

измерительных задач более корректным является выражение $(A - \xi \leq A \leq A + \eta)$; p , где ξ и η - границы асимметричного интервала охвата.

1. Гусинский, А.В. Введение в статистическую метрологию: монография. В 2 ч. /А.В. Гусинский, Г.А. Шаров, А.М. Кострикин. - Минск: Бестпринт, 2009. - 273 с.

2. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло. Приложение 1 к Руководству по выражению неопределенности измерения. - Оценивание данных измерений.- СПб.: «Профессионал», 2010. — 182 с.
3. Светодиодное освещение. Справочник Philips. Philips Solid-State Lighting Solutions. 2010. - 156 с.

УДК 538.2; 620.179.14

АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ СТАЛЕЙ

Сандомирский С.Г.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Параметрами, характеризующими ферромагнитные свойства материала, являются коэрцитивная сила H_C , намагниченность M_S технического насыщения и остаточная намагниченность M_R . Важным для магнитного структурного анализа параметром является и максимальная магнитная проницаемость μ_m - максимальное значение магнитной проницаемости μ как функции напряженности H магнитного поля на основной кривой намагничивания по индукции [1]. Но измерение μ_m трудоемко: материал намагничивают в замкнутой магнитной цепи до технического насыщения, измеряют его коэрцитивную силу H_C , измеряют не менее десяти значений магнитной индукции B на основной кривой намагничивания (через равные интервалы напряженности поля H) в диапазоне изменения H от $0,5H_C$ материала, до значения H , примерно соответствующего $2H_C$ [2]. По результатам каждого измерения подсчитывают μ , строят график зависимости $\mu = \mu(H)$ и получают μ_m . При соблюдении требований [2] к точности измерения размеров образцов и точности измерительной аппаратуры относительная погрешность δ измерения μ_m составляет $\pm 5\%$ (δ измерения M_R и M_S - не более $\pm 3\%$, H_C - $\pm 2\%$, а отношения M_R/M_S - $\pm 1\%$). Такая погрешность измерения μ_m удовлетворяет потребностям практики, но трудоемкость измерения сдерживает более широкое использование μ_m .

Казалось, трудоемкость измерения μ_m должна уменьшиться с появлением автоматизированных магнито-измерительных комплексов и установок. Но этого не произошло - описание принципа их работы свидетельствует: при «автоматизированном» измерении магнитных параметров происходит измерение магнитной проницаемости не на основной, как этого требует ГОСТ [2] при измерении μ_m , а на начальной кривой намагничивания. Поэтому

результаты измерения μ_m такой аппаратурой не являются μ_m исследуемых материалов по [1, 2].

Для поиска путей снижения трудоемкости измерения μ_m проведем анализ методической погрешности измерения μ_m по [2], обусловленной дискретным характером изменения амплитуды намагничивающего поля.

Для упрощения формул обозначим [3]:

$$K_n = \frac{M_R}{M_S}, \quad \xi = \frac{H_C}{M_S}, \quad h = \frac{H}{H_C}, \quad T = \text{tg} \frac{\pi K_n}{2}. \quad (1)$$

Для анализа используем (рис.1) зависимость (кривую Столетова) для относительной величины полной (амплитудной) магнитной проницаемости μ стали от напряженности H действующего магнитного поля [4], которая в обозначениях (1) может быть записана в виде:

$$\mu = 1 + \frac{\chi_n}{1+h^2} + \frac{h}{\pi \xi (\gamma + h^2)} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \arctg \{ T [1 + (-1)^n h] \}, \quad (2)$$

$$\text{где } \gamma = \frac{M_S}{\pi} \frac{\arctg(2T)}{M_C - \chi_n H_C / 2} - 1,$$

M_C - намагниченность по основной кривой намагничивания при $H = H_C$, χ_n - начальная магнитная восприимчивость материала.

В [4] показано, что (2) наиболее точно по сравнению с другими формулами описывает экспериментальные результаты для стали 40X отпущенной при 200°C после закалки от 840°C и стали ШХ15 закаленной и в состоянии поставки, магнитные свойства которых достаточно полно охватывают диапазон изменения магнитных параметров сталей.

Используем так же разработанную и обоснованную в [5] формулу для расчета поля H_{μ_n} , при котором магнитная проницаемость достигает максимума:

$$H_{\mu_n} \approx H_C \frac{1,48 - 0,17 K_n^3 - (0,07 - 0,06 K_n^3) \tau H_C}{\sqrt{K_n}}, \quad (3)$$

где $\tau = 1 \text{ м/кА}$ - размерный множитель.

Погрешность σ^{\pm} измерения μ_m , вызванную отклонением $\pm \Delta H$ поля H , при котором измерена μ_m , от поля H_{μ} , определим по формуле:

$$\sigma^{\pm} = \frac{\mu(H_{\mu} \pm \Delta H) - \mu(H_{\mu})}{\mu(H_{\mu})} \cdot 100\% \quad (4)$$

где $\mu(H_{\mu} \pm \Delta H)$ и $\mu(H_{\mu})$ рассчитаны по (2), а H_{μ} – по (3). Отметим, что, в соответствии с физической сущностью кривой Столетова (рис.1), значения σ^{\pm} отрицательны для любого ΔH . Для $|\Delta H| \leq H_{\mu}$ верно: $|\sigma^+| < |\sigma^-|$.

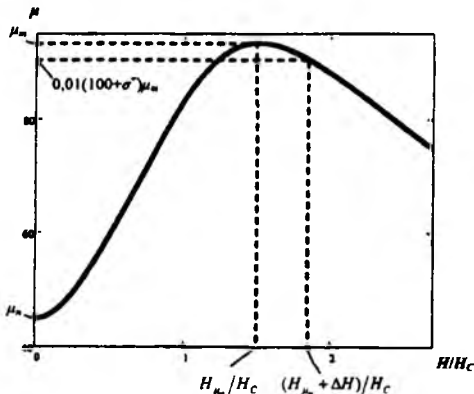


Рисунок 1 – Кривая Столетова стали

Проведенный анализ показал, что при $|\Delta H| \leq 0,1 H_c$ значение σ^{\pm} не превышает по модулю 0,5%, что на порядок меньше стандартной относительной погрешности δ измерения μ_m . Отметим, что, при измерении μ_m по методике [2], максимально возможное отклонение поля H , при котором происходит измерение μ_m , от поля H_{μ} , не более $0,075 H_c$.

Результаты проведенного анализа позволяют, при установленном по (3) значении поля H_{μ} , отказаться от многократных измерений значений μ при измерении μ_m по методике [2]. Та же точность будет получена при измерении значений μ при трех величинах поля $H: 0,9 H_{\mu}; H_{\mu}$ и $1,1 H_{\mu}$. Измерения μ при $H = 0,9 H_{\mu}$ и $H = 1,1 H_{\mu}$ нужны для исключения влияния погрешности определения поля H_{μ} по формуле (3) на результат измерения μ_m .

В обоснование такой методики на рис.2 представлены результаты моделирования измерения μ_m стали 45, закаленной от 860°C и отпущенной при 450°C , по предложенной и стандартной методикам. Сопоставление проведено расчетом по (2) каждого из значений μ на кривой Столетова. Магнитные параметры стали 45 соответствовали результатам их измерения, представленным в [3]: $H_c = 1,02 \text{ кА/м}$, $M_R = 1271 \text{ кА/м}$, $M_S = 1626 \text{ кА/м}$ и $\chi_n = 83$.

Анализ (рис.2) показал, что результаты измерения μ_m стали 45 по предложенной ($\mu_m = 641,1$) и по стандартной ($\mu_m = 641,4$) методикам практически совпадают. От результатов ($\mu_m = 684$ по [3]) экспериментального измерения μ_m они отличаются (–6%) на инструментальную погрешность измерения. При этом результаты измерения μ на основной кривой намагничивания материала в точках, соседних с измеренным значением μ_m , при использовании предложенной и стандартной методик так же совпадают. Это обеспечивает равновероятную (и малую по сравнению с инструментальной погрешностью измерения μ_m) погрешность измерения μ_m предложенной и стандартной методиками, обусловленную не соответствием рассчитанного по (3) или выбранного по стандартной методике значений поля H_{μ} по сравнению с его действительным значением.

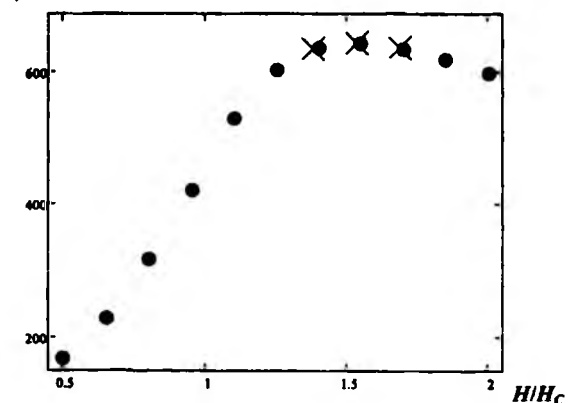


Рисунок 2 – Результаты моделирования измерения μ_m стали 45 по предложенной (X) и стандартной (●) методикам

Таким образом, использование формулы (3) для расчета поля H_{μ} позволяет при измерении μ_m проводить измерения μ на основной кривой намагничивания не при 10 значениях намагничивающего поля, как этого требует методика [2], а всего при трех. При этом предложенная и стандартная методики обеспечивают одинаковую точность измерения μ_m , но предложенная позволяет сделать это с меньшим числом намагничиваний материала и измерений его магнитных параметров.

- ГОСТ 19693 – 74. Материалы магнитные. Термины и определения. М., Издательство стандартов. 1974. – 32 с.
- ГОСТ 8.377–80 Материалы магнитомягкие. Методика выполнения измерений при определении статических магнитных характеристик. М.: Изд. стандартов, 1986. – 21 с.
- Сандомирский, С.Г. Анализ методики измерения максимальной магнитной

- проницаемости сталей / С.Г. Сандомирский // Метрология. – 2013. – № 6. – С.32 – 40.
4. Мельгуй, М.А. Экспериментальная проверка аналитических выражений для нелинейных свойств ферромагнитных материалов / М.А. Мельгуй, Э.А. Шидловская // Дефектоскопия. – 1987. – №11. – С. 11 – 18.
5. Сандомирский, С.Г. Оценочный расчет магнитного поля, при котором магнитная

- проницаемость сталей достигает максимума / С.Г. Сандомирский // Электричество. – 2012. – №7. – С. 63 – 68.
6. Бида, Г.В. Магнитные свойства термообработанных сталей / Г.В. Бида, А.П. Ничипурук – Екатеринбург: УрО РАН. 2005. – 218 с.

УДК 006.86

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ПОДТВЕРЖДЕНИЮ ПРИГОДНОСТИ МЕТОДИК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Саракач А.А., Кротова О.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск. Республика Беларусь

В настоящее время в Республике Беларусь значительное число производителей и потребителей уделяют внимание вопросам повышения качества выпускаемой продукции. Выпуск продукции высокого качества рассматривается во всех организациях как одно из важнейших условий непрерывного развития предприятия и обеспечения его финансовой стабильности, что, в свою очередь, положительно сказывается на национальной экономике и повышает престиж государства на международной арене.

В проблеме повышения качества выпускаемой продукции существенная роль принадлежит измерениям. В условиях постоянного роста требований к качеству выполнения измерений, повышению достоверности результатов измерений, возникает необходимость в разработке методик выполнения измерений (далее – МВИ), а также в изучении процедур подтверждения их пригодности и признания результатов другими государствами. В связи с этим, все большее внимание уделяется различным подходам подтверждения пригодности методик.

Несмотря на наличие необходимой нормативной базы, многие организации достаточно часто сталкиваются с проблемой выбора алгоритма и метода подтверждения пригодности МВИ, подходящих именно для их предприятия, в зависимости от целей и финансовых возможностей.

Следует отметить, что термин «подтверждение пригодности МВИ» был введен в рамках данной работы. В результате осуществленного анализа основных требований законодательства, было выявлено, что в Республике на данный момент существует стандартизованный термин «метрологическое подтверждение пригодности МВИ», относящийся к измерениям, выполняемым в сфере законодательной метрологии. В контексте работы термин «подтверждение пригодности МВИ» будет пониматься как более широкое понятие, относящееся к измерениям, вы-

полняемым как в сфере законодательной метрологии, так и вне сферы.

В результате изучения нормативной базы Республики Беларусь, были выявлены восемь методов подтверждения пригодности МВИ, представленных на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация методов подтверждения пригодности МВИ

При этом основными самостоятельными методами подтверждения пригодности МВИ являются [1]:

- аттестация;
- метрологическая экспертиза;
- сравнение с другими, более точными МВИ;
- межлабораторные сличения.

Остальные методы могут использоваться только в комбинации с другими методами подтверждения пригодности методик и не являются отдельными самостоятельными методами. Комбинации этих методов представлены на рисунке 2.

На основе изучения нормативных документов, а также установившейся практики лабораторий различных отраслей промышленности, разработаны рекомендации, касающиеся алго-