

УДК 620.179.14  
ОСТАТОЧНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ  
СТАЛЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛОЙ

А.П. ГУСЕВ, С.А. КОСОВЕЦ  
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

Влияние коэрцитивной силы на магнитное поле дефекта рассматривается в исследованиях, в основном, в связи с формированием его остаточного поля и с возможностью дефектоскопии на остаточной намагниченности [1–5].

Основные результаты исследований по формированию остаточного магнитного поля дефектов получены при условии намагничивания однородным или близким к однородному магнитным полем [1, 2], то есть для известной или задаваемой намагниченности материала. Однако данная модель далеко не всегда реализуется в практике дефектоскопии реальных объектов, где намагниченность материала может зависеть от ряда других факторов, например, от влияния размагничивающего фактора при намагничивании малогабаритных изделий или при использовании малогабаритных намагничивающих устройств (постоянных магнитов или электромагнитов). Так, в [3,4] показано влияние размагничивающего фактора цилиндрических стержней на остаточное магнитное поле в полости поверхностного дефекта. Авторами [3,4] получен гистерезис магнитного поля в полости искусственного дефекта в виде прямоугольного паза на образцах магнитомягкой стали ( $H_c = 600$  А/м) и показано, что остаточное магнитное поле в полости дефекта для коротких образцов направлено противоположно прилагаемому намагничивающему полю, для длинных образцов при достаточно сильных намагничивающих полях остаточное поле может иметь направленность, совпадающую с  $H_c$ . Другое проявление влияния размагничивающего фактора на магнитное поле дефекта показано в [5], где исследование выполнено на плоских стальных образцах, намагничиваемых П-образным электромагнитом. Влияние в данном случае приводит к аномальному соотношению напряженности магнитных полей рассеяния магнитомягких и магнито жестких сталей. Данный эффект является следствием суммарного действия размагничивающего фактора и разницы магнитной проницаемости материалов намагничиваемых изделий. Возникает вопрос, имеющий практическое значение, о соотношении остаточных магнитных полей рассеяния поверхностных дефектов различных сталей, то есть, возможно ли распространение указанного эффекта в условиях данной модели на соотношение остаточных магнитных полей рассеяния дефектов.

В связи с этим выполнены измерения остаточного магнитного поля Ност поверхностных дефектов – прямоугольный паз шириной 0,4 и глубиной 0,8 мм на плоских образцах с различной коэрцитивной силой, изготовленных из различных марок сталей: 40Х, 30ХГСА, М76 и ЭП56Ш. Образцы пластин, имеющие в рамках одной марки стали наименьшую коэрцитивную силу, исследованы в состоянии поставки, остальные подвергнуты стандартной термообработке (закалка–отпуск) для получения различной твердости.

Экспериментальная модель (рис. 1): пластины толщиной не менее 10 мм намагничиваются П-образным электромагнитом. Методика измерений состояла в том, что напряженность магнитного поля в зоне расположения дефекта в межполюсном пространстве измерялась после увеличения намагничивающего поля до  $H_{0max}$  и последующего уменьшения до  $H_0=0$  дважды – 1) при наличии дефекта и 2) на том же образце на бездефектном участке. По разнице полученных значений определялась напряженность остаточного магнитного поля дефекта  $H(x,y)$ .

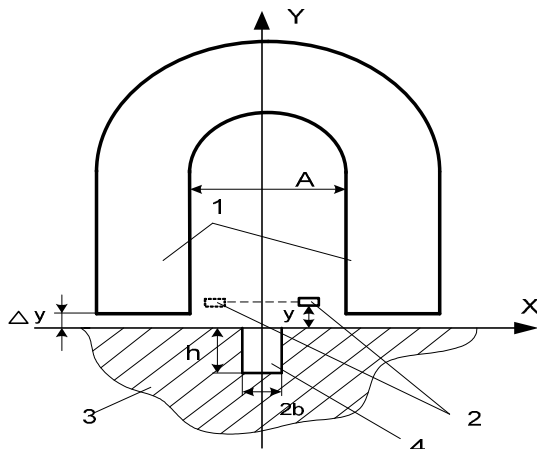


Рис. 1. Экспериментальная модель: 1 – электромагнит; 2 – зона перемещения измерительного преобразователя (датчик Холла); 3 – образец; 4 – дефект

В эксперименте были получены значения напряженности нормальной  $H_y$  и тангенциальной  $H_x$  составляющих напряженности остаточного магнитного поля рассеяния дефектов. Результаты измерений Ност на расстоянии от поверхности пластин 0,6 мм представлены графически на рис. 2.

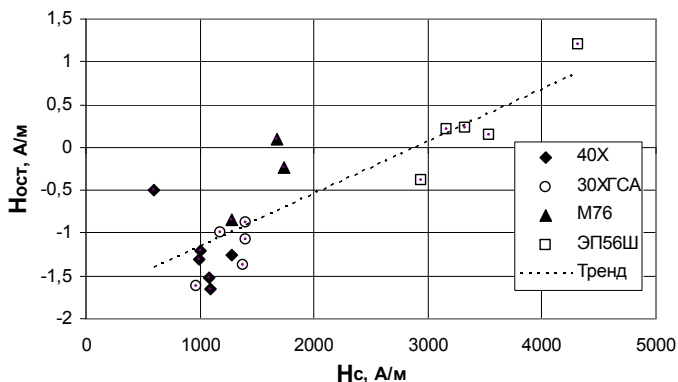


Рис. 2. Зависимость напряженности  $H_{ост}$  остаточного магнитного поля рассеяния поверхностных дефектов образцов различных сталей от коэрцитивной силы  $H_c$

Отрицательное значение  $H_{ост}$  соответствует направлению вектора остаточного магнитного поля дефекта  $\vec{H}_{ост}$  противоположно направлению прилагавшегося намагничивающего поля  $\vec{H}_0$ , положительное значение  $H_{ост}$  – вдоль  $\vec{H}_0$ . Попытка построения зависимости  $H_{ост}$  от коэрцитивной силы по маркам сталей наталкивается на неоднозначность полученных значений  $H_{ост}$ . Однако, в целом по всем образцам просматривается общая тенденция (тренд на рис. 2): с ростом коэрцитивной силы отрицательное значение  $H_{ост}$  по абсолютной величине уменьшается, при некотором  $H_c$  переходит через нулевое значение (изменяет знак) и далее рост  $H_{ост}$  продолжается. Обратное направление  $\vec{H}_{ост}$  объясняется [1–4] размагничивающим действием «магнитных зарядов» вблизи границ дефекта, остаточное магнитное поле которых в зоне дефекта направлено навстречу  $\vec{H}_0$  и для магнитомягких материалов по напряженности превышает остаточную намагниченность материала  $\vec{M}$ . Однако с ростом  $H_c$  остаточная намагниченность материала увеличивается, компенсируя «магнитные заряды», в результате чего напряженность поля направленного противоположно  $\vec{H}_{ост}$  уменьшается. С дальнейшим ростом  $H_c$  остаточная намагниченность материала начинает преобладать и  $\vec{H}_{ост}$  изменяет свое направление. Таким образом, зависимость  $\vec{H}_{ост}$  от  $H_c$  объясняется полностью без учета размагничивающего действия «магнитных зарядов», образующихся в образце у полюсов электромагнита. Тем не менее, влияние данного размагничивающего фактора в полученной зависимости может присутствовать в виде некоторой аддитивной  $\Delta H_{ост}(H_c)$  величины,

при отсутствии которой все точки и тренд на рис. 2 смещаются на эту величину вверх по оси ординат.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Щербинин, В. Е.** Магнитное поле дефекта при малой остаточной намагниченности изделия. / В. Е. Щербинин, Н. Н. Зацепин. // Труды ИФМ АН СССР. – 1965. – Вып. 24. – С.83.
2. Forster, F. On the Way from the «Know-how» to the «Know-why» in the Magnetic Leakage Field Method of Nondestructive Testing./ F. Forster // Mater. Evaluation. – 1985. – 43. – N 10. – P. 1154–1168.
3. **Чернышев, А. В.** Магнитное поле в полости поверхностной щели при намагничивании образца в разомкнутой магнитной цепи. / А. В. Чернышев [и др.] // Дефектоскопия. – 1986. – № 1. – С. 13–17.
4. **Чернышев, А. В.** Магнитное поле рассеяния в области поперечного паза / А. В. Чернышев // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1991 – № 2. – С. 27–29.
5. **Гусев, А. П.** Влияние размагничивающего действия поверхности раздела сред на поле поверхностных дефектов при намагничивании приставным электромагнитом / А. П. Гусев, С. А. Косовец // Дефектоскопия. – 2006. – № 5. – С.37–44.

E-mail: gusevap@iaph.bas-net.by