



КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЦИСТЕРН ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА МАГНИТОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

© Г.И. Федюкович¹

Иркутский государственный университет путей сообщения,

Российская Федерация, 664074, г. Иркутск, Чернышевского, 15.

РЕЗЮМЕ. ЦЕЛЬ. Статья посвящена результатам работ по механизации и автоматизации технологических процессов магнитного контроля, проведенных с целью уменьшения влияния человеческого фактора на достоверность дефектоскопии и повышения производительности труда при выявлении опасных дефектов. **МЕТОДЫ.** Для повышения эффективности применения неразрушающего контроля качества деталей подвижного состава, имеющих сложную форму контролируемой поверхности, предложен еще один магнитный метод – магнитографический, в котором в качестве чувствительного элемента для регистрации дефектов используется магнитная лента.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Выполнен ряд разработок в части средств контроля и технологической документации, которые позволяют облегчить процедуру намагничивания и магнитной записи при проведении магнитографической дефектоскопии емкостной аппаратуры, например железнодорожных цистерн. Новизна технических решений подтверждена авторскими свидетельствами и патентом. **ВЫВОДЫ.** Применение метода МГК с импульсным намагничиванием по разработанной методике существенно упрощает технологические операции и повышает выявляемость таких опасных дефектов как трещины на стадии зарождения.

Ключевые слова: магнитный контроль, магнитные поля рассеяния, магнитографический метод, магнитная лента, дефектограммы.

Формат цитирования: Федюкович Г.И. Контроль качества сварных соединений цистерн подвижного состава железнодорожного транспорта магнитографическим методом // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 1. С. 228–238. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-1-228-238

QUALITY CONTROL OF RAILROAD TANK CAR WELDED JOINTS BY MAGNETOGRAPHIC METHOD

G.I. Fedyukovich

Irkutsk State Transport University,

15 Chernyshevsky St., Irkutsk, 664074, Russian Federation

ABSTRACT. PURPOSE. The article deals with the results of works on mechanization and automation of the technological processes of magnetic monitoring conducted in order to reduce the influence of a human factor on the reliability of non-destructive flaw detection and increase the labour productivity of critical flaw identification. **METHODS.** A magnetographic method using a magnetic tape as a sensitive element for flaw recording is proposed in order to improve the application efficiency of the non-destructive quality control of rolling stock parts with the complex shape of the monitored surface. **RESULTS.** A number of developments has been performed dealing with the control tools and technological documentation. They allow to simplify the magnetization and magnetic recording when conducting magnetic tape testing of large tanks, e.g. railroad tank cars. The novelty of technical solutions is confirmed by the author's certificates and a patent. **CONCLUSIONS.** Application of the magnetographic monitoring with pulse magnetization by the developed methodology greatly simplifies technological operations and increases detectability of such critical flaws as cracks at their early stage.

Keywords: magnetic control, magnetic stray fields, magnetographic method (magnetic tape testing), magnetic tape, defectograms

For citation: Fedyukovich G.I. Quality control of railway tank car welded joints by magnetographic method. Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2018, vol. 22, no. 1, pp. 228–238. (In Russian) DOI: 10.21285/1814-3520-2018-1-228-238

¹Федюкович Геннадий Иванович, старший преподаватель кафедры вагонов и вагонного хозяйства, e-mail: fedyukov_gi@irgups.ru

Gennady I. Fedyukovich, Senior Lecturer of the Department of Railway Cars and Rolling Stock, e-mail: fedyukov_gi@irgups.ru



Введение

Вагонное хозяйство с его основой – вагонным парком, является одной из главных и сложных отраслей железнодорожного (ЖД) транспорта [1]. Современные виды тяги позволяют формировать тяжеловесные грузовые поезда, развивать большие скорости движения и осуществлять безостановочные пробеги на большие расстояния. Это определяет высокие требования к обеспечению надежности и долговечности конструкций вагонов, осуществлению контроля за их состоянием в короткие сроки, в том числе в неудобных условиях осмотра на станциях. Таким образом, обеспечение безопасности движения является важнейшим требованием к устройству и содержанию вагонов.

Железнодорожные цистерны, предназначенные для перевозки различных по своим свойствам грузов, имеют существенное различие как по конструкции, так и по отдельным узлам и элементам, в них возможно разное сочетание составных частей. Например, котлы цистерн по стандарту, предназначенные для перевозки опасных грузов, должны быть оборудованы предохранительными клапанами, устройствами контроля уровня налива и другими устройствами, необходимыми для безопасного и экологически чистого транспортирования, погрузки и выгрузки грузов².

Контроль качества сварных соединений таких котлов проводят в соответствии с требованиями Правил безопасности³ (далее – Правила), где указано, что «организация-изготовитель (доизготовитель), монтажная или ремонтная организация обязаны применять такие виды и объемы контроля своей продукции, которые гарантировали бы выявление недопусти-

мых дефектов, ее высокое качество и надежность в эксплуатации». Качество сварных соединений считается неудовлетворительным, если в них при любом виде контроля будут обнаружены внутренние или наружные дефекты, выходящие за пределы норм, установленных этими Правилами.

Для обеспечения безопасности на транспорте ведется поиск и разработка новых методов неразрушающего контроля (НК), широко внедряются достижения науки и техники с элементами механизации и автоматизации технологических операций. В этом направлении одно из ведущих мест занимает магнитный вид НК, основанный на намагничивании объекта контроля (ОК) до состояния, когда в области дефектов создаются магнитные поля рассеяния (МПР). Для регистрации МПР от дефектов и их идентификации широко используются такие методы контроля, как магнитопорошковый и феррозондовый.

Кроме названных Правила предусматривают применение и других методов: акустическая эмиссия, магнитография, цветная дефектоскопия, определение содержания в металле шва ферритной фазы. Эти методы применяют в соответствии с техническими условиями (ТУ) организации-изготовителя в объеме, предусмотренном нормативной документацией.

При магнитографии (магнитографический контроль – МГК) в качестве чувствительного элемента для регистрации МПР от дефектов используется промежуточный магнитоноситель – магнитная лента. Метод МГК был разработан специально для контроля качества стыковой сварки при строительстве магистральных трубопроводов.

²ГОСТ Р 51659-2000. Вагоны-цистерны магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. Введен 2001-07-01. Москва: Издательство стандартов, 2001. 10 с. / GOST R 51659-2000 Oil tank cars of trunk railway lines of 1520 mm gauge. General specifications. Introduced 1 July 2001. Moscow: Publishing Standards, 2001. 10 p.

³ПБ 10-115-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением: утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 18.04.1995 г. № 20 / PB 10-115-96. Rules for the construction and safe operation of pressure vessels: approved by the Decree of the State Committee for Supervision of Industrial and Mining Practices of the Russian Federation of 18 April 1995 no. 20.



Для этой цели были разработаны и налажено серийное производство намагничивающих и воспроизводящих устройств, а также соответствующий стандарт⁴ с техническими требованиями и нормативно-техническая документация⁵, содержащая перечень средств контроля с описанием технологических операций. Однако этот метод, обладая многими преимуществами,

по разным причинам широкого распространения не получил. Далее речь пойдет о технических решениях, позволяющих оптимизировать режимы намагничивания объекта контроля и записи топографии магнитного поля на магнитную ленту, тем самым повысить надежность, удобство и оперативность МГК.

Постановка задачи

Действующая система НК характеризуется большим разнообразием геометрических форм и размеров контролируемых объектов, а также отрицательным влиянием на результаты контроля так называемого человеческого фактора. Эти факты отражены в указании Министерства путей сообщения России «Концепция и программа работ по развитию систем неразрушающего контроля рельсов и ответственных деталей железнодорожного подвижного состава при их изготовлении и ремонте»⁶.

В Концепции определены следующие основные направления повышения эффективности систем НК объектов ЖД транспорта:

- механизация и автоматизация технологических процессов НК с целью уменьшения влияния человеческого фактора на достоверность контроля и повышения производительности труда;

- разработка и внедрение новых технологий и программируемых средств НК с повышенными функциональными возможностями;

- модернизация и сокращение но-

менклатуры средств НК;

- совершенствование метрологического обеспечения средств НК;

- повышение уровня профессиональной подготовки персонала по НК;

- улучшение условий труда дефектоскопистов.

Эффективность применения НК при выявлении опасных дефектов в деталях и узлах вагонов ЖД транспорта можно повысить путем внедрения новых проверенных технологий. На предприятиях ЖД транспорта широко используются два метода магнитного контроля: магнитопорошковый (МПК) и феррозондовый (ФЗК). Метод МПК предусматривает регистрацию МПР, возникающих в области дефекта при намагничивании контролируемой детали, с помощью частиц магнитного порошка. Этот метод, обладая высокой чувствительностью и универсальностью, остается ручным, а качество контроля зависит в основном от внимательности дефектоскописта. Применение феррозондового метода позволяет создавать системы с автоматизированным управлением технологического процесса.

⁴ГОСТ 25225-82. Контроль неразрушающий. Швы сварных соединений трубопроводов. Магнитографический метод. Введен 1983-07-01. Москва: Издательство стандартов, 1983. 14 с. / GOST 25225-82. Non-destructive testing. Pipeline welded joints. Magnetographic method. Introduced 1 July 1983. Moscow: Standards Publ., 1983. 14 p.

⁵ВСН 012-88. Технорматив. Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Контроль качества и приемка работ; утв. приказом Миннефтегазстроя от 27.12.1988 г. № 375; введен 01.01.1989 г. / Standard Specification. Construction of main and field pipelines. Quality control and commissioning: approved by the Order of the Ministry of Oil and Gas Construction of December 27, 1988 no. 375; introduced 1 January 1989.

⁶Концепция и программа работ по развитию систем неразрушающего контроля рельсов и ответственных деталей железнодорожного подвижного состава при их изготовлении и ремонте: указание Министерства путей сообщения России от 03.07.2003 г. № Н-668у / The concept of works on development of nondestructive testing systems of rails and critical parts of railway rolling stock under their manufacture and repair: approved by the Ministry of Railways of Russia of 3 July 2003 no. Н-668у.



Здесь МПР от дефектов регистрируются с помощью специальных магниточувствительных элементов – феррозондовых преобразователей (полемеров или градиентомеров). Для контроля назначаются в основном детали, имеющие плоские или цилиндрические поверхности. При контроле этих поверхностей сканирование происходит с теми или иными преобразователями. Контроль деталей более сложной конфигурации неизбежно сопровождается изменением зазора с деталью и нарушением ори-

ентации преобразователя относительно этой поверхности, что снижает чувствительность и создает сигналы, трудно поддающиеся расшифровке.

Целью данного исследования является разработка средств МГК с элементами механизации и автоматизации технологических процессов контроля, позволяющих уменьшить влияние человеческого фактора на достоверность дефектоскопии и повысить производительность труда при выявлении опасных дефектов.

Магнитографический метод

Предлагается к освоению следующий после МПК и ФЗК [2] метод магнитного контроля – магнитографический. В этом методе для регистрации МПР от дефектов используется промежуточный магнитоноситель (МН) – эластичная магнитная лента, которая плотно прижимается к поверхности контролируемой детали при ее намагничивании. Это позволяет исключить влияние зазора и в результате контроля получить документ, подтверждающий факт выявления дефекта, а главное – использовать эту дефектограмму для дальнейшего исследования с целью определения вида дефекта и его основных параметров.

Магнитографический метод был создан для контроля качества стыковых сварных швов при строительстве магистральных трубопроводов с толщиной стенки от 6 до 12 мм. Технологический процесс МГК включает такие основные операции, как укладка магнитной ленты на поверхность сварного шва и прижатие ее с помощью резинового пояса, а также попе-

речное намагничивание сварного шва, при котором в области дефекта (например, непровара или трещины) создается локальное МПР. Для намагничивания используется относительно тяжелое намагничивающее устройство постоянного тока. В приложенном магнитном поле происходит запись МПР на магнитную ленту, которая затем воспроизводится в виде импульсной или теневой индикации на специальных приборах типа МГК-1 с помощью вращающихся магнитных головок. При этом реализуется индукционный метод регистрации МПР, причем не с поверхности контролируемого изделия, а с магнитной ленты, что гораздо проще и надежнее.

Теоретические основы магнитографии [3] и ее практическая реализация⁷ не ограничивают путей дальнейшего развития и применения метода МГК, причем не только в области строительства магистральных трубопроводов, но и в других отраслях, где необходимо соблюдать требования промышленной безопасности.

Разработка установки для магнитной записи

Для практического применения выполнен ряд разработок в части средств контроля и технологической документации. Эти разработки позволили значительно об-

легчить процедуру намагничивания и магнитной записи при МГК цилиндрической емкостной аппаратуры. В системе ЖД транспорта этими ОК являются цистерны,

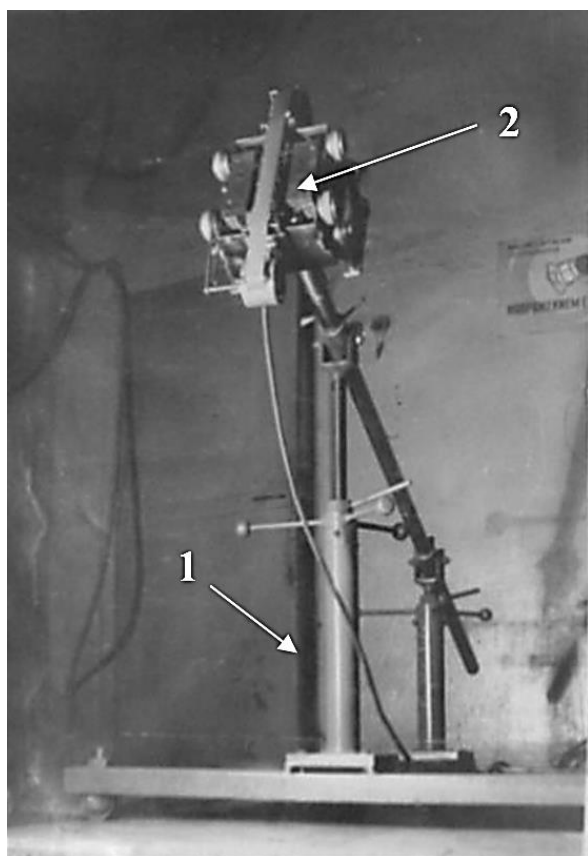
⁷ГОСТ 3242-79. Соединения сварные. Методы контроля качества. Введен 2002–05–01. Москва: Издательство стандартов, 2002. 11 с. / GOST 3242-79.Welded joints. Methods of quality control. Introduced 1 May 2002. Moscow: Standards Publ., 2002, 11p.



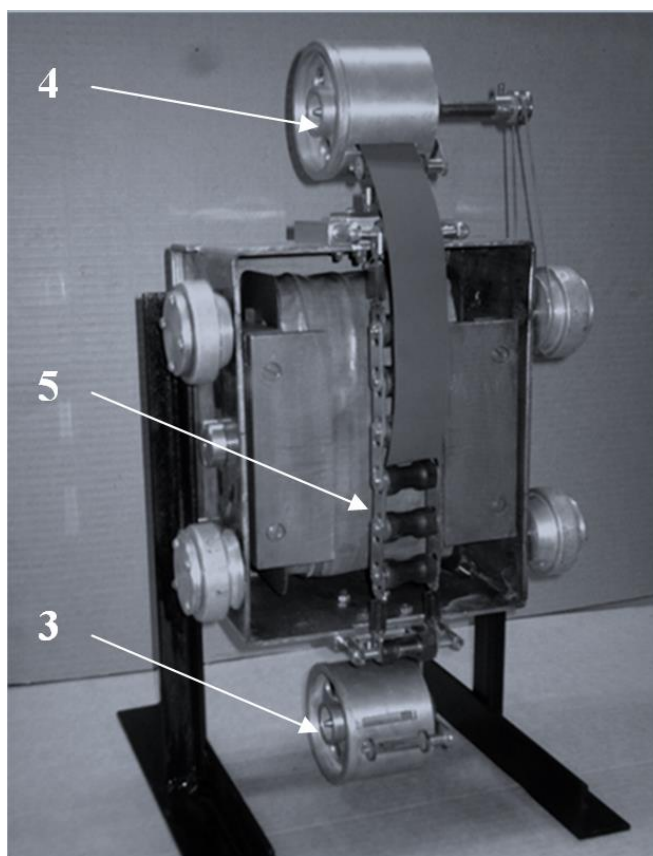
предназначенные для перевозки различных по своим свойствам жидкостей и сжиженных газов. Швы сварных соединений, являясь концентраторами внутренних напряжений, должны подвергаться неразрушающему контролю для выявления усталостных трещин, возникших как при эксплуатации, так и от некачественной сварки, которые не были выявлены при изготовлении. Для этой цели в первую очередь подходит метод МГК с теми изменениями, которые были внесены в разное время.

Элементы автоматизации применены в процедуре намагничивания и магнитной записи. На рис. 1, а показана конструкция установки 1, которая позволяет оперативно создавать и сохранять необходимую ориентацию намагничивающего устройства 2 (НУ) относительно ОК – корпуса воздухо-

сборника, на одном из заводов ООО «Химмаш». НУ прижимается к поверхности ОК в радиальном направлении так, что сварной шов находится между двух полюсов и намагничивается в поперечном направлении. В конструкцию НУ (рис. 1, б) добавлена система из двух кассет (подающая 3 и приемная 4) для магнитной ленты и роликовой цепочки 5 для поджима ее к сварному шву. Приемная кассета получает вращение через пассив от одного из четырех колес, установленных на НУ, для сматывания магнитной ленты с записанными МПР от дефекта. В результате такой разработки значительно упростилась процедура укладки магнитной ленты на сварной шов, ее поджим к контролируемой поверхности, съем и автоматическое сматывание после проведения магнитной записи.



а



б

**Рис. 1. А – установка для МГК сварных швов; б – намагничивающее устройство:
1 – конструкция установки; 2 – намагничивающее устройство; 3 – подающая кассета;
4 – приемная кассета; 5 – роликовая цепочка**

**Fig. 1. A – Installation for magnetographic testing of welded joints; б – Magnetizing device:
1 – installation design; 2 – magnetizing device; 3 – feeding cassette; 4 – receiving cassette;
5 – roller chain**



Намагничивающее устройство

Наиболее эффективной разработкой при магнитной записи МПР на магнитную ленту является создание системы подмагничивания, которая выполнена в этой же конструкции НУ и защищена авторским свидетельством [4]. Суть изобретения заключается в том, что магнитная лента, применяемая при проведении МГК, содержит тонкий слой ферромагнитного покрытия на эластичной немагнитной основе. Этот слой имеет свою магнитную характеристику – кривую намагничивания, по которой видно, что для наиболее эффективной магнитной записи МПР от мелких дефектов необходимо путем дополнительного подмагничивания вывести рабочую точку на более крутой участок упомянутой характеристики. Практически напряженность поля подмагничивания H_0 для магнитной ленты типа МК-1 равна значению ее коэрцитивной силы H_c ($H_0 = H_c$), а при контроле изделий разной толщины изменяется величина H_0 приложенного поля, которое является подмагничивающим. Поэтому величину H_0 необходимо каждый раз корректировать.

Эту функцию в НУ (рис. 2) выполняет подмагничивающий контур в виде комплекта сменных накладных полюсов из магнитомягкой стали с острыми углами между их гранями. Например, для увеличения напряженности приложенного поля H_0 , чтобы довести ее до значения H_0 , необходимо использовать более широкие полюсы. В результате при неизменном токе намагничивания амплитуда сигнала от дефекта заметно увеличивается. Для анализа результатов контроля необходимо понимать физический процесс индукционного воспроизведения и иметь определенный опыт, чтобы на экране прибора с импульсной индикацией из реального сигнала выделять дефектную составляющую. На рис. 3 показана относительно сложная форма результирующего сигнала 1, который для облегчения расшифровки необходимо разделить на его составляющие: два импульса 2 от края ленты, широкий импульс 3 от формы валика сварного шва 3, узкий импульс 4 от дефекта.

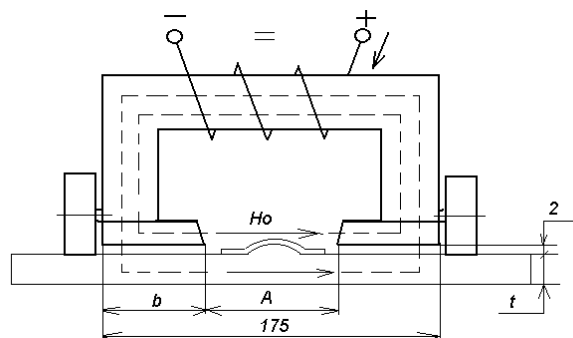


Рис. 2. Подмагничивающее поле H_0
Fig. 2. Magnetic bias field H_0

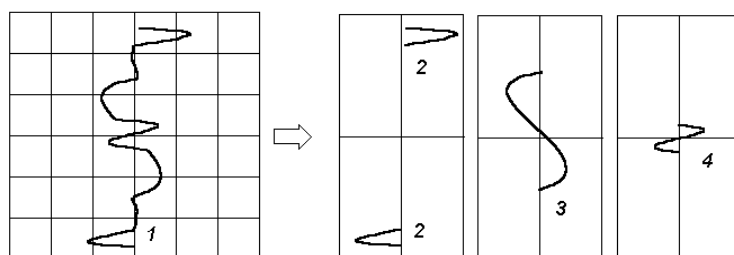


Рис. 3. Составляющие сигнала импульсной индикации
Fig. 3. Components of the pulse indication signal



Эффект управления подмагничиванием наглядно показан на рис. 4 с реальными дефектограммами. Здесь дефектограммы с наиболее оптимальными режимами магнитной записи при МГК изделий толщиной 8 мм при разных токах намагничивания располагаются по диагонали из верхнего левого положения в нижнее правое. Запись МПР от внутреннего дефекта выполнялась на предварительно намагниченную до насыщения ленту. Хорошо видно, что по мере увеличения величины H_0 подмагничивающего поля уменьшаются

импульсы от края ленты, а это свидетельствует о том, что H_0 приближается к значению H_s магнитной ленты, то есть к оптимальному режиму магнитной записи.

На основании проведенных исследований разработана методика магнитного контроля⁸, где в разделе МГК для назначения условий проведения контроля швов сварных соединений с толщиной стенки от 6 до 12 мм приведены сила тока намагничивания и ширина соответствующих пар полюсных накладок (табл. 1).

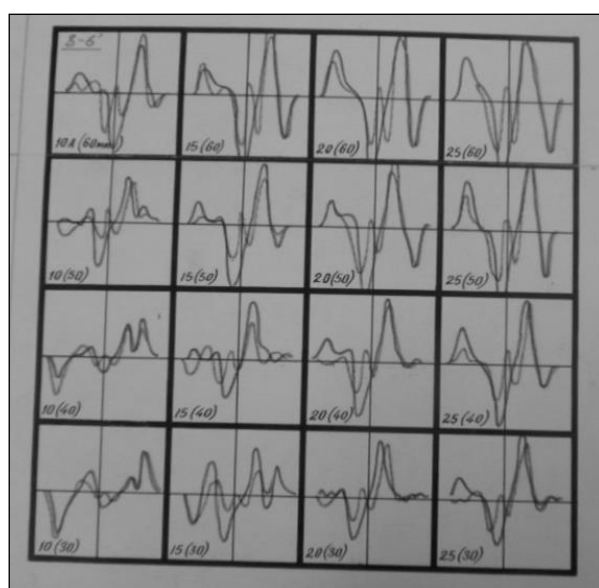


Рис. 4. Дефектограммы образца сварного шва
Fig. 4. Defectograms of a welded joint sample

Таблица 1

Значение силы тока намагничивания

Table 1

Value of the magnetization current strength

Обозначение и величина параметра намагничивания / Symbols and value of the magnetization parameter	Толщина листов сварного шва, мм / Thickness of welded joint sheets, mm			
	6	8	10	12
Сила тока I, А / Amperage I, A	15	20	24	28
Ширина полюсной накладки b, мм / Width of the pole plate b, mm	30	40	50	60

⁸СТО 00220227-02-2006. Сосуды и трубопроводы стальные сварные. Методика магнитного контроля. М.: Изд-во ОАО «НИИХиммаш», 2006. / STO 00220227-02-2006. Stainless Steel Welded Vessels and Pipelines. Methods of Magnetic Control. M.: OJSC "NIIHimmash" Publ., 2006.



Новый способ МГК

Другой разработкой по совершенствованию методики контроля с получением аналогичных результатов является способ МГК на частично намагниченную ленту [5]. Дело в том, что по действующей методике МГК рекомендуется делать выбор типа магнитной ленты в зависимости от напряженности приложенного магнитного поля H_p , то есть необходимо иметь большой набор магнитных лент с разными значениями H_s , а также со своими индивидуальными кривыми намагничивания и петлями магнитного гистерезиса.

Возникает вопрос: что делать, если промышленность выпускает только один тип магнитных лент? В качестве прототипа

использовалось известное техническое решение, от которого новый способ отличается тем, что уровень предварительного намагничивания ленты назначают не до насыщения, а в зависимости от измеренного значения H_p . В результате один тип магнитной ленты заменяет целое семейство кривых намагничивания, у которых нулевая (начальная) точка находится в диапазоне магнитных индукций от нуля до величины остаточной магнитной индукции B_r (максимальной B_r). Контрольным признаком правильного выбора является результирующий сигнал, у которого импульсы от края ленты скомпенсированы до минимума.

Совмещенный магнитоскоп

Технический прогресс невозможен без постоянного поиска технических решений по созданию малогабаритных дефектоскопов с целью повышения удобства контроля и сокращения времени на обработку результатов. К одной из таких находок относится компактная конструкция магнитоскопа [6], которая при изготовлении опытного образца, его испытании и внесении необходимых доработок может войти в серийное производство. На рис. 5 показан макет магнитоскопа, который имеет колесо с одной спицей, П-образный электромагнит и магниточувствительные элементы (например, феррозондовые преобразователи). В ободу колеса по длине его окружности уложен отрезок магнитной ленты. Колесо магнитоскопа во время работы про-

катывают на один оборот вдоль сварного шва, при этом происходит запись МГР, так как электромагнит в это время должен быть включен. Далее колесо с помощью ручки отрывают от контролируемой поверхности и оно под действием спиральной пружины возвращается в исходное положение. На обратном обороте выключается электромагнит, но включаются феррозондовые датчики для считывания магнитной записи. Результаты контроля отображаются или записываются на портативном приборе типа одного из тех, что показаны на рис. 6. Такое краткое описание магнитоскопа является основой для технического задания на разработку промышленного магнитографического дефектоскопа.



Рис. 5. Макет магнитоскопа
Fig. 5. Magnetoscope prototype model



Рис. 6. Варианты индикаторов
Fig. 6. Alternative indicators

Методика контроля

Технологию проведения МГК можно проследить из всего того, что изложено выше. Однако будет понятнее, если ее представить в более наглядном виде. Процесс МГК состоит из пяти технологических операций (ТО), каждая из них имеет три варианта исполнения (табл. 2). При оформлении задания на контроль выбирается только один вариант из каждой операции.

Первая ТО – состояние ОК. Дефектоскопист должен оценить параметры шероховатости контролируемой поверхности и по этим данным выбрать тот или иной вариант. По параметру шероховатости

можно оценить чувствительность контроля: ширина выявляемой поверхностной трещины примерно равна параметру R_a .

Вторая ТО – выбор магнитного поля – это более расширенная ТО по сравнению с ранней редакцией методики, где предусматривалось указать лишь вид намагничивания и только переменным магнитным полем. Теперь для намагничивания ОК можно применять еще переменное или импульсное поле, что значительно расширило возможности МГК.

Третья ТО – подготовка магнитоносителя (магнитной ленты), эти варианты раскрыты выше.

Таблица 2

Последовательность операций МГК

Table 2

Sequence of magnetographic testing operations

Состояние ОК / Condition of the monitored object	Магнитное поле / Magnetic field	Подготовка МН / Preparation	Воспроизведение / Playback	Размагничивание / Demagnetization
1. Без обработки / Without processing 2. Обработка $R_a 10$ / Processed by $R_a 10$ 3. Обработка $R_a 2,5$ / Processed by $R_a 2,5$	1. Постоянное / Constant 2. Переменное / Alternating 3. Импульсное / Pulsed	1. Чистая лента / Blank tape 2. Частичное НМ / Partial magnetiza- tion 3. Полное НМ / Complete magnet- ization	1. Импульсное / Pulsed 2. Двойное импульсное / Double pulsed 3. Феррозондовое / Ferroprobe	1. Без размагничи- вания / Without demagnetization 2. Поверхностное / Surface 3. Объемное / Volumetric



Четвертая ТО – воспроизведение магнитной записи. Здесь выбор варианта определяется типом воспроизводящего прибора. Необходимо пояснить вариант двойного импульсного воспроизведения, в основу которого положено изобретение нового считывающего устройства [7]. При считывании (воспроизведении) магнитной записи с магнитной ленты используется не одна, а две индукционные головки, установленные на вращающемся барабане. Головки установлены на барабане диаметрально противоположно с возможностью перемещения вдоль его образующей, и за один оборот барабана на экране прибора воспроизводятся два сигнала. При раздвижении сигналов в разные стороны в местах начала и конца дефекта на экране прибора два сложных сигнала, которые по форме совпадали, в этих местах начинают раздваиваться, позволяя дефектоскописту более уверенно анализировать результаты контроля. Для феррозондового воспроизведения рекомендуется использовать серийные дефектоскопы типа ДФ-201.1 или Ф-205.30Ф, тем самым расширяя область их применения. Объемное размагничивание применяют с использованием электромагнитов постоянного тока.

Последняя, пятая ТО – размагничивание ОК. Обязательному размагничиванию подлежат изделия из магнитотвердых сталей, у которых параметр коэрцитивной силы H_c больше 10 А/см. К поверхностному размагничиванию относится процесс с применением соленоидов, питаемых переменным током промышленной частоты. Такое размагничивание можно применять для изделий с толщиной стенки, соизмеримой с глубиной проникновения переменного магнитного поля. Импульсное размагничивание, при котором глубина проникновения такого поля еще меньше, имеет ограниченное применение.

Для условного обозначения методики контроля можно использовать «шифр» в виде пяти цифр, где каждая цифра указывает вариант ТО.

Например, МГК-13231 означает, что проводится (или уже проведен, если оформляется протокол контроля) контроль сварного шва без механической обработки его поверхности; используется частично намагниченная лента, которая укладывается направлением Вг навстречу импульсному полю; при воспроизведении магнитной записи применяется феррозондовый дефектоскоп; после контроля размагничивание не требуется, так как сварке подвергаются в основном детали из малоуглеродистых (магнитомягких) сталей (см. табл. 2). С помощью такой таблицы можно определить количество возможных технологических процессов МГК – это 243 процесса (три варианта в пятой степени – по числу ТО).

Приведенный пример (МГК-13231) взят не случайно. В этом технологическом процессе соединились два способа контроля – способ приложенного поля (СПП) и способ остаточной намагниченности (СОН). По действующим методикам для контроля малоуглеродистых сталей нельзя применять СОН, а при импульсном намагничивании нельзя применять СПП. При импульсном намагничивании сварного шва в области дефекта создаются МПР с очень коротким временем действия, что не позволяет применить МПК, но на магнитной ленте в это время успешно создается участок с остаточной намагниченностью. Получилось так, что для данного сварного шва с минимальным значением H_c при импульсном намагничивании – это СПП, а для магнитной ленты с высоким значением H_c – это СОН. Таким образом, этот вариант МГК позволяет широко использовать его на практике и в учебном процессе. При этом для намагничивания не требуются тяжелые электромагниты, здесь можно использовать циркулярное намагничивание с помощью удобных и легких контактных электродов или продольное – с помощью обмоточного кабеля. Электроды и кабель подключаются к серийному импульсному блоку, например, от дефектоскопа ПМД-70.



Заключение

Метод МГК, который в настоящее время необоснованно начинает забываться, можно и даже необходимо «реанимировать», что позволит решить многие поставленные задачи.

В этом направлении решены следующие основные задачи:

- найдена технологичная конструкция контрольных образцов, имитирующих сварные швы с внутренними дефектами с целью метрологических проверок;
- дополнены варианты процесса намагничивания контролируемых деталей с проверкой его параметров на образцах по выявлению внутренних дефектов;
- улучшена запись МПР от дефектов

на магнитную ленту с выбором варианта технологической операции (см. табл. 2);

– используются разные варианты воспроизведения записанных дефектограмм, которые сохраняются в качестве объективных доказательств о выявлении недопустимых дефектов;

– определены основные требования к намагничивающим устройствам для организации их серийного производства;

– обоснована необходимость проведения исследований и разработки методики МГК для других деталей подвижного состава ЖД транспорта, согласование и утверждение ее в установленном порядке.

Библиографический список

1. Шадур Л.А. Вагоны. 3-е изд., перераб и доп. М.: Транспорт, 1980. 439 с.
2. Козлов В.С. Физика магнитографической дефектоскопии. Минск: Наука и техника, 1968. 160 с.
3. Хусанов М.Х. Магнитографический контроль сварных швов. М.: Недра, 1973. 215 с.
4. А. с. № 412542, МПК G01N27/82. Намагничивающее устройство для магнитографической дефектоскопии / Г.И. Федюкович (СССР). № 1644252/25-28; заявл. 20.04.1971; опубл. 25.01.1974, Бюл. № 3.
5. А. с. № 794458, МПК G01N27/82. Способ магнитографического контроля / Г.И. Федюкович (СССР). № 2735947/25-28; заявл. 11.03.1979; опубл.

07.03.1981, Бюл. № 1.

6. Пат. № 2186382, Российская Федерация, МПК G01N27/82. Магнитоскоп / Г.И. Федюкович; заявитель и патентообладатель ОАО «Иркутский Химмаш». № 99128000/28; заявл. 10.10.2001; опубл. 27.07.2002.

7. А. с. № 648898, СССР, МПК G01N27/82. Считывающее устройство магнитографического дефектоскопа для контроля сварных соединений / М.М. Шель, В.Ф. Мужикский, Г.И. Федюкович; заявитель и патентообладатель Предприятие П/Я Р-6729. № 2528355/25-28; заявл. 29.09.1977; опубл. 25.02.1979, Бюл. № 7.

References

1. Shadur L. A. *Vagony* [Railroad car]. Moscow: Transport Publ., 1980, 439 p. (In Russian)
2. Kozlov V.S. *Fizika magnitograficheskoy defektoskopii* [Physics of magnetic-tape testing]. Minsk: Science and technology Publ., 1968, 160 p. (In Russian)
3. Husanov M.H. *Magnitograficheskij kontrol' svarnyh shvov* [Magnetographic testing of welded joints]. Moscow: Nedra Publ., 1973, 215 p. (In Russian)
4. Fedyukovich G.I. *Namagnichivayushchee ustrojstvo dlya magnitograficheskoy defektoskopii* [Magnetizing device for magnetic tape testing]. Patent USSR, no. 412542, 1974. (In Russian)

Критерии авторства

Федюкович Г.И. полностью подготовил статью и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

5. Fedyukovich G.I. *Sposob magnitograficheskogo kontrolya* [The method of magnetographic testing]. Patent USSR, no. 794458, 1981. (In Russian)

6. Fedyukovich G.I. *Magnitoskop* [Magnetoscope]. Patent RF, no. 2186382, 2002.

7. Shel' M.M., Muzhickij V.F., Fedyukovich G.I. *Schityvayushchee ustrojstvo magnitograficheskogo defektoskopa dlya kontrolya svarnyh soedinenij* [Reading device of the magnetographic flaw detector for welded joint control]. Patent USSR, no. 648898, 1979. (In Russian)

Authorship criteria

Fedyukovich G.I. has prepared the article for publication and bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interest

The author declares that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Статья поступила 04.12.2017 г.

The article was received 04 December 2017