

Научная статья

УДК 620.179.119

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-2-122-132

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ

И.С. Леднев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

**Аннотация.** Представлены основные свойства дефектоскопических материалов для проведения магнитопорошкового контроля на основе анализа в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9934-2–2011. Дано описание проверки каждого параметра дефектоскопических материалов и установлено, как их несоответствие влияет на эффективность контроля. Показаны типы испытаний и какие субъекты должны их проводить. Проведена экспериментальная проверка выявляемости дефектов в зависимости от размеров частиц дефектоскопических материалов и установлено, что наиболее высокая выявляемость характерна для дефектоскопического материала с размером частиц магнитного порошка в диапазоне 0–15 мкм.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, магнитопорошковый контроль, дисперсионная среда, магнитный порошок, магнитный индикатор, дефектоскопический материал, технология контроля, магнитная коагуляция, выявляющая способность, концентрация магнитного порошка

**Для цитирования:** Леднев И.С. Исследование свойств дефектоскопических материалов для проведения магнитопорошкового контроля // Труды ВИАМ. 2022. № 2 (108). Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-2-122-132.

Scientific article

## INQUIRY OF THE PROPERTIES OF DETECTION MEDIA FOR MAGNETIC PARTICLE INSPECTION

I.S. Lednev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

**Abstract.** The article presents the main properties of flaw detection materials for conducting magnetic particle inspection based on the analysis of GOST R ISO 9934-2–2011. A description of the verification of each parameter of flaw detection materials is presented and it is established how their nonconformity affects the effectiveness of control. The types of tests and which subjects should conduct them are shown. An experimental check of the detectability of defects depending on the particle sizes of flaw-detecting materials was carried out and it was found that the highest detectability is characteristic of a flaw-detecting material with a particle size of magnetic powder in the range of 0–15 microns.

**Keywords:** non-destructive testing, magnetic particle inspection, dispersion medium, magnetic powder, magnetic indicator, flaw detection material, control technology, magnetic coagulation, detecting ability, concentration of magnetic powder

**For citation:** Lednev I.S. Inquiry of the properties of detection media for magnetic particle inspection. *Trudy VIAM*, 2022, no. 2 (108), paper no. 10. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-2-122-132.

## Введение

Авиационная промышленность как одна из наиболее наукоемких и технологически сложных отраслей обеспечивает рост инновационного потенциала России [1–6]. Развитию отечественной авиационной промышленности и повышению ее конкурентоспособности на мировом рынке способствует повышение качества производимой продукции. Методы неразрушающего контроля позволяют осуществлять проверку качества изделий авиационной техники без их физического разрушения на любом этапе изготовления, эксплуатации или ремонта [7–13].

Одним из таких методов является магнитопорошковый контроль – распространенный, надежный и производительный метод неразрушающего контроля деталей авиационной техники из сталей.

Широкое распространение магнитопорошковый контроль получил благодаря высокой чувствительности, наглядности результатов и высокой производительности. Минимальные геометрические размеры по раскрытию и глубине обнаруживаемых дефектов составляют 0,001 и 0,01 мм соответственно [14]. Для индикации дефектов под поверхностью (до 5 мм) или на поверхности контролируемых деталей параллельно или последовательно с операцией намагничивания их обрабатывают дефектоскопическими материалами, уже готовыми к использованию суспензиями или суспензиями, изготавливаемыми самостоятельно из магнитного порошка и дисперсионной среды (вода, масло, керосин) в определенных пропорциях.

Для повышения эффективности магнитопорошкового контроля необходима проверка качества используемых материалов, а именно – порошков и дисперсионных сред. В данной статье приведены сведения о проводимых испытаниях по определению и соответствию действующим нормативно-техническим документам таких свойств, как размер и цвет частиц порошка, его термостойкость, коэффициент и стабильность флюоресценции, температура вспышки, вязкость, механическая стойкость, пенообразование дисперсионной среды [15–17].

## Материалы и методы

Основным нормативным документом, регламентирующим способы проверки дефектоскопических материалов для магнитопорошкового контроля и определяющим их основные свойства, является ГОСТ Р ИСО 9934-2–2011 «Магнитопорошковый метод. Часть 2. Дефектоскопические материалы».

Магнитные порошки представляют собой частицы оксида железа заданных размеров, прописанных в ТУ или в паспорте на изделие, имеющие заданный цвет и возможные люминесцирующие свойства.

Магнитные суспензии представляют собой смесь в определенной пропорции цветного или флюоресцирующего магнитного порошка в выбранной дисперсионной среде. Магнитная суспензия после перемешивания не должна включать слипшиеся частицы порошка.

Магнитные суспензии изготавливают из материалов, поставляемых как концентраты, включая пасты и порошки, или поставляться готовыми к использованию.

Дефектоскопические материалы, используемые при проведении магнитопорошкового контроля, а также средства для их проверки и исследований их свойств, включают в себя химические продукты, которые могут представлять опасность для здоровья дефектоскописта. Существует также опасность воспламенения и испарения вредных веществ. Для сохранения здоровья, обеспечения безопасности и соблюдения требований по защите окружающей среды необходимо следовать всем действующим законодательным актам, включая национальные и местные акты.

Производители, поставщики или конечные пользователи проводят испытания и исследования любых дефектоскопических материалов в соответствии с ГОСТ Р ИСО

9934-2–2011. По результатам проведенных испытаний определяются и документируются соответствующим образом следующие характеристики: цвет, размер частиц, термостойкость, коэффициент и стабильность флюоресценции, температура вспышки, флюоресценция жидкости-носителя, коррозия на стали и меди, вязкость, механическая стойкость, пенообразование, рН для водных материалов и стойкость к хранению.

Проверка дефектоскопических материалов разделена на испытания типа, партии и материалов при эксплуатации.

Для проведения испытания типа материалов используют специальные контрольные образцы, представляющие собой стальные изделия с заложенными дефектами на поверхности в виде единичной трещины или сетки трещин. Такие образцы включают в себя постоянный магнит, т. е. они не требуют отдельного намагничивания. Существуют два типа контрольных образцов (1 и 2), отличающиеся между собой количеством дефектов и формой (рис. 1). Перед и после проведения испытаний контрольный образец 1 или 2 очищается любым доступным методом от следов дефектоскопического материала, загрязнений, а также влаги.

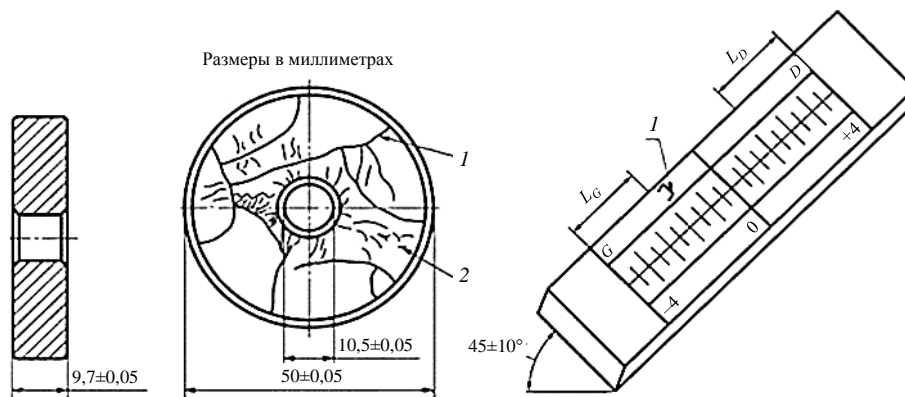


Рис. 1. Контрольные образцы 1 и 2

В табл. 1 представлен полный перечень испытаний и дефектоскопических материалов.

Таблица 1

**Дефектоскопические материалы для магнитопорошкового контроля и их параметры, подлежащие проверке**

Определяемые свойства	Сухие материалы	Органические дисперсионные среды	Водные суспензии	Органические суспензии
Характеристики	ИТ/ИП/ИЭ	–	ИТ/ИП/ИЭ	ИТ/ИП/ИЭ
Цвет	ИТ/ИП/ИЭ	ИТ	ИТ/ИП/ИЭ	ИТ/ИП/ИЭ
Размер частиц	ИТ/ИП	–	ИТ/ИП	ИТ/ИП
Термостойкость	ИТ	ИТ	ИТ	ИТ
Коэффициент флюоресценции	ИТ/ИП	–	ИТ/ИП	ИТ/ИП
Стабильность флюоресценции	ИТ	–	ИТ	ИТ
Температура вспышки	–	ИТ/ИП	–	ИТ/ИП
Флюоресценция жидкости-носителя	ИТ/ИП	ИТ/ИП	ИТ/ИП	–
Коррозия на стали	–	–	ИТ	–
Вязкость	–	ИТ	ИТ/ИП	ИТ/ИП
Механическая стойкость:				
– кратковременная	–	–	ИТ/ИП	ИТ/ИП
– долговременная	–	–	ИТ	ИТ
Пенообразование	–	ИТ	ИТ/ИП	ИТ/ИП
рН (водные материалы)	–	–	ИТ	–
Стойкость к хранению	ИТ/ИП	ИТ/ИП	ИТ/ИП	ИТ/ИП
Примечание. ИТ – испытания типа, ИП – испытания партии, ИЭ – испытания материалов при эксплуатации.				

*Параметры дефектоскопических материалов, подлежащие проверке**Цвет*

Цвет дефектоскопических материалов указывается в паспорте в соответствии с ТУ на материал. При испытаниях цвет образца из партии материалов визуально не должен отличаться от цвета образца типа. Сравнение возможно проводить специальными приборами или визуально; несовпадение цвета образцов приведет к ухудшению выявления индикаций порошка при контроле.

Выбор цвета порошка важен для наиболее эффективного контроля и выявления индикаторных рисунков возможных дефектов. Высокий контраст цвета порошка с поверхностью контролируемой детали позволит увидеть незначительные следы магнитного порошка.

*Размер частиц*

Оценка размеров частиц проводится с применением растрового электронного микроскопа при увеличении от 1000 до 10000 в режиме отраженных электронов с последующим количественным анализом полученных изображений. На рис. 2 приведены несколько типов черных магнитных порошков, применяемых при магнитопорошковом контроле в виде суспензий на водной или масляной основе.

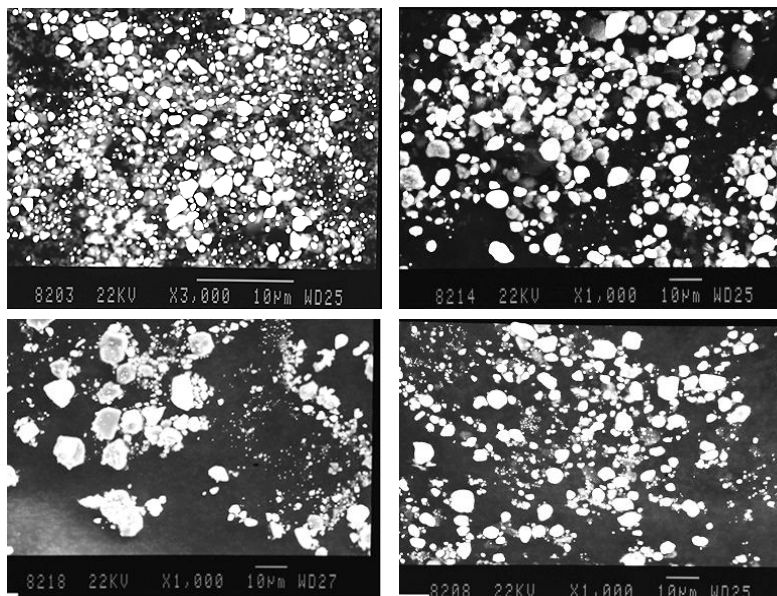


Рис. 2. Примеры изображений частиц магнитного порошка, полученных с применением растрового электронного микроскопа

*Термостойкость*

При хранении и проведении контроля дефектоскопические материалы могут подвергаться воздействию высоких температур. Допустимое время, при котором материалы не должны терять свои свойства, составляет не более 5 мин нагрева до максимальной температуры, указанной в технической документации. Деграцией материала считается любое ухудшение выявляющей способности или качества индикаций. Проверка осуществляется с помощью повторного испытания характеристик с применением контрольных образцов 1 или 2.

*Коэффициент флюоресценции*

Для проведения расчета коэффициента флюоресценции магнитного порошка возможно применение только порошка в сухом виде. Если проводится проверка уже готовой магнитной суспензии, то необходимо использовать ее твердую составляющую.

Формула для расчета коэффициента флюоресценции сухого порошка:

$$\beta = \frac{L}{E_e}, [\text{кд/Вт}],$$

где  $L$  – яркость на поверхности плоскости порошка, кд/м;  $E_e$  – уровень ультрафиолетовой облученности на поверхности порошка, Вт/м.

По итоговым расчетам коэффициент флюоресценции не должен быть меньше значения 1,5 кд/Вт, иначе снижается эффективность проводимого магнитопорошкового контроля.

#### *Стабильность флюоресценции*

Образец повторно проверяют через полчаса после первичного облучения с облученностью не менее 20 Вт/м. Коэффициент флюоресценции не должен снижаться более чем на 5 %.

Схема оборудования для испытаний параметров флюоресценции представлена на рис. 3.

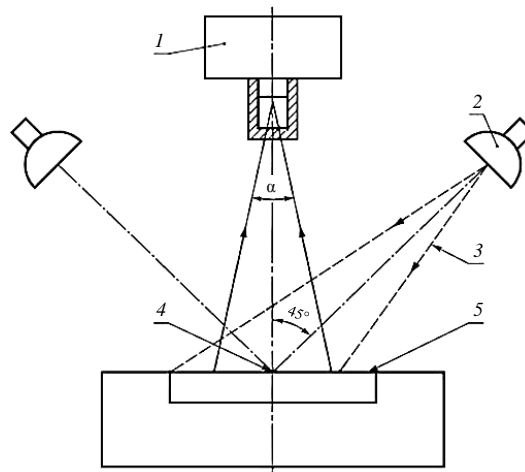


Рис. 3. Схема установки для определения коэффициента флюоресценции ( $\beta$ ) образца дефектоскопического материала: 1 – измеритель яркости; 2 – лампа; 3 – ультрафиолетовое излучение; 4 – точка измерения ультрафиолетовой облученности; 5 – поверхность порошка

Поверхность образца дефектоскопического материала должна быть равномерно освещена ультрафиолетовым излучением под углом  $45 \pm 5$  градусов. Необходимо измерять яркость от поверхности порошка, исключив влияние от участков вне испытываемой зоны. Измерение яркости необходимо проводить только от поверхности образца дефектоскопического материала, при выборе подходящих приборов руководствуются величиной погрешности не более 10 %.

Флюоресцентный магнитный порошок или суспензия применяются при контроле деталей с темными поверхностями и позволяют получить яркие индикаторные рисунки, которые легко обнаружить невооруженным глазом.

#### *Флюоресценция дисперсионной среды*

Любая выбранная дисперсионная среда не должна мешать проведению магнитопорошкового контроля своей флюоресценцией, иначе индикаторные рисунки возможно пропустить.

Сравнение флюоресценции дисперсионной среды с раствором сульфата хинина позволяет контролировать возможные затруднения при контроле. Концентрация

раствора сульфата хирина должна быть равной 710 М (5,5 миллионных долей) в 0,1 н. при освещении UV-A не менее 10 Вт/м.

Проверяемая дисперсионная среда должна проявлять флюоресценцию меньше, чем раствор сульфата хирина.

*Механическая стойкость*

Долгосрочные испытания на механическую стойкость подтверждают отсутствие изменений характеристик дефектоскопических материалов при использовании стандартной установки магнитопорошкового контроля в течение 120 ч.

Критериями механической стойкости при долгосрочных и краткосрочных испытаниях являются любые визуальные изменения качества выявленных индикаций.

Образец дефектоскопического материала в объеме 40 л наливают в коррозионностойкий резервуар с центробежным насосом – например, это может быть система стационарного дефектоскопа с замкнутой системой циркуляции магнитной суспензии. Дефектоскопический материал должен циркулировать, течение прекращается с помощью открытия/закрытия клапана в течение 5 с.

Дефектоскопический материал должен быть проверен с использованием эталонных образцов 1 и 2 до и после испытания продолжительностью 120 ч.

При краткосрочных испытаниях на усталость рекомендуется применять установку, показанную на рис. 4. Образец в количестве 1 л перемешивают в течение 2 ч, далее сравнивают индикацию на эталонных образцах 1 и 2 при использовании перемешанного и эталонного образцов.

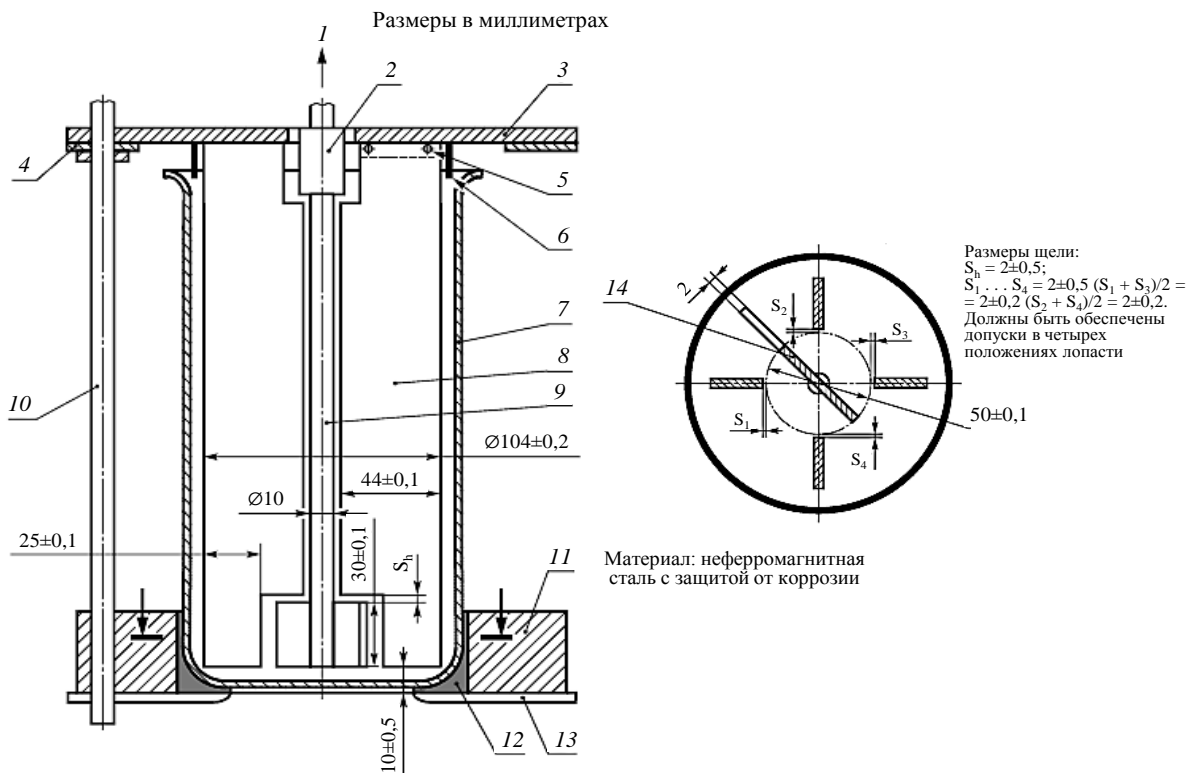


Рис. 4. Перемешивающее устройство: 1 – электродвигатель; 2 – соединительная муфта; 3 – плита электродвигателя; 4 – опорное кольцо для установки расстояния 10 мм от днища; 5 – крепеж угловыми профилями; 6 – плита распылителя; 7 – резервуар (ISO 3819:2015 – HF 2000); 8 – четыре плиты статора толщиной 2 мм с высотой опоры ~170 мм; 9 – ось; 10 – три опоры; 11 – направляющее кольцо; 12 – фетр; 13 – основание; 14 – лопасть

### *Температура вспышки*

При использовании суспензий на масляной или керосиновой основе указывается температура вспышки дисперсионной среды для безопасного применения в производственных или полевых условиях. Значение температуры вспышки возможно получить методом открытого тигля.

### *Пенообразование*

Пенообразование необходимо проверять во время испытаний на механическую стойкость. Любое пенообразование, приводящее к визуальным изменениям качества выявленных индикаций или мешающее проведению магнитопорошкового контроля, является основанием для отбраковки дефектоскопического материала или дисперсионной среды.

### *pH-факторы*

Определение показателя pH (>9) водной дисперсионной среды производится в соответствии с ISO 4316.

### *Коррозия на стали*

Коррозионные свойства дефектоскопических материалов должны определяться визуально по следам коррозии, оставленным на фильтровальной бумаге гранулами, предварительно насыщенными водой для исследования при специальных условиях.

Процедура испытаний описана в приложении С к ГОСТ Р ИСО 9934-2–2011.

### *Стойкость к хранению*

Срок хранения прописывается изготовителем на каждой отдельной упаковке дефектоскопического материала. Использование после истечения срока хранения допустимо, если подобное указано в нормативной документации по магнитопорошковому контролю, применяемой на предприятии.

### *Концентрация сухих частиц*

Рекомендуемое содержание магнитных частиц в магнитных суспензиях должно быть указано изготовителем в нормативной документации.

Концентрация черного порошка в суспензии должна быть в пределах  $25 \pm 5$  г/л, а магнитолюминесцентного:  $4 \pm 1$  г/л. Однако в некоторых случаях концентрацию рекомендуется снижать – например, при контроле деталей способом приложенного поля с использованием магнитных полей с напряженностью  $>100$  А/см, а также при контроле резьбы и в некоторых других случаях при контроле деталей сложной формы.

В качестве примера далее приведен результат эксперимента поиска зависимости выявляемости дефектов от размеров частиц дефектоскопических материалов. Данный пример наиболее четко показывает, что исследуемые характеристики дефектоскопических материалов – важная часть контроля качества для проводимого исследования деталей и образцов при магнитопорошковом контроле.

### **Результаты и обсуждение**

Все исследуемые характеристики дефектоскопических материалов могут повлиять на чувствительность магнитопорошкового контроля и на выявляющую способность метода – индикацию дефектов с наименьшим раскрытием.

Проведен эксперимент и получена зависимость выявляющей способности от размеров частиц порошка.

В качестве объекта исследовали цилиндрический контрольный образец (рис. 5), изготовленный из стали 18ХНВА; дефекты, нанесенные на образец, представляют собой волосовины и трещины с шириной раскрытия  $<1$  мкм.



Рис. 5. Контрольный образец из стали 18ХНВА с выявленными дефектами

Магнитопорошковый контроль проводили суспензией с тремя видами магнитных порошков, различаемых по своим фракциям. По результатам измерений размера частиц отобранные магнитные порошки разделены на три группы. Распределение размеров частиц дефектоскопического материала по группам следующее:

Номер группы	I	II	III
Размер частиц, мкм	0–2	0–8	0–15

На весах ВП Э134-М взвешивали рассчитанное по ТУ количество магнитного порошка и разводили в определенной дисперсионной среде, также указанной в ТУ на материал. В полученную суспензию погружали на несколько секунд предварительно намагниченный контрольный образец, после чего измеряли суммарную длину обнаруженных дефектов. Эксперимент проводили несколько раз. Далее проводили расчет среднего значения от суммарных длин дефектов, полученных в процессе нескольких опытов, и рассчитывали выявляющую способность.

Выявляющую способность определяли как отношение суммарной длины выявленных дефектов на контрольном или эталонном образце при использовании контролируемого порошка к суммарной длине выявленных дефектов эталонным порошком.

Суммарную длину выявленных дефектов определяли с помощью лупы ЛИ-3-10<sup>x</sup> по ГОСТ 25706–83 с допустимой погрешностью измерения 0,05 мм. Допустимая погрешность определения выявляющей способности составляет 1 %. В табл. 2 приведены полученные усредненные результаты.

Таблица 2

**Усредненные данные за несколько экспериментов**

Группа порошка	Усредненная длина, мм	Выявляющая способность, %
II (эталон)	33,4	100
III	31,7	95
II	28,2	84
I	24,7	74

Следует отметить, что данный метод определения выявляющей способности достаточно субъективен. Результаты испытаний зависят от многих факторов: качества магнитного индикатора, освещенности помещения, а также от квалификации дефектоскописта, остроты его зрения и др. Полученные данные для каждого магнитного порошка усредняли. Порошок, имеющий наибольшую усредненную длину выявленных дефектов, принимали за эталон. Выявляющую способность других исследуемых порошков рассчитывали относительно эталона.

Из данных табл. 2 видно, что самая низкая выявляющая способность у материала I группы. В зависимости от фракционного состава порошка в магнитной суспензии меняется выявляющая способность. Показано, что наиболее высокая выявляющая способность у магнитной суспензии с размером частиц 0–15 мкм.

В данной статье рассмотрен эксперимент только в рамках проведения магнитопорошкового контроля с применением суспензии на масляной основе. Размер частиц магнитного порошка также очень важен и в других методах магнитопорошкового контроля – например, при проведении контроля с помощью метода воздушной взвеси, когда контролируемую деталь помещают в специальную камеру и обрабатывают магнитным порошком, размер частиц которого составляет ~200 мкм.

### Заключения

В результате анализа ГОСТов установлены параметры дефектоскопических материалов, подлежащих проверке.

Представлено описание проверки каждого параметра дефектоскопических материалов и установлено, как их несоответствие влияет на эффективность контроля.

Показаны типы испытаний и какие субъекты должны их проводить.

Проведена экспериментальная проверка выявляемости дефектов в зависимости от размеров частиц дефектоскопических материалов и установлено, что наиболее высокая выявляемость характерна для материала с размером частиц в диапазоне 0–15 мкм.

### Список источников

1. Каблов Е.Н. Контроль качества материалов – гарантия безопасности эксплуатации авиационной техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2001. № 1. С. 3–8.
2. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение в XXI веке. Перспективы и задачи // *Авиационные материалы. Избранные труды ВИАМ 1932–2002*. М.: МИСИС – ВИАМ, 2002. С. 23–47.
3. Краснов И.С., Ложкова Д.С., Далин М.А. Оценка дефектности заготовок из титановых сплавов для вероятностного расчета риска разрушения дисков газотурбинных двигателей в эксплуатации // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 2 (63). Ст. 12. URL: <http://journal.viam.ru> (дата обращения: 03.10.2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-2-115-122.
4. Концепция развития национальной системы стандартизации Российской Федерации на период до 2020 года: (одобрена Распоряжением Правительства РФ № 1762-р от 24.09.2012) // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: информационный портал по стандартизации URL: [http://standard.gost.ru/wps/portal!/ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xVz9CP0os3gLHzeXUFNLYwMLD1dLA09vR39DD68g4-BAI\\_2CbEdFACiQY\\_Q!/](http://standard.gost.ru/wps/portal!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xVz9CP0os3gLHzeXUFNLYwMLD1dLA09vR39DD68g4-BAI_2CbEdFACiQY_Q!/) (дата обращения: 03.10.2021).
5. О стандартизации в Российской Федерации: Федер. закон № 162-ФЗ от 29 июня 2015 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420284277> (дата обращения: 03.10.2021).
6. Стандартизация и техническое регулирование в аспекте качества продукции: учеб. пособие / А.Ф. Ширялкин. Изд. 3-е, испр. и доп. Ульяновск: УлГТУ, 2011. 258 с.
7. О техническом регулировании: Федер. закон Российской Федерации от 27.12.02 № 184-ФЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901836556> (дата обращения: 03.10.2021).
8. Чесноков А.Г. К вопросу о гармонизации стандартов. М.: Институт Стекла, 2003. URL: [https://glassinfo.ru/articles/2003\\_01\\_k\\_voprosu\\_o\\_garmonizaci\\_standartov.pdf](https://glassinfo.ru/articles/2003_01_k_voprosu_o_garmonizaci_standartov.pdf) (дата обращения: 03.10.2021).

9. Чертищев В.Ю., Оспенникова О.Г., Бойчук А.С., Диков И.А., Генералов А.С. Определение размера и глубины залегания дефектов в многослойных сотовых конструкциях из ПКМ по величине механического импеданса // *Авиационные материалы и технологии*. 2020. № 3 (60). С. 72–94. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-72-94.
10. Бойчук А.С., Диков И.А., Генералов А.С., Славин А.В. Автоматизированный неразрушающий контроль образцов трехслойных сотовых конструкций ультразвуковым теневым методом // *Авиационные материалы и технологии*. 2020. № 2 (59). С. 74–80. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-74-80.
11. Каблов Е.Н., Подживотов Н.Ю., Луценко А.Н. О необходимости создания единого информационно-аналитического центра авиационных материалов РФ // *Проблемы машиностроения и автоматизации*. 2019. № 3. С. 28–34.
12. Косарина Е.И., Генералов А.С., Демидов А.А. Проблемы в государственной системе стандартизации РФ в области радиационного неразрушающего контроля // *Труды ВИАМ*. 2018. № 11 (71). Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 03.10.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-11-86-92.
13. Шершак П.В. Особенности национальной стандартизации методов испытаний полимерных композиционных материалов // *Труды ВИАМ*. 2019. № 2 (74). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 03.10.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-77-88.
14. ГОСТ Р 56512–2015. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы. М.: Стандартинформ, 2016. 56 с.
15. ГОСТ Р 1.0–2012. Стандартизация в РФ. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2013. 19 с.
16. Шелихов Г.С. Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов. М.: Эксперт, 1995. 224 с.
17. ГОСТ Р ИСО 9934-1–2011. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Часть 1. Основные требования. М.: Стандартинформ, 2019. 16 с.

#### References

1. Kablov E.N. Quality control of materials – guarantee of safety of aircraft operation. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2001, no. 1, pp. 3–8.
2. Kablov E.N. Aviation Materials Science in the XXI century. Prospects and tasks. *Aviation materials. Selected Works VIAM 1932–2002*. Moscow: MISIS – VIAM, 2002, pp. 23–47.
3. Krasnov I.S., Lozhkova D.S., Dalin M.A. Evaluation of deficiency of titanium alloy forgings for probabilistic calculation of gas turbine engine disks fracture risk. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 2 (63), paper no. 12. Available at: <https://journal.viam.ru> (accessed: October 3, 2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-2-115-122.
4. *The concept of the development of the national standardization system of the Russian Federation for the period up to 2020* (approved by the order of the Government of the Russian Federation No. 1762-p from 24.09.2012). Available at: [http://standard.gost.ru/wps/portal/!ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gLHzeXUFNLYwMLD1dLA09vR39DD68g4-BAI\\_2CbEdFACiQY\\_Q!/](http://standard.gost.ru/wps/portal/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gLHzeXUFNLYwMLD1dLA09vR39DD68g4-BAI_2CbEdFACiQY_Q!/) (accessed: October 3, 2021).
5. *On standardization in the Russian Federation*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420284277> (accessed: October 3, 2021).
6. *Standardization and technical regulation in the quality quality aspect: allowance*. Ed. 3rd., rev. and add. Ulyanovsk: UIGTU, 2011, 258 p.
7. *About technical regulation*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/901836556> (accessed: October 3, 2021).
8. Chesnokov A.G. *On the issue of harmonization of standards*. Moscow: Institute of Glass, 2003. Available at: [https://glassinfo.ru/articles/2003\\_01\\_k\\_voprosu\\_o\\_garmonizaci\\_standartov.pdf](https://glassinfo.ru/articles/2003_01_k_voprosu_o_garmonizaci_standartov.pdf) (accessed: October 3, 2021).
9. Chertishchev V.Yu., Ospennikova O.G., Boichuk A.S., Dikov I.A., Generalov A.S. Determination of the size and depth of defects in multilayer PCM honeycomb structures based on the mechanical impedance value. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 3 (60), pp. 72–94. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-72-94.

10. Boychuk A.S., Dikov I.A., Generalov A.S., Slavin A.V. Automated non-destructive inspection of three-layer honeycomb structures' samples by ultrasonic through-transmission technique. *Aviacionnyye materialy i tekhnologii*, 2020, no. 2 (59), pp. 74–80. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-74-80.
11. Kablov E.N., Podzhivov N.Yu., Lutsenko A.N. On the need to create a single information and analytical center of aviation materials of the Russian Federation. *Problemy mashinostroyeniya i avtomatizatsii*, 2019, no. 3, pp. 28–34.
12. Kosarina E.I., Generalov A.S., Demidov A.A. Questions of x-ray non-destructive testing in Russian State standardization system. *Trudy VIAM*, 2018, no. 11 (71), paper no. 10. Available at: <http://viam-works.ru> (accessed: October 3, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-11-86-92.
13. Shershak P.V. National standardization specifics of polymer composites materials tests methods. *Trudy VIAM*, 2019, no. 2 (74), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: October 3, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-77-88.
14. State Standard R 56512-2015. *Control non-destructive. Magnetic powder method. Typical technological processes*. Moscow: Starotinform, 2016, 56 p.
15. State Standard R 1.0-2012. *Standardization in the Russian Federation. Basic provisions*. Moscow: Starotinform, 2013, 19 p.
16. Shelikhov G.S. *Magnetic solo flaw detection of parts and nodes*. Moscow: Expert, 1995, 224 p.
17. State Standard R ISO 9934-1-2011. *Control non-destructive. Magnetic powder method. Part 1. Basic requirements*. Moscow: Starotinform, 2019, 16 p.

### *Информация об авторах*

**Леднев Игорь Сергеевич**, инженер 1 категории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

### *Information about the authors*

**Igor S. Lednev**, First Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

Статья поступила в редакцию 30.11.2021; одобрена и принята к публикации после рецензирования 08.12.2021.  
The article was submitted 30.11.2021; approved and accepted for publication after reviewing 08.12.2021.