



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2000–31
ИФО

А.И. Иваненко

Филиал института ядерной физики СО РАН, Протвино

М.В. Фурса, П.А. Щербаков

Институт физики высоких энергий, Протвино

**ФЛЮКСМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ
НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ**

Направлено в *ИТЭ*

Протвино 2000

Аннотация

Иваненко А.И., Фурса М.В., Щербаков П.А. Флюксметр для измерения магнитной восприимчивости нержавеющей стали: Препринт ИФВЭ 2000–31. – Протвино, 2000. – 4 с., 1 рис., библиогр.: 6.

Описан портативный прибор для измерения очень малых значений магнитной восприимчивости различных видов нержавеющей стали. Так как магнитная восприимчивость нержавеющей стали имеет склонность к уменьшению своей величины при увеличении внешнего магнитного поля, датчик оснащён малогабаритным магнитом, который в точке измерения образца создаёт магнитное поле порядка 0.15 Тл.

Abstract

Ivanenko A.I., Foursa M.V., Shcherbakov P.A. Fluxmeter for Measurements of Magnetic Susceptibility of Stainless Steel: ИФВЭ Preprint 2000–31. – Protvino, 2000. – p. 4, figs. 1, refs.: 6.

The portable device for a measurement of very small values of a magnetic susceptibility of various aspects of stainless steel is described. As the magnetic susceptibility of a stainless steel has propensity to a diminution of the magnitude at magnification of exterior magnetic field, the transmitter is equipped with a small-sized magnet, which in a point of measurement of a sample creates magnetic field about 0.15 T.

Введение

Аустенитные нержавеющие стали класса 18/8 (примерно 18% хрома и 8% никеля), например, 12X18H10T, или их зарубежные аналоги стали марок 304, 304L, 304LN, широко используются при конструировании и изготовлении высоковакуумного оборудования из-за своих хороших механических, технологических и магнитных свойств, а также их хорошей свариваемости.

Чтобы ограничить возмущение пучка заряженных частиц во время его прохождения через трубу транспортировки пучка, желательно иметь магнитную проницаемость участков, подвергшихся механической обработке или сварке, μ_r , меньшую чем 1.02 (восприимчивость $\chi = \mu_r - 1 < 0.02$) [1,2].

Стабильность аустенитной структуры стали зависит от химического состава и внешних условий, температуры и деформации. Под влиянием деформации и низких температур хромоникелевые аустенитные стали могут испытывать мартенситное превращение, т.е. появление ферромагнитной фазы, приводящей к увеличению твердости, снижению пластичности и вязкости стали, а также к увеличению магнитной восприимчивости. В результате магнитная восприимчивость данного участка стали приобретает нелинейную зависимость от приложенного внешнего магнитного поля, при которой сначала происходит резкое уменьшение магнитной восприимчивости, а в полях, больших 0.3 Тл, она стремится к постоянной величине. В работах [3,4] показано, как влияют холодная деформация, резка, электрополирование и отжиг на зависимость магнитной восприимчивости нержавеющих сталей данного класса от магнитного поля до 1 Тл. В работе [1] показана зависимость количества ферромагнитной фазы и пропорциональной ей магнитной восприимчивости от степени обжатия образцов стали 304L. При степени обжатия 40% в объеме образца появляется 0.5% магнитной фазы.

Таким образом, необходимо измерение магнитной восприимчивости нержавеющей стали как в исходном состоянии, так и на всех этапах обработки в магнитных полях, соответствующих рабочим условиям.

В промышленности и вакуумной технике используются приборы для контроля изделий из аустенитных сталей на содержание ферромагнитной фазы в сварных швах [5,6].

Прибор, который описывается ниже, позволяет проводить непосредственные измерения локальной магнитной восприимчивости $\chi = \mu_r - 1$ в полях до 0.15 Тл.

Приводится принцип измерения и описание схемы измерения, а также описывается калибровка прибора.

1. Принцип измерения и блок-схема прибора

В основе действия прибора лежит метод измерения магнитной восприимчивости материалов с помощью индукционной катушки. Отличительной особенностью конструкции прибора является использование небольшого постоянного магнита, включенного в магнитную цепь прибора, для создания требуемого магнитного поля [6].

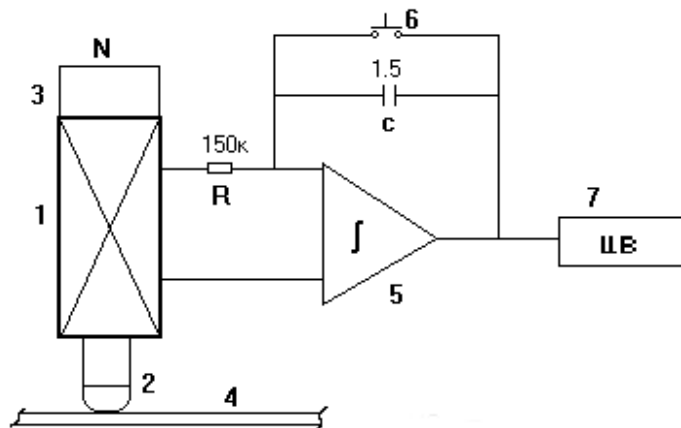


Рис. 1. Блок-схема прибора: 1 — измерительная катушка; 2 — стержень из магнитомягкой стали; 3 — постоянный магнит; 4 — исследуемая поверхность; 5 — интегратор; 6 — кнопка сброса; 7 — цифровой вольтметр.

Блок-схема прибора представлена на рис.1. Измерительная катушка 1 с внешним диаметром 32 мм и высотой 60 мм содержит 28000 витков медной проволоки марки ПЭВ диаметром 0.08 мм, ее сопротивление составляет величину $R=7650$ Ом. Внутри катушки расположен цилиндрический стержень 2 из магнитомягкой стали диаметром 16 мм. Один торец стержня, измерительный, имеет конусообразную поверхность, а на другом торце прикреплён малогабаритный постоянный магнит 3 из высококоэрцитивного магнитотвёрдого сплава. Этот магнит создаёт на измерительном торце стержня магнитную индукцию 0.15 Тл, соответствующую

рабочим условиям контролируемого изделия.

Когда исследуемый материал 4 (образец) с магнитной восприимчивостью $\chi \ll 1$ прикладывается к измерительному торцу, магнитный поток в катушке изменяется на небольшую величину, пропорциональную χ .

Измерительная катушка подключается к электронному аналоговому интегратору 5 с малым дрейфом, выходное напряжение которого измеряется цифровым вольтметром 7.

Для определения магнитной восприимчивости необходимо допустить следующие условия:

- магнитный поток ограничен полюсом магнита и зазором;
- магнитная проницаемость стержня бесконечна;
- сечение стержня постоянное;
- распределение магнитной индукции в зазоре и в магнитопроводе однородно.

Если в магнитное поле поместить исследуемое вещество, то магнитная индукция B и магнитный поток Φ изменятся. Содержащиеся в исследуемом веществе магнитные диполи переориентируются в направлении магнитного поля и магнитная индукция увеличится на величину, пропорциональную относительной магнитной восприимчивости χ . А так как магнитный поток $\Phi = Bs$, где s — площадь поперечного сечения катушки, то согласно закону электромагнитной индукции э. д. с., наводимая в катушке, равна $e = -n \frac{d\Phi}{dt}$, где величина изменения $\Delta\Phi$ магнитного потока Φ , проходящего через сечение измерительной катушки, определяется как

$$\Delta\Phi = -\frac{1}{n} \int_{t_1}^{t_2} edt, \quad (1)$$

где n — число витков измерительной катушки; e — э.д.с., наводимая в ней; t_1 и t_2 — соответственно начальный и конечный временные пределы интегрирования.

Выходное напряжение интегратора, на вход которого подается э.д.с., равно

$$u = -\frac{1}{\tau} \int_{t_1}^{t_2} edt, \quad (2)$$

где τ — постоянная времени интегратора.

Из (1) и (2) получаем

$$\Delta\Phi = \frac{\tau u}{n}, \quad (3)$$

так как согласно условиям измерения, τ и $n = \text{const}$, $\Delta\Phi \sim u$.

2. Калибровка прибора

Калибровка прибора осуществлялась сравнением с другим методом измерения изменения магнитного потока, основанном на методе ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Этот метод заключается в следующем:

- в зазоре электромагнита создавалось однородное магнитное поле B_o в диапазоне 0.1–0.2 Тл;
- с помощью магнитометра ЯМР оно измерялось с точностью 10^{-9} Тл;
- в зазор электромагнита вводился образец нержавеющей стали определённой толщины, соответствующей предполагаемому исследуемому материалу;
- по смещению сигнала ЯМР определялась добавка в магнитное поле зазора ΔB . Обычно для образца листовой нержавеющей стали, аналогичной 12Х18Н10Т, толщиной 1.5 мм добавка к магнитному полю B_o , равному 0,15 Тл, составляла величину в пределах 0.3–0.8 Гс.

Так как исследуемый образец не полностью перекрывает зазор магнитопровода, то для потока магнитной индукции можно написать выражение:

$$\Phi = \frac{NI}{R_{заз} + R_{обр}}, \quad (4)$$

где NI — произведение числа витков электромагнита на его ток,

$$R_{заз} = \frac{h_{заз} - h_{обр}}{\mu_o s}, \quad R_{обр} = \frac{h_{заз}}{(\chi + 1)\mu_o}, \quad (5)$$

где $h_{заз}$ — величина зазора, а $h_{обр}$ — толщина образца. Исходя из этого, будем считать, что магнитная восприимчивость $\chi = \mu_r - 1$ равна

$$\chi = \frac{\Delta B}{B_o} \frac{h_{заз}}{h_{обр}}. \quad (6)$$

Измеренный таким образом образец в дальнейшем используется для калибровки прибора.

Заключение

Разработанный прибор обеспечивает простой и точный метод измерения магнитной восприимчивости. Калибровка должна выполняться сравнением с другим методом. Датчик, измеряющий поверхностную восприимчивость в больших деталях, создаёт магнитное поле 0.15 Тл. Для испытываемого материала не требуется специальная обработка, что позволяет проводить измерения в ходе изготовления на любых обработанных или сваренных частях.

Список литературы

- [1] Geyari C. Design consideration in the use of stainless steel for vacuum and cryogenic equipment. // Vacuum, 1976. V. 26, №. 7, pp. 287-297.
- [2] Wilson N.M. and Bunch P. Magnetic permeability of stainless steel for use in accelerator beam transport systems. Proceedings of Particle Accelerator Conference (PAC-91), USA, p. 2322.
- [3] Collins E.W. Magnetic evaluation of machining induced deformation transformation in austenitic stainless steels. // Cryogenics. V. 18 (1978), p. 215.
- [4] Богданов И.В., Тараканов Н.М., Щербаков П.А. и др. Влияние термообработки и пластической деформации на магнитные свойства нержавеющей сталей различного состава при низких температурах. — Препринт ИФВЭ 92-78, Протвино, 1992.
- [5] Хватов Л.А. Состояние и перспективы серийного выпуска средств магнитного неразрушающего контроля. // Приборы и системы управления, 1989, № 5, с. 5.
- [6] Gourber J.P. A portable device to measure low magnetic permeability in situ. Proceedings of 4-th International Conference on Magnet Technology, Brookhaven, 1972, p. 773.

Рукопись поступила 10 июля 2000 г.

А.И.Иваненко, М.В.Фурса, П.А.Щербаков

Флюксметр для измерения магнитной восприимчивости нержавеющей стали.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Л.Ф.Васильева.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 11.07.2000. Формат $60 \times 84/8$. Офсетная печать.

Печ.л. 0,5. Уч.-изд.л. 0,4. Тираж 130. Заказ 145. Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий

142284, Протвино Московской обл.

