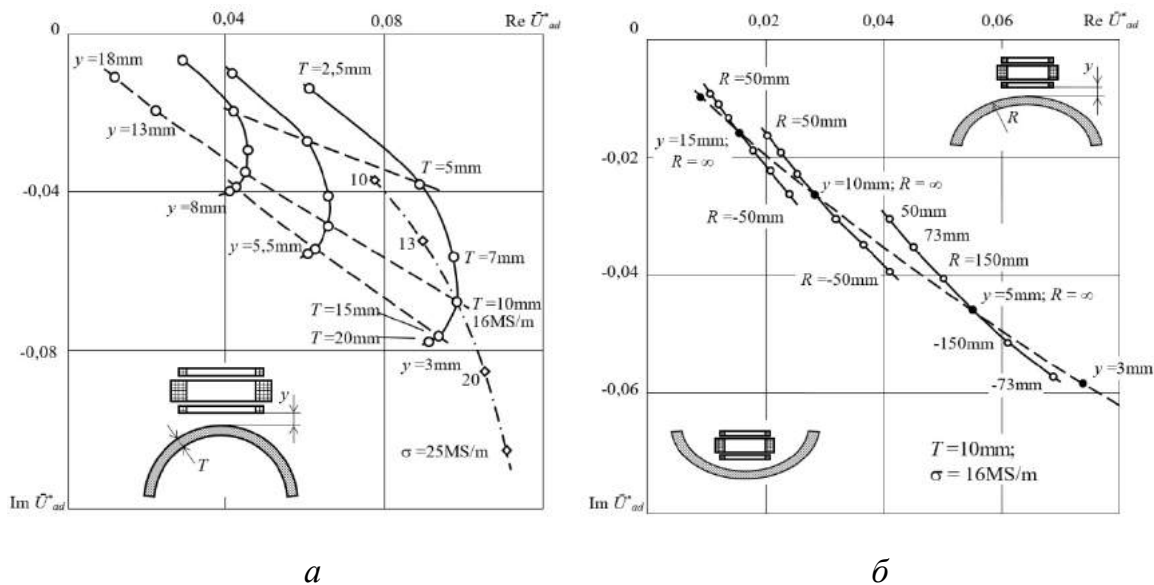


Рис. 2. Годографы относительного вносимого напряжения ВТП от изменения толщины стенки трубы T , зазора y и удельной электропроводности материала σ (а) и от изменения зазора и радиуса кривизны поверхности объекта контроля (б)

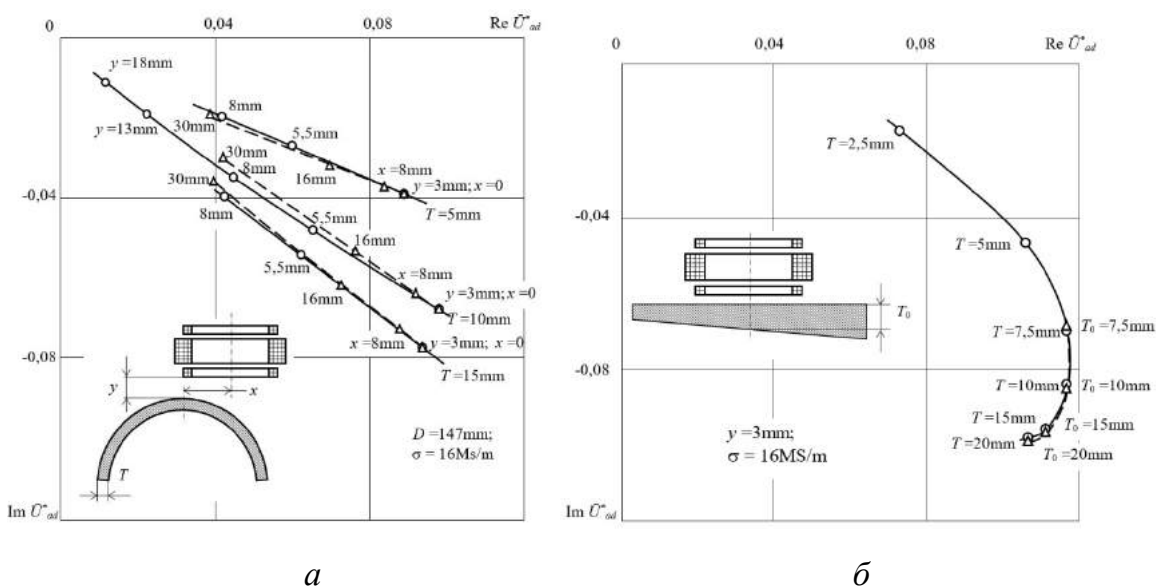


Рис. 3. Годографы относительного вносимого напряжения ВТП от смещения его продольной оси относительно поперечной оси трубы (а) и от изменения толщины плоского объекта (сплошная линия) и объекта клиновидной формы в нормальном сечении (пунктирная линия) (б)

На рис. 3, а приведены результаты численного моделирования влияния на сигнал накладного ВТП смещения x продольной оси ВТП относительно поперечной оси трубы. Пунктирными линиями показаны годографы от изменения x для трех значений толщины T трубы, а

сплошными – годографы от изменения зазора u для этих же значений толщины. Анализ результатов моделирования показывает, что годографы от смещения x представляют собой близкие к прямым линии, практически совпадающие с годографами от изменения зазора u . На рис. 3, б приведен годограф относительного вносимого напряжения ВТП от изменения толщины объекта клиновидной формы в нормальном сечении (пунктирная линия), практически полностью совпадающий с годографом от изменения толщины плоского объекта (сплошная линия). Отсюда следует, что сигнал ВТП при его расположении над объектом с данным характером изменения толщины и значением толщины стенки T_0 на продольной оси преобразователя, соответствует сигналу ВТП, расположенному над плоским объектом с толщиной стенки T_0 .

Для моделирования взаимодействия магнитного поля накладного ВТП с электропроводящим объектом контроля в случаях сложных форм объекта и обмоток преобразователя либо несимметричном расположении преобразователя относительно объекта эффективными являются методы численного моделирования и, в частности, метод конечных элементов. Проанализировано влияние на сигнал ВТП основных влияющих факторов: толщины стенки трубы, зазора между преобразователем и поверхностью трубы, электропроводности материала, кривизны стенки трубы, наличия участков с плавным изменением толщины клиновидного характера, поперечного смещения оси преобразователя. Полученные результаты играют большую роль для интерпретации изменений сигнала вихретокового преобразователя толщины и отстройки от влияния указанных мешающих факторов при создании систем неразрушающего контроля толщины электропроводящих немагнитных изделий.

Список информационных источников

1. Songling H, Shen W. *New Technologies in Electromagnetic Nondestructive Testing*. – Springer Singapore, 2016. – 221 p.
2. Шубочкин А.Е. Развитие и современное состояние вихретокового метода неразрушающего контроля: монография. – М.: Издательский дом «Спектр», 2014. – 288 с.
3. Неразрушающий контроль. Справочник под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.
4. Sandovskii V. Measurements of the thickness and electrical conductivity of nonmagnetic plates by an eddy-current method // *Measurement Techniques*, 2013. – Vol. 55. – No. 10. – pp. 1201–1208.