

УДК 620.179.14

А. В. Шилов, В. А. Новиков, д-р техн. наук, проф., А. В. Кушнер

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ИНДИКАТОРНЫХ РИСУНКОВ ДЕФЕКТОВ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИХ ПОЛЕЙ НА МАГНИТНОЙ ПЛЕНКЕ В ПРИЛОЖЕННОМ ПОЛЕ

Рассмотрены вопросы количественной оценки индикаторных рисунков дефектов различного типа и вида на визуализирующей магнитные поля пленке при магнитном контроле ферромагнитных объектов в приложенном поле. Предложено в качестве информационного параметра использовать ширину сигнала, обусловленного дефектом.

В [1] впервые описаны возможности магнитной пленки, визуализирующей магнитные поля, при дефектоскопии ферромагнитных объектов. Показано, что на пленку записываются как тангенциальная, так и нормальная составляющие полей дефектов и отчетливо наблюдаются индикаторные рисунки несплошностей различного типа и вида. Характер индикаторных рисунков зависит от способа намагничивания. Крупные протяженные внутренние дефекты могут быть обнаружены, даже если индикаторная пленка находится на расстоянии 4...5 мм от поверхности объекта. Минимальное раскрытие уверенно обнаруживаемых трещин составляет 1...2 мкм [2].

По появлению индикаторных рисунков на магнитной пленке можно установить наличие дефектов в изделии, однако сложно количественно оценить их параметры. Поэтому в [3] исследовано влияние предварительной подготовки магнитной пленки, параметров несплошностей и условий контроля на количественные характеристики индикаторных рисунков. Установлена зависимость численных значений интенсивности окраски магнитной пленки, визуализирующей поле, от ее предварительной подготовки и напряженности действующего на нее намагничивающего поля. Рассмотрены вопросы количественной оценки индикаторных рисунков дефектов различного типа и вида при контроле на остаточной намагниченности

с визуализацией их полей.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния параметров дефектов и условий контроля на количественные характеристики индикаторных рисунков дефектов на пленке, визуализирующей магнитные поля, при контроле в приложенном поле.

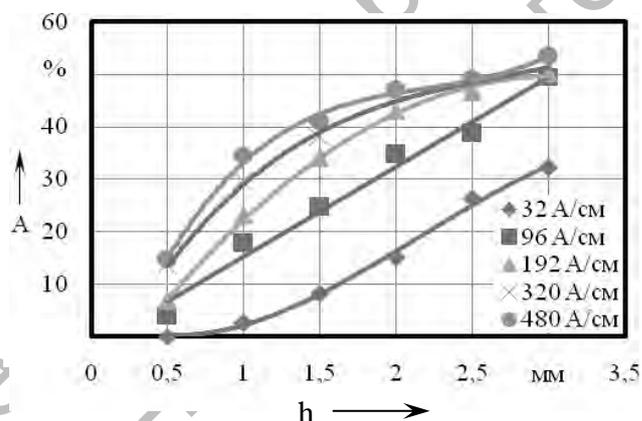
Для исследования влияния параметров дефектов на количественные характеристики индикаторных рисунков дефектов на пленке использовали образцы из стали Ст3. Влияние глубины дефектов наружной и внутренней поверхностей на количественные характеристики индикаторных рисунков дефектов на пленке исследовали на образцах в виде стальной пластины размерами 180×80×8 мм с профрезерованными канавками шириной 0,8 мм, глубиной от 0,5 до 3 мм с шагом 0,5 мм. Влияние ширины дефекта на изображение, получаемое на пленке, определяли при помощи образцов размерами 180×80×6 мм с протяженными дефектами сплошности глубиной 3 мм, шириной 1,5...3,5 мм с шагом 0,5 мм. Влияние глубины залегания несплошности на количественные характеристики индикаторных рисунков исследовали на образце из стали Ст3 толщиной 25 мм со сквозными отверстиями диаметром 2,5 мм, расположенными на расстоянии 2,5; 7,5; 12,5; 17,5 и 22,5 мм от исследуемой поверхности. Намагничивание осуществляли электромагнитом с П-образным сердечником, подключенным к источнику

тока ВСА-5К. Для получения снимков индикаторных рисунков на пленке использовали цифровой фотоаппарат.

Исследование влияния глубины дефекта и условий контроля на количественные характеристики индикаторных рисунков дефектов на пленке, визуализирующей магнитные поля, при контроле в приложенном поле осуществляли следующим образом: сначала устанавливали необходимый режим намагничивания, после отключения тока в катушке электромагнита на электромагнит укладывали образец вместе с пленкой, включали ток, а затем фотографировали в приложенном поле изображение индикаторных рисунков от дефектов. Цифровой фотоаппарат был закреплен в штативе над образцом с уложенной на его поверхность пленкой. Из получен-

ного изображения индикаторного рисунка дефекта на пленке попиксельно считывали в файл значения интенсивности для зеленого цвета [3]. Зависимость размаха сигнала, обусловленного дефектом, кривой распределения усредненных значений интенсивности по ширине пленки (далее – размах сигнала) от глубины дефекта внутренней поверхности для различных режимов намагничивания приведены на рис. 1, а. Из рисунка видно, что графики указанных зависимостей монотонно возрастают с увеличением глубины несплошности, причем при малых режимах намагничивания (до 96 А/см) крутизна кривых увеличивается с ростом глубины несплошности, при $H = 96$ А/см – остается постоянной, а при более высоких – уменьшается при возрастании H .

а)



б)

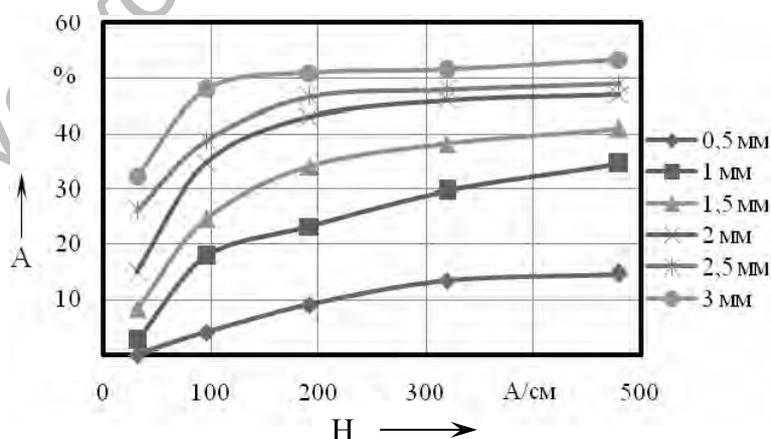


Рис. 1. Зависимости размаха сигнала, обусловленного дефектом внутренней поверхности, от глубины дефекта (а) и от напряженности внешнего поля (б) для дефектов глубиной 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 мм

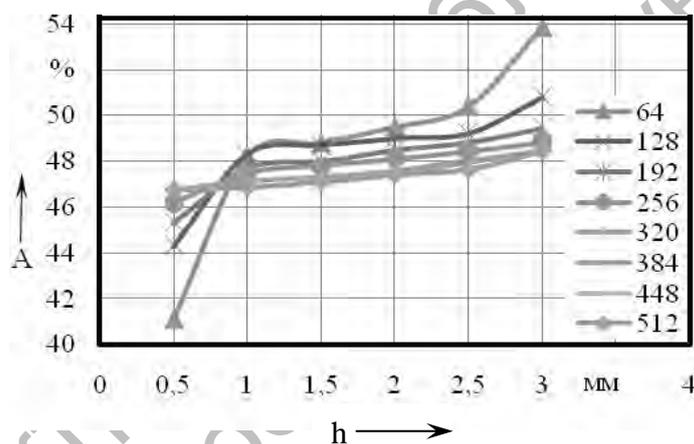
Зависимости размаха сигнала, обусловленного дефектом внутренней поверхности образца, от напряженности намагничивающего поля, построенные для несплошностей различной глубины, представлены на рис. 1, б.

Из рисунка видно, что с увеличением напряженности поля размах сигнала сначала возрастает, а затем стабилизируется, причем чем больше глубина несплошности, тем при меньшей напряженности поля происходит стабилизация размаха сигнала. Дефекту большей глубины соответствует больший размах сигнала.

Зависимость размаха сигнала, обу-

словленного дефектом наружной поверхности, от его глубины для различных режимов намагничивания приведены на рис. 2, а. Из рисунка видно, что размах сигнала незначительно возрастает практически по линейному закону с ростом глубины дефекта при напряженности поля ($192 \text{ А/см} \leq H \leq 512 \text{ А/см}$). При этом величина напряженности намагничивающего поля незначительно влияет на размах полезного сигнала. При низких режимах намагничивания резкий рост размаха сигнала наблюдается при глубине несплошности 0,5 и 1 мм, а также при $h > 2,5 \text{ мм}$.

а)



б)

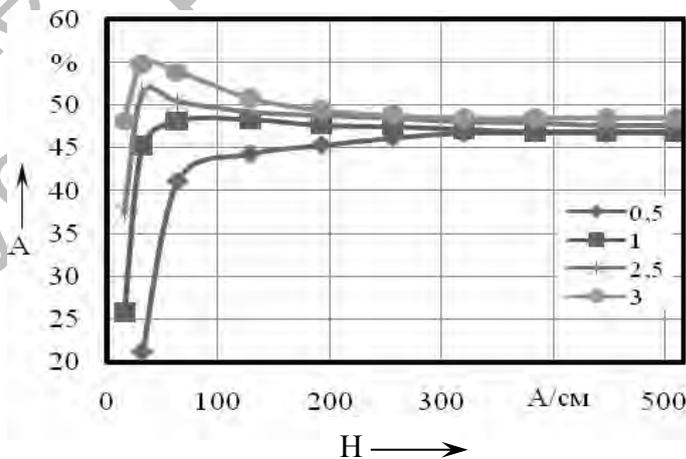


Рис. 2. Зависимости размаха сигнала, обусловленного дефектом наружной поверхности, от его глубины для различных режимов намагничивания (а) и от напряженности намагничивающего поля для дефектов глубиной 0,5; 1; 2,5; 3 мм (б)

На рис. 2, б приведены зависимости размаха сигнала, обусловленного дефектом, от напряженности намагничивающего поля. Из рисунка видно, что размах сигнала сначала круто возрастает, а при напряженности поля более 300 А/см – остается практически постоянным и мало зависит от глубины дефекта.

При исследовании сигналограмм, обусловленных дефектами, было высказано предположение, что в качестве информативного параметра можно использовать не только размах сигнала от

дефекта, но и его ширину (далее – ширина сигнала, обусловленного дефектом). Зависимость ширины сигнала x , обусловленного дефектом наружной поверхности, от глубины несплошности при различных режимах намагничивания приведена на рис. 3. Из рисунка видно, что с увеличением глубины дефекта ширина сигнала сначала увеличивается, а затем, достигнув своего максимума, уменьшается. Кривые тем раньше достигают максимума, чем меньше глубина дефекта.

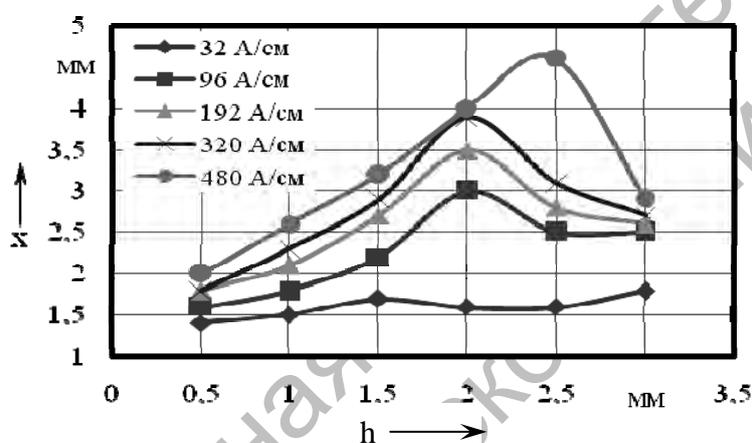


Рис. 3. Зависимость ширины сигнала x от глубины дефекта наружной поверхности: $H = 32; 96; 192; 320; 480$ А/см

Исследование влияния ширины дефекта внутренней поверхности на размах обусловленного им сигнала, получаемого на пленке, проводили на об-

разцах с профрезерованными канавками разной ширины, но одинаковой глубины. Результаты исследований иллюстрирует рис. 4.

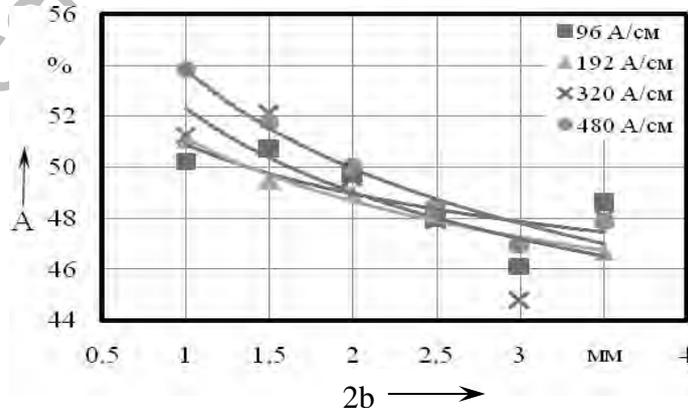


Рис. 4. Зависимости размаха сигнала, обусловленного дефектом внутренней поверхности, от его ширины для режимов намагничивания: $H = 96; 192; 320; 480$ А/см

Исследования показали, что при низких напряжениях намагничивающего поля зависимость размаха сигнала от ширины несплошности внутренней поверхности при толщине образца 6 мм немонотонна. В диапазоне режимов намагничивания $192 \text{ A/cm} \leq H \leq 480 \text{ A/cm}$ с ростом ширины дефекта происходит резкий спад размаха сигнала.

На рис. 5 показан график зависимости ширины сигнала x , обусловленного дефектом внутренней поверхности, от ширины дефекта для различных режимов намагничивания. Из рисунка видно, что происходит практически линейный рост ширины x сигнала с увеличением раскрытия несплошности $2b$.

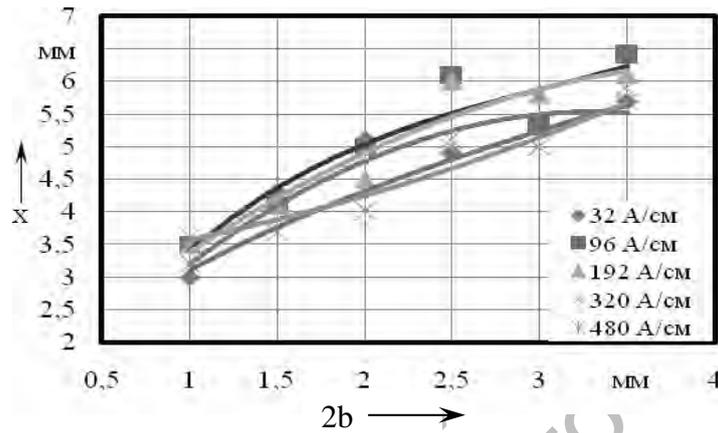


Рис. 5. Зависимость ширины сигнала, обусловленного дефектом, от ширины несплошности внутренней поверхности образца: $H = 32; 96; 192; 320; 480 \text{ A/cm}$

На рис. 6 изображены зависимости размаха сигнала, обусловленного дефектом наружной поверхности, от напряженности намагничивающего поля для дефектов различной ширины. Из рисунка видно, что с ростом напряженности намагничивающего поля проис-

ходит вначале увеличение размаха сигнала, а затем плавное его уменьшение и стабилизация. Большому дефекту соответствует больший размах сигнала. Чем больше ширина несплошности, тем при большей напряженности поля сигнал достигает максимального значения.

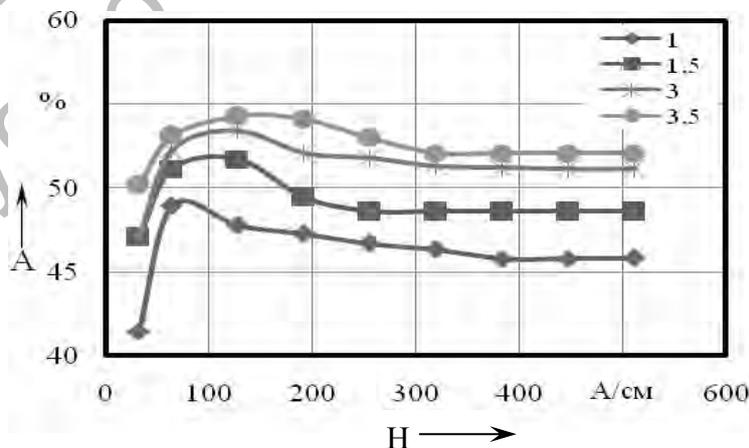


Рис. 6. Зависимости размаха сигнала, обусловленного дефектом наружной поверхности, от напряженности намагничивающего поля

Зависимости ширины сигнала x , обусловленного дефектом наружной поверхности, от ширины дефекта при различных значениях напряженности намагничивающего поля представлены

на рис. 7. Из рисунка видно, что с увеличением ширины дефекта происходит монотонное возрастание x . Ширина сигнала мало зависит от режима намагничивания.

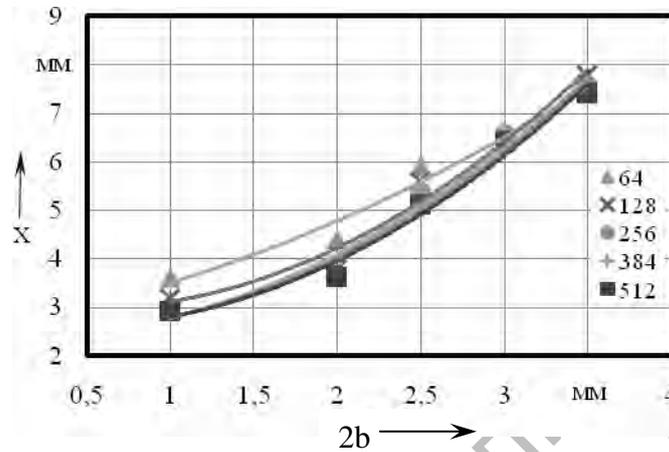


Рис. 7. Зависимости ширины сигнала, обусловленного дефектом наружной поверхности, от ширины дефекта

На рис. 8 приведены зависимости размаха сигнала, обусловленного дефектом, от напряженности намагничивающего поля для дефектов, расположенных в образце на различной глубине. Как видно из рисунка, с ростом напряженности приложенного поля раз-

мах сигнала возрастает, достигая постоянной величины при напряженности поля тем большей, чем больше глубина залегания дефекта. Закономерности нарушаются при приближении несплошности к внутренней и наружной поверхностям образца ($h_3 = 2,5$ и $22,5$ мм).

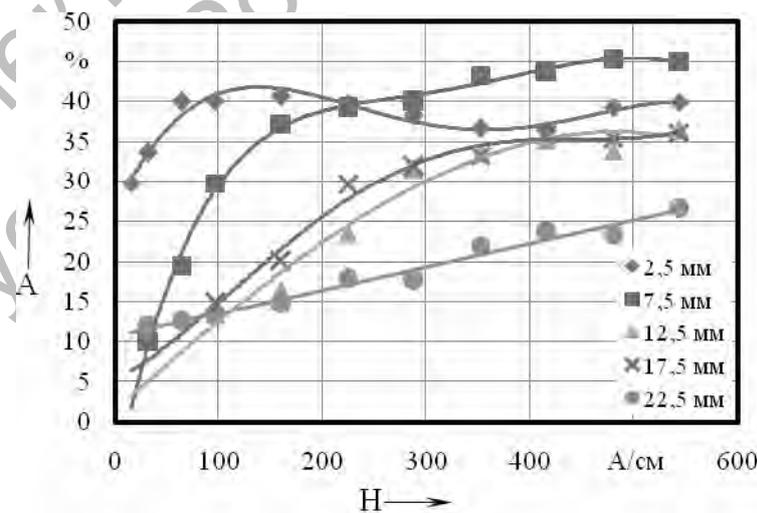
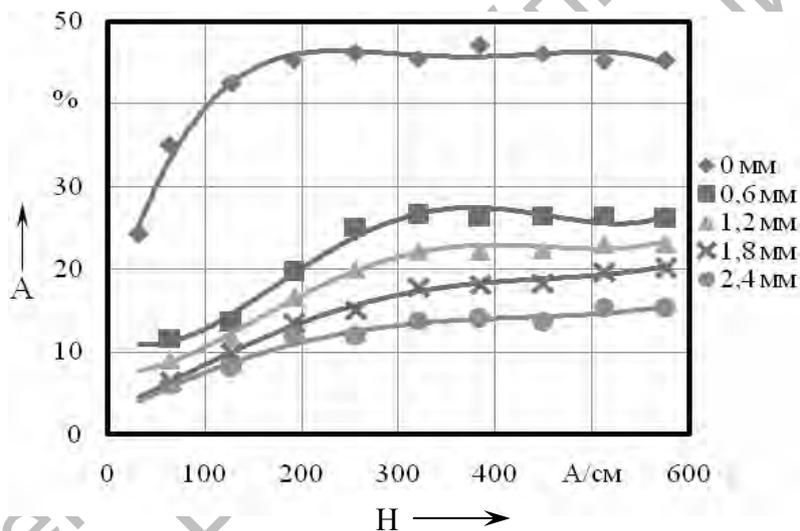


Рис. 8. Зависимости размаха сигнала, обусловленного дефектом, от напряженности намагничивающего поля для дефектов, расположенных на глубине $h_3 = 2,5; 7,5; 12,5; 17,5$ и $22,5$ мм

Влияние расстояния между контролируемым объектом и пленкой исследовали на образце толщиной 8 мм из стали Ст3 с профрезерованной канавкой шириной 0,8 мм и глубиной 0,8 мм. Сначала устанавливали режим намагничивания, после этого пленку помещали на определенном расстоянии от образца (укладывали на немагнитную прокладку, помещенную на образец), намагничивали образец с пленкой и, не выключая ток, фотографировали. Затем образец размагничивали, устанавливали другой режим намагничивания и повторяли эксперимент. Таким образом для дефекта наружной поверхности были

получены зависимости размаха сигнала, обусловленного дефектом, от напряженности намагничивающего поля (рис. 9, а) и от расстояния между контролируемым объектом и пленкой (рис. 9, б). Из рисунка видно, что для дефекта внутренней поверхности сигнал о его наличии обнаруживается и при расстоянии 2,4 мм. Размах сигнала возрастает с увеличением напряженности намагничивающего поля и с уменьшением расстояния от пленки до объекта. При увеличении расстояния между пленкой и объектом размах сигнала сначала резко уменьшается, а затем стабилизируется.

а)



б)

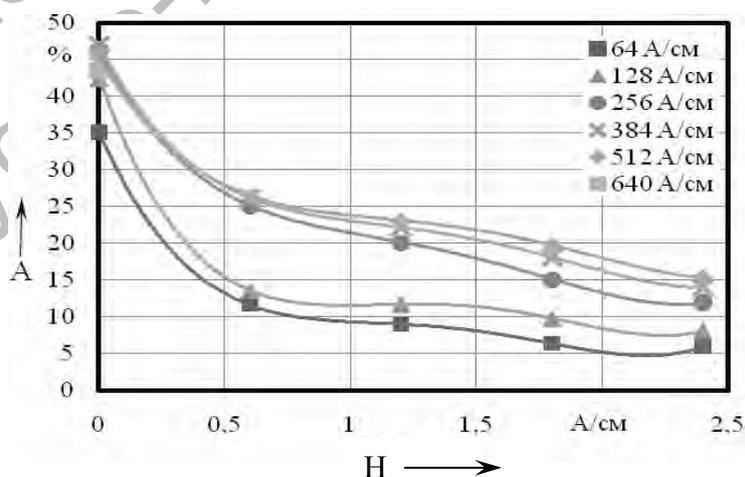


Рис. 9. Зависимости размаха сигнала, обусловленного дефектом наружной поверхности, от напряженности намагничивающего поля (а) и от расстояния между объектом и пленкой (б)

Влияние размаха сигнала, обусловленного дефектом внутренней поверхности, от напряженности намагничивающего поля при разных расстояни-

ях между объектом и пленкой визуализирующей магнитные поля приведено на рис. 10.

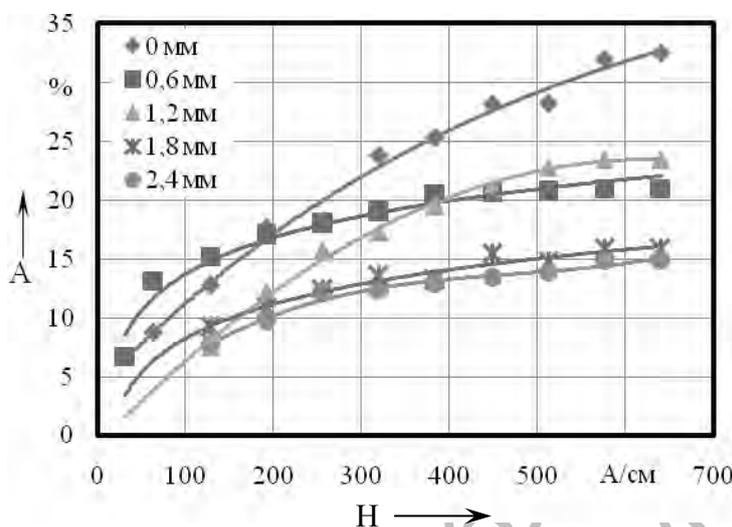


Рис. 10. Зависимость размаха сигнала, обусловленного дефектом внутренней поверхности, от напряженности намагничивающего поля при расстоянии между объектом и пленкой 0; 0,6; 1,2; 1,8 и 2,4 мм

Выводы

1. С увеличением глубины дефекта внутренней поверхности размах сигнала возрастает, причем при малых режимах намагничивания (до 96 А/см) крутизна кривых увеличивается с ростом глубины несплошности, при $H = 96$ А/см — остается постоянной, а при более высоких — уменьшается при возрастании H .

С увеличением напряженности поля размах сигнала сначала возрастает, а затем стабилизируется, причем чем больше глубина несплошности, тем при меньшей напряженности поля происходит стабилизация размаха сигнала. Дефекту большей глубины соответствует больший размах сигнала.

2. Размах сигнала, обусловленный дефектом наружной поверхности, для режимов намагничивания менее 256 А/см при увеличении глубины дефекта до 1 мм сначала резко возрастает, а затем плавно увеличивается. Для режимов намагничивания более 256 А/см зависимость размаха сигнала от глуби-

ны дефекта линейна и практически не зависит от режима намагничивания.

Размах сигнала, обусловленного дефектом наружной поверхности, при увеличении напряженности поля сначала круто возрастает, а при напряженности поля более 300 А/см остается практически постоянным и мало зависит от глубины дефекта.

3. С увеличением глубины дефекта ширина сигналов x , обусловленных дефектами наружной поверхности, сначала увеличивается, а затем, достигнув своего максимума, уменьшается. Кривые тем раньше достигают максимума, чем меньше глубина дефекта.

Ширина сигнала x , обусловленного дефектом внутренней поверхности, с ростом ширины дефекта $2b$ изменяется монотонно.

4. Исследования влияния ширины дефекта наружной поверхности на размах обусловленного им сигнала, получаемого на пленке в приложенном поле, показали, что с ростом напряженности

намагничивающего поля происходит вначале увеличение размаха сигнала, а затем плавное его уменьшение и стабилизация. Большому дефекту соответствует больший размах сигнала.

5. Ширина сигнала x , обусловленного дефектом наружной поверхности, с увеличением раскрытия несплошности монотонно увеличивается и мало зависит от режима намагничивания.

Ширина сигнала x , обусловленного дефектом внутренней поверхности, возрастает линейно с увеличением ширины дефекта, причем в диапазоне напряженностей $96 \text{ А/см} \leq H \leq 480 \text{ А/см}$ величина x мало зависит от режима намагничивания.

6. С ростом напряженности поля размах сигналов, обусловленных дефектами, расположенными на различной глубине от поверхности объекта, возрастает, достигая постоянной величины при напряженности поля тем большей, чем больше глубина залегания дефекта. Закономерности нарушаются при приближении несплошности к внутренней и наружной поверхностям образца ($h_3 = 2,5$ и $22,5$ мм).

7. Размах сигналов, обусловленных дефектами наружной и внутренней поверхностей (при различных расстояниях между контролируемым объектом и пленкой), возрастает с увеличением напряженности намагничивающего поля, а затем стабилизируется. Чем меньше расстояние от пленки до объекта, тем при большей напряженности поля стабилизируется размах сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков, В. А. Визуализация полей дефектов ферромагнитных объектов с помощью магнитной пленки / В. А. Новиков, А. В. Шилов, А. В. Кушнер // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 5. – С. 18–22.
2. Шилов, А. В. Оценка индикаторных рисунков дефектов на визуализирующей магнитные поля пленке после отключения намагничивающего поля / А. В. Шилов, В. А. Новиков, Г. И. Скрябина // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы науч.-техн. конф. – Могилев. – 2010. – С. 305–306.
3. Шилов, А. В. Количественная оценка индикаторных рисунков дефектов при визуализации их полей на магнитной пленке / А. В. Шилов, В. А. Новиков, А. В. Кушнер // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 2. – С. 152–160.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 14.09.2010

A. V. Shilov, V. A. Novikov, A. V. Kushner
Quantitative evaluation of indicating patterns of defects when visualizing their fields on the magnetic tape in the applied field

The issues of quantitative evaluation of indicating patterns of defects of various types and kinds on the magnetic field visualizing film are considered, with ferromagnetic objects being subject to the magnetic control in the applied field. It is offered to use the width of the signal due to the defect as an information parameter.