

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОХОДНОГО ЭМА-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН

© 2021 г. О.В. Муравьева^{1,2*}, Ю.В. Мышкин^{1*}, Александр Александрович Наговицын^{1*}

¹ – ФГБОУ ВО Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 426069 Ижевск, Студенческая, 7

² – ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН, 426067 Ижевск, им. Татьяны Барамзиной, 34
*pmkk@istu.ru

Возможности повышения эффективности электромагнитно-акустических (ЭМА)-преобразователей связаны, как правило, с увеличением поля внешнего подмагничивания, силы тока высокочастотного индуктора, оптимизации конструкции за счет минимизации зазоров. В случае ЭМА-преобразователя продольных волн появляется возможность повышения эффективности за счет дополнительного воздействия магнитным полем, создаваемым импульсным током индуктора. При этом принципиальным является направление действия тока, создающее синфазное или противофазное магнитное поле по отношению к внешнему полю подмагничивания.

Исследования влияния направления тока высокочастотного индуктора на эффективность ЭМА-преобразования проведены с использованием методов численного моделирования в программной среде Comsol Multyphysics согласно методике, представленной в работе [1]. Исследовались магнитные поля системы постоянных магнитов и поля вихревых токов проходного ЭМА-преобразователя продольных волн радиальных направлений по сечению стержня стали 40X с различными магнитными свойствами (после закалки и низкотемпературного 150⁰С и высокотемпературного 600⁰С отпуска). Импульс тока намагничивания представлен однополярным (положительным и отрицательным) импульсом с основной частотой в спектре 2,5 МГц, током в индукторе 30 А и количеством витков, равным 10.

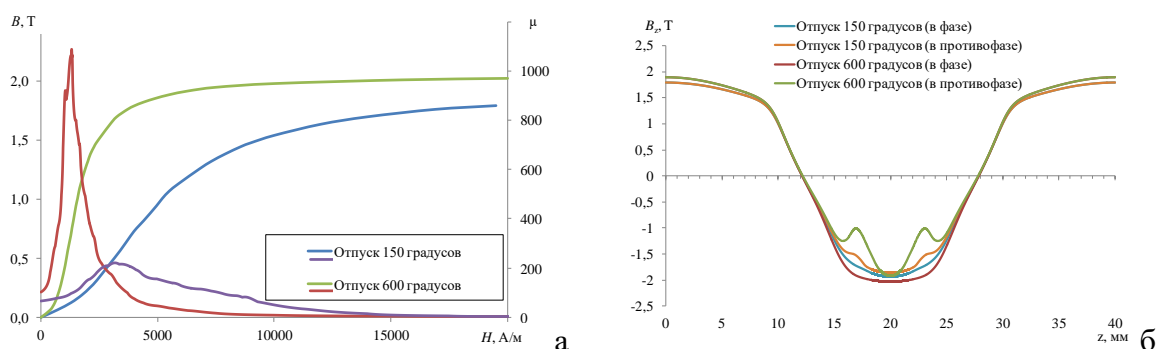


Рисунок 1 Кривые намагничивания и магнитной проницаемости для стали 40X с разной термообработкой (а), распределение осевой составляющей магнитной индукции по образующей прутка в момент достижения максимума тока намагничивания (б)

Результаты моделирования магнитного поля, формируемого системой постоянного намагничивания представлены на рисунке 1,б. Видно, что система доводит объект

практически до насыщения, при этом противофазное включение индуктора сохраняет распределение постоянного магнитного поля, а синфазное включение ведет к формированию существенной неоднородности по краям магнитной системы. На распределение плотности вихревых токов по глубине и вдоль оси в момент достижения максимума тока намагничивания (рис.2) существенно влияет как магнитные свойства стали, так и направление включения. Имеет место уменьшение скин-слоя при противофазном включении полей особенно в случае высокого отпуска, что является следствием действия силы на проводник с вихревым током в магнитном поле, смещающий его ближе к поверхности, тем самым увеличивая плотность тока. Имеют место краевые эффекты локального увеличения плотности тока, наиболее явно проявляющиеся для стали с высоким отпуском при встречном включении полей. Результаты моделирования показывают, что эффективность ЭМА-преобразования, определяемая произведением плотности вихревых токов и поля подмагничивания может существенно меняться для сталей с высокой магнитной проницаемостью при противофазном включении постоянного и переменного магнитных полей.

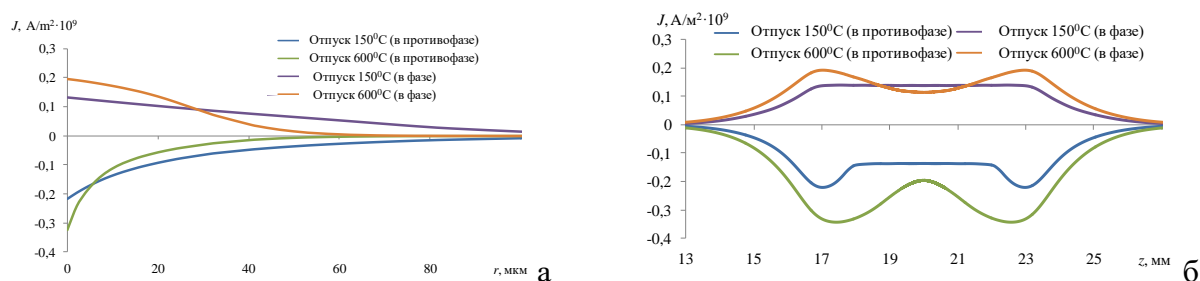


Рисунок 2 Распределение плотности вихревых токов по глубине (а), вдоль оси (б) в момент достижения максимума тока намагничивания (б)

Результаты моделирования подтверждены экспериментально с использованием зеркально-теневого метода многократных отражений [2]. Оценки амплитуд полученных сигналов при синфазном и противофазном подключении показывают, что для стали 40Х с после термообработки (закалка в масле, отпуск 570 °С, 1 час) амплитуда сигнала возросла на 29% (с 42 мВ при сонаправленном включении полей до 59 мВ при встречном включении полей); для стали после закалки и низкого отпуска (220 °С) амплитуда увеличилась на 9%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров К.В. Моделирование магнитных, электрических и акустических полей проходного преобразователя для контроля цилиндрических объектов / К.В. Петров, О.В. Муравьева, Ю.В Мышкин, А.Ф. Башарова // Дефектоскопия. – 2019. – № 2. – С. 16-24.
2. Стрижак, В.А. Аппаратно-программный комплекс контроля прутков зеркально-теневым методом на многократных отражениях / В.А. Стрижак, А.В. Пряхин, Р.Р. Хасанов и др. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. - 2017. - Т. 60. - № 6. - С. 565-571.