

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ

Nondestructive Testing in Industry. Magnetic Testing

Горбаш В.Г., Делендик М.Н., Павленко П.Н.

Gorbash V.G., Delendick M.N, Pavlenko P.N.

В статье приводится информация об использовании магнитного метода контроля для решения различных задач в области неразрушающего контроля.

The article provides information on the application of magnetic testing method for solving various problems in the field of nondestructive testing.

Магнитный вид контроля относится к одному из первых видов неразрушающего контроля, который стал использоваться для диагностики продукции и промышленных объектов. Его используют для дефектоскопии (с помощью магнитных методов могут быть выявлены закалочные, шлифовочные трещины, закаты, усталостные трещины и другие поверхностные дефекты с раскрытием несколько микрометров), определения твердости, структуроскопии, определения марок сталей, измерения физических параметров материалов (например, магнитной проницаемости, магнитной восприимчивости), для измерения толщины покрытий, механических напряжений и даже химического анализа.

Существует несколько десятков методов, позволяющих реализовать данный вид контроля. Наиболее часто в настоящее время используются магнитопорошковый, индукционный, феррозондовый, магниторезистивный, магнитополупроводниковый, магнитографический, пондеромоторный метод, метод контроля с помощью датчиков Холла и др. [1]. Все они основаны на зависимости физических параметров ферромагнетиков от напряженности магнитного поля (принципе вихревых токов, изменении магнитного потока, изменения силы притяжения магнита и т.п.). Если ранее магнитные методы применяли, в основном, для неразрушающего контроля изделий из ферромагнитных материалов, находящихся в намагниченном состоянии, то теперь научно технический прогресс расширил границы применимости этих методов и на немагнитные материалы. Для этого стали

использовать новые возможности, например, применение магнитных пленок, нанесенных на немагнитный материал, позволяет определять механические характеристики изделий из немагнитных материалов и даже бетонных конструкций. Стандартные магнитные методы являются недорогими и не требуют значительного времени для измерений. К магнитным методам испытаний металлов относятся: магнитная дефектоскопия; магнитный анализ; магнитные измерения; испытания готовых магнитов.

1. В основу магнитных методов дефектоскопии положено изменение параметров магнитных полей и магнитных характеристик ферромагнитных материалов, способных существенно изменять их под действием внешнего (намагничивающего) магнитного поля [2]. При этом измерения могут проводиться как в приложенных, так и остаточных полях. В зависимости от объектов контроля применяют различные способы намагничивания контролируемых объектов [3,4]. Намагничивают детали постоянным, импульсным, переменным или комбинированным магнитным полем в продольном, поперечном или циркулярном направлении [5]. Выбор направления магнитного поля и способа намагничивания зависит от ориентации дефектов. Магнитное поле должно быть перпендикулярно направлению дефекта. После контроля детали размагничивают нагревом выше точки Кюри или переменным магнитным полем с амплитудой, равномерно уменьшающейся от некоторой максимальной величины (равной или несколько большей амплитуды намагничивающего поля) до нуля.

При магнитопорошковом методе на поверхность намагниченной детали наносят ферромагнитный порошок. Под действием магнитных полей частицы порошка скапливаются над дефектами. Возможно выявление тонких и мелких трещин с раскрытием больше 0,0025 мм и глубиной не менее 0,025 мм. В стыковых сварных соединениях с усилением, выполненных автоматической сваркой, выявляются трещины с раскрытием не менее 0,01 мм и глубиной не менее 0,1 мм, в соединениях, выполненных ручной сваркой, - соответственно 0,025 мм и 0,25 мм. Используются порошки разного цвета. Для деталей с блестящей светлой поверхностью применяют черный порошок магнетита Fe_3O_4 . При контроле деталей с темной поверхностью используют цветные, окрашенные или отожженные, кирпично-красные, серебристые или темно-коричневые порошки либо люминисцентные порошки, светящиеся при ультрафиолетовом облучении. Часто для удобства нанесения используют магнитные, в том числе магнитолюминисцентные, суспензии на масляно-керосиновой или водной основе. Если применя-

ется сухой метод контроля или используется водная суспензия, то контролируемые поверхности следует очистить от смазки и масла. Иногда перед выполнением контрольных операций контролируемые поверхности покрывают тонким просвечивающимся слоем белой краски или белого нитролака, чтобы черный порошок был лучше виден. Преимущества магнитопорошкового метода: высокая чувствительность к тонким и мелким трещинам, простота, оперативность и наглядность, возможность применения для деталей практически любых форм и размеров [6-9].

При магнитографическом методе магнитные поля рассеяния записывают на магнитную ленту, наложенную на участок контроля [10]. Магнитные ленты состоят из основы толщиной 100 мкм, сделанной из триацетата или лавсана, и магнитного слоя толщиной 10...20 мкм, состоящего из окиси железа, взвешенной в лаке. Они могут использоваться многократно. Записи на ленте преобразуются в электрические сигналы и наблюдаются на экране дефектоскопа. В автоматических устройствах применяется непрерывная запись и воспроизведение с бесконечной магнитной ленты в виде петли. Преимущества магнитографического метода контроля: высокая разрешающая способность (возможность выявления мелких дефектов), позволяющая регистрировать неоднородные магнитные поля, соизмеримые с размером частиц магнитного слоя ленты (порядка 1 мкм), возможность регистрации дефектов на сложных поверхностях и в узких зазорах [11]. Недостатки: необходимость вторичного преобразования информации, регистрируются только составляющие магнитных полей вдоль поверхности ленты, сложность размагничивания и хранения ленты - необходимо предотвращать воздействие внешних магнитных полей.

При магнитоферрозондовом методе используются датчики - феррозонды [12]. Они имеют катушки, генерирующие магнитное поле, взаимодействующее с остаточным или наведенным полем контролируемой детали. При попадании дефекта в зону взаимодействия этих полей в катушках датчика возникнет электрический сигнал, по его величине судят о дефекте [13, 14]. Этот метод имеет высокую чувствительность, но для обеспечения достоверности результатов поверхность изделия должна иметь хорошую чистоту обработки.

При индукционном методе (метод магнитного НК, основанный на регистрации магнитных полей объекта контроля индукционными преобразователями) [1] для регистрации магнитных полей рассеяния, образующихся около дефектов в намагниченной детали, используют катушку, которую двигают вдоль контролируемого объекта с посто-

янной скоростью. Магнитным полем детали в катушке наводится электродвижущая сила (ЭДС). В местах рассеяния поля ЭДС изменяется электрический сигнал, по которому судят о дефекте. Индукционный метод может использоваться для контроля сварных труб, перемещающихся относительно индукционной головки. При этом катушка намотана на сердечнике из металла с высокой магнитной проницаемостью - вместе они составляют магнитную индукционную головку (рис. 1). Метод отличается повышенной надежностью, может работать в сильных магнитных полях, однако требует перемещения магнитной головки с постоянной скоростью вдоль направления магнитного поля, при этом щель рабочего зазора в сердечнике должна быть перпендикулярна к направлению движения. Поэтому его рационально применять в массовом производстве (при большой длине швов).

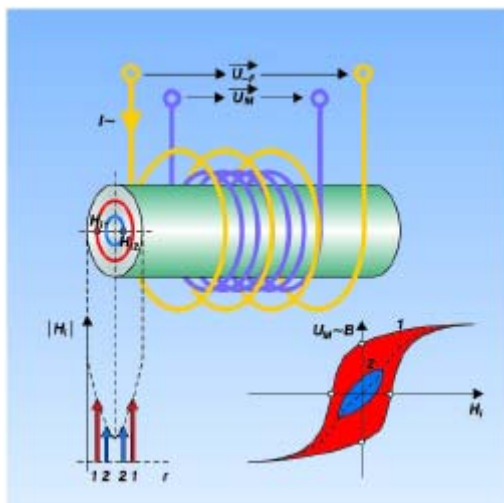


Рис. 1. Индукционный метод контроля труб

Другой вариант магнитно-индукционного способа контроля реализован, например, в приборе МАГНАТЕСТ ДН 3.623, созданным в институте др. Ферстера (Германия), предназначенном для контроля труб, прутков, проволоки, заготовок и т.д. в процессе производства. В данном приборе используется многочастотный метод и специальные алгоритмы обработки сигналов, что значительно повышает надежность результата контроля.

Дефектоскопы, у которых в качестве входного преобразователя используются индукционные и феррозондовые преобразователи, находят применение для автоматизированного контроля качества изделий из ферромагнитных материалов. Так, индукционный дефектоскоп типа ДИТ-1К предназначен для проверки труб диаметром 20... 102 мм

при скорости движения менее 4 м/с. Максимальная толщина стенки контролируемой трубы 6 мм. Особенностью дефектоскопа является использование бесконтактной поперечной системы намагничивания. Прибор обнаруживает поверхностные дефекты глубиной более 0,22 мм, а также подповерхностные дефекты труб.

Для контроля качества холоднокатанных и холоднотянутых труб диаметром 20... 102 мм предназначен индукционный дефектоскоп ДК, а для контроля холоднокатанных полос – дефектоскоп МД. На основе феррозондовых преобразователей созданы установки УФКТ-1М и МД-10Ф для контроля качества ферромагнитных изделий. С их помощью выявляются трещины, волосовины, раковины в стенках труб. Феррозондовый дефектоскоп типа МД-10Ф предназначен для контроля качества бесшовных труб диаметром 20... 146 мм с толщиной стенки менее 12 мм. В дефектоскопе имеются восемь вращающихся вокруг трубы феррозондовых преобразователей, сигналы которых, пропорциональные изменению магнитного поля дефектов, обрабатываются и регистрируются восьмиканальной аппаратурой с осциллографическим индикатором и блоком автоматики. Дефектоскоп управляет работой устройства сортировки труб.

Для полуавтоматического контроля качества поверхности и сварных соединений толстостенных ферромагнитных изделий разработаны феррозондовые установки «Радан-1М» и «Магнетон-2М» [15]. Ряд феррозондовых магнитных дефектоскопов предназначен для контроля качества рельс, уложенных в пути. Работа дефектоскопов типа МРД основана на намагничивании в продольном направлении постоянным магнитом контролируемого участка рельса и считывании феррозондом поля дефекта.

2. Магнитные толщиномеры предназначены для измерения толщины различных покрытий на ОК из ферромагнитных материалов либо для измерения толщины ферромагнитных листов. В магнитных толщиномерах используется зависимость магнитного сопротивления участка магнитной цепи от зазора. По принципу действия магнитные толщиномеры можно разделить на три группы: магнитоотрывные (пондеромоторного действия), магнитостатические и индукционные [16]. Магнитоотрывной метод основан на измерении силы отрыва постоянного магнита или сердечника электромагнита от контролируемой поверхности, которая зависит от толщины покрытия. Метод применяют для неферромагнитных покрытий на деталях из ферромагнитных металлов при толщине покрытия до 1000 мкм и ферромагнитных покрытий на деталях из неферромагнитных металлов при

толщине покрытия до 25 мкм. Относительная погрешность метода $\pm 10\%$. Магнитостатический метод основан на регистрации с помощью магниточувствительных элементов изменений напряженности магнитного поля в цепи электромагнита постоянного тока или постоянного магнита при изменении расстояния между ним и основным металлом детали из-за наличия покрытия. Метод применяют для ферромагнитных металлических и неметаллических покрытий и гальванических никелевых покрытий на ферромагнитных металлах. Относительная погрешность метода $\pm 10\%$. Магнитоиндукционный метод основан на определении изменений магнитного сопротивления участка цепи: преобразователь – контролируемая деталь, зависящего от толщины покрытия, по ЭДС, наводимой в измерительной обмотке преобразователя, питающегося переменным током низкой частоты [17]. Метод применяют для ферромагнитных металлических и неметаллических покрытий на ферромагнитных металлах. Относительная погрешность метода $\pm 5\%$.

Индукционные толщиномеры используют одностержневой магнитопровод и переменное электромагнитное поле (рис. 2).

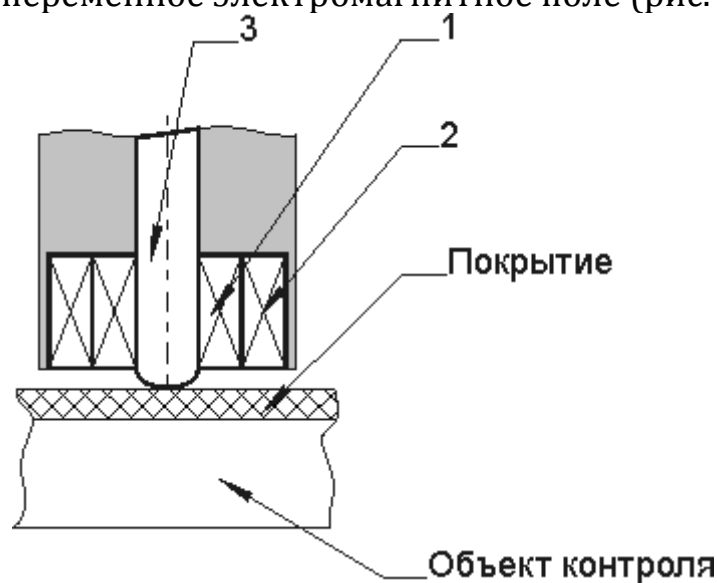


Рис. 2. Индукционный толщиномер

Сердечник - 3 расположен перпендикулярно поверхности объекта контроля. На нем размещены катушка, возбуждающая переменное электромагнитное поле 1, а также измерительная катушка 2. По такой схеме работает толщиномер МТ-201 предназначенный для измерения толщины немагнитных покрытий (хром, медь, краска, эмаль, пластик и т. д.) на ферромагнитном основании. Оригинальные модели немец-

кого производства Horstek TC 113 и TC 115, как и их аналог, толщиномер СНУ 113 и СНУ 115, обладают рабочими диапазонами в пределах 0-200 и 0-2000 мкм. В дискретном и непрерывном режимах толщиномер покрытий (Horstek TC 115 или магнитный толщиномер СНУ 115) позволяет работать не только со стальными деталями, но и немагнитными сплавами (алюминиевыми или латунными). При этом, материал подложки автоматически фиксируется на цифровом табло самого толщиномера лакокрасочных покрытий. Вдобавок, данный толщиномер лакокрасочных покрытий позволяет задавать верхнее и нижнее критические значения измеряемой толщины, сигнализируя звуковым сигналом при выходе измеряемой величины за их границы.

В тех случаях, когда металлоконструкции подвержены коррозии, обязательным условием оценки остаточного ресурса является оценка не только напряжённого состояния, но и остаточной толщины деталей металлоконструкций [18]. Для таких работ рекомендуется применять бесконтактные ЭМА толщиномеры.

3. Вопросами, связанными с магнитной структуроскопией, занимались в Японии, Германии, США. Но больше всего решением этих задач уделялось внимание в Советском Союзе. Из многочисленных методов физического контроля, применяемых для контроля механических характеристик распространился оптимальный – магнитный, а из магнитных методов предпочтительными оказались основанные на измерении магнитной индукции и коэрцитивной силы. Эти две магнитные характеристики имеют наилучшую корреляцию с механическими свойствами стали. Был разработан государственный стандарт по неразрушающему контролю механических свойств и микроструктуры магнитным методом [19], который является первым в мире стандартом по этому направлению. Магнитные методы исследования применяют как для определения величины магнитных свойств металлов и сплавов – коэрцитивной силы H_c , остаточной индукции B_r и магнитной проницаемости μ (используемых, например, в электромашиностроении и коррелирующих с такими характеристиками, как твердость, марка стали и т.д.), так и для изучения превращений протекающих в металлах и сплавах в твердом состоянии (например, механических напряжений) [20 – 25]. При этом полезную информацию можно получать, в зависимости от метода, как с полного сечения образца (изделия), так и с его поверхности.

Физическая суть метода давно известна и очень проста. Если снимать петлю магнитного гистерезиса с разных марок стали, можно увидеть, что магнитные характеристики разных марок позволяют

различать их как по магнитной индукции, так и по коэрцитивной силе, рис. 3.

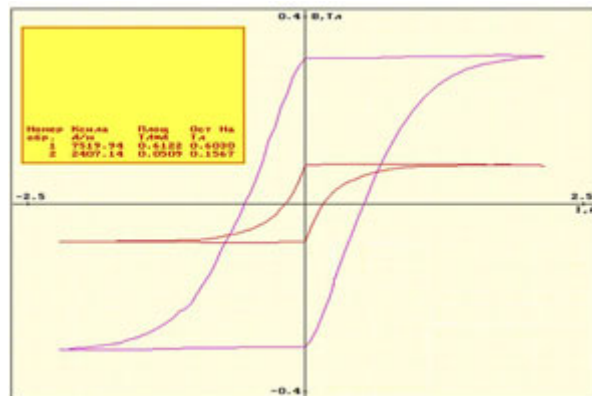


Рис. 3. Различия между петлями гистерезиса низкоуглеродистой (петля с меньшей площадью) и высокопрочной низколегированной стали, позволяющие определять структурные составляющие изделия и механические свойства.

Чтобы перейти от магнитного контроля стали к механическим испытаниям, для каждой марки стали проводят серию параллельных испытаний – магнитных и прямых, традиционных, а потом используют полученные взаимосвязи для аттестации готовой продукции.

Магнитными методами определяют глубину закаленного и цементированного слоев углеродистых сталей [26].

При магнитном контроле физико-механических свойств объектов используется связь между физико-механическими и магнитными параметрами [27]. Эта связь, часто не только неоднозначная, но и нестабильная, носит корреляционный характер и возникает тогда, когда одни и те же физические и химические процессы образования структуры и фазового состава ферромагнитных сталей формируют также и их магнитные свойства. Сложный характер одновременного влияния различных факторов на магнитные и физико-механические свойства ферромагнитных материалов часто не позволяет определить влияние каждого фактора в отдельности. Поэтому в магнитной структуроскопии оценивают изменение магнитных параметров и по ним определяют соответствующие этим изменениям различные физико-химические или физико-механические свойства ОК. При магнитном контроле механических характеристик и структуры ферромагнитных материалов используют относительные измерения, т. е. не измеряют какой-либо магнитный или механический параметр, а только фиксируют, соответствуют ли параметры ОК заданным или отклоняются от них. Чтобы оценить, насколько при этом механические параметры детали отличаются от номинальных, нужны дополнительные сопостав-

ления с параметрами специально подобранных образцов. В последнее время значительно вырос интерес специалистов к магнитостатическим методам контроля внешней поверхности объектов и соответствующим портативным ручным приборам. Данные методы неразрушающего контроля качества сооружений из конструкционных сталей основаны на изменении силы тока размагничивания, соответствующей коэрцитивной силе. В качестве примера можно привести, в частности, магнитные коэрцитиметры, определяющие качество термообработки, твердость и другие механические характеристики ферромагнитных материалов, или импульсные магнитные анализаторы, определяющие предел прочности, текучести и относительное удлинение углеродистых сталей после термообработки [28]. Интересны магнитные сканеры серии СкМ для поиска и определения параметров дефектов основного металла и металла сварных соединений.

По использованным магнитным информативным параметрам различают следующие разновидности контроля структуроскопии: коэрцитиметрия; контроль по остаточной намагниченности; контроль по магнитной проницаемости; контроль по магнитным шумам; ферритометрия; метод высших гармоник.

Для контроля структурного и напряженного состояния металлоизделия можно использовать как импульсные магнитные анализаторы (ИМА), так и коэрцитиметры. В настоящее время ИМА применяют только для сдаточного контроля металлопродукции. При контроле изделий в эксплуатации предпочитают двухполюсные коэрцитиметры. В отличие от ИМА, они позволяют выделить в изделии направления наибольших и наименьших напряжений.

За десятилетия работы в металлургии накоплены данные по величине коэрцитивной силы стального проката, в зависимости от марки стали и термической обработки, часть этих сведений вошла в справочник [29].

Вслед за металлургами магнитный контроль структурного и напряженного состояния металлоконструкций стали использовать для оценки состояния опасных элементов грузоподъемных механизмов [30]. Госгортехнадзор сформулировал требования к средствам магнитного контроля опасных производственных объектов. Госгортехнадзором России для определения НДС и остаточного ресурса металлоконструкций промышленного оборудования рекомендован коэрцитиметр КРМ-Ц-К2М. Принцип работы прибора основан на предварительном намагничивании изделия до насыщения, размагничивании его до нуля и электронной обработке полной петли магнитного гис-

терезиса с оценкой величины коэрцитивной силы H_c . Для количественной оценки напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса участка ферромагнитной конструкции после предварительного намагничивания доступной контролю поверхности, разработаны также устройства типа «Комплекс-2.05». Кроме того, в последние годы внедряются контактные сканирующие устройства индикации местонахождения зон концентрации напряжений (аномалий напряженно-деформированного состояния) ферромагнитных материалов без предварительного намагничивания с использованием так называемого «метода магнитной памяти металла» [31-33] - одно- или двухканальные магнитометры ИКН-1М, ИМНМ-1Ф. Однако, в отличие от первых, где размагничиваемость предварительно намагниченного участка контролируемого объекта обусловлена, прежде всего, действием механических напряжений, так как эта зона находится под «особым контролем» - обычно намагниченная зона помечается визуально, во втором случае однозначно трактовать причину резкой неоднородности остаточной намагниченности объекта контроля, строго говоря, - нельзя. Эту неоднозначность несколько снимает контроль по коэрцитивной силе, но и этот вопрос требует существенной проработки и проведения дополнительных исследований.

В отличие от магнитной дефектоскопии, имеющей дело с реальными дефектами, структурный магнитный контроль предназначен для упреждения развития дефектов, вызванных статическим нагружением, циклическими нагрузками и динамическими ударами [34-38].

Метод магнитных шумов, основан на эффекте Баркгаузена (скачкообразном изменении намагниченности ферромагнетика при непрерывном изменении внешних условий, например магнитного поля) [39 - 41]. Следует отметить, что применение метода магнитных шумов (МШ) в промышленности явно не соответствует его возможностям и требует комплексного решения исследовательских, конструкторских и методических задач. К их числу относятся вопросы более глубокого исследования взаимосвязи параметров сигналов магнитных шумов с технологическими остаточными напряжениями и структурными изменениями в конструкционных сталях, методическое обеспечение выбора информативных параметров и режимов контроля с наибольшей достоверностью результатов измерений, разработка принципов создания надежной контрольно-измерительной аппаратуры и методик контроля, приемлемых для производственных условий. Энергетические и эмиссионные характеристики МШ определяются

перестройкой магнитной текстуры ферромагнетика скачками Баркгаузена (СБ), и несут информацию об изменении физико-механических свойств металла в процессе технологии изготовления изделий.

4. Магнитные методы, так же как и рентгенографические, служат для получения данных о структуре веществ [42]. Эти методы использовались для изучения эффективной дисперсности парамагнитных окислов, таких, как Cr_2O_3 , нанесенная на Al_2O_3 , а также для определения степени окисления и типа связи в условиях, когда применение других методов затруднительно или совсем невозможно [43].

Фазовый состав матрицы сталей оказывает существенное влияние на свойства металла. В соответствии с этим знание количественного соотношения фаз, составляющих твердый раствор, является важной характеристикой, позволяющей оценить состояние металла в процессе производства и эксплуатации. К наиболее распространенным магнитным методам определения фазового состава матрицы стали можно отнести магнитные методы (ферритометрия, аустенимометрия). Это методы контроля доведенные до уровня нормативных документов. Их широко используют при неразрушающем контроле за их простоту, высокую производительность и возможность определения содержания ферритной фазы непосредственно в готовых изделиях, а также высокой точностью этих методов и соответствующей аппаратуры [44]. Оперативность, невысокая стоимость оборудования, простота процедуры измерения и возможность проведения измерения непосредственно на изделии (оборудование, трубопроводы, сварные соединения) делают этот метод незаменимым в производственных условиях в качестве метода контроля. Наличие достаточного числа нормативных документов, касающихся методики измерения, способствует проведению количественного определения фаз матрицы магнитным методом. Ферритометр - толщиномер магнитный ФТМ-2.

Магнитные методы анализа газов в последнее время привлекают к себе непрерывный интерес, выразившийся в появлении большого количества статей, обсуждающих способы исследования парамагнитных газов, особенно кислорода. Магнитные методы газового анализа основаны на измерении физических свойств газовой смеси или параметров физических явлений, обусловленных магнитными свойствами определяемого компонента в магнитном поле [45]. Магнитные методы нашли широкое применение для построения газоанализаторов на кислород, магнитная восприимчивость которого на два порядка превышает восприимчивость других газов. Магнитные методы час-

то позволяют установить степень окисления. Магнитные методы анализа разработаны сравнительно недавно. Первый газоанализатор, основанный на измерении теплопроводности газа в магнитном поле, был создан Рейном в 1939 г. В эти же годы Клауэр, Туровский и Вольф предложили метод, использующий явления термомагнитной конвекции. В 1946 г. П. Л. Капицей и одновременно в США Полингом был предложен магнитомеханический метод анализа. Магнитные методы анализа делятся на магнитомеханические, термомагнитные и магнитофизические.

Магнитные методы пригодны также для идентификации и определения ферромагнитных компонентов, например карбида железа, в катализаторах синтеза по Фишеру – Тропшу или синтеза аммиака. Магнитные методы совместно с другими методами исследования помогают решать вопросы строения, характера хим. связи, валентных состояний элементов в соединениях, ассоциации и полимеризации молекул. Эти методы используются при изучении гетерогенного катализа, диаграмм состояния и для характеристики чистоты вещества. Магнитные методы исследования применяются для изучения катализаторов уже в течение приблизительно тридцати лет.

Магнитные методы находят широкое применение в решении проблем химии, металлургии и геологии. Магнитные измерения используются для решения самых различных вопросов, например для определения молекулярной структуры, состояния окисления, строения координационных соединений, при разработке теории кристаллического состояния, коллоидной химии, свободных радикалов, при изучении структуры сплавов, диаграмм состояния, в геофизических исследованиях.

5. Распространению магнитных методов контроля способствовала недоступность поверхности некоторых объектов контроля (например, трубопроводов, уложенных в землю) и трудоемкость подготовки к контролю поверхности металла действующих объектов, особенно нефтегазовой промышленности с применением традиционных методов, например, УЗ-дефектоскопии. Их актуальность связана с высокой производительностью, точностью, информативностью и главным образом с возможностью бесконтактного проведения контроля. Широко распространен магнитный метод снарядами-дефектоскопами после предварительного намагничивания трубопровода. В пользу магнитного метода также свидетельствует его низкая избирательность к типу дефекта: какого бы происхождения ни был дефект, он будет выявлен. Для контроля металла на скрытых участках линейной

части магистральных газонефтепродуктопроводов предназначен магнитный интроскоп МИ-20/МИ-10 серии МИ-ХХ, применяемый согласно [46].

В научной литературе имеются описания теоретических предпосылок возможности применения магнитных геофизических методов для бесконтактного выявления дефектов металла внутри промышленных подземных трубопроводов. По опубликованным данным, технические средства для магниторазведки (ММ-60, УПК; ИГА-1У; ММ-60М1; ММП-203МС; ЭРА-трасса) на основании известных теоретических положений позволяют выполнить некоторые диагностические задачи. В частности, устанавливается глубина залегания ферромагнитных конструкций; с известными допущениями вычисляются магнитные аномалии, создаваемые намагниченными телами простой формы.

Принципиальный шаг вперед в области методов магнитного неразрушающего контроля был сделан после изобретения Е.М. Беловым «Способа прогнозирования местоположения течей трубопроводов», позволяющего выявлять аномальные участки трубопровода с поверхности земли за счет бесконтактного измерения его магнитного поля. На базе этого способа реализовано техническое устройство ИАМ-1. Из публикаций о результатах применения данного прибора можно сделать вывод о его достаточной эффективности в качестве индикатора аномальных участков трубопровода с отклонениями уровня напряженно-деформированного состояния металла от фоновых значений. Однако методические основы обследования указанным прибором для выявления точного местоположения, вида и опасности дефектов металла в печати или в нормативных документах не отражены и не могут быть проанализированы. Недостатком метода является отсутствие системы автоматической регистрации с заданным шагом, т.е. появляется зависимость от человеческого фактора. Эффективность применения данной технологии может быть оценена широким кругом специалистов по НК лишь при публикации достаточно обширной статистики вскрытий по результатам обследований.

По существующей системе классификации вышеперечисленные технические средства бесконтактной магнитной диагностики относятся к ручным (неавтоматизированным) средствам. Технические средства НК данной группы зависят от степени участия оператора в процессе контроля. Фактически перечисленные методы и приборы являются инструментами качественной оценки состояния труб для прогноза возможного наличия дефектов металла на участках, вы-

бранных по индикаторным показаниям приборов на основе опыта специалиста, проводящего обследование. В этом случае надежность результатов в значительной мере зависит от субъективных факторов: квалификации, опыта и добросовестности оператора. Для повышения качества работ по бесконтактному обследованию в НТЦ «Транскор-К» разработан полуавтоматический прибор магнитометр бесконтактный сканирующий «СКИФ» МБС-04, лишенный указанных недостатков. Эта технология магнитного контроля согласно классификации методов НК относится: по виду - к магнитному контролю; по характеру взаимодействия физических полей - к магнитному методу; по первичному информативному параметру - к методам контроля намагниченности ферромагнитного объекта; по способу получения первичной информации - к магнитометрическим методам. Метод позволяет бесконтактно выявлять точное местонахождение (в продольных, угловых и абсолютных географических координатах), вид и опасность дефектов металла при 100%-ном объеме контроля трубопровода [47]. Кроме того, данный метод позволяет оценить работоспособность участков трубопровода с учетом совокупности всех имеющихся дефектов различной природы или повышения уровня напряженно-деформированного состояния металла труб. Эффективность выявления дефектов металла при этом не ниже 80%, что сопоставимо с показателями внутритрубной инспекции.

Литература

1. ГОСТ 24450-80. Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения.
2. ГОСТ 26697-85. Контроль неразрушающий. Дефектоскопы магнитные и вихре-токовые. Общие технические требования.
3. ГОСТ 21105-87. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод.
4. РД 13-05-2006. Методические рекомендации о порядке проведения магнитопорошкового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах.
5. Зацепин Н.Н., Коржова Л.В. Магнитная дефектоскопия.- Минск: Наука и техника, 1981.- 208 с.
6. Янус Р.И. Магнитная дефектоскопия. - М. – Л.: ОГИЗ, 1946. – 171 с.
7. Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий. – М.: Высш. шк., 1991. – 271 с.
8. Контроль качества сварки / Под общ. ред. В.Н.Волченко. - М.: Машиностроение, 1975. – 328 с.
9. Ключев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник. - М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.

10. ГОСТ 26178-84. Ленты магнитные. Методы испытания физико-механических свойств.
11. ГОСТ 25225-82. Контроль неразрушающий. Швы сварных соединений трубопроводов. Магнитографический метод.
12. ГОСТ 21104-75. Контроль неразрушающий. Магнитоферрозондовый метод.
13. Зацепин Н.Н. Неразрушающий контроль (избранные вопросы теории поля).- Мн: Наука и техника, 1979.- 192 с.
14. Зацепин Н.Н., Горбаш В.Г. Феррозондовые преобразователи с поперечным возбуждением. - Мн. Наука и техника, 1988.- 110 с.
15. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. - М.: Машиностроение. Оборудование для сварки. Т. IV-6 /В.К. Лебедев, С.И. Кучук-Яценко, А.И. Четвертко и др.; Под ред. Б.Е. Патона. 1999. - 496 с.
16. ГОСТ 26737-85. Контроль неразрушающий. Толщиномеры покрытий магнитные и вихретоковые. Общие технические требования.
17. ГОСТ 27750-88. Контроль неразрушающий. Покрытия восстановительные. Методы контроля толщины покрытий.
18. ГОСТ 9.302-88. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля.
19. ГОСТ 30415-96. Сталь. Неразрушающий контроль механических свойств и микроструктуры металлопродукции магнитным методом.
20. Мельгуй М.А. Магнитный контроль механических свойств сталей. – Минск: Наука и техника, 1980. – 184 с.
21. Михеев М.Н., Горкунов Э.С. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. М.: Наука, 1993. - 252 с.
22. Бида Г.В., Ничипурук А.П. Коэрцитиметрия в неразрушающем контроле. Дефектоскопия, - 2000, - № 10, - С. 3-27.
23. Бида Г.В., Горкунов Э.С., Шевнин В.М. Магнитный контроль механических свойств проката. - Екатеринбург: УрО РАН, 2002. - 252 с.
24. Матюк В.Ф., Гончаренко С.А., Хартманн Х., Райхельт Х. Современное состояние неразрушающего контроля механических свойств и штампуемости листового проката сталей в технологическом потоке производства. - Дефектоскопия, 2003, № 5, с. 19-60
25. Сандомирский С.Г. Современные возможности магнитного контроля структуры изделий // В мире неразрушающего контроля. - 2009. - №1.
26. Матюк В.Ф., Осипов А.А., Кратиров В.Б. Определение толщины упрочненного слоя по изменениям формы петли гистерезиса. - Дефектоскопия, 1997, № 9, с. 32-41
27. Щербин В.Е., Горкунов Э.С. «Магнитный контроль качества металлов», Екатеринбург, 1996 г.
28. Матюк В.Ф., Мельгуй М.А., Кратиров В.Б., Делендик М.Н., Осипов А.А., Кулагин В.Н. Новый прибор для измерения коэрцитивной силы. – В кн.: Материалы международной научно-технической конференции «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов». – Могилев. 2004. – С. 122-123.
29. «Неразрушающий контроль и диагностика», РОНКД под редакцией В.В. Ключева в 2004 г.

30. РД ИКЦ «КРАН»- 007-97/02) Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса подъемных сооружений при проведении их обследования и техническом диагностировании (экспертизе промышленной безопасности).
31. ОСТ Р ИСО 24497-1-2009. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Часть 1. Термины и определения.
32. ГОСТ Р ИСО 24497-2-2009. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Часть 2. Общие требования.
33. ГОСТ Р ИСО 24497-3-2009. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Часть 3. Контроль сварных соединений.
34. ГОСТ Р 52330-2005. Контроль неразрушающий. Контроль напряженно-деформированного состояния объектов промышленности и транспорта. Общие требования.
35. ГОСТ Р 53006-2008. Оценка ресурса потенциально опасных объектов на основе экспресс-методов. Общие требования.
36. Костин В.П., Осинцев А.А., Шашков А.П., Царькова Т.П. Многопараметровые методы структуроскопии стальных изделий с использованием магнитных свойств вещества. Дефектоскопия. 2004. с. 69-82.
37. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник: в 2-х кн. / Под ред. В.В. Клюева. М: Машиностроение, 1986.
38. Гордиенко, В.Е. Пассивный феррозондовый контроль структуры металла и внутренних напряжений в элементах сварных МК / В.Е. Гордиенко; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 83 с.
39. Ломаев Г.В., Мерзляков Ю.М., Эффект Баркгаузена.- Ижевск: изд-во ИжГТУ 2004.- 164 с.
40. Ломаев Г.В., Каримова Г.В. Датчики Баркгаузена: монография – Ижевск: изд-во ИжГТУ, 2008. – 368 с.
41. Бусько В.Н. Венгринович В.Л. Макаров А.В. К вопросу о контроле лазерно-упрочненных слоев методом эффекта Баркгаузена // Материалы II Международной научно-практической конференции «Инженерия поверхностного слоя деталей машин». Минск: БНТУ, 2010. С. 243-245.
42. Глебов А.Н., Буданов А.Р. Магнетохимия: Магнитные свойства и строение веществ // Соросовский Образовательный Журнал. 1997. № 7. С. 44-51.
43. Кузнецов И.А. Магнитный структурный анализ.(учебное пособие). – Свердловск, Уральский государственный университет. 1984. С.118.
44. ГОСТ 11878-66 - Сталь аустенитная. Методы определения содержания ферритной фазы в прутках.
45. В.П. Тхоржевский Автоматический анализ химического состава газов. 1969 г., 324 с.
46. «Инструкции по магнитному контролю линейной части магистральных газо-нефтепродуктопроводов», М., ВНИИГАЗ, 2001.
47. РД 102-008-2002 Инструкция по диагностике технического состояния трубопроводов бесконтактным магнитометрическим методом.

Статья поступила в редакцию 30.05.11