



www.volsu.ru

DOI: <https://doi.org/10.15688/mpcm.jvolsu.2020.1.6>

УДК 537.622

ББК 22.334

Дата поступления статьи: 27.08.2019

Дата принятия статьи: 18.10.2019

**МЕТОД ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
СЛАБО НАМАГНИЧЕННЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ
СТЕРЖНЕЙ¹**

Алексей Алексеевич Бардин

Младший научный сотрудник кафедры информационных систем
и компьютерного моделирования,
Волгоградский государственный университет
alebar13@yandex.ru, bardin@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Андрей Андреевич Орлов

Младший научный сотрудник кафедры радиофизики,
Волгоградский государственный университет
orlwork@inbox.ru, rf@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Сергей Владимирович Перченко

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиофизики,
Волгоградский государственный университет
sergrf1104@mail.ru, perchenko@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В работе предложен метод экспресс-диагностики слабо намагниченных ферромагнитных стержней, основанный на измерении значения поперечной компоненты намагниченности. Приведено теоретическое обоснование и показаны границы применимости разработанного метода. Экспериментально исследованы распределения значений поперечной намагниченности на

примере стержней, изготовленных из сталей СВ08Г2С и ER-308LSi. Показано, что указанный метод позволяет регистрировать участки с концентрациями механических напряжений без дополнительного подмагничивания исследуемого образца. Такое решение может быть использовано для оперативной диагностики инженерных конструкций.

Ключевые слова: намагниченность, датчик Холла, деформация, дефектоскопия, поле рассеяния.

Введение

Экспресс-диагностика напряженно-деформированного состояния стальных стержней и канатов является актуальной задачей. Регулярно публикуются работы, в которых исследуется влияние напряженно-деформированного состояния на различные физические процессы. Например, в работах [7; 10] исследовано поведение акустической волны при ее распространении через объект контроля, испытывающий деформацию растяжения. В работе [6] авторы включали исследуемый напряженный канат в качестве индуктивности в колебательный контур и исследовали зависимость резонансной частоты контура от прикладываемой нагрузки. Полученные в работах [6; 7; 10] результаты, при соответствующей цифровой обработке, ввиду специфики примененных методов, могут быть использованы для оценки напряженно-деформированного состояния в диагностических комплексах только в лабораторных условиях.

Перспективными являются магнитные методы экспресс-диагностики, которые требуют либо локальных прецизионных измерений магнитного поля рассеяния образца и сложной математической обработки, либо намагничивания образца для состояния технического насыщения. В работе [8] рассматривается эффект влияния размера дефекта на магнитное поле рассеяния каната, создаваемое искусственными дефектами в виде обрыва нескольких жил. При обработке магнитограмм в качестве индикатора используется преобразование Гильберта. Авторы показывают, что величина всплеска и его ширина на входе и выходе обработчика зависят от размера нанесенных дефектов. В работе [11] рассматривается влияние деформации стального каната. Для обработки результатов измерений, которая по сути заключается в фильтрации высокочастотного шума, авторы используют методы вейвлет-анализа. Отмечено, что величина всплеска сигнала на выходе вейвлет-фильтра на дефектном участке практически линейно зависит от приложенной нагрузки. В работе [9] авторы моделируют обрывы наружной и центральных жил стального каната в программе Ansys. При моделировании задавалось внешнее однородное магнитное поле с индукцией 1 Тл, поэтому можно утверждать, что моделирование производилось в состоянии технического насыщения. В качестве индикатора авторы использовали сумму компонент индукции магнитного поля. Общим в работах [8; 9; 11], как и в большинстве работ по магнитной экспресс-диагностике, является поиск и определение параметров уже существующих дефектов стального каната при его подмагничивании постоянным магнитным полем.

Мы предлагаем метод экспресс-диагностики ферромагнитных стержней, основанный на оценке локального изменения распределения намагниченности [3]. Метод является перспективным для обнаружения участков концентрации механических напряжений, возникающих непосредственно перед образованием дефектов, без намагничивания

объекта контроля до состояния технического насыщения. Разработанный метод не является ресурсоемким и по количеству вычислительных операций уступает только методу, рассмотренному в работе [9].

1. Метод определения поперечной компоненты намагниченности

Уравнение магнитостатики, связывающее распределение намагниченности образца $\mathbf{M}(\mathbf{r})$ и индукцию магнитного поля $\mathbf{B}(\mathbf{r})$, измеренную в точке \mathbf{r} вне образца с объемом V , охваченным поверхностью S , имеет вид [5]:

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} \operatorname{div} \mathbf{M}(\mathbf{r}') d^3 r' - \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_S \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} M_n(\mathbf{r}') ds. \quad (1)$$

Вычисление распределения намагниченности по результатам измерения индукции магнитного поля в общем случае является некорректной обратной задачей. Для регуляризации задачи, во-первых, ограничимся рассмотрением только цилиндрических объектов малого радиуса – стержней и канатов. Во-вторых, предположим, что намагниченность \mathbf{M} постоянна по сечению объекта и зависит только от продольной координаты z . Тогда нормальная компонента магнитного поля (1) в каждой точке на поверхности цилиндрического объекта радиусом R и длиной L имеет вид:

$$B(\alpha, z) = \int_0^L M_z(z') K(z - z') dz' + \int_0^L [M_x(z') \cos(\alpha) + M_y(z') \sin(\alpha)] P(z - z') dz',$$

где угол α отсчитывается от поперечного орта x ; функции $K(z)$ и $P(z)$ – системные функции намагниченности, зависящие только от геометрии исследуемого образца:

$$\begin{aligned} K(z) &= \frac{3\mu_0}{4\pi} \int_0^R \int_{-\pi}^{\pi} \frac{\rho [h - \rho \cos(\psi)] z}{[z^2 + h^2 - 2\rho h \cos(\psi) + \rho^2]^{5/2}} d\rho d\psi, \\ P(z) &= \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{R [h - R \cos(\psi)] \cos(\psi)}{[z^2 + h^2 - 2Rh \cos(\psi) + R^2]^{3/2}} d\psi. \end{aligned} \quad (2)$$

Если поле измеряется тремя равноудаленными от центра объекта контроля преобразователями, расположенными под углом 120° друг относительно друга, то можно ввести следующие обозначения для нормальных компонент магнитного поля B_i , измеренных датчиком с номером i : $B_1(z) = B(0, z)$; $B_2(z) = B(120^\circ, z)$; $B_3(z) = B(-120^\circ, z)$:

$$\begin{aligned} B_1(z) &= \int_0^L \{M_z(z') K(z - z') + M_x(z') P(z - z')\} dz', \\ B_2(z) &= \int_0^L \left\{ M_z(z') K(z - z') + \left[-\frac{1}{2} M_x(z') + \frac{\sqrt{3}}{2} M_y(z') \right] P(z - z') \right\} dz', \end{aligned}$$

$$B_3(z) = \int_0^L \left\{ M_z(z') K(z - z') + \left[-\frac{1}{2}M_x(z') - \frac{\sqrt{3}}{2}M_y(z') \right] P(z - z') \right\} dz'.$$

Комбинируя приведенные выше функции, можно получить интегралы, зависящие только от одной из компонент намагниченности, либо исключить одну из компонент, например M_z . Рассмотрим следующую функцию:

$$F(z) = (B_1(z) - B_2(z))^2 + (B_2(z) - B_3(z))^2 + (B_3(z) - B_1(z))^2 = \frac{9}{2} \left\{ \left(\int_0^L M_x(z') P(z - z') dz' \right)^2 + \left(\int_0^L M_y(z') P(z - z') dz' \right)^2 \right\}. \quad (3)$$

Очевидно, что $F(z)$ зависит только от поперечных компонент намагниченности $M_x(z)$ и $M_y(z)$. В ходе анализа функций (2) установлено, что для стержней малого диаметра функция $P(z)$ достаточно быстро затухает. Например, на рисунке 1 приведен график функции $P(z)$ для объекта с радиусом $R = 2$ мм при измерении нормальной компоненты поля на расстоянии $h = 3$ мм от геометрического центра объекта. Тогда для уменьшения количества операций имеет смысл вычислять интегралы в симметричных пределах $-p \dots + p$, где функция $P(z)$ существенно отличается от нуля, то есть $P(|z| > p) \approx 0$. В этом случае

$$F(z) = \frac{9}{2} \left\{ \left(\int_{-p}^p M_x(z') P(z - z') dz' \right)^2 + \left(\int_{-p}^p M_y(z') P(z - z') dz' \right)^2 \right\}. \quad (4)$$

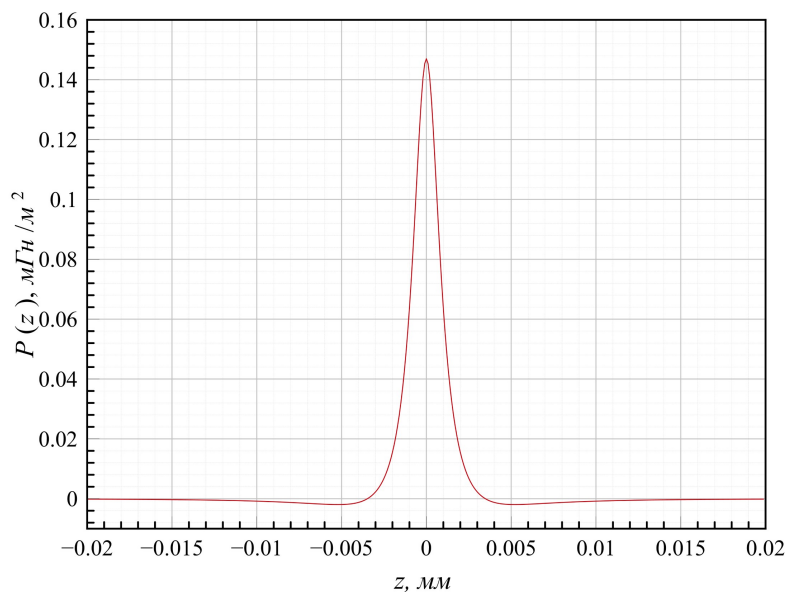


Рис. 1. Системная функция $P(z)$ ($R = 2$ мм, $h = 3$ мм)

Известно [4], что в магнитном и однородном образце намагниченность $\mathbf{M}(z)$ изменяется достаточно медленно. Для уравнений вида (4) условие медленного изменения может быть сформулировано следующим образом:

$$\frac{dM_x}{dz} \ll \frac{M_x}{2p}, \quad \frac{dM_y}{dz} \ll \frac{M_y}{2p}. \quad (5)$$

Тогда с учетом условия (5) компоненты намагниченности M_x и M_y в выражении (4) практически не зависят от переменной интегрирования и могут быть вынесены за знак интеграла. В связи с этим получим окончательное выражение для вычисления модуля поперечной компоненты намагниченности:

$$M_{\perp}(z) = \sqrt{M_x^2(z) + M_y^2(z)} = \frac{\sqrt{2} \sqrt{(B_1(z) - B_2(z))^2 + (B_2(z) - B_3(z))^2 + (B_3(z) - B_1(z))^2}}{9 \int_{-p}^p P(z') dz'}. \quad (6)$$

Интеграл в знаменателе выражения (6) вычисляется аналитически один раз для заданных геометрий образца и измерительной системы. Остальные операции в выражении (6) являются чисто алгебраическими, поэтому описанный метод в соответствующей дискретной интерпретации может быть использован в портативном приборе для оценивания значения поперечной компоненты намагниченности в режиме реального времени.

2. Материалы и экспериментальное оборудование

Экспериментальная проверка метода проводилась на образцах, изготовленных из марок сталей СГ08Г2С и ER-308LSi диаметром 4 мм. Для измерения индукции магнитного поля использовался трехкомпонентный холловский магнитометр [4]. Для позиционирования датчика магнитометра использовался прецизионный ЧПУ станок EP2006H.

Исследуемые стержни были предварительно разрезаны ножовкой по металлу на образцы длиной 20...22 см для удобства монтажа в измерительной установке. Для снятия механических напряжений все исследуемые образцы подвергались отжигу в муфельной печи при температуре 900 °С в течение 30 мин с последующим медленным остыванием до комнатной температуры. Затем измерялись контрольные магнитограммы исследуемых образцов. Перед регистрацией распределения магнитного поля рассеяния образцов проводилось измерение фоновой магнитограммы, получаемой на алюминиевом образце, которая в дальнейшем вычиталась из обрабатываемых магнитограмм. Исследуемые образцы подвергались различному воздействию: нанесение пластических деформаций ударами керна, растяжение в нагрузочной машине «Метротест РЭМ-50-1», кручение. После воздействия измерялись магнитограммы образца, и для полученных данных вычислялось распределение модуля поперечной компоненты намагниченности по формуле (6).

3. Экспериментальные результаты

На рисунке 2 приведена фотография стального стержня, изготовленного из стали марки СГ08Г2С, с нанесенным дефектом в виде пластической деформации. Из измеренных магнитограмм стержня, представленных на рисунке 3, видно, что в месте нанесения

дефекта (участок ≈ 43 мм) магнитное поле имеет характерное небольшое и локальное изменение. Медленное и практически линейное изменение значений магнитного поля свидетельствует о том, что образец слабо намагничен. Значимый пик на магнитограмме на участке ≈ 136 мм соответствует геометрическому краю исследуемого стержня. На рисунке 4, приведены нормированные на максимальное значение распределения поперечной компоненты намагниченности, вычисленные по формуле (6), для исходного состояния образца (красная сплошная линия) и после нанесения дефекта (зеленая штрихованная линия). Видно, что метод эффективно выделяет место нанесения дефекта, о чем свидетельствует большое локальное изменение значений на участке ≈ 43 мм.

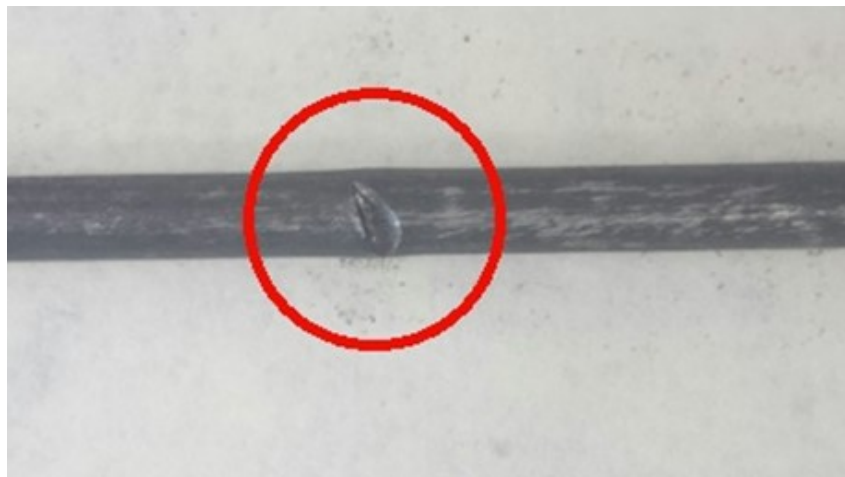


Рис. 2. Фотография образца стали СВ08Г2С с нанесенным дефектом

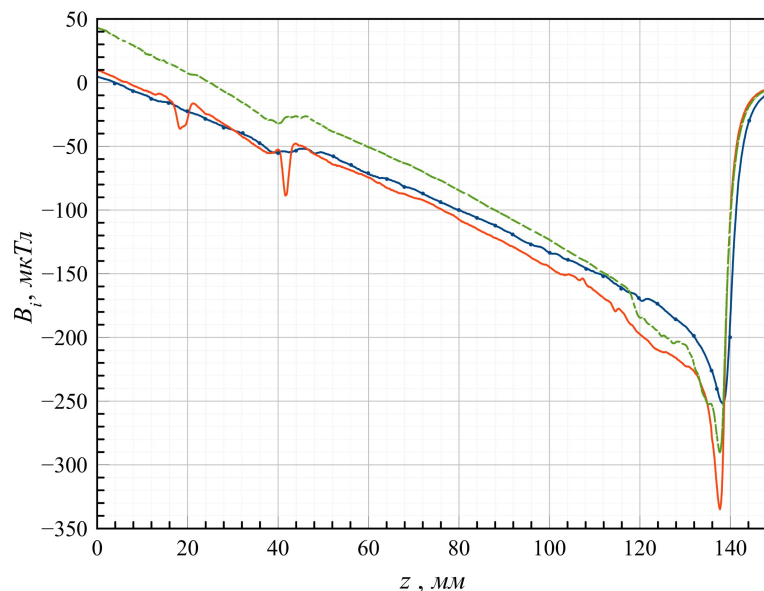


Рис. 3. Магнитограмма стержня из образца стали СВ08Г2С с нанесенным дефектом, i — номер датчика магнитометра

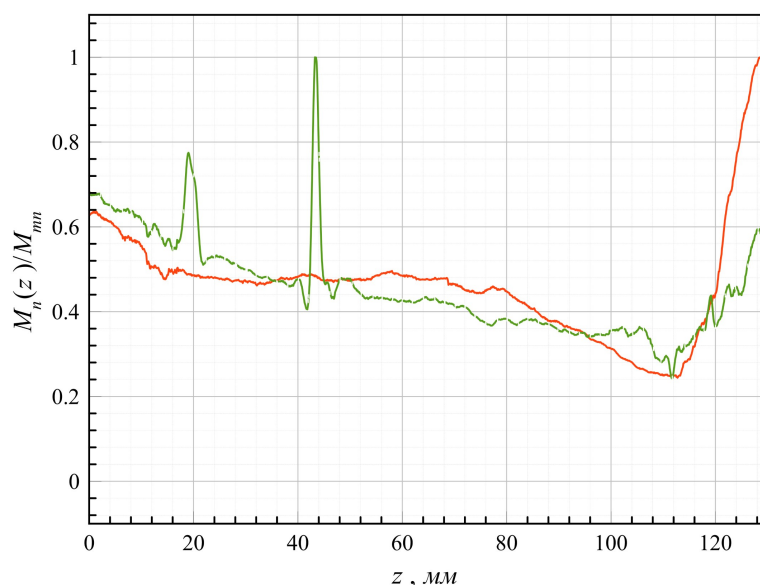


Рис. 4. Значение модуля поперечной компоненты намагниченности для стержня из образца стали марки СВ08Г2С с дефектами. Красная сплошная линия — для начального состояния образца, зеленая штрихованная линия — после нанесения дефекта

В следующем эксперименте образцы подвергались растяжению в нагрузочной машине марки «Метротест РЭМ-50-1». Образцы последовательно растягивались в нагрузочной машине с шагом 15 мм до разрыва. После каждого цикла растяжения измерялась магнитограмма поля рассеяния образца. На рисунке 5 представлены магнитограммы поля рассеяния образца нержавеющей стали марки ER-308LSi: до растяжения и после двух циклов растяжения. Для наглядности приведены распределения, измеренные одним из датчиков системы. Значительные флуктуации магнитного поля на участке $0 \dots 80$ мм показывают изменение структуры изначально немагнитного стержня и переход зерен в магнитную фазу в зонах концентрации напряжений, что приводит к возникновению слабой намагниченности в этой области [1]. Это подтверждается нормированными на максимальное значение распределениями поперечной компоненты намагниченности (6), представленными на рисунке 6. Участок магнитограммы 160 мм соответствует геометрическому краю образца.

В экспериментах также было отмечено, что на магнитограммах поля рассеяния образцов стали СВ08Г2С при увеличении растяжения увеличивается всплеск магнитного поля на границе исследуемого стержня. Это можно объяснить ростом регулярной намагниченности всего образца. Таким образом, проведенные испытания показывают, что при растяжении образцов стали марки СВ08Г2С увеличивается их намагниченность, что, по-видимому, является следствием эффекта Виллари [2]. Для исследования метода в качестве индикатора деформации кручения исследуемый стержень из стали марки СВ08Г2С зажимался в токарном станке, затем производилась серия поворотов патрона станка. После каждой серии поворотов стержень извлекался из станка и измерялись магнитограммы поля рассеяния. На рисунке 7 представлены магнитограммы исследуемого образца, из которых видно, что в области от 40 до 120 мм присутствуют сильные изменения магнитного поля (синяя с точками и зеленая штрихованная линии) по сравнению

с начальным состоянием (красная сплошная линия). Нормированные на максимальное значение распределения модуля поперечной компоненты намагниченности, вычисленной по формуле (6), приведены на рисунке 8. Из полученных результатов видно, что с каждым последующим кручением намагниченность деформируемой области увеличивалась.

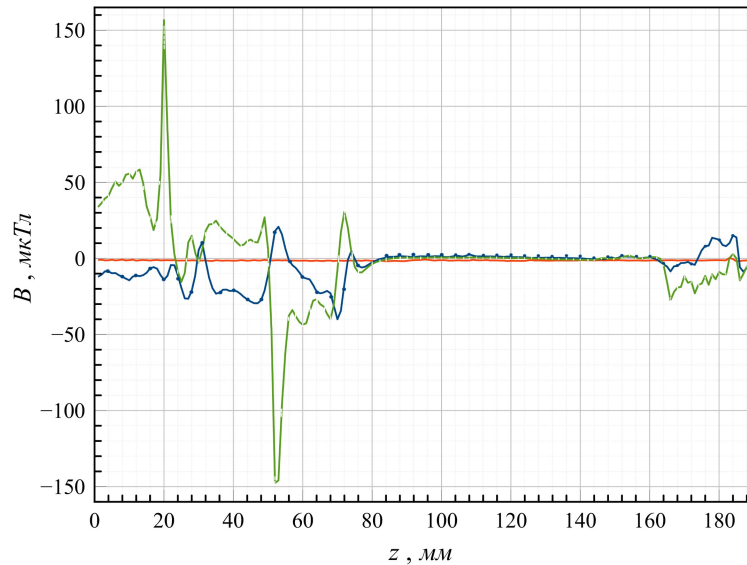


Рис. 5. Магнитограмма стержня из стали марки ER-308LSi при циклическом растяжении. Красная сплошная линия – начальное состояние, синяя с точками и зеленая штрихованная линии — первый и второй цикл растяжения соответственно

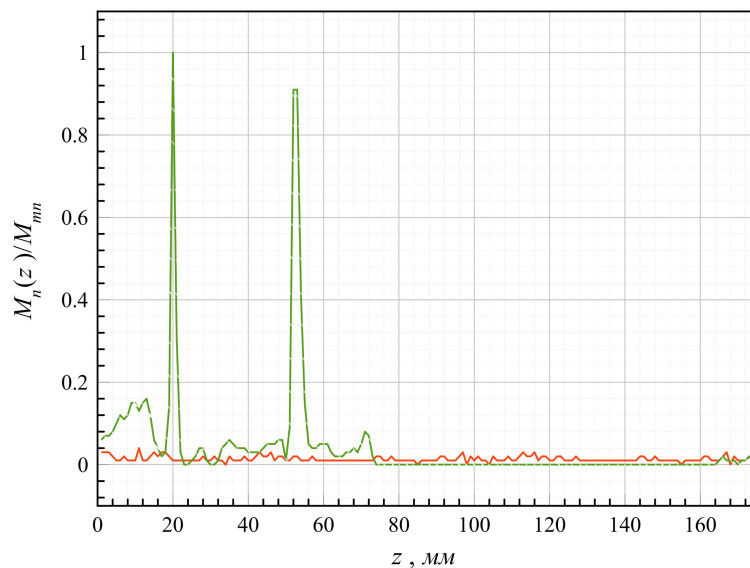


Рис. 6. Значение модуля поперечной компоненты намагниченности при циклическом растяжении образца стали марки ER-308LSi. Красная сплошная линия — начальное состояние, зеленая штрихованная линия — после растяжения

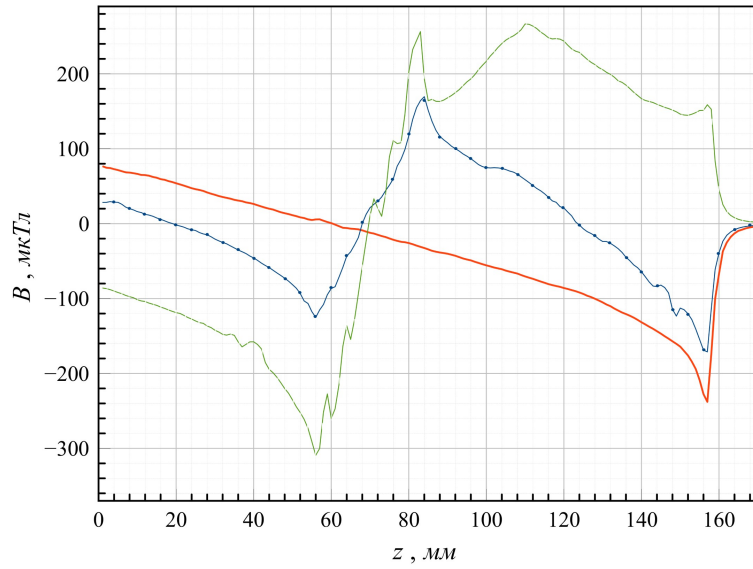


Рис. 7. Магнитограммы участка исследуемого образца с деформацией кручения. Красная сплошная линия — начальное состояние, синяя с точками и зеленая штрихованная линии — первый и третий цикл кручения соответственно

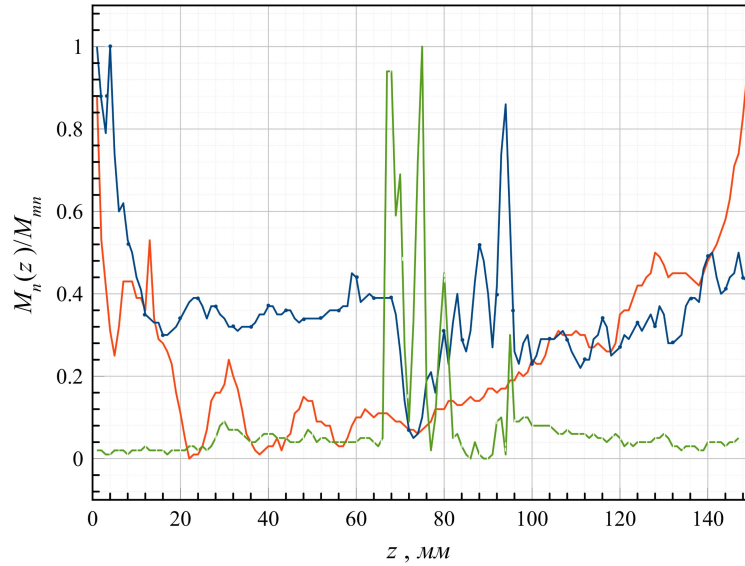


Рис. 8. Значение модуля поперечной компоненты намагниченности при циклическом кручении образца. Красная сплошная линия — начальное состояние, синяя с точками и зеленая штрихованная линии — первый и третий цикл кручения соответственно

Заключение

Предложенный в работе метод позволяет вычислять распределение средней по сечению поперечной компоненты намагниченности по результатам измерения нормальных компонент магнитного поля рассеяния на поверхности исследуемого цилиндрического образца. Особенностью метода является использование однократно рассчитанных системных функций без решения больших систем уравнений и применения неустойчивых спектральных методов [5]. Метод применим для цилиндрических объектов малого радиуса вдали от края исследуемого образца, когда намагниченность в сечении образца можно считать постоянной.

ПРИМЕЧАНИЕ

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 18-48-343002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бубнов, В. А. Механизм перехода аустенита в мартенсит при холодной пластической деформации аустенитных сталей / В. А. Бубнов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2018. — № 11. — С. 14–19. — DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2018-11-14-19>.
2. Машенко, И. П. Теоретические основы эффекта Виллари / И. П. Машенко, А. И. Машенко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. — 2005. — № 3. — С. 4–8.
3. Микромагнитный метод микроструктурного анализа ферромагнитных цилиндрических образцов / В. К. Игнатъев, Д. А. Козин, А. А. Орлов, Д. А. Станкевич // Физические основы приборостроения. — 2012. — № 4 (5). — С. 44–57. — DOI: <http://dx.doi.org/10.25210/jfor-1204-044057>.
4. Оперативный неразрушающий контроль несущих конструкций / В. К. Игнатъев, А. В. Никитин, С. В. Перченко, Д. А. Станкевич // Технологии техносферной безопасности. — 2011. — № 6 (40). — С. 9–10.
5. Печенков, А. Н. Некоторые прямые и обратные задачи технической магнитостатики / А. Н. Печенков, В. Е. Щербинин. — Екатеринбург : УрО РАН, 2004. — 177 с.
6. An electromagnetic oscillation method for stress measurement of steel strands / X. Li, B. Zhang, C. Yuan, C. Tu, D. Chen, Z. Chen, Y. Li // Measurement. — 2018. — № 125. — P. 330–335. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.014>.
7. Observation of ultrasonic guided wave propagation behaviours in pre-stressed multi-wire structures / X. Liu, B. Wu, F. Qin, C. He, Q. Han // Ultrasonics. — 2017. — № 73. — P. 196–205. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2016.08.014>.
8. Park, S. Magnetic flux leakage-based local damage detection and quantification for steel wire rope non-destructive evaluation / S. Park, J.-W. Kim // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. — 2017. — № 1. — P. 15. — DOI: <https://doi.org/10.1177/1045389X17721038>.
9. Study of steel wire ropes defects / M. Lesnak, J. Prochazka, I. Hlavaty, J. Pistora, G. Kostiukova // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — № 683. — P. 55–60. — DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.683.55>.
10. Sutiny's, E. Research of wire rope defect using contactless dynamic method / E. Sutiny's, V. Bucinskas, A. Dzedzickis // Solid State Phenomena. — 2016. — № 251. — P. 49–54. — DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.251.49>.

11. The effect of variable tensile stress on the MFL signal response of defective wire ropes / G. Gao, M. Lian, Y. Xu, Y. Qin, L. Gao // *Insight – Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*. — 2016. — № 3. — P. 135–141. — DOI: <https://doi.org/10.1784/insi.2016.58.3.135>.

REFERENCES

1. Bubnov V.A. Mekhanizm perekhoda austenita v martensit pri kholodnoy plasticheskoy deformatsii austenitnykh staley [A Mechanism of Transition of Austenite to Martensite During Cold Plastic Deformation of Austenitic Steels]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2018, no. 11, pp. 14-19. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2018-11-14-19>.
2. Mashchenko I.P., Mashchenko A.I. Teoreticheskie osnovy efekta Villari [Theoretical Basis of the Villari Effect]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki*, 2005, no. 3, pp. 4-8.
3. Ignatyev V.K., Kozin D.A., Orlov A.A., Stankevich D.A. Mikromagnitnyy metod mikrostrukturnogo analiza ferromagnitnykh tsilindricheskikh obraztsov [Microstructural Analysis of Micromagnetic Method Ferromagnetic Cylindrical Sample]. *Fizicheskie osnovy priborostroyeniya* [Physical Bases of Instrumentation], 2012, no. 4 (5), pp. 44-57. DOI: <http://dx.doi.org/10.25210/jfop-1204-044057>.
4. Ignatyev V.K., Nikitin A.V., Perchenko S.V., Stankevich D.A. Operativnyy nerazrushayushchiy kontrol nesushchikh konstruksiy [Operational Non-Destructive Testing of Bearing Constructions]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti* [Technology of Technosphere Safety], 2011, no. 6 (40), pp. 9-10.
5. Pechenkov A.N., Shcherbinin V.E. *Nekotorye pryamye i obratnye zadachi tekhnicheskoy magnitostatiki* [Some Direct and Inverse Problems of Technical Magnetostatics]. Yekaterinburg, UrO RAN Publ., 2004. 177 p.
6. Li X., Zhang B., Yuan C., Tu C., Chen D., Chen Z., Li Y. An Electromagnetic Oscillation Method for Stress Measurement of Steel Strands. *Measurement*, 2018, no. 125, pp. 330-335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.014>.
7. Liu X., Wu B., Qin F., He C., Han Q. Observation of Ultrasonic Guided Wave Propagation Behaviours in Pre-Stressed Multi-Wire Structures. *Ultrasonics*, 2017, no. 73, pp. 196-205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2016.08.014>.
8. Park S., Kim J.-W. Magnetic Flux Leakage-Based Local Damage Detection and Quantification for Steel Wire Rope Non-Destructive Evaluation. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 2017, no. 1, pp. 15. DOI: <https://doi.org/10.1177/1045389X17721038>.
9. Lesnak M., Prochazka J., Hlavaty I., Pistora J., Kostiukova G. Study of Steel Wire Ropes Defects. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, no. 683, pp. 55-60. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.683.55>.
10. Sutinyas E., Bucinskas V., Dzedzickis A. Research of Wire Rope Defect Using Contactless Dynamic Method. *Solid State Phenomena*, 2016, no. 251, pp. 49-54. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.251.49>.
11. Gao G., Lian M., Xu Y., Qin Y., Gao L. The Effect of Variable Tensile Stress on the MFL Signal Response of Defective Wire Ropes. *Insight – Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 2016, no. 3, pp. 135-141. DOI: <https://doi.org/10.1784/insi.2016.58.3.135>.

EXPRESS DIAGNOSTIC METHOD OF THE STRESS STATE OF WEAKLY MAGNETIZED FERROMAGNETIC RODS

Aleksey A. Bardin

Junior Researcher, Department of Information Systems and Computer Modeling,
Volgograd State University
alebar13@yandex.ru, bardin@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Andrey A. Orlov

Junior Researcher, Department of Radiophysics,
Volgograd State University
orlwork@inbox.ru, rf@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Sergey V. Perchenko

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Department of Radiophysics,
Volgograd State University
sergrf1104@mail.ru, perchenko@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Abstract. A method for express diagnostics of weakly magnetized ferromagnetic rods is proposed. It is based on measuring the stray magnetic field of the rod. We analyze the inverse magnetostatic problem and formulate the conditions when its regularization is possible. In this case, it is possible to connect the value of the average transverse component of magnetization with the results of the measured stray magnetic field. The distributions of transverse magnetization values were experimentally studied using rods made of SV08G2S [transliterated from Russian] and ER-308LSi steels as an example. The studied samples were subjected to impact plastic deformation, tensile deformation, and torsion deformation. It is shown that this method allows to register areas with stress concentrations without additional magnetization of the test sample. A feature of the method is the use of once calculated system functions without solving large systems of equations and using unstable spectral methods. The method is applicable for cylindrical objects of small radius far from the edge of the test sample, when the magnetization in the cross section of the sample can be considered as constant.

Key words: magnetization, Hall sensor, deformation, flaw detection, stray field.