

ДАТЧИК ФЁРСТЕРА



Имя Фридриха Фёрстера, изобретателя, выдающегося немецкого ученого и предпринимателя, профессора, доктора философских наук, доктора технических наук, почетного доктора многочисленных университетов, хорошо известно специалистам неразрушающего контроля. Его изобретениями и открытиями пользуются во всем мире.

Фридрих Фёрстер родился 13 февраля 1908 г. в деревне Хундисбург, в семье священника. Около 150 патентов и 200 научных публикаций подписаны его именем. По всему миру разработанные Фридрихом Фёрстером электромагнитные методы и устройства используются для измерения магнитного поля, поиска неразорвавшихся снарядов, мин, античных ювелирных изделий, военных объектов, для досмотра людей в аэропортах, для конт-

роля правильности химического состава металлических изделий, качества их термической обработки, толщины, а также для выявления поверхностных трещин. Почти вся металлургическая продукция в мире проверяется с помощью этих методов и устройств. Датчики магнитного поля Ф. Фёрстера пролетели в составе оборудования спутников до Луны.

Одно из самых важных изобретений Ф. Фёрстера, за которое предприятие получило в США высшую награду НАСА (NASA), – датчик Фёрстера. Это зонд, которым можно измерять магнитные поля, гораздо более слабые, чем магнитное поле Земли. Магнитное поле Земли действительно слабое и составляет примерно 0,5 А/см. Датчиком Фёрстера можно измерять поля в 100 000 раз слабее магнитного поля Земли. Для сравнения: поле на полюсах контактного магнита составляет около 100 А/см. Для измерения этого поля нет необходимости применения датчика Фёрстера, достаточно датчиков Холла, с помощью которых можно измерять поля от 1 А/см до 1000-кратной силы поля Земли. Измерительные приборы напряженности магнитного поля Фёрстера стали стандартным решением для измерения магнитного поля во всем мире.

Как возник датчик Фёрстера, и по какому принципу он работает? Научно-исследовательский институт Макса Планка был интегрирован в 1930-е гг. в испытания новых материалов с высокой проникаемостью, которые известны сегодня, например, под названием Permalloy. Ф. Фёрстер должен был исследовать влияние внутренних напряжений на магнитные свойства проб проволоки.

Он сидел ночи напролет перед своим феррографом, пока не понял, почему петли гистерезиса располагаются в координатной системе несимметрично. Оказалось, что позиция петель гистерезиса изменялась в координатной системе, если он перемещал измерительную катушку. Можно было оценить это как нежелательный эффект, но он не остановился на этом. Ф. Фёрстер изменил конфигурацию катушек таким образом, что первичные обмотки двух трансформаторных катушек были включены встречно (рис. 1), и ожидал действия индукции

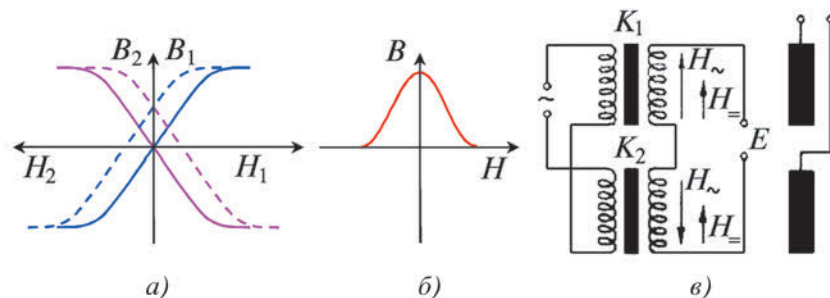


Рис. 1. Феррозонд (датчик Фёрстера)

двух направленных встречно петель гистерезиса (рис. 1, а). В результате их встречного включения они должны были нейтрализовать себя. Но так как они были немного смещены вверх по оси Y , их сумма не равнялась нулю, а давала кривую сумм дополнительной индукции (рис. 1, б).

Откуда появилась эта дополнительная индукция? Она могла быть вызвана влиянием слабого поля Земли. И снова творческий подход Фёрстера: в обычном случае применили бы компенсирующее поле для подавления этого эффекта, а озарение Фридриха Фёрстера подсказало, как использовать этот эффект для измерения слабых полей. Чтобы повысить чувствительность измерительных катушек феррографа, он перестроил расположение катушек и проб так, что использовал теперь с самого начала пару трансформаторных катушек, в которых первичные обмотки были включены встречно (рис. 1, в). Вместе с тем была рождена идея феррозонда, или «Saturationssonde», или «Fluxgate», или «second harmonic detector», или датчика Фёрстера [1]. «Second harmonic detector» потому что в измерительном сигнале встречается удвоение частоты, неопианное здесь, которое можно подтвердить также математическим путем с помощью рядов Фурье. При этом оказывается, что сигнал наложенного поля, например поля Земли, прямо пропорционален 2-й гармонике.

Датчик Фёрстера, открытый в Германии и названный в честь его открывателя, летал со спутниками на Венеру, Юпитер, Марс, Меркурий, Солнце и Луну. Он также является составной частью контрольно-измерительных приборов для обнаружения трещин, контрольно-измерительных приборов материалов, например разработанного Ф. Фёрстером и известного под названием «коэрцитиметр» (Coerzimeter) устройства для быстрого измерения коэрцитивной силы [2], а также устройства, которое может измерять магнитную проницаемость вплоть до 3-го знака после запятой таких неферромагнитных материалов, как коррозионно-стойкая сталь.

Упомянутое последнее устройство связано с открытым также Фёрстером принципом искажения поля (рис. 2): стержневой магнит обладает обычно симметричным магнитным полем, и, если его приблизить к парамагнитному материалу, поле искажается, даже если он слабомагнитен, как, например, аустенитная сталь или другие аустенитные материалы. Это исключительно незначительное искажение поля можно измерять датчиками Фёрстера. На этой основе дочерняя фирма Фёрстера — Forster-Anlagen GmbH разработала метод, который долгое время был секретным. С его помощью можно находить вредные и опасные локальные внутренние науглероживания труб центробежного литья в крекерах для производства полиэтилена.

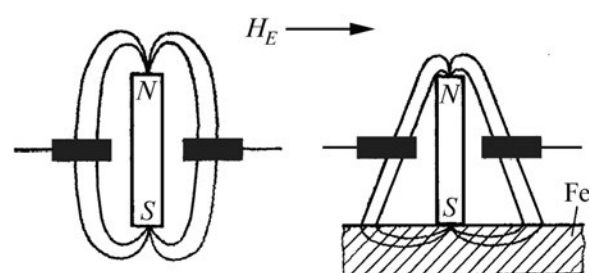


Рис. 2. Принцип искажения поля



Рис. 3

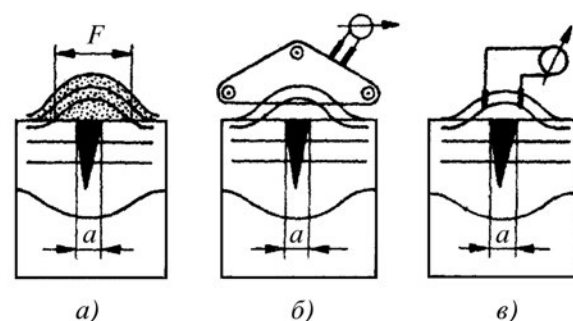


Рис. 4. Обнаружение поля рассеяния: а — магнитный порошок; б — магнитная лента; в — датчик Фёрстера

Усовершенствованный совместно с П. Рубрехт (W. Morgner, P. Rubrecht) [3], этот метод был успешно применен на предприятии химической промышленности в городе Бёлен. Там построили робота, который ездит вдоль труб для поиска науглероживанных мест. После этого на базе металлофизических основ ферромагнетизма науглероживанных труб и законов диффузии возможно прогнозирование срока службы науглероживанных труб для крекинг-ового процесса.

Зонды Фёрстера применяются для обнаружения трещин с помощью магнитного потока рассеяния и конкурируют с типичным магнитопорошковым методом там, где необходима высокая степень автоматизации (рис. 3).

На рис. 4, а схематически представлен принцип магнитопорошкового метода нахождения трещин. Трещина представляет собой электромагнитный диполь, который притягивает железные опилки. Ф. Фёрстер предлагал два варианта для использования автоматизированного метода магнитного поля рассеивания без применения магнитного порошка:

- 1) доказательство электромагнитных диполей посредством магнетографии [4], в которой накладывают магнитную ленту и которая затем исследуется датчиком Фёрстера (рис. 4, б);
- 2) непосредственная регистрация электромагнитных диполей посредством датчика Фёрстера [5] (рис. 4, в).

Ф. Фёрстер пришел к магнетографии, когда он занимался улучшением материала магнитофонной пленки. Он накладывал расширенные магнитные ленты на намагниченные и содержащие трещины части, и оказывалось, что электромагнитные диполи трещины накладываются на магнитную ленту так же, как звуковые сигналы. В простейшем случае такие ленты накладывают просто на испытываемые части после их намагничивания, потом снимают их и «проигрывают» как магнитофонную пленку. Этим простым методом в 1960-е гг. в России было проверено 100 000 км сварных швов трубопроводов. Однако в ГДР метод не применялся

из-за незначительной детектируемости ошибок по сравнению с другими методами.

Библиографический список

1. Förster, F. Ein Verfahren zur Messung von magnetischen Gleichfeldern und Gleichfelddifferenzen und seine Anwendung in der Metallforschung und Technik. Z. Metallkunde 46. 1955. S. 358–370.
2. Förster, F. Ein Betriebsgerät zur schnellen und genauen Messung der Koerzitivkraft sowie ihrer Temperaturabhängigkeit. Z. Metallkunde 46. 1955. S. 297. Messung der.
3. Morgner, W., Rubrecht, P. Automatisierte Spaltrohrprüfung zur Instandhaltungsoptimierung einer Dthylenerzeugungsanlage. 3-rd Europ. Conf. on NDT, Italy, 15–18.10.1984, vol. 2. S. 218–230.
4. Förster, F. Das Magnetographieverfahren zur automatischen Prüfung und Markierung von Oberflächdefekten in Walzwerkserzeugnissen. ASG – Mitt. Magdeburg 3. 1966. S. 149–172.
5. Förster, F. Theoretische und experimentelle Ergebnisse des magnetischen Streuflußverfahrens. Materialprüfung 23. 1981. 11. S. 372.

*Из книги Моргнер В. «Доктор Фридрих Фёрстер»
М.: Издательский дом «Спектр», 2010*

ЖУРНАЛ

«ТЕРРИТОРИЯ NDT»

*У нашей ТЕРРИТОРИИ нет границ –
попасть на нее можно ИЗ ЛЮБОЙ ТОЧКИ МИРА.*

В свободном доступе
НА САЙТЕ
www.tndt.idspektr.ru



СВЕЖИЙ НОМЕР журнала
[http://tndt.idspektr.ru/
index.php/current-issue](http://tndt.idspektr.ru/index.php/current-issue)



АРХИВЫ номеров
[http://tndt.idspektr.ru/
index.php/archive](http://tndt.idspektr.ru/index.php/archive)



Редакция: +7 (499) 393-30-25 • tndt@idspektr.ru