

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ФАЗЫ В ИЗДЕЛИЯХ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

Иудов В. И.

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург

В настоящее время в нефтеперерабатывающем производстве, в энергетическом и химическом машиностроении и других отраслях промышленности применяют более 100 марок нержавеющей хромоникелевых и других сталей аустенитного класса ($\mu < 1,05$) [1].

Поэтому оперативный контроль стабильности магнитного состояния выпускаемых и эксплуатируемых высоколегированных сталей аустенитного класса является достаточно актуальной задачей, особенно когда речь идет о материалах и изделиях, имеющих толщину δ менее 5 мм, поскольку даже незначительное воздействие на такие материалы и изделия внешнего магнитного поля, температур, пластических деформаций и других факторов может приводить к существенному изменению их магнитной проницаемости μ за счет перехода части структуры аустенитной 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 [2, 3].

Для решения данной задачи требуется совершенствование старых и разработка новых, достаточно простых в эксплуатации измерительных средств и методов, повышающих эффективность локализации и измерения сформировавшихся на фоне парамагнитной матрицы аустенитных материалов и изделий ферромагнитных образований.

На данный момент наибольшее распространение получил магнитный метод контроля [4, 5], неразрушающий и менее трудоёмкий по сравнению, например, с рентгеновским, металлографическим и химическим методами, для реализации которых необходимо вырезать образцы стали из контролируемых участков изделий и тщательно обрабатывать их поверхность до получения шлифов.

По принципу действия и конструкции поисковых датчиков аппаратура магнитного неразрушающего контроля отличается друг от друга [4–6]: в частности, феррозондовые ферритометры работают в условиях предварительного намагничивания контролируемого участка с последующим измерением магнитных полей рассеяния от распределенных весьма неравномерно в объеме материала ферромагнитных образований. По величине напряженности магнитного поля рассеяния судят об объемном или локальном процентном содержании включений α -фазы.

Основным рабочим элементом ферритометров является накладной магнитомодуляционный преобразователь (феррозондовый датчик), предназначенный для сканирования поверхности материалов и изделий.

В разных моделях ферритометров [7–9] магниточувствительные элементы преобразователя, установленные в плоскости нейтрального сечения магнита, предназначенного для локального намагничивания материала, измеряют тангенциальную составляющую магнитного поля неоднородности этого материала или изделия. Другие модели предназначены для измерения нормальной составляющей магнитного поля рассеяния ферритной фазы [4, 6].

Их относительная погрешность измерения по обработанной поверхности материала толщиной, например, 10–20 мм составляет порядка 7–10 % и более [5–8]. При

контроле материалов толщиной менее 4–5 мм погрешность измерений возрастает до 15–20 % и более. Увеличение погрешности измерений обусловлено тем, что локальное намагничивание материала встроенным в преобразователь магнитом приводит к образованию на его поверхностях разноименных магнитных зарядов [10]. Если неоднородность материала расположена вблизи противоположной сканированию поверхности (см. рис. 1), то есть у поверхности с противоположным знаком, то на магниточувствительные элементы 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, который не всегда сможет обнаружить участки с ферритной фазой и точно оценить величину поля рассеяния неоднородности.

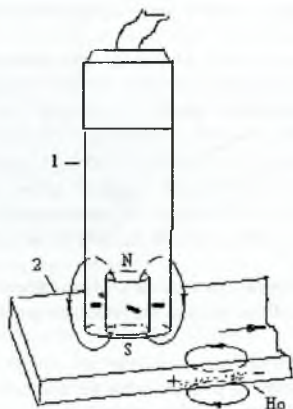


Рис. 1. Сканирование поверхности изделия двухкомпонентным датчиком: 1 – ферритометрический датчик; 2 – изделие; H_0 – магнитное поле рассеяния альфа-фазы.

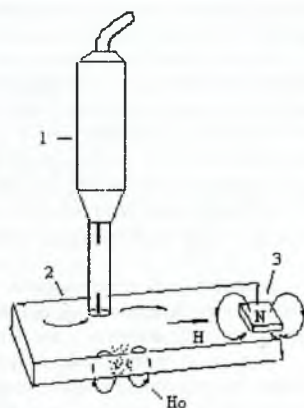


Рис. 2. Сканирование поверхности изделия однокомпонентным датчиком: 1 – феррозондовый датчик; 2 – изделие; 3 – магнит; H_0 – остаточное магнитное поле рассеяния альфа-фазы

Для повышения точности локализации и измерений α -фазы материалов толщиной менее 4–5 мм предлагается использовать локальный магнитомодуляционный преобразователь, измеряющий нормальную составляющую магнитного поля неоднородности. Такой преобразователь не имеет встроенного магнита, и его рабочая часть 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 магниточувствительных элементов преобразователя относительно его измерительной (продольной) оси, не превышает $400 \text{ } \gamma/\text{см}$ ($0,0032 \text{ A}/\text{см}^2$ в СИ), а неидентичность коэффициентов преобразования магниточувствительных элементов составляет, в единицах градиента напряженности магнитного поля, не более $450 \text{ } \gamma/\text{см}$ ($0,0032 \text{ A}/\text{см}^2$), при напряженности магнитного поля Земли H_T порядка $0,5 \text{ Э}$ ($40 \text{ A}/\text{м}$) [11].

Естественно, что для контроля ферромагнитной фазы аустенитных материалов необходимы магнитомодуляционные 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 магнитомодуляционном преобразователе проблема ложных сигналов решена с помощью встроенных в его рабочий корпус элементов пермаллоевых компенсационных элементов [12, 13].

Данным преобразователем можно 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 магниточувствительные элементы установлены соосно друг другу и имеют базу 20 мм, диаметр рабочего части 3,0 мм, а общая длина 100 мм.

Определение ферромагнитной фазы изделия осуществляется следующим образом. Непосредственно перед сканированием участка поверхности изделия, его промагнитчивают постоянным магнитом (например, использовался магнит размером 120x70x60, $H = 300-600$ Э (или 2400-4800 А/м в СИ) в зависимости от толщины изделия). После чего рабочую часть преобразователя устанавливают на поверхность изделия (см. рис. 2) 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, цепочку, матрицу и так далее.

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

Основные требования к изготовленным стандартным образцам следующие:

- достаточно однозначное проявление ферромагнитной фазы в измеряемых точках локального стандартного образца;
- достаточно высокая степень соответствия количественной оценки характеристик измеряемой ферромагнитной фазы стандартного образца и контролируемого участка металлоконструкции, изделия и так далее;
- достаточное количество стандартных образцов с различным содержанием ферромагнитной фазы, перекрывающим диапазон изменения контролируемой фазы в металле;
- соответствие толщины стандартного образца толщине контролируемого участка материала или изделия.

Локальный градиентометрический магнитомодуляционный преобразователь позволяет при сканировании поверхности изделий ($\delta \leq 5$ мм) из стали аустенитного класса проводить локализацию и измерения ферромагнитных образований с погрешностью не более $\pm 5\%$ при содержании ферромагнитной фазы от 2,0 до 12 % и с погрешностью не более $\pm 7\%$ при содержании ферромагнитной фазы до 25 % и более.

Список литературы

- ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки и технические требования. // М.: Издательство стандартов, 1975. – 49с.
- Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали. // М.: Металлургия, 1967. – 242 с.
- Стрекалов О.И. Прочность сварных конструкций в агрессивных средах. // М.: Машиностроение, 1976. – 200 с.
- Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. Кн. 2. Под ред. Клюева В.В. // М.: Машиностроение, 1976. – 328 с.
- Химченко Н.В., Бобров В.А. Неразрушающий контроль в химическом и нефтяном машиностроении. // М.: Машиностроение, 1978. – 264 с.
- Есилевский В.П., Пеликан А.Г., Еремеева И.Ю. Магнитный ферритометр ФМ-2. // Дефектоскопия. 1971. № 6. С. 123–124.
- Веденёв М.А., Пономарёв В.С., Кулеев В.Г и др. Прибор для контроля изменений магнитного состояния листов слабомагнитных аустенитных сталей – ферритометр Ф-01. // Дефектоскопия. 1994. № 3. С. 3–9.
- Ригмант Б.М., Горкунов Э.С., Пономарев В.С. и др. Измеритель содержания ферритной фазы – ферритометр ФМ-3. // Дефектоскопия. 1996. № 5. С. 78–83.
- Пудов В.И., Ригмант М.Б. О повышении эффективности определения ферромагнитных включений в сталях аустенитного класса. // Дефектоскопия, 2002, №5, с. 41-45.
- Туровский Я. Техническая электродинамика. // М: Энергия, 1974. – 488 с.
- Пудов В.И. К вопросу балансировки дифференциального феррозондового преобразователя. // Дефектоскопия. 1997. № 11. С. 33–36.
- Пудов В.И. О компенсации неидентичности коэффициентов преобразования магниточувствительных элементов феррозонда. // Дефектоскопия. 1999. № 1. С. 19–31.
- Пудов В.И., Жаков С.В. О компенсации ложного сигнала, обусловленного неколлинеарностью магнитных осей дифференциального магнитомодуляционного преобразования. // Дефектоскопия. 2000. № 7. С. 15–28.

УДК 666.517.2

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ

Пудов В. И., Соболев А. С., Драгошанский Ю. Н.

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург

Получение высокопрочных, устойчивых к эксплуатационным воздействиям изделий из инструментальной быстрорежущей стали является одной из важнейших задач современного металлостроения. Одно из направлений решения данной задачи связано с термомагнитной обработкой (ТМО) [1, 2].

Применение ТМО в процессе производства сталей не обеспечило получение надежно воспроизводимых и значимых для практики результатов [3]. Это можно объяснить относительно малой по энергии магнитной составляющей в сравнении с энергией основных процессов. Так для магнитного поля с $H = 10 \text{ МА/м}$ его энергетическая составляющая не превышает 1 % от энергии γ - α -перехода, имеющего место при закалке стали, процессов распада мартенсита и образования карбидов, происходящих при отпуске стали [1, 3].