

УДК 620.181

ПЕРСПЕКТИВЫ ФЕРРОЗОНДОВОЙ ДИАГНОСТИКИ СЛАБОМАГНИТНЫХ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

В. И. ПУДОВ, Ю. Я. РЕУТОВ, М. Б. РИГМАНТ

ФГБУН «Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН»
Екатеринбург, Россия

UDC 620.181

PROSPECTS OF FERRO-ZONE DIAGNOSTICS WEAK STAINLESSSTEELS OF THE AUUSTENITE CLASS

V. I. PUDOV, YU. YA. REUTOV, M. B. RIGMANT

Аннотация

Рассмотрены перспективы применения разных моделей феррозондовой аппаратуры для локальной диагностики ферритной α -фазы в сталях аустенитного класса. Они позволяют измерять с погрешностью не более $\pm 5\%$ содержание ферромагнитной фазы от 2,0 до 12 % и с погрешностью не более $\pm 7\%$ при содержании ферромагнитной фазы до 25 % и более.

Ключевые слова:

аустенитная сталь, ферритная фаза, феррозондовая аппаратура.

Abstract

The prospects of using different models of ferro-probe equipment for local diagnostics of the ferrite a-phase in steels of austenitic class are considered. The equipment makes it possible to measure the content of the ferromagnetic phase from 2.0 to 12 % with an error of no more than $\pm 5\%$ and with an error of no more than $\pm 7\%$ with a ferromagnetic phase content of up to 25 % or more.

Key words:

austenitic steel, ferritic phase, ferro-zone equipment.

В настоящее время производится более 100 марок сталей аустенитного класса ($\mu < 1,05$) [1]. Поэтому контроль стабильности их магнитного состояния актуален, особенно когда речь идет о материалах и изделиях, имеющих толщину δ менее 5 мм. В этом случае даже незначительное воздействие на такие материалы внешнего магнитного поля, температур, пластических деформаций и других факторов может приводить к существенному изменению их магнитной проницаемости μ за счет перехода части структуры стали в ферромагнитную фазу, то есть в α -фазу. Появление незначительного количества α -фазы обуславливает ухудшение коррозионной стойкости аустенитного материала к агрессивным средам, изменение прочностных характеристик или других физико-механических свойств стали.

Для решения данной задачи требуется совершенствование старых и разработка новых поисковых средств.



На данный момент наибольшее распространение получил магнитный метод контроля [2], неразрушающий и менее трудоёмкий по сравнению с рентгеновским, металлографическим и химическим методами. Однако существующие на сегодняшний день конструкции преобразователей, при своих достоинствах, ограничивают возможности этого метода, снижая номенклатуру контролируемых изделий и материалов, не обеспечивая их достаточную точность измерений.

В разных моделях феррозондовых ферритометров [3, 4] магниточувствительные элементы (МЧЭ) преобразователя (датчика), установленные соосно относительно друг друга в плоскости нейтрального сечения магнита, предназначенного для локального намагничивания материала, измеряют тангенциальную составляющую магнитного поля неоднородности этого материала или изделия. Их недостаток связан с тем, что измеряется неоднородность в одном направлении. В этом случае при вращении вокруг оси на $\pm 180^\circ$ они выдают неоднозначные результаты, которые требуют перепроверки. Их погрешность может составлять 15–20 %.

Более перспективно применение конструкции, где две пары МЧЭ установлены на противоположных сторонах магнита в плоскости его нейтрального сечения, ортогонально друг другу и работают в режиме градиентометра и полемера (рис.1, а). Другая перспективная модель предназначена для измерения нормальной составляющей магнитного поля рассеяния ферритной фазы (рис.1, б). В этой модели МЧЭ установлены параллельно друг другу на краях встроенного магнита. Они работают в режиме градиентометра и полемера. Их относительная погрешность измерения по обработанной поверхности материала толщиной, например, 10–20 мм составляет порядка 7–10 % и более [5–7]. При контроле материалов толщиной менее 4–5 мм погрешность измерений возрастает до 12–16 % и более. Увеличение погрешности измерений обусловлено тем, что локальное намагничивание материала встроенным в преобразователь магнитом приводит к образованию на его поверхностях разноименных магнитных зарядов [8]. Если неоднородность материала расположена вблизи противоположной сканированию поверхности (см. рис. 1, а), то есть у поверхности с противоположным знаком, то на МЧЭ градиентометрического преобразователя, измеряющего тангенциальную составляющую магнитного поля неоднородности материала, могут воздействовать разнополярные силовые линии этой неоднородности. В результате чего может уменьшиться результирующий выходной сигнал преобразователя и он не всегда сможет обнаружить участки с ферритной фазой, поэтому для оценки величины поля рассеяния неоднородности, его переключают в режим работы полемера.

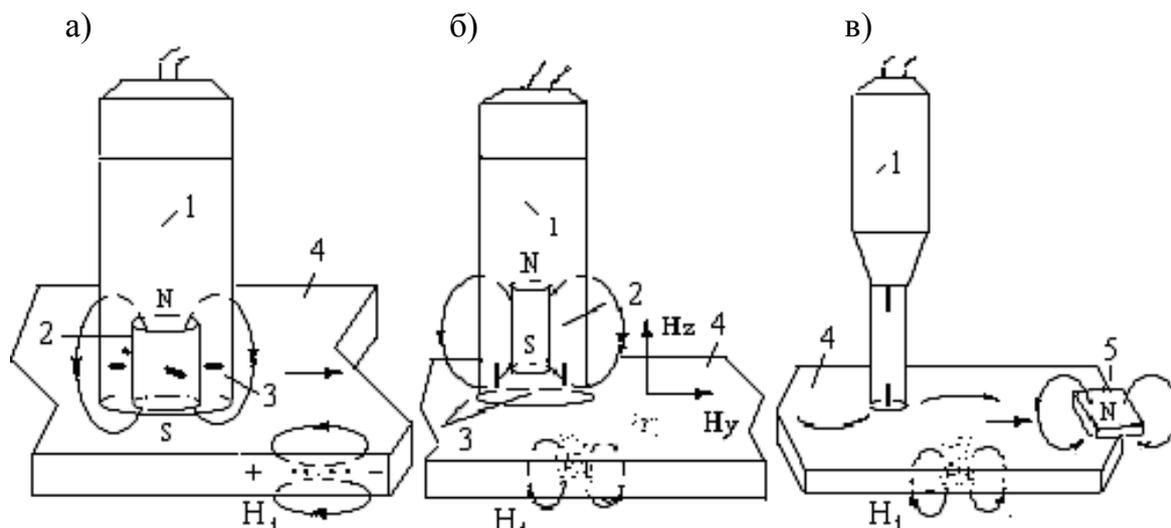


Рис. 1. Сканирование поверхности изделия феррозондовыми датчиками: а – двухкомпонентный датчик; б – полярный-градиентометрический датчик; в – однокомпонентный датчик; 1 – двухкомпонентный датчик; 2 – цилиндрический магнит; 3 – МЧЭ; 4 – изделие; 5 – магнит; H_1 – остаточное магнитное поле рассеяния альфа-фазы

В то же время конструкция датчика позволяет проводить контроль одного и того же участка в пределах $\pm 180^\circ$, и одновременно перепроверять полученные по разным направлениям результаты измерений, что повышает достоверность и точность диагностики аустенитной стали.

Однако изготовление данных конструкций достаточно сложно. Как показывают исследования, для измерения α -фазы изделий толщиной менее 4–5 мм можно использовать более простую конструкцию локального магнитомодуляционного преобразователя, измеряющего нормальную составляющую магнитного поля неоднородности (рис.1, в). Такой преобразователь не имеет встроенного магнита. Он устанавливается непосредственно на поверхность сканируемого материала или изделия.

Практическое использование феррозондовой аппаратуры показывает, что первичные магнитомодуляционные преобразователи градиента магнитного поля приемлемы для работы, не требующей высокой точности измерений, если величина ложного сигнала, обусловленная неколлинеарностью магнитных осей МЧЭ преобразователя относительно его измерительной (продольной) оси, не превышает $400 \gamma/\text{см}$ ($0,0032 \text{ A}/\text{см}^2$ в СИ), а неидентичность коэффициентов преобразования МЧЭ составляет в единицах градиента напряженности магнитного поля не более $450 \gamma/\text{см}$ ($0,0032 \text{ A}/\text{см}^2$), при напряженности магнитного поля Земли H_T порядка $0,5 \text{ Э}$ ($40 \text{ A}/\text{м}$) [9, 10].

Естественно, что для контроля ферромагнитной фазы аустенитных материалов, необходимы преобразователи, которые не восприимчивы к влиянию продольной H_y и поперечной H_z составляющих магнитного поля Земли, обуславливающих появление на выходе феррозондовых устройств ложных сигналов. В представленном преобразователе проблема ложных

сигналов решена с помощью встроенных в его рабочий корпус пермаллоевых компенсационных элементов [11–14]. Он позволяет исследовать магнитные свойства аустенитных сталей, изучать процессы старения, упорядочения, пластической деформации и другие изменения их структур, вызванные появлением ферритной фазы, выпадением карбидов и подобных образований.

Преобразователь работает по градиентометрической схеме, его МЧЭ (2,5 x 0,1 или 5,0 x 0,1 мм) установлены соосно друг другу и имеют базу 20 мм, диаметр рабочей части 3,0 мм, и общую длину 100 мм.

Определение ферромагнитной фазы изделия осуществляется следующим образом. Непосредственно перед сканированием участка поверхности изделия его промагничивают постоянным магнитом (например, использовался магнит размером 120 x 70 x 60, $H=300-600$ Э (или 2400–4800 А/м в СИ в зависимости от толщины изделия)). После чего рабочую часть преобразователя устанавливают на поверхность изделия (см. рис 1, в) и путем последовательного перемещения преобразователя во взаимно ортогональных направлениях сканируют данный участок. В случае обнаружения неоднородности материала зоны очерчиваются и тщательно исследуются на наличие ферромагнитной фазы.

При контроле значительных участков поверхности изделия можно использовать несколько преобразователей, причем их можно объединять в любую конструкцию, например, цепочка, матрица и так далее.

Поскольку полученные результаты измерений зависят от магнитных характеристик контролируемого материала, неровностей поверхности изделий, количества и химического состава измеряемых ферромагнитных образований, то подобные исследования и градуировка прибора нуждаются в существенном метрологическом обеспечении. В частности, набора стандартных образцов, имеющих достаточное количество различных в процентном содержании ферромагнитных альфа-фаз.

Таким образом, рассмотренные конструкции феррозондовых преобразователей позволяют при сканировании поверхности изделий ($\delta \leq 5$ мм) из стали аустенитного класса проводить локализацию и измерения ферромагнитных образований с погрешностью не более ± 5 % при содержании ферромагнитной фазы от 2,0 до 12 % и с погрешностью не более ± 7 % при содержании ферромагнитной фазы до 25 % и более. Применение программного обеспечения обработки результатов повышают технические возможности представленной аппаратуры.

Работа поддержана грантом РФФИ (проект №15-12-00001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 26364–84.** Ферритометры для сталей аустенитного класса. – М., 1984. – 8 с.

2. **Химченко, Н. В.** Неразрушающий контроль в химическом и нефтяном машиностроении / Н. В. Химченко, В. А. Бобров. – М. : Машиностроение, 1978. – 264 с.

3. Прибор для контроля изменений магнитного состояния листов слабомагнитных аустенитных сталей – ферритометр Ф-01 / М. А. Веденеев [и др.] // Дефектоскопия. – 1994. – № 3. – С. 3–9.

4. Измеритель содержания ферритной фазы – ферритометр ФМ-3 / Б. М. Ригмант [и др.] // Дефектоскопия. – 1996. – № 5. – С. 78–83.

5. **Пат. № 2130609 РФ, МПК¹³ G01N 27/87, G01N 27/72.** Устройство для локального измерения ферромагнитной фазы аустенитных сталей / В. И. Пудов, М. Б. Ригмант, Э. С. Горкунов ; заявитель и патентообладатель ИФМ УрО РАН. – Бюл. изобр. № 14 (III ч.). – 2 с.

6. **Пудов, В. И.** Определение ферромагнитной фазы в изделиях из сталей аустенитного класса / В. И. Пудов // Актуальные проблемы прочности материалов : материалы XLVI междунар. науч.-практ. конф., Витебск, 2007 г. : в 2 ч. – Витебск : ВГТУ, 2007. – Ч. 2. – С. 228–231.

7. **Пудов, В. И.** О повышении эффективности определения ферромагнитных включений в сталях аустенитного класса / В. И. Пудов, М. Б. Ригмант // Дефектоскопия. – 2002. – № 5. – С. 41–45.

8. **Туровский, Я.** Техническая электродинамика / Я. Туровский. – М. : Энергия, 1974. – 488 с.

9. **Пудов, В. И.** К вопросу балансировки дифференциального феррозондового преобразователя / В. И. Пудов // Дефектоскопия. – 1997. – № 11. – С. 33–36.

10. **Реутов, Ю. Я.** Разделение технологических факторов, обуславливающих влияние однородного поля на точность феррозондового градиентометра / Ю. Я. Реутов, В. И. Пудов // Дефектоскопия. – 1998. – № 1. – С. 28–33.

11. **Реутов, Ю. Я.** О компенсации ложных сигналов градиентометрического феррозонда / Ю. Я. Реутов, В. И. Пудов // Дефектоскопия. – 1998. – № 2. – С. 18–22.

12. **Пудов, В. И.** О компенсации неидентичности коэффициентов преобразования магниточувствительных элементов феррозонда / В. И. Пудов // Дефектоскопия. – 1999. – № 1. – С. 19–31.

13. **Пудов, В. И.** О компенсации ложного сигнала, обусловленного неколлинеарностью магнитных осей дифференциального магнитомодуляционного преобразования / В. И. Пудов, С. В. Жаков // Дефектоскопия. – 2000. – № 7. – С. 15–28.

14. **Пудов, В. И.** Модель и условия компенсации ложных сигналов дифференциальных магнитомодуляционных преобразователей : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.11 / Пудов Владимир Иванович. – Екатеринбург, ИФМ УрО РАН, 2001. – 170 с.

E-mail: pudov@imp.uran.ru