

УДК 620.179.119

Оценка работоспособности магнитных индикаторов при магнитопорошковом контроле деталей подвижного состава железных дорог

А. Г. Отока¹, О. В. Холодилов²

¹Гомельское вагонное депо РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги», Беларусь, 246014, Гомель, ул. Телегина, 1а

²Белорусский государственный университет транспорта, Беларусь 246653, Гомель, ул. Кирова, 34

Для цитирования: *Отока А. Г., Холодилов О. В.* Оценка работоспособности магнитных индикаторов при магнитопорошковом контроле деталей подвижного состава железных дорог // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 4. — С. 1016–1026. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-4-1016-1026

Аннотация

Цель: Оценить работоспособность различных люминесцентных магнитных суспензий на примере отдельных малогабаритных деталей железнодорожного транспорта, отличающихся геометрической формой, цветом, шероховатостью поверхности и наличием лакокрасочного покрытия. Показать необходимость проверки магнитных суспензий, в том числе готовых, в аэрозольных баллонах на настроечных (контрольных) образцах с учетом цвета, наличия немагнитного покрытия и других характеристик. **Методы:** Сравнение полученных магнитопорошковых индикаций при проведении магнитопорошкового контроля мокрым способом в условиях намагничивания деталей подвижного состава способом приложенного поля с использованием дефектоскопа МД-12ППШ. На практике соблюдались одинаковые условия по намагничиванию деталей в центре соленоида, равномерному нанесению магнитной суспензии путем распыления из аэрозольного баллончика и распылителя на поверхность, а также осмотру на наличие скопления валиков магнитного порошка как при дневном освещении, так и при ультрафиолетовом облучении. **Результаты:** Эксперимент показал, что полностью опираться и доверять техническим характеристикам на магнитный индикатор, которые указаны в паспорте производителем, не стоит. При этом использование одного или нескольких стандартных или настроечных (контрольных) образцов при огромной номенклатуре объектов контроля недостаточно. Практика показывает, что с учетом различной поверхности деталей необходимо проведение сравнительного анализа магнитных суспензий на предмет яркости свечения порошка, контрастности, измеренной длины магнитной индикации на деталях с искусственными или естественными дефектами с точно такой же поверхностью. **Практическая значимость:** В статье показана необходимость использования для каждого объекта контроля свой настроечный или контрольный образец. Подключение попадают только те объекты контроля, которые по своим размерам, форме, цвету, шероховатости и другим характеристикам идентичны или сопоставимы между собой. Поэтому для них может применяться только один образец.

Ключевые слова: Магнитопорошковый контроль, выявляющая способность, магнитная суспензия, работоспособность, качество магнитного индикатора, контрольный образец, настроечный образец.

Введение

Сегодня рынок дефектоскопических материалов, используемых при проведении магнитопорошкового контроля ферромагнитных деталей в различных отраслях промышленности, достаточно обширный. Выбрать подходящий магнитный индикатор для конкретного материала исходя из состояния его поверхности: шероховатость, цвет, наличие лакокрасочных покрытий и других факторов достаточно сложно. Основываясь только на паспортных характеристиках дефектоскопических материалов: цвет, размер частиц, коэффициент и стабильность флуоресценции и др., на практике не всегда удается достичь высокой чувствительности метода.

На выявляемость дефектов магнитопорошковым методом контроля влияют множество факторов: магнитные характеристики материала объекта контроля, способ и схема контроля, форма и размер контролируемого объекта, вид намагничивания и намагничивающего тока и т. д. [1, 2].

К основным свойствам магнитного порошка, оказывающим влияние на выявляемость дефектов, относятся дисперсность, магнитные и оптические характеристики. Если рассматривать свойства магнитной суспензии, которые влияют на чувствительность контроля, то они определяются ее составом, концентрацией и свойствами отдельных компонентов [3].

Выявляющая способность магнитных индикаторов должна оцениваться количественно с помощью специализированных электрических измерительных приборов, а работоспособность индикаторов — с применением контрольных образцов с дефектами. Порядок проведения входного или периодического контроля магнитных индикаторов устанавливают в НТД отрасли или предприятия.

Качественное проведение магнитопорошкового контроля деталей во многом зависит от контрольных и стандартных образцов. В отличие от стандартных образцов, контрольные образцы не

являются средствами измерений и периодической метрологической поверке не подлежат. Они подвергаются периодической проверке на работоспособность магнитопорошковых дефектоскопов и магнитных индикаторов [4].

В железнодорожной отрасли проверку качества магнитного индикатора проводят с помощью намагничивающего устройства МОН 721 и мер в комплекте с ним в целях реализации требуемой чувствительности метода.

В соответствии с нормативными документами [5, 6] допускается проверка выявляющей способности магнитного индикатора с использованием мер (настроечных образцов, стандартных образцов) с искусственными дефектами по методике, которая утверждена в технологической документации на предприятии.

Для проверки работоспособности магнитных суспензий преимущественно выбирают образцы с трещинами, а также другие образцы различного типа с искусственными или естественными дефектами, в том числе со встроенными постоянными магнитами. Работоспособность суспензии оценивают путем выявления дефектов на образцах при тех способах намагничивания, на которые рассчитан каждый образец. При этом на образцах размеры дефектов должны быть соизмеримы с размерами минимальных дефектов, которые требуется обнаруживать [7].

На практике проблематично найти или приобрести конкретный образец с дефектом для каждого объекта контроля, который будет изготовлен из того же материала и с такой же геометрической формой. Поэтому зачастую в целях сокращения финансовых затрат, отсутствия подходящего конкретного контрольного образца с естественной трещиной и другим причинам на предприятиях с большой номенклатурой проверяемых деталей применяется один образец, который может в принципе отличаться по цвету, геометрии, или, например, шероховатости.

Хочется отметить, что проводить магнитопорошковый контроль деталей допускается после оксидирования, окраски или нанесения немагнитного покрытия, если суммарная толщина покрытия не превышает 40 мкм [2]. И уже с учетом этих требований напрашивается вопрос: а будет ли выявлен 100 % дефект при использовании одной и той же суспензии и намагничивающего устройства на различных деталях, отличающихся как геометрической формой и цветом, так и с нанесением допустимого немагнитного покрытия?

Сегодня пользуется популярностью мокрый способ нанесения магнитного индикатора, когда на намагниченную деталь или участок наносится суспензия со взвешенными частицами магнитного порошка (способ суспензии).

В соответствии с [8] для магнитопорошковых суспензий размеры магнитных частиц должны быть в диапазоне для частиц малого диаметра $d_1 \geq 1,5$ мкм и для частиц большого диаметра $d_u \leq 40$ мкм.

В качестве дисперсионной среды для магнитного порошка применяют воду или масляную жидкость с низкой вязкостью. Водные суспензии используют в первую очередь из-за низкой себестоимости, дешевой утилизации, пожаробезопасности. Масляные суспензии принято использовать на поверхностях с низким коэффициентом поверхностного натяжения (замасленные поверхности), при проверке особо чувствительных к коррозии объектов, а также в случае применения метода при отрицательных температурах [9].

Для минимизации возможных ошибок при самостоятельном изготовлении суспензии различными производителями предлагается применять готовую к употреблению суспензию в аэрозольных баллонах.

Учитывая тот факт, что от формы объекта контроля (ОК) зависит конфигурация силовых магнитных линий в изделии, сравним работоспособность различных магнитопорошковых суспензий

на примере проведения магнитопорошкового контроля деталей подвижного состава с естественными и искусственными дефектами. При этом подбор деталей (табл. 1, рис. 1) осуществлялся по различным критериям: шероховатость и цвет поверхности объекта контроля, материал, наличие лакокрасочного покрытия, наличие на поверхности дефектов, невидимых глазу, не только естественных, но и искусственных с измеренными точными размерами, ориентация дефекта(ов).

В качестве магнитного индикатора применялся сухой концентрат магнитных суспензий (КМС) различных производителей. Он использовался для приготовления флуоресцентной магнитопорошковой суспензии на водной и масляной основе (табл. 2). Нанесение магнитопорошковой суспензии осуществлялось аэрозольным способом из пульверизатора и стандартного в заводском исполнении баллона.

Количество сухого концентрата для приготовления суспензии на водной основе принималось в соответствии с ТУ на магнитный индикатор. Взвешивание сухого КМС проводилось на электронных весах МК-6.2-A21 с дискретностью 0,5 г (предел взвешивания 6 кг).

Намагничивание объектов контроля проводилось с использованием магнитного дефектоскопа МД-12ПШ способом приложенного поля. Осмотр выполнялся в затемненном помещении с помощью источника УФ-излучения в диапазоне длин волн 315–400 нм с номинальной максимальной интенсивностью излучения на длине волны (365 ± 5) нм.

Эксперимент проводился несколько раз, и рассчитывалось среднее значение длины дефектов по скоплению валика магнитного порошка, полученных в процессе магнитопорошкового контроля деталей и составных частей подвижного состава. Длину индикации измеряли с помощью штангенциркуля ШЦ-I-125-0,02 с ценой деления 0,02 мм и допускаемой погрешностью до $\pm 0,03$ мм.

Таблица 1. Основные параметры объектов контроля

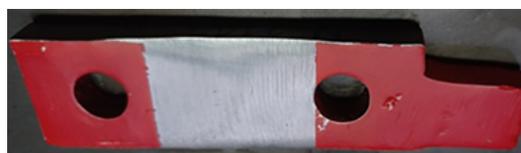
Объекта контроля	Материал	Цвет поверхности	Шероховатость поверхности R_z , мкм	Габаритные размеры	Размеры дефекта
Гайка шестигранная с фланцем поводка тележки	Сталь 3	Темный с нанесением лакокрасочного покрытия (черная краска)	80	М 64 × 6, диаметр фланца — 100 мм, шестигранник — 85 мм	Длина естественной трещины 50 мм
Маятниковая подвеска автосцепного устройства	Сталь 38ХС	Темный	320	Длина 220, ширина 64 мм, высота 25 мм	Длина естественной трещины № 1 — 20 мм, трещины № 2 — 8 мм
Стопорная планка буксового узла колесной пары	Сталь 5	Светлый	2,5	Длина 118 мм, ширина 31 мм, высота 9 мм	Длина искусственного дефекта 10,1 мм, ширина 24,2 мкм



а



б



в

Рис. 1. ОК с искусственными и естественными дефектами:

а — гайка шестигранная с фланцем поводка тележки (темная поверхность с нанесением лакокрасочного покрытия толщиной до 20 мкм в виде черной краски из распылительного баллона); б — маятниковая подвеска автосцепного устройства (темная поверхность); в — стопорная планка буксового узла колесной пары НО МП 32.05 (светлая поверхность)

Таблица 2. Характеристики КМС, используемых в эксперименте

КМС, производитель	Основа суспензии	Цвет	Размер частиц, мкм	Метод нанесения
MR76F (готовая люминесцентная суспензия) Chemie GmbH, Германия	Масло	Желто-зеленая под УФ, темно-зеленая при дневном свете	(3–4)*	Аэрозольный из баллона
КСФ-12 ООО «ИнвоТекс», РФ	Вода (10 г/л)	Светло-зеленый	12	Аэрозольный из пульверизатора
Mi-GLOW850 Circle Systems, США	Вода (3–24 г/л)	Оранжево-красный при УФ, красный при дневном свете	5–30 (10)*	Аэрозольный из пульверизатора
Magnaglo 14HF (готовая люминесцентная суспензия) Magnaflux, Великобритания	Масло (1,00–1,25 г/л)	Зеленая под УФ, коричневая жидкость при дневном свете	(6–7)*	Аэрозольный из баллона
Диагма-1613 «Орион-М», РФ	Вода (15–20 г/л)	Зеленый	3–20	Аэрозольный из пульверизатора

* Средний размер.

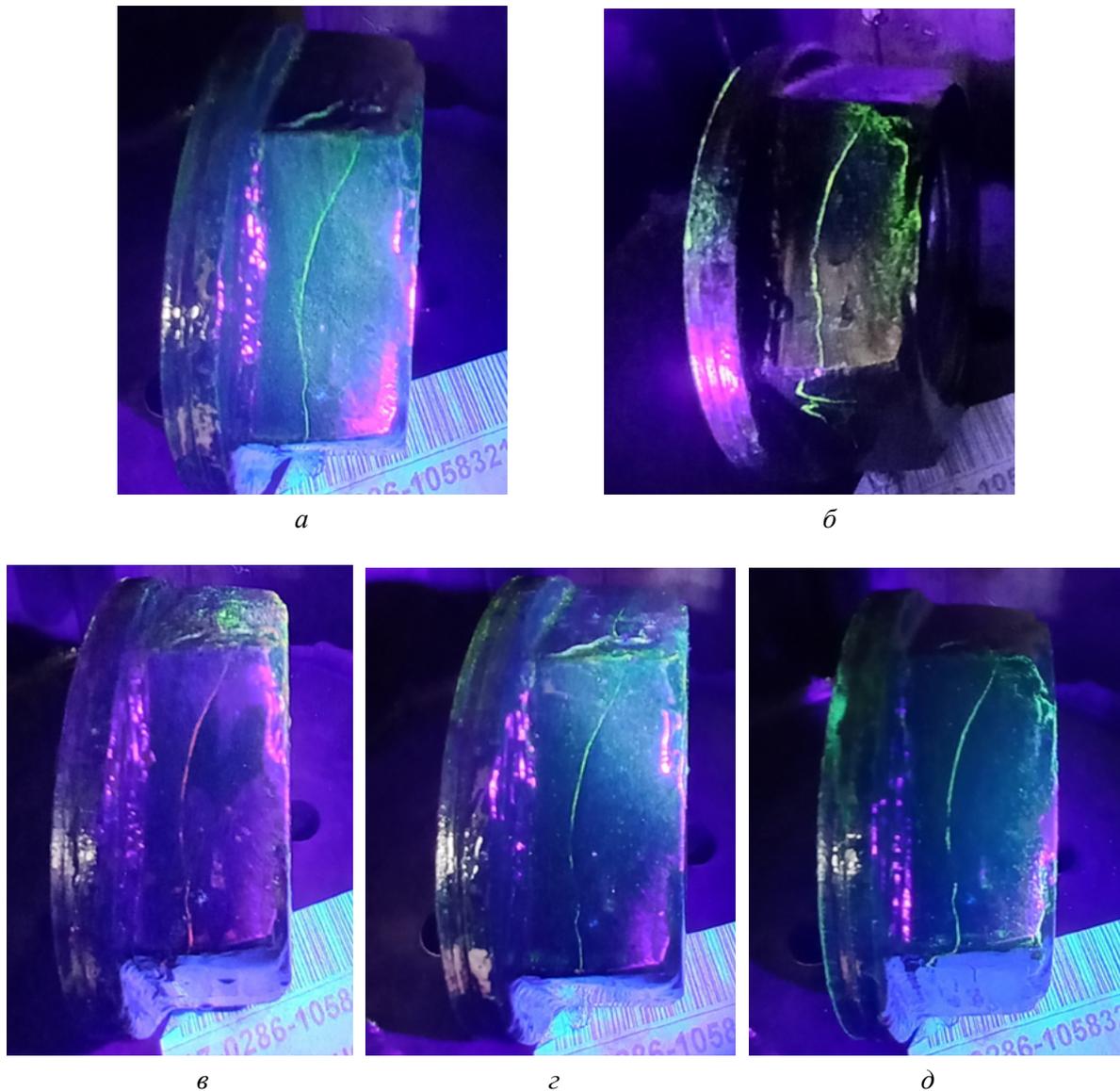


Рис. 2. Дефектограмма гайки шестигранной с фланцем поводка тележки (темная поверхность с нанесением лакокрасочного покрытия толщиной до 20 мкм в виде черной краски из распылительного баллона):
а — MR76F; *б* — КСФ12; *в* — Mi-GLOW850; *г* — Magnaglo 14HF; *д* — Диагма-1613

На рис. 2 продемонстрирована работоспособность исследуемых магнитных суспензий на примере объекта контроля, окрашенного в черный цвет.

Магнитная суспензия MR76F на масляной основе и КСФ-12 на водной отлично зарекомендовали себя при выявлении естественной трещины в гайке поводка тележки (рис. 2).

В отличие от вышеописанных, суспензии Mi-GLOW850, Magnaglo 14HF, Диагма-1613

позволили выявить трещину в виде отдельных трех индикаций. При этом суспензия Mi-GLOW850 справилась наименее эффективно, о чем можно судить по яркости свечения трещины на поверхности, окрашенной в черный цвет.

Магнитные суспензии КСФ-12, Mi-GLOW850, Диагма-1613 на водной основе показали наилучший результат при выявлении естественной трещины № 1 (20 мм) и трещины № 2 (8 мм) маятни-

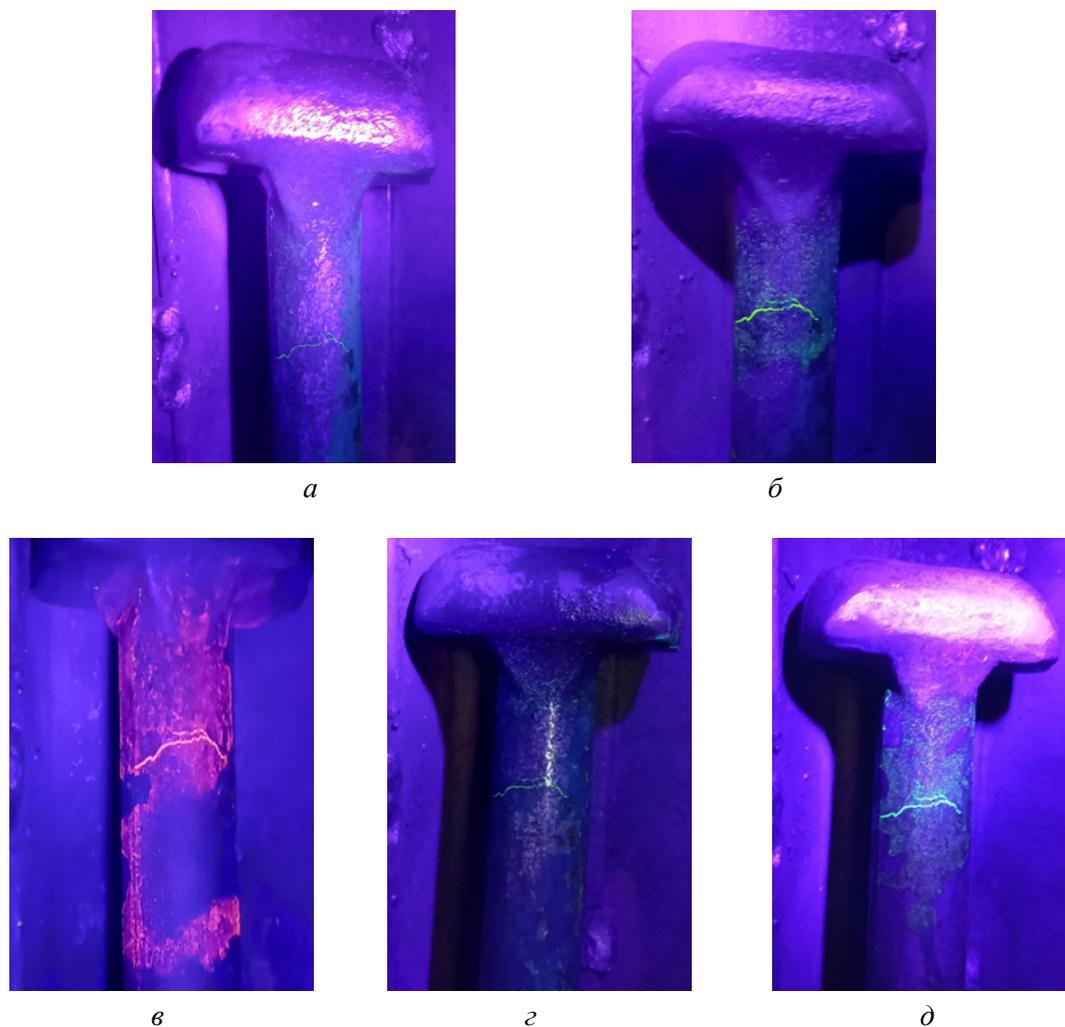


Рис. 3. Дефектограмма маятниковой подвески автосцепного устройства (темная поверхность):
а — MR76F; *б* — КСФ-12; *в* — Mi-GLOW850; *г* — Magnaglo 14HF; *д* — Диагма-1613

ковой подвески автосцепного устройства (рис. 3). При этом по яркости свечения трещин при наименьшем фоновом свечении выделяется КСФ-12.

Суспензии MR76F, Magnaglo 14HF на масляной основе показали трещину № 1 (20 мм) плохо заметной, а трещину № 2 (8 мм) при отсутствии фонового свечения практически невозможной к проведению оценки дефекта по длине. При этом ширина валика магнитного порошка заметно уступает суспензиям КСФ-12, Mi-GLOW850, Диагма-1613.

При осмотре в дневном свете на наличие магнитных индикаций вставки с искусственным

дефектом (длина 10,1 мм, ширина 24,2 мкм) хорошо зарекомендовали себя суспензии MR76F, Диагма-1613 (рис. 4). Чуть хуже по скоплению магнитного порошка контура круглой вставки можно выделить КСФ-12 и Mi-GLOW850. При этом суспензия Magnaglo 14HF показала плохой результат — индикаторный след нечеткий и размытый.

В отличие от осмотра стопорных планок при дневном свете, в УФ-освещении магнитные суспензии все показали отличный результат по выявлению дефекта (рис. 5).

Суспензии КСФ-12 и Mi-GLOW850 выделяются чуть большим негативным фоновым

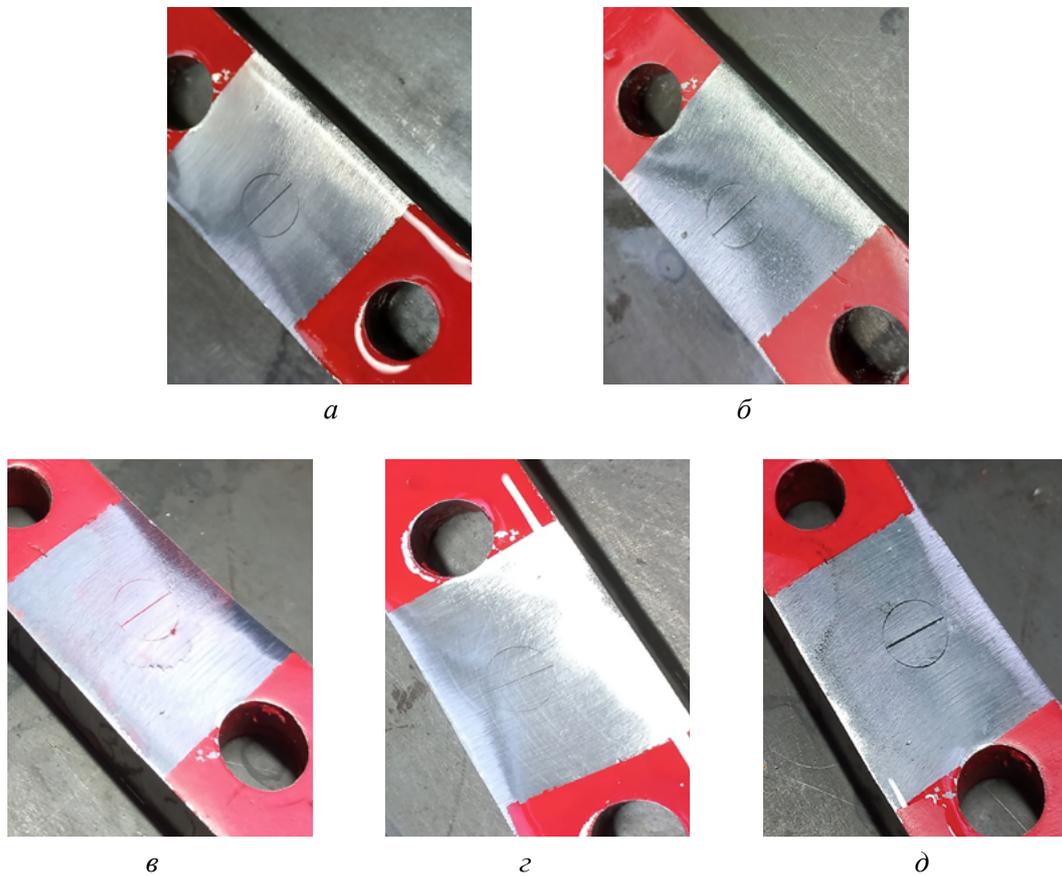


Рис. 4. Дефектограмма стопорной планки при дневном освещении (светлая поверхность):
а — MR76F; *б* — КСФ12; *в* — Mi-GLOW850; *г* — Magnaglo 14HF; *д* — Диагма-1613

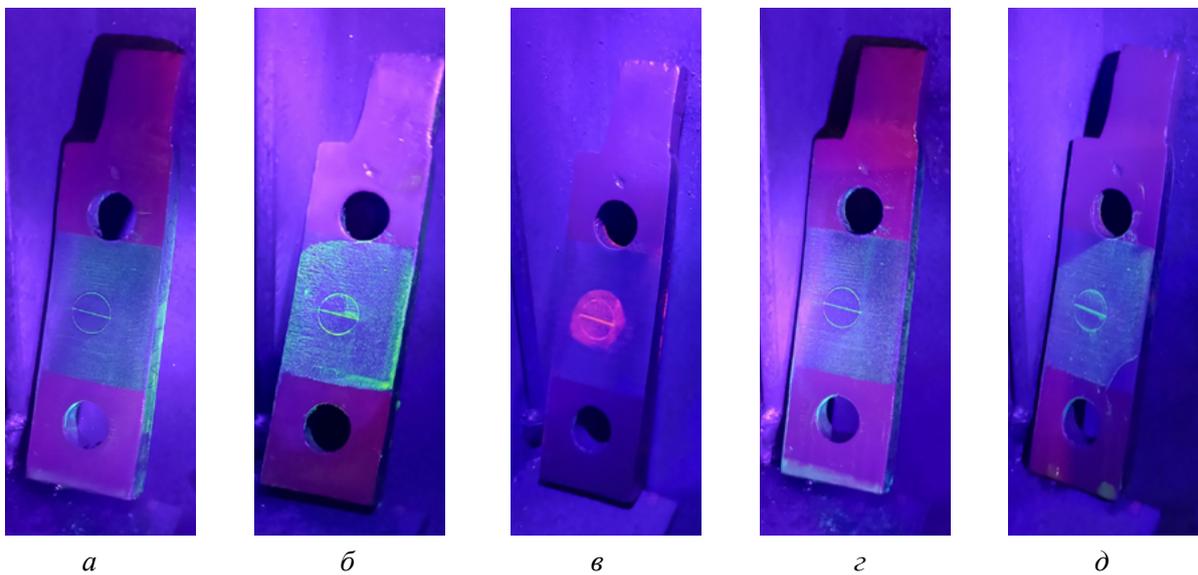


Рис. 5. Дефектограмма стопорной планки при УФ-освещении (светлая поверхность):
а — MR76F; *б* — КСФ12; *в* — Mi-GLOW850; *г* — Magnaglo 14HF; *д* — Диагма-1613

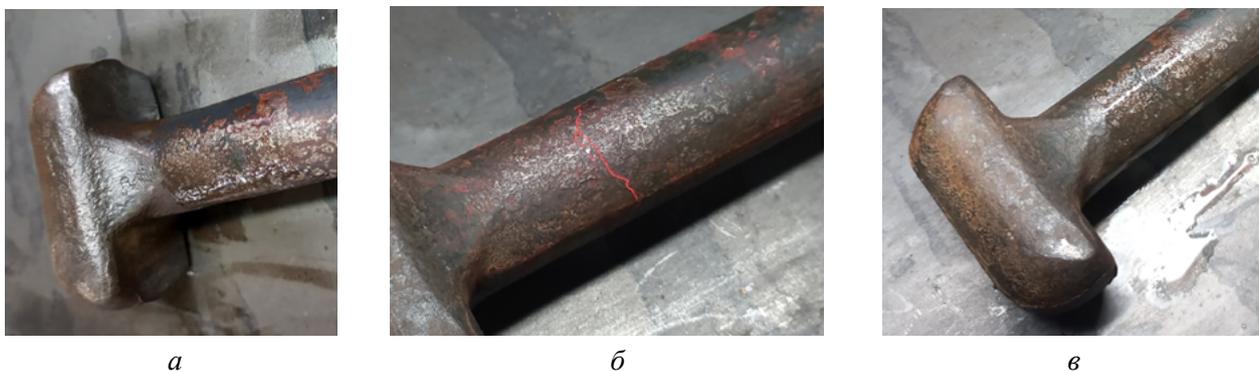


Рис. 6. Дефектограмма маятниковой подвески при дневном освещении (темная поверхность):

a — КСФ12; *б* — Mi-GLOW850; *в* — Magnaglo 14HF

Таблица 3. Результаты измерения длины магнитопорошковых индикаций

КМС	Напряженность магнитного поля в центре соленоида, А/см	Измеренная фактическая длина индикаторного следа (при УФ-освещении), мм		
		гайка шестигранная с фланцем	маятниковая подвеска	стопорная планка
MR76F	180	$L_{\text{сум}} = L_1 = 50$	$L_1 = 20, L_2 = 2$	$L_1 = 10$
КСФ-12		$L_{\text{сум}} = L_1 = 50$	$L_1 = 20, L_2 = 8$	$L_1 = 10$
Mi-GLOW850		$L_{\text{сум}} = L_1 + L_2 + L_3$ $L_{\text{сум}} = 25 + 1 + 12 = 37$	$L_1 = 20, L_2 = 8$	$L_1 = 10$
Magnaglo 14HF		$L_{\text{сум}} = L_1 + L_2 + L_3$ $L_{\text{сум}} = 25 + 2 + 12 = 38$	$L_1 = 20, L_2 = 3$	$L_1 = 10$
Диагма-1613		$L_{\text{сум}} = L_1 + L_2 + L_3$ $L_{\text{сум}} = 25 + 4 + 12 = 41$	$L_1 = 20, L_2 = 7$	$L_1 = 10$

свечением наряду с MR76F, Magnaglo 14HF, Диагма-1613. Хотелось отметить, что ширина валика магнитного порошка искусственного дефекта длиной 10,1 мм для суспензий Диагма-1613, Mi-GLOW850 превосходит ширину валика других суспензий.

На рис. 6 хорошо видно, что использование суспензии Mi-GLOW850 на темной поверхности при дневном свете допустимо благодаря контрастности магнитного порошка красного цвета. При этом остальные суспензии с частицами магнитного порошка зеленоватого оттенка трудно или практически невозможно распознать.

Из-за того, что объекты контроля отличаются по конфигурации, цвету, состоянию поверхности и другим характеристикам, работоспособность магнитных суспензий различается (табл. 3).

К примеру, если на темной поверхности маятниковой подвески суспензии КСФ-12, Mi-GLOW850 показали наилучший результат (чуть хуже Диагма-1613, плохо — MR76F, Magnaglo 14HF), то на окрашенной черной поверхности гайки поводка с поставленной задачей отлично справились суспензии MR76F и КСФ-12 (плохо — Диагма-1613, Magnaglo 14HF, Mi-GLOW850). При этом на светлой поверхности стопорной планки при дневном освещении хорошо работают суспензии MR76F, Диагма-1613 (хуже КСФ-12 и Mi-GLOW850, плохо — Magnaglo 14HF), в то время как под УФ — все суспензии показали близкие результаты. На темной поверхности маятниковой подвески при дневном свете за счет цветового контраста магнитного индикатора суспензия Mi-GLOW850 оказалась лучше всех

остальных суспензий, для которых применение без УФ-освещения не предусмотрено.

Если сравнивать в целом все суспензии на фоне темных поверхностей, в том числе окрашенных в черный цвет, суспензия КСФ-12 показала отличный результат выявления дефектов как при визуальном осмотре индикации, так и по измеренным значениям ее длины. При этом суспензия Magna-glo 14HF показала плохой результат из-за размытости индикаторного следа и отображения одной индикации в виде нескольких цепочек скоплений.

Очевидно, что опираясь только на рекламу производителя, размер частиц порошка и другие свойства из паспорта на магнитный индикатор, нельзя с уверенностью говорить о высокой чувствительности метода.

Применение предлагаемых специализированных образцов в виде магнитных индикаторных полосок с искусственными дефектами, количественно-качественных индикаторов различными зарубежными фирмами не гарантирует качество и высокую работоспособность суспензии, так как не учитываются форма, материал изделия и другие факторы [10].

Заключение

Несмотря на некоторые субъективные факторы проведенного эксперимента, на практике в целях получения высокой эффективности и достоверности выявления дефектов необходима все же апробация магнитного индикатора для конкретного объекта контроля на настроечных (контрольных) образцах с дефектами, характеристика (материал, конфигурация, цвет и т.д.) которых должна быть схожая или идентичная с ним. При этом тип и размер дефектов должны соответствовать значениям, указанным в ТНПА на метод и объект контроля (если таковое имеется).

Сегодня выбор магнитных индикаторов различных производителей настолько обширный, что нет особых преград к приобретению их в виде

небольшой партии (к слову, некоторые производители или официальные представители изготовителей безвозмездно предлагают апробацию продукта) и сравнению полученных магнитопорошковых индикаций для выбранных объектов контроля на практике. Таким образом, оценивая контрастную наглядную картину, воспринимаемую глазом человека, а также измеренную длину индикации, яркость свечения и т.д., можно с уверенностью говорить о качестве той или иной магнитной суспензии.

Авторы выражают благодарность организации ООО «Теханалитикал» за безвозмездное предоставление некоторых КМС в целях проведения сравнительного анализа с имеющимися магнитными индикаторами на предмет обнаружения дефектов в малогабаритных деталях подвижного состава.

Библиографический список

1. Леднев И. С. Исследование свойств дефектоскопических материалов для проведения магнитопорошкового контроля / И. С. Леднев // Труды ВИАМ. — 2022. — № 2(108). — URL: <http://www.viam-works.ru>. — DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-2-122-132 (дата обращения: 20.07.2023).
2. Павлова Т. Д. Влияние характеристик магнитных индикаторных материалов на чувствительность магнитопорошкового контроля / Т. Д. Павлова, А. Д. Кадосов, А. В. Степанов и др. // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2016. — № 6. — С. 12–15.
3. Антипов С. М. Особенности магнитопорошкового метода магнитной дефектоскопии / С. М. Антипов, С. А. Смышляев, С. С. Вылцан // Евразийский Союз ученых (ЕСУ). — 2015. — № 4(13). — С. 116–117.
4. Толмачев И. И., Осадчих Ю. В. Повышение качества проведения магнитопорошковой дефектоскопии объектов с подповерхностными дефектами / И. И. Толмачев, Ю. В. Осадчих // Вестник науки Сибири. — 2014. — № 2(12). — С. 81–83.

5. ПР НК В.2. Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Специальные требования (утверждены Советом по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества, протокол от 19–20 ноября 2013 года № 59). — 2013. — 86 с.

6. ТИ НК В.21-2.2019. Технологическая инструкция по неразрушающему контролю деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Магнитопорошковый метод (утверждена президентом НП «ОПЖТ»), 2019. — 51 с.

7. ГОСТ Р 56512—2015. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы (утвержден и введен в действие Приказом Федер. агентства по техн. регулир. и метрологии от 6 июля 2015 г. № 875-ст), 2015. — 60 с.

8. ГОСТ Р ИСО 9934-2—2011. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Часть 2. Дефектоскопические материалы (утвержден и введен в действие

Приказом Федер. агентства по техн. регулир. и метрологии от 13 декабря 2011 г. № 1113-ст). — 2011. — 20 с.

9. Рисс Н. Основные свойства магнитных индикаторов / Н. Рисс, А. Ф. Иванков // В мире неразрушающего контроля. — 2008. — № 1(39). — С. 4–6.

10. Кадосов А. Д. Контрольные образцы для определения работоспособности магнитопорошковых дефектоскопов и магнитных индикаторов (обзор) / А. Д. Кадосов, И. С. Леднев, Т. Д. Павлова и др. // Труды ВИАМ. — 2019. — № 5(77). — DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-76-84.

Дата поступления: 31.08.2023

Решение о публикации: 25.10.2023

Контактная информация:

ОТКА Александр Генрикович — аспирант;
otokaaleksandr@gmail.com

ХОЛОДИЛОВ Олег Викторович — д-р техн. наук,
проф.; olhol@tut.by

Evaluation of the Performance of Magnetic Indicators for Magnetic Powder Control of Railway Rolling Stock Parts

A. G. Otoka¹, O. V. Kholodilov²

¹Gomel Wagon Depot of RUE «Gomel Branch of the Belarusian Railway», 1a Telegina str., 246014, Gomel, Republic of Belarus

²Belarusian State University of Transport (BelsUT), 34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus

For citation: Otoka A. G., Kholodilov O. V. Evaluation of the Performance of Magnetic Indicators for Magnetic Powder Control of Railway Rolling Stock Parts // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 4, pp. 1016–1026. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-4-1016-1026

Summary

Purpose: To evaluate the performance of various luminescent magnetic suspensions on the example of individual small-sized parts of railway transport, differing in geometric shape, color, surface roughness and the presence of paint coating. To show the need to test magnetic suspensions, including ready-made ones, in aerosol cans on tuning (control) samples, taking into account the color, the presence of a non-magnetic coating, and other characteristics. **Methods:** Comparison of the obtained magnetic powder indications during wet magnetic powder control under conditions of magnetization of rolling stock parts by the applied field method using the MD-12PSH flaw detector. In practice, identical conditions have been maintained for magnetizing components at the center of the solenoid, uniformly applying magnetic suspension through aerosol can and sprayer to the surface, as well as inspecting for the presence of accumulations of magnetic powder particles under both daylight and ultraviolet irradiation. **Results:** The experiment has shown that the technical characteristics of the magnetic indicator stated in the passport by the manufacturer shouldn't be fully trusted and relied on. At the same time, the use of one or more standard or tuning (control) samples with a huge range of control objects is not enough. Practice shows that, taking into account the fact that surfaces of parts differ, it is necessary to conduct a comparative analysis of magnetic suspensions for the brightness of powder glow, contrast, measured length of the magnetic indication on parts with artificial or natural defects with exactly the same surface.

Practical significance: The article shows that it is necessary to use for each control object its own tuning or control sample. Only those objects of control that are identical or comparable in size, shape, color, roughness, and other characteristics fall under the exception. Therefore, only one sample can be used for them.

Keywords: Magnetic powder control, detecting ability, magnetic suspension, working capacity, quality of the magnetic indicator, control sample, tuning sample.

References

1. Lednev I. S. Issledovanie svoystv defektoskopicheskikh materialov dlya prove-deniya magnitoporoshkovogo kontrolya [Investigation of the properties of flaw detection materials for magnetic powder control]. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM]. 2022, Iss. 2(108). Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-2-122-132 (accessed: July 20, 2023). (In Russian)
2. Pavlova T. D., Kadosov A. D., Stepanov A. V. et al. Vliyanie kharakteristik magnitnykh indikatornykh materialov na chuvstvitel'nost' magnitoporoshkovogo kontrolya [Influence of the characteristics of magnetic indicator materials on the sensitivity of magnetic powder control]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik* [All materials. Encyclopedic reference]. 2016, Iss. 6, pp. 12–15. (In Russian)
3. Antipov S. M., Smyshlyaev S. A., Vyltsan S. S. Osobennosti magnitoporoshkovogo metoda magnitnoy defektoskopii [Features of the magnetic powder method of magnetic flaw detection]. *Evraziyskiy Soyuz uchenykh (ESU)* [Eurasian Union of Scientists (ESU)]. 2015, Iss. 4(13), pp. 116–117. (In Russian)
4. Tolmachev I. I., Osadchikh Yu. V. Povyshenie kachestva provedeniya magnitoporoshkovoy defektoskopii ob'ektov s podpoverkhnostnymi defektami [Improving the quality of magnetic powder flaw detection of objects with subsurface defects]. *Vestnik nauki Sibiri* [Bulletin of Science of Siberia]. 2014, Iss. 2(12), pp. 81–83. (In Russian)
5. PR NK V.2. Pravila nerazrushayushchego kontrolya detaley i sostavnykh chastey ko-lesnykh par vagonov pri remonte. Spetsial'nye trebovaniya (utverzhdeny Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv — uchastnikov Sodruzhestva, protokol ot 19–20 noyabrya 2013 goda № 59) [PR NK V.2. Rules for non-destructive testing of parts and components of car wheel pairs during repairs. Special requirements (approved by the Council on Railway Transport of the Commonwealth member states, protocol dated November 19–20, 2013 № 59)]. 2013, 86 p. (In Russian)
6. TI NK V.21-2.2019. Tekhnologicheskaya instruktsiya po nerazrushayushchemu kontrolyu detaley i sostavnykh chastey kolesnykh par vagonov pri remonte. Magnitoporoshkovyy metod (utverzhdena prezidentom NP “OPZhT”) [TI NK V.21-2.2019. Technological instructions for non-destructive testing of parts and components of car wheel pairs during repairs. Magnetic particle method (approved by the president of NP “OPZhT”). 2019, 51 p. (In Russian)
7. GOST R 56512—2015. Kontrol' nerazrushayushchiy. Magnitoporoshkovyy metod. Tipovye tekhnologicheskie protsessy (utverzhden i vveden v deystvie Prikazom Feder. agentstva po tekhn. regulir. i metrologii ot 6 iyulya 2015 g. № 875-st), 2015 [GOST R 56512—2015. Non-destructive testing. Magnetic particle method. Standard technological processes (approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated July 6, 2015 № 875-st), 2015]. 60 p. (In Russian)
8. GOST R ISO 9934-2—2011. Kontrol' nerazrushayushchiy. Magnitoporoshkovyy metod. Chast' 2. Defektoskopicheskie materialy (utverzhden i vveden v deystvie Prikazom Feder. agentstva po tekhn. regulir. i metrologii ot 13 dekabrya 2011 g. № 1113-st) [GOST R ISO 9934-2—2011. Non-destructive testing. Magnetic particle method. Part 2. Flaw detection materials (approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 13, 2011 № 1113-st)]. 2011, 20 p. (In Russian)
9. Riess N., Ivankov A. F. Osnovnye svoystva magnitnykh indikatorov [Main properties of magnetic-particle inspection medium]. *V mire nerazrushayushchego kontrolya* [NDT World Review]. 2008, Iss. 1(39), pp. 4–8. (In Russian)
10. Kadosov A. D., Lednev I. S., Pavlova T. D. et al. Kontrol' nye obrazcy dlja opredeleniya rabotosposobnosti magnitoporoshkovykh defektoskopov i magnitnykh indikatorov (obzor) [Control samples for determining the performance of magnetic powder flaw detectors and magnetic indicators (review)]. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM]. 2019, Iss. 5(77). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-76-84. (In Russian)

Received: August 31, 2023

Accepted: October 25, 2023

Author's information:

Alexander G. OTOKA — Postgraduate Student;

otokaaleksandr@gmail.com

Oleg V. KHOLODILOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor;

olhol@tut.by