

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ С НАКЛАДНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Матюк В. Ф.

Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Описан принцип работы, устройство, назначение и технические характеристики приборов, реализующих импульсный метод магнитной структуроскопии с использованием накладных преобразователей. Созданные приборы являются предметом экспорта в страны СНГ и дальнего зарубежья, позволяют обеспечить требуемый уровень качества выпускаемой продукции и являются одним из элементов ресурсосбережения.

Введение

Надежность и долговечность машин и механизмов в значительной степени определяются механическими свойствами и структурой используемых материалов. Оперативный контроль этих свойств без повреждения изделий при достаточной производительности может быть осуществлен только неразрушающими методами. В черной металлургии и машиностроении наибольшее распространение получили магнитные методы контроля благодаря простоте операций, высокой производительности и чувствительности к контролируемому параметру. В их основе лежит наличие корреляционных связей между магнитными свойствами и структурными параметрами или прочностными характеристиками материала.

К настоящему времени связи между магнитными характеристиками и структурой или механическими свойствами установлены для широкого ряда сталей и сплавов. В значительной мере этот материал обобщен в [1–3].

Установлено, что наиболее чувствительной к изменению структурного состояния ферромагнитных материалов является коэрцитивная сила H_c . Однако в качестве магнитного параметра для неразрушающего контроля более удобно использовать остаточную намагниченность M_d контролируемого изделия после его намагничивания в открытой магнитной цепи, так как из операции контроля исключается полное или частичное размагничивание изделия.

При этом остаточная намагниченность изделия сохраняет высокую чувствительность к изменению структурного состояния его материала.

Это связано с тем, что, во-первых, эта магнитная характеристика сама по себе чувствительна к структуре материала, а во-вторых, для тел с малым отношением продольного размера к поперечному, то есть для тел с большим размагничивающим фактором, M_d пропорциональна H_c [4]. Среди методов магнитной структуроскопии широкое применение на многих предприятиях Беларуси, стран СНГ и дальнего зарубежья получил импульсный магнитный метод, разработанный в лаборатории магнитных методов контроля Института прикладной физики Национальной академии наук Беларуси [2, 5].

Основная часть

В общей формулировке импульсный магнитный метод заключается в локальном импульсном намагничивании или намагничивании и перемагничивании контролируемого изделия неоднородным полем накладного соленоида. По величине изменения градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности (рисунок 1) и по заранее установленным корреляционным связям определяют механические свойства и структуру материала (твердость, предел прочности, балл зерна и т.п.) в соответствии с ГОСТ 30415-96.

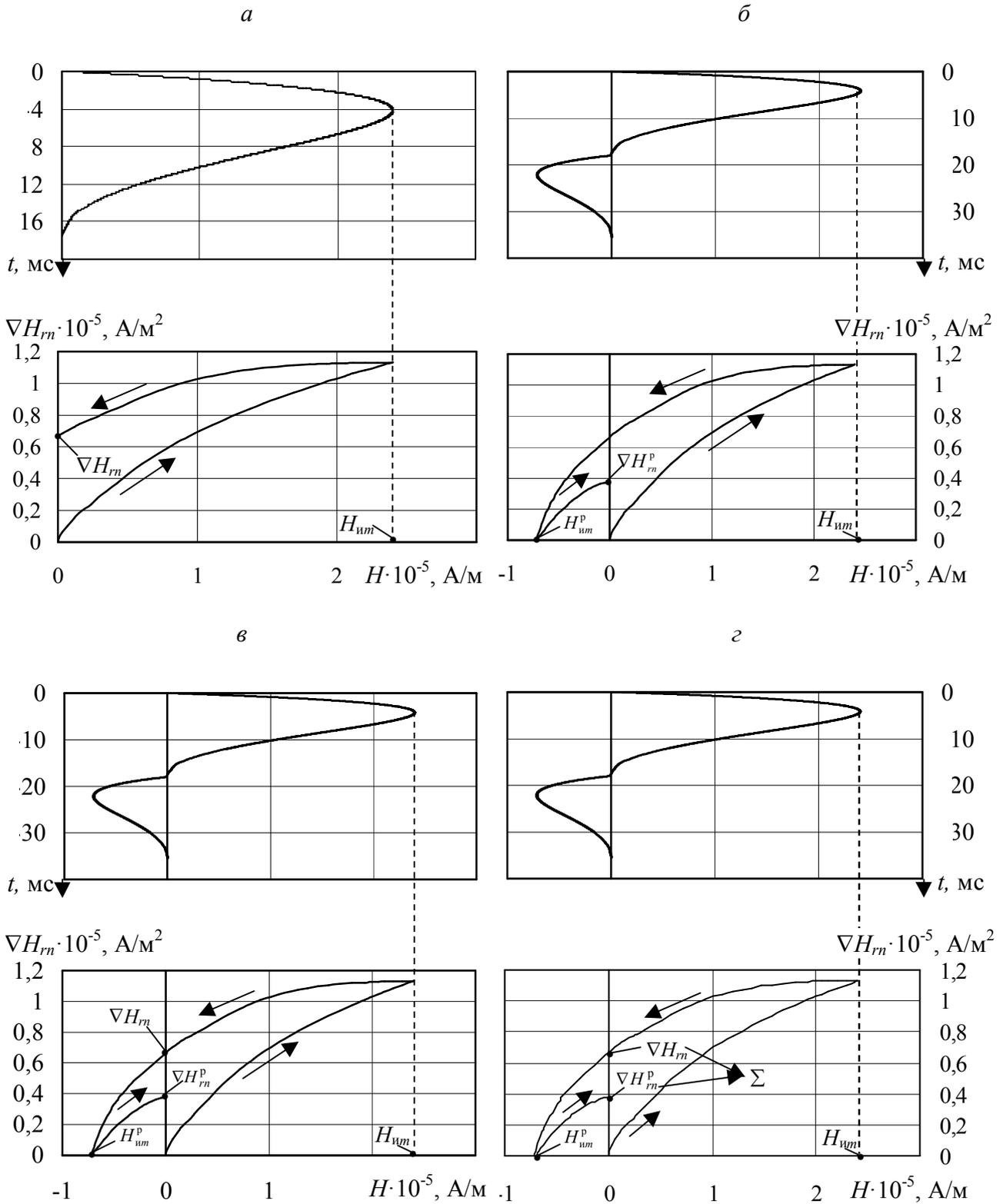


Рисунок 1 – Режимы работы приборов импульсного магнитного контроля:
 амплитуда намагничивающего H_{wm} и размагничивающего H_{wm}^p импульсов;
 градиент нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности
 после намагничивания ∇H_{rn} и размагничивания ∇H_{rn}^p

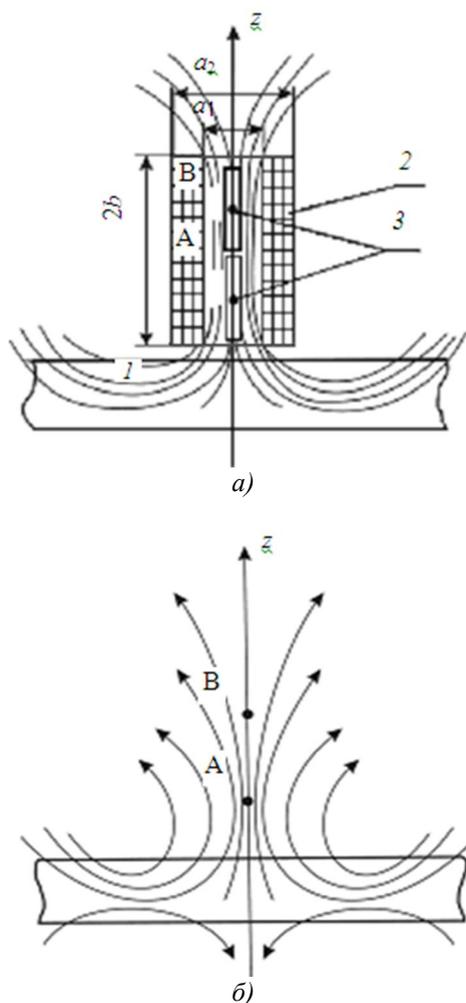


Рисунок 2 – Принцип устройства преобразователя:
 а : 1 – контролируемое изделие, 2 – намагничивающий соленоид, 3 – феррозонд-градиентометр,
 a_1 – внутренний диаметр, a_2 – внешний диаметр,
 $2b$ – длина соленоида; б : распределение поля остаточной намагниченности после локального намагничивания

Локальное намагничивание контролируемого изделия в этих приборах осуществляется посредством разряда батареи конденсаторов на малогабаритный соленоид, устанавливаемый своим торцом на объект контроля.

Измерение градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности осуществляется с помощью феррозонда-градиентометра, расположенного внутри намагничивающего соленоида на его оси в области однородного поля (рисунок 2).

Отсутствие ферромагнитного сердечника в намагничивающей цепи позволило существенно снизить влияние непостоянства зазора

между преобразователем и контролируемым изделием на результаты намагничивания, а применение феррозонда-градиентометра – ослабить влияние внешних магнитных полей на результаты контроля.

При намагничивании изделия накладным соленоидом ввиду большого размагничивающего фактора основной вклад в намагниченность локального участка изделия вносит тангенциальная составляющая намагничивающего поля. Особенно это характерно для изделий малой толщины. По мере ее увеличения влияние нормальной составляющей намагничивающего поля возрастает. Это вместе с размагничивающим действием поля возникающих при импульсном намагничивании вихревых токов приводит к ряду аномальных эффектов, таких как неоднозначная зависимость градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности от амплитуды намагничивающих импульсов или гистерезис этого градиента при циклическом импульсном перемагничивании [6, 7].

В зависимости от назначения приборы отличаются параметрами формируемого магнитного поля (конфигурацией поля, его амплитудой, длительностью, числом и полярностью формируемых импульсов), диапазоном и временем измерения градиента напряженности поля остаточной намагниченности, что достигается разными схемными решениями.

Для неразрушающего контроля качества термообработки, механических свойств и структуры изделий из низкоуглеродистых и слаболегированных сталей толщиной от 0,15 до 4 мм после технологического отжига были разработаны импульсные магнитные анализаторы типа ИМА-2, ИМА-2А, ИМА-4 и ИМА-4А [8–10]. Приборы могут также применяться для сортировки сталей по маркам и для контроля уровня остаточной намагниченности изделий.

Намагничивающий соленоид приборов данного типа имеет внутренний диаметр 6 мм, внешний диаметр 12 мм и длину 30 мм. Длительность формируемого импульса составляет примерно 1 мс (по уровню 0,05). Во всех приборах используется феррозонд-градиентометр диаметром 4,5 мм и длиной 28 мм, питаемый, в зависимости от модификации прибора, переменным напряжением синусоидальной или треугольной формы частотой 5 или 10 кГц.

Отличительной особенностью прибора ИМА-4А является то, что измерение градиента

напряженности магнитного поля осуществляется компенсационным методом. Для этого преобразователь прибора содержит дополнительно две расположенные внутри соленоида симметрично относительно его центра и соединенные между собой последовательно-встречно компенсирующие катушки. В связи с этим внутренний и внешний радиусы намагничивающего соленоида увеличены до 8 и 14 мм соответственно. Введение компенсирующих катушек позволило расширить пределы измерения до 10^5 А/м², улучшить линейность, уменьшить дополнительную температурную погрешность до 0,15 % на 10°С в интервале 5–50 °С.

В настоящее время взамен прибора ИМА-4А выпускается анализатор импульсный магнитный ИМА-4М [11]. В отличие от прибора ИМА-4А, компенсационный сигнал в приборе ИМА-4М подается прямо на измерительную обмотку феррозонда. В этой модели прибора введена также регулировка положения феррозонда в преобразователе и регулировка длительности заднего фронта намагничивающих импульсов, что позволило улучшить его технические характеристики.

Принцип работы приборов типа ИМА рассмотрим на примере прибора ИМА-4М, струк-

турная электрическая схема которого представлена на рисунок 3.

Измерение градиента напряженности магнитного поля осуществляется следующим образом. Задающий генератор 3.2 прибора формирует прямоугольные импульсы частотой 4 МГц, которые после деления (делитель 3.4 частоты) и интегрирования усилителем 3.6 мощности преобразуются в сигнал треугольной формы частотой $f = 5$ кГц, поступающий на обмотку возбуждения феррозонда-градиентометра 1.1 преобразователя 1. Амплитуда тока регулируется в пределах от 50 до 100 мА. С делителя 3.4 частоты также снимается сигнал прямоугольной формы удвоенной частоты (10кГц) для управления синхронным детектором 3.5.

При воздействии магнитного поля на феррозонд на его выходе появляется сигнал, вторая гармоника которого (10 кГц) пропорциональна величине градиента воздействующего поля. Эта гармоника выделяется селективным усилителем 3.3 и детектируется синхронным детектором 3.5, управляемым сигналом с делителя 3.4. Продетектированный сигнал поступает на вход интегрирующего усилителя 3.7 мощности, где сравнивается с нулевым уровнем.

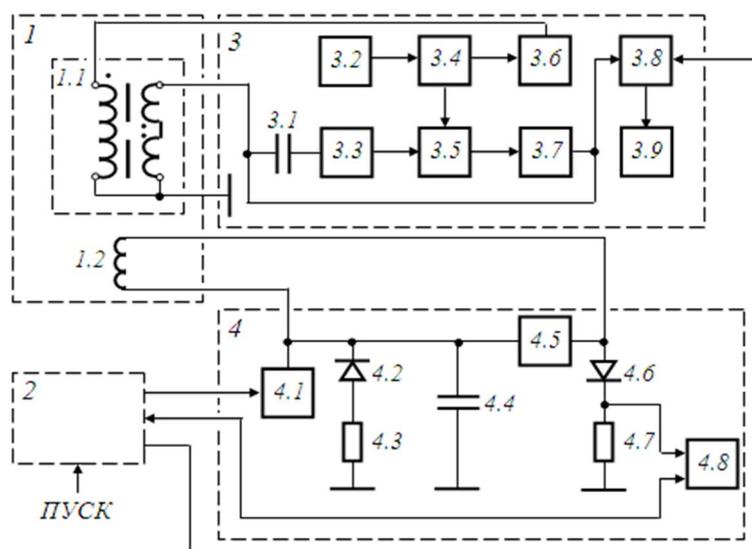


Рисунок 3 – Структурная схема импульсного магнитного анализатора ИМА-4М: 1 – преобразователь:

- 1.1 – намагничивающий соленоид, 1.2 – феррозонд – градиентометр;
 2 – блок управления; 3 – блок измерения: 3.1 – разделительный конденсатор, 3.2 – задающий генератор,
 3.3 – селективный усилитель, 3.4 – делитель частоты, 3.5 – синхронный детектор,
 3.6 – интегрирующий усилитель мощности, 3.7 – интегратор, 3.8 – аналого-цифровой преобразователь,
 3.9 – индикатор; 4 – блок намагничивания: 4.1 – блок заряда, 4.2 – демпфирующий диод,
 4.3 – резистор, 4.4 – накопительный конденсатор, 4.5 – блок управления разрядом,
 4.6 – тиристор, 4.7 – резистор (датчик тока), 4.8 – счетчик импульсов

Сигнал рассогласования является сигналом обратной связи, который подается на измерительную обмотку феррозонда-градиентометра 1.1. При этом градиент магнитного поля, создаваемый измерительной обмоткой феррозонда, направлен противоположно измеряемому градиенту магнитного поля. Таким образом, осуществляется отрицательная обратная связь по градиенту магнитного поля. Коэффициент передачи тракта селективный усилитель – синхронный детектор – интегратор достаточно велик для того, чтобы разность между градиентом измеряемого магнитного поля и градиентом, создаваемым сигналом обратной связи, была практически равна нулю. Градиент, создаваемый сигналом обратной связи, определяется величиной выходного напряжения интегратора 3.7, которое поступает на вход аналого-цифрового преобразователя 3.8.

Управление работой аналого-цифрового преобразователя 3.8 и прием цифрового кода, соответствующего аналоговому сигналу измерительно-детекторного блока, осуществляются однокристалльной микро-ЭВМ. Регистр памяти обеспечивает фиксацию младшего байта адреса при обращении к внешней памяти (ПЗУ). В ПЗУ хранится программа работы однокристалльной микро-ЭВМ.

Результат измерения после обработки однокристалльной микро-ЭВМ поступает на индикатор 3.9, состоящий из семисегментных элементов. Однокристалльная микро-ЭВМ обеспечивает также передачу данных в ПЭВМ в коде КОИ-8 по ГОСТ 19768-74 (через последовательный интерфейс RS232).

Для осуществления операции контроля преобразователь прибора устанавливается на контролируемое изделие и нажимается кнопка ПУСК. После чего из блока 2 управления подаются соответствующие сигналы в блок 4 намагничивания и аналого-цифровой преобразователь 3.8 (АЦП). При этом запускается блок 4 намагничивания, блокируется аналого-цифровой преобразователь 3.8, на табло индикатора гаснут результаты предыдущего измерения и индицируется буква «Н». Блок 4 намагничивания генерирует импульсы тока (серия из 10 импульсов), которые, проходя через намагничивающий соленоид 1.2, расположенный в преобразователе 1, создают импульсное магнитное поле, намагничивающее контролируемое изделие. По прохождении 10 импульсов намагничивание завершается, и блок 2 управ-

ления устанавливается в исходное состояние, что приводит к выключению блока 4 намагничивания и разблокированию АЦП. После этого производится индикация результата измерения.

Диапазон измерения градиента напряженности магнитного поля прибором ИМА-4М – $200 \div 2 \cdot 10^4$ А/м²; погрешность измерения градиента – 5 %; погрешность из-за изменения зазора – не более 1,5 % на каждые 0,1 мм; амплитуда намагничивающих импульсов – $2,1 \cdot 10^5$ А/м; время контрольной операции (намагничивание – измерение) – не более 10 с; диаметр контактной площадки преобразователя – 18 мм; зона влияния краевого эффекта – 100 мм; габаритные размеры – 320×320×100 мм; масса – не более 7 кг.

Для изделий из низкоуглеродистых холоднокатаных отожженных сталей толщиной 0,15–4,0 мм прибор ИМА-4М обеспечивает контроль твердости в пределах от 30 до 100 единиц по шкале $HRB_{30/100}$; предела текучести σ_T от 200 до 740 МПа; предела прочности σ_B от 20 до 830 МПа; относительного удлинения δ_{10} от 2 до 50 %, а также контроль глубины лунки по Эриксену, среднего размера зерна феррита, балла зерна феррита и цементита.

Условия эксплуатации анализатора ИМА-4М: температура окружающей среды от плюс 5 до плюс 40 °С, максимальная влажность воздуха до 75 % при температуре до 30 °С. Питание анализатора ИМА-4М осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением (220 ± 22) В частотой (50 ± 1) Гц. Габаритные размеры прибора – 320×320×100 мм³; масса – не более 7 кг. Метрологическое обеспечение прибора ИМА-4М осуществляется с помощью меры градиента магнитного поля типа МПП-5Б по МП.МИ785.2000 и не требует использования стандартных образцов металла [12]. Анализатор ИМА-4М прошел государственные испытания и зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь под № РБ 03 14 1018 06, России – под № 19948-00 и имеет сертификаты РБ № 3888 и России № 26238/1.

Контроль изделий толщиной свыше 4 мм требует увеличения размеров намагничивающего соленоида и амплитуды и длительности намагничивающих импульсов. Для контроля таких изделий разработаны приборы типа ИМА-5, ИМА-5А и ИМА-5Б [13–15].

Увеличение амплитуды намагничивающих импульсов до $1,3 \cdot 10^6$ А/м, длительности им-

пульсов до 2 мс (по уровню 0,5), внутреннего и внешнего диаметров соленоида соответственно до 10 и 50 мм, реализованное в приборе ИМА-5 [13], позволило повысить стабильность контроля, особенно при контроле толстых изделий, и тем самым расширить до 30 мм диапазон толщин изделий, на которых возможен контроль. Так, при намагничивании изделий толщиной более 4 мм с помощью преобразователя прибора ИМА-4 (создающего импульс магнитного поля $2,1 \cdot 10^5$ А/м) программы даже из 10 импульсов недостаточно для получения стабильных результатов. При амплитуде $1,3 \cdot 10^6$ А/м для получения стабильных результатов на образцах толщиной 4,5 мм достаточно трех импульсов, при толщине 10–16 мм – шести импульсов и лишь при толщине изделия порядка 29–30 мм требуется программа из 10 импульсов.

Кроме того, режим намагничивания прибором ИМА-5 по сравнению с приборами типа ИМА-2 – ИМА-4М позволяет снизить от 2 (на тонких изделиях) до 20 (на толстых изделиях) раз влияние магнитной предыстории на результаты контроля.

Отличительной особенностью прибора ИМА-5А [14] является то, что в нем предусмотрена возможность выбора амплитуды намагничивающих импульсов в диапазоне от $1,3 \cdot 10^5$ до $1,3 \cdot 10^6$ А/м, при которых на изделиях толщиной свыше 5 мм наблюдается неоднозначность зависимости градиента напряженности поля остаточной намагниченности от амплитуды этих импульсов [16]. Это позволило снизить в этом приборе погрешность из-за непостоянства зазора между преобразователем и объектом контроля для изделий толщиной свыше 5 мм. При этом на толстых изделиях величина погрешности измерений из-за изменений зазора в пределах от 0 до 2 мм не превышает 5 %.

Импульсный магнитный анализатор ИМА-5Б [15] обладает по сравнению с другими приборами типа ИМА рядом дополнительных функциональных особенностей.

Во-первых, в приборе ИМА-5Б значительно снижено влияние на результаты контроля магнитной предыстории изделия за счет возможности автоматического размагничивания, которое осуществляется одной или несколькими сериями свободно затухающих колебаний тока разряда батареи накопительных конденсаторов через намагничивающий соле-

ноид, что позволяет применять его при контроле изделий со случайно наведенной намагниченностью.

Во-вторых, в приборе ИМА-5Б реализован метод автоматического выбора оптимальной амплитуды намагничивающих импульсов, при которой достигается эффект отстройки от влияния непостоянства зазора между преобразователем и изделием на результаты контроля, основанный на неоднозначной зависимости измеряемого градиента от амплитуды намагничивающих импульсов.

Выбор амплитуды осуществляется посредством имитации реального влияния изменения зазора (или толщины покрытия) последовательным изменением режима намагничивания и режима измерения.

Прибор ИМА-5Б обладает улучшенными метрологическими характеристиками: более чем в пять раз увеличен верхний предел измерения градиента напряженности магнитного поля ($2 \cdot 10^6$ А/м²), на изделиях толщиной свыше 5 мм снижена до 5 % погрешность из-за непостоянства в пределах 0–2 мм зазора между преобразователем и контролируемым изделием и тем самым обеспечен контроль изделий с защитными лакокрасочными и полимерными покрытиями при непостоянстве толщины этих покрытий, значительно улучшена временная и температурная стабильность измерений за счет применения компенсационного метода измерения. Кроме того, прибор имеет автоматическое переключение поддиапазонов измерения. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением $220\text{В}_{-15\%}^{+10\%}$ частотой 50 Гц; потребляемая мощность – не более 300 Вт; габаритные размеры – 510×510×230 мм; масса – не более 22 кг.

Дополнительное измерение двух взаимно перпендикулярных тангенциальных составляющих напряженности поля остаточной намагниченности (помимо нормальной составляющей градиента этого поля), реализованное в приборе ТИМА [17], позволило вести контроль анизотропии структуры, а также контроль цилиндрических изделий независимо от их диаметра.

При контроле механических свойств узких протяженных зон структурной неоднородности металла на изделии, например, зоны термического влияния сварки, основной проблемой является локализация намагничивающего поля в

этой зоне. Для этого разработан преобразователь, состоящий из двух соосных встречно включенных соленоидов прямоугольного сечения и феррозонда-градиентометра, расположенного между торцами соленоидов перпендикулярно их оси. Использование такого преобразователя в приборе ЭЛЛИПС позволило выявлять в зоне сварного шва структурную неоднородность металла шириной 0,5 мм [18].

Импульсное намагничивание и последующее размагничивание изделия, реализованные в приборах типа ИЛК, позволили контролировать твердость среднеуглеродистых и слаболегированных сталей после их закалки и отпуска [19]. Работоспособность приборов проверена на изделиях из сталей с содержанием углерода 0,3–0,75 %, а также легированных хромом, никелем, молибденом, ванадием, кремнием, марганцем.

Импульсный магнитный анализатор ИМА-6 представляет собой новый модельный ряд приборов взамен приборов типа ИЛК [20]. Он предназначен для неразрушающего контроля качества термообработки, механических свойств и микроструктуры изделий из низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных холоднокатаных и горячекатаных сталей. В отличие от предыдущих моделей приборов импульсного магнитного контроля прибор ИМА-6 может работать в режиме измерения градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности после локального импульсного намагничивания (режим приборов ИМА), режиме измерения градиента после частичного размагничивания (режим приборов ИЛК) и в режиме измерения суммы градиентов после намагничивания и после частичного размагничивания (рисунок 1).

Для снижения влияния магнитной предыстории в приборе ИМА-6 предусмотрена магнитная подготовка изделия двумя импульсами противоположной полярности, причем направление первого импульса привязано к направлению градиента поля случайной намагниченности. Для усиления эффекта при контроле массивных изделий, имеющих случайную намагниченность, число пар импульсов магнитной подготовки может устанавливаться от 1 до 3.

Эффект аномального гистерезиса остаточной намагниченности при локальном циклическом перемагничивании изделия сериями импульсов изменяющейся амплитуды и полярно-

сти, использованный при разработке приборов типа КИМ, позволил отстроиться от влияния магнитной предыстории [21], а использование параметров петли этого гистерезиса (анализатор импульсный магнитный многопараметровый ИМА-М) – решить задачу контроля твердости изделий машиностроения из среднеуглеродистых и легированных сталей после объемной закалки, низкого, среднего и высокого отпуска, а также толщины и твердости поверхностно упрочненных слоев изделий из этих сталей [22].

Выводы

Разработанные приборы позволяют решить широкий круг задач магнитной структуроскопии:

- контроль качества термообработки, механических свойств и структуры изделий из низкоуглеродистых и слаболегированных сталей после технологического отжига (толщиной от 0,15 до 30 мм);
- выявление анизотропии структуры узких протяженных зон структурной неоднородности металла;
- контроль качества термообработки изделий из среднеуглеродистых и низколегированных холоднокатаных и горячекатаных сталей.

Приборы могут также применяться для сортировки сталей по маркам и для контроля уровня остаточной намагниченности изделий и контроля толщины и твердости поверхностно упрочненных слоя изделия.

Список цитируемых источников

1. *Михеев, М. Н.* Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М.Н. Михеев, Э.С. Горкунов. – М. : Наука, 1993. – 252 с.
2. *Мельгуй, М. А.* Магнитный контроль механических свойств сталей / М. А. Мельгуй. – Минск : Наука и техника, 1980. – 184 с.
3. *Михеев, М. Н.* Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов. – М. : Наука, 1993. – 252 с.
4. *Янус, Р. И.* Магнитная дефектоскопия / Р. И. Янус. – М. – Л. : Гостехиздат, 1946. – 171 с.
5. *Матюк, В. Ф.* Импульсный магнитный контроль прочностных характеристик ферромагнитных изделий / В.Ф. Матюк // Весці НАН

- Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1998. – № 4. – С. 114–118.
6. Матюк, В. Ф. Использование аномальной зависимости градиента нормальной составляющей поля остаточной намагниченности для контроля механических свойств изделий с защитными неметаллическими покрытиями / В. Ф. Матюк // Дефектоскопия. – 1996. – № 3. – С. 30–36.
 7. Мельгуй, М. А. Аномальный гистерезис поля остаточной намагниченности и его градиента при намагничивании ферромагнетика импульсным магнитным полем / М. А. Мельгуй, В. Б. Кратиров // Дефектоскопия. – 1986. – № 12. – С. 64–70.
 8. Мельгуй, М. А. Импульсный магнитный анализатор ИМА-2А / М. А. Мельгуй // Неразрушающие методы и средства контроля и их применение в промышленности. – Минск : Наука и техника, 1973. – С. 81–90.
 9. Мельгуй, М. А. Импульсный магнитный анализатор ИМА-4 / М. А. Мельгуй [и др.] // Дефектоскопия. – 1979. – № 3. – С. 29–32.
 10. Мельгуй, М. А. Импульсный магнитный анализатор ИМА-4А / М. А. Мельгуй, В. Д. Пиунов, В. Л. Цукерман // Дефектоскопия. – 1986. – № 11. – С. 63–67.
 11. Матюк, В. Ф. Импульсный магнитный анализатор ИМА-4М / В. Ф. Матюк [и др.] // Дефектоскопия. – 2003. – № 3. – С. 47–53.
 12. Матюк, В. Ф. Состояние и перспективы метрологического обеспечения средств магнитной структуроскопии / В. Ф. Матюк // Метрология–2009: доклады Международной научно-практич. конф. – Минск : БелГИМ, 2009. – С. 294–298.
 13. Мельгуй, М. А. Импульсный магнитный анализатор ИМА-5 / М. А. Мельгуй, В. Ф. Матюк // Дефектоскопия. – 1979. – № 11. – С. 90–95.
 14. Мельгуй, М. А. Контроль горячекатаного проката сталей 3сп и 10сп с помощью приборов типа ИМА-5А / М. А. Мельгуй [и др.] // – Западская лаборатория. – 1988. – Т. 54. – № 4. – С. 65–68.
 15. Мельгуй, М. А. Импульсный магнитный анализатор ИМА-5Б / М. А. Мельгуй [и др.] // Научно-технические достижения. Межотраслевой научно-техн. сборник. – М. : ВИМИ, 1990. – № 4. – С. 41–44.
 16. Матюк, В. Ф. Особенности влияния амплитуды и числа импульсов магнитного поля на величину градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности при локальном намагничивании толстых изделий / В. Ф. Матюк // Дефектоскопия. – 1996. – № 3. – С. 18–24.
 17. Мельгуй, М. А. Трехкоординатный импульсный магнитный анализатор / М. А. Мельгуй, Э. А. Шидловская // Дефектоскопия. – 1983. – № 1. – С. 19–24.
 18. Пиунов, В. Д. Испытания механических свойств сварных соединений магнитным методом с помощью прибора «Эллипс» / В. Д. Пиунов и [и др.] // Сварка и родственные технологии. Республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Минск : БГНПК ПМ и НИКТИ СП с ОП, 1998. – № 1. – С. 93–96.
 19. Мельгуй, М. А. Импульсный структуроскоп ИЛК-2А / М. А. Мельгуй, В. Б. Кратиров // Дефектоскопия. – 1984. – № 10. – С. 52–56.
 20. Матюк, В. Ф. Импульсный магнитный анализатор ИМА-6 / В. Ф. Матюк [и др.] // Дефектоскопия. – 2009. – № 7. – С. 62–74.
 21. Мельгуй, М. А. Магнитный анализатор КИМ-1М / М. А. Мельгуй, В. Б. Кратиров, В. Л. Цукерман // Научно-технические достижения. Межотраслевой научно-техн. сборник. – М. : ВИМИ, 1992. – № 4. – С. 35–37.
 22. Матюк, В. Ф. Прибор для импульсного магнитного многопараметрового контроля твердости изделий машиностроения после их заковки и отпуска / В. Ф. Матюк, М. А. Мельгуй, Д. А. Пинчуков // Химическая техника. – 2007. – № 7. – С. 22–23.

Matyuk V. F.

Devices for mechanical properties of ferromagnetic parts detection by pulse magnetic technique with attached transducers

The work principle, the device, appointment and technical characteristics of the devices realizing a pulse method magnetic structurescopy with use of unprofitable converters is described. The created devices are a subject of export to the CIS countries and the far abroad, allow to provide a demanded degree of quality of let *Поступила в редакцию 03.09.2010.*