

## БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ

© 2025 г. **Вадим Николаевич Перов<sup>1\*</sup>, В.Н. Костин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> – *Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, 620108 Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 18*

\* - [perovadim22@gmail.com](mailto:perovadim22@gmail.com)

Измерение магнитострикции и магнитострикционных параметров ферромагнитных материалов не теряет своей актуальности. Магнитострикция определяет эффективность электромагнитно-акустического преобразования [1] и лежит в основе формирования низкочастотной области спектра колебаний магнитоакустической эмиссии.

В настоящее время развивается электромагнитно-акустическая дефектоскопия, соответственно, актуальным является определение магнитострикционных параметров реальных и объемных ферромагнитных объектов, которые применяются в промышленности, например, стальные трубы и рельсы. Кроме того, измерение упругих колебаний, возникающих при перемагничивании, необходимо и полезно для применения при структуроскопии ферромагнитных материалов.

Для отработки методики бесконтактного измерения магнитострикционных характеристик [2] были выбраны образцы, изготовленные из трубных сталей разных марок и вырезанные из магистральных трубопроводов диаметром 1420 и 1020 мм. Конечные размеры всех образцов составили 85×6×4 мм. Дополнительно была произведена обработка торцевых поверхностей образцов.

Для измерения упругих колебаний, возникающих при перемагничивании, образцы закреплялись в держателе из дюралюминия и латуни, позволяющем зажимать образцы с помощью двух винтов с упором одной из торцевых поверхностей образца. Закрепленный образец помещался в соленоид с исключением контакта между держателем и стенками соленоида. Бесконтактное измерение магнитострикционного изменения размеров образцов производилось с помощью лазерного сканирующего виброметра PSV-500-NV (Polytec GmbH, Германия). Лазерный луч виброметра направлялся на свободную торцевую поверхность образца и производилась настройка и фокусировка луча лазера. Измерение колебаний осуществляли в режиме быстрого преобразования Фурье с регистрацией спектра колебаний в полосе частот от 4 до 10 Гц.

Переменное магнитное поле  $H_r$  соленоида изменялось по синусоидальному закону с частотой  $f_r = 4,5$  Гц, выбор такой частоты объясняется необходимостью получения наибольшей амплитуды магнитострикционных колебаний [3]. Измерения проводили в неоднородном поле, так как область однородного поля составляла не более 0,5 см.

Напряженность переменного магнитного поля изменялась в диапазоне от 700 до 15500 А/м.

На рис. 1 приведены полученные полевые зависимости магнитострикционного изменения размеров образцов из трубных сталей.

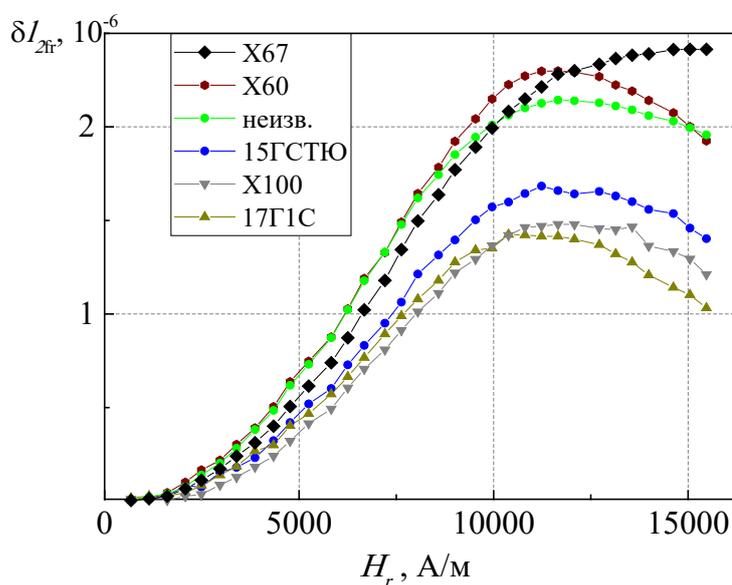


Рис. 1. Полевые зависимости амплитуды изменения размеров образцов  $\delta l_{2fr}$  трубных сталей различного химического состава, измеренные с помощью лазерного виброметра

Как следует из рис. 1, максимальные амплитуды изменения размеров образцов при перемагничивании находятся в диапазоне  $H_r$  от 11 до 12 кА/м, исключение составляет образец класса X67, который и к  $H_r > 15$  кА/м не достигает своего насыщения. Похожее поведение зависимости наблюдалось и для других сталей, в частности 09Г2 [2], что вероятно связано со скин-эффектом и малой областью однородности магнитного поля.

Исследуемые стали имеют схожие химические составы, с добавлением кремния и марганца в различном количестве ( $\sim 0,3$  и  $1,5$  % соответственно), для образцов класса X67 и X60 характерно большее количества никеля ( $\sim 0,5$  %) по сравнению с другими сталями.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИФМ УрО РАН и молодежного научного проекта ИФМ УрО РАН № М8-24.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wang P., Li Y., Yao E., Chady T., Shi Y., Han F. Method of measuring the mechanical properties of ferromagnetic materials based on magnetostriction EMAT and sound velocity // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2022. V. 555, No. 7. P. 169375.
2. Сербин Е.Д., Перов В.Н., Костин В.Н. Бесконтактное измерение динамических магнитострикционных параметров ферромагнетиков // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. 2023. № 6. С. 121–131.
3. Костин В.Н., Филатенков Д.Ю., Чекакина Ю.А., Василенко О.Н., Сербин Е.Д. Особенности возбуждения и регистрации магнитоакустической эмиссии в ферромагнитных объектах // Акустический журнал. 2017. Т. 63. № 2. С. 209–216.