

УДК 620.179

*И.С. Леднев¹, А.С. Генералов¹***СРАВНЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ РОССИЙСКИХ (ГОСТ) И МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ (ISO) ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАГНИТОПОРОШКОВОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-10-117-123

Представлен анализ требований отечественных и зарубежных стандартов по проведению метода магнитопорошкового контроля (МПК). Выделены их преимущества и недостатки, а также принципиальные расхождения в технологии проведения контроля, из которых основным является применение способа остаточной намагниченности в практике отечественного МПК. Приведено сравнение способов остаточной намагниченности и приложенного поля. На основании проведенного анализа сделан вывод, что для контроля особо ответственных изделий при проведении МПК следует руководствоваться ГОСТ 56512–2015.

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

*I.S. Lednev¹, A.S. Generalov¹***COMPARISON OF RUSSIAN AND INTERNATIONAL STANDARDS WHEN CONDUCTING THE MAGNETIC POWDER METHOD OF NON-DESTRUCTIVE TESTING**

The analysis of the requirements of domestic and foreign standards for the magnetic particle testing (MPT) method is presented. Their advantages and disadvantages are highlighted, as well as fundamental differences in the technology of control, of which the main one is the use of the remanent magnetization method in the practice of domestic MPT. The methods of remanent magnetization and the applied magnetic field are compared. Based on the analysis, it was concluded that for the control of particularly responsible products during the MPT, GOST 56512-2015 should be followed.

Keywords: state standard, nondestructive testing, magnetic particle inspection, dispersion medium, magnetic particle flaw detector, flaw detection material, inspection technology, magnetic coagulation, capability of detection, concentration of magnetic particles.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute»]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Безопасность при эксплуатации авиационной техники в различных условиях определяется отсутствием недопустимых дефектов в ее деталях и сборочных узлах [1, 2]. Поскольку невозможно создать абсолютно бездефектную продукцию, особо ответственные объекты изделий авиационной техники подвергаются стопроцентному контролю неразрушающими методами. Магнитопорошковый контроль (МПК) занимает

определенную область применения среди этих методов [3–8] – это контроль, в первую очередь, поверхностного и при определенных условиях подповерхностного состояния стальных изделий. Изменение свойств стали происходит не только из-за больших механических и температурных нагрузок, но и в результате структурных и фазовых изменений в процессе эксплуатации данных изделий. Особо ответственные детали в этих изделиях несут основную нагрузку, и выход их из строя подвергает опасности эксплуатацию всего изделия. Отсутствие недопустимых дефектов при производстве не защищает изделие от дальнейших проблем при эксплуатации. По приведенным причинам возможно возникновение наиболее опасных дефектов – различного вида трещин. Результаты проведения МПК наглядные и достоверные – метод обладает высокой чувствительностью при нахождении несплошностей. Достоверность проводимого контроля непосредственно зависит от режимов, параметров и применяемых средств контроля. Система ГОСТ, регламентирующая метод МПК, существующая долгие годы и прошедшая уже несколько редакций, адаптирована только для отечественного производства. В настоящее время интеграция производства в страны СНГ и объединенную Европу требует создания расширенной и универсальной системы стандартов, в том числе и в области неразрушающего контроля (НК). По этой причине некоторые ISO-документы переведены и получили статус ГОСТ Р ИСО [9–11]. Однако повышенные требования к качеству продукции влекут за собой и более жесткие условия проведения НК. В данной статье приведены результаты сравнения регламента контроля по системам ГОСТ и ISO.

Материалы и методы

В работе [12] проведено сравнение требований по МПК в системах ГОСТ и европейских нормах и установлено их несоответствие. Поскольку отечественная система стандартов не принимает европейские нормы, а в отношении международной системы ISO существует тенденция к некоторому симбиозу и адаптации на территории РФ, возникла необходимость в проведении анализа обеих систем и установлении преимуществ и недостатков каждой из них. Сравнение требований ISO 9934-1:2016 [13] и отечественного стандарта ГОСТ Р 56512–2015 [10], выпущенного на замену ГОСТ 21105–87 [14], показало, что существуют технологические расхождения в проведении МПК, выбор и расчет режимов намагничивания деталей различаются, а также по-разному осуществляется проверка средств контроля.

С помощью метода МПК можно определять и выявлять трещины, волосовины и некоторые виды расслоений на поверхности объекта контроля (ОК). Параметром искомых несплошностей, принятым во всех отраслях и обозначающим степень чувствительности метода, является ширина раскрытия. В лабораторных условиях возможна индикация дефекта с шириной раскрытия <1 мкм и длиной от 0,5 мкм. На производстве метод МПК применяется для НК деталей или образцов на наличие несплошностей различной формы, в основном на поверхности ОК (рис. 1). Габаритные размеры ОК не ограничены, однако толщина максимального подповерхностного слоя для исследования с помощью МПК составляет ~ (2–5) мм. При проведении МПК контролер регистрирует неоднородность магнитного поля (поля рассеяния), появляющуюся в зоне дефекта во время намагничивания контролируемого объекта, путем притяжения магнитных частиц индикатора, которым обрабатывают контролируемый объект, с последующим образованием индикаторного следа в виде валика. Визуально регистрируют выявление и геометрические параметры индикаторного следа, допускается применение оптических приборов или автоматических систем распознавания, фиксирования и анализа полученных дефектограмм.

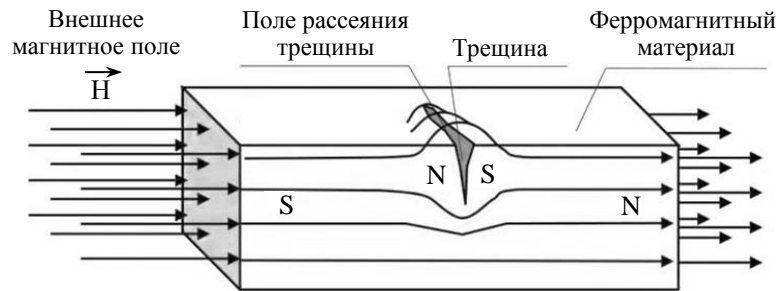


Рис. 1. Поле рассеяния над поверхностной трещиной

При исследовании ОК выявленная индикация порошка не позволяет измерить глубину и ширину несплошностей на поверхности контроля. Магнитопорошковый контроль – индикаторный метод, и определение наличия дефекта под валиком порошка возможно при последующем анализе. При схожей ширине раскрытия или одинаковых габаритных размерах подповерхностные дефекты, находящиеся на разной глубине, будут иметь разные индикации по интенсивности, также и в случае определения глубины залегания возможной несплошности. Длину образовавшегося валика порошка можно косвенно принимать за длину возможного дефекта. При проведении МПК дефектоскопист регистрирует образующиеся валики магнитного порошка над потенциальными несплошностями.

Метод МПК, который проводят несколькими способами, состоит из следующих технологических операций:

- объект контроля помещают в намагничивающее поле;
- последовательно или параллельно с операцией намагничивания дефектоскопист производит обработку поверхности ОК выбранным магнитным индикатором;
- в зависимости от способа контроля подбирают временной промежуток для начала осмотра дефектоскопистом поверхности ОК;
- при наличии на поверхности ОК осадений магнитного порошка проводят анализ на возможный дефект;
- объект контроля очищают, обезжиривают и размагничивают.

Результаты и обсуждение

Дефектоскопист МПК должен обладать высокой квалификацией. При осуществлении любого вида НК всегда есть вероятность пропустить или не выявить дефект по тем или иным причинам. Кроме того, дефектоскопистам необходимо иметь хорошую теоретическую подготовку по методу, а также они должны быть обеспечены качественными материалами и современным оборудованием для проведения контроля.

Требования к материалам и оборудованию приведены в ГОСТ Р 56512–2015, который как технологическое дополнение к серии документов ГОСТ Р ИСО 9934 регламентирует МПК для изделий из магнитомягких и магнитотвердых материалов и представляет собой более расширенный документ, где объясняются многие практические и теоретические вопросы, возникающие у специалистов по магнитопорошковому НК на предприятиях авиационной отрасли.

В ГОСТ Р 56512–2015 выбор условной чувствительности МПК подбирается на основе анализа входных параметров ОК:

- магнитные характеристики марки стали из справочных таблиц ОК и расчетное значение напряженности намагничивающего поля;
- габаритные размеры и геометрическая форма ОК;
- значение шероховатости R_a поверхности ОК и толщина слоя защитных покрытий;
- геометрические параметры дефектов;
- свойства магнитного индикатора и способ обработки им ОК;
- способ регистрации индикаций и условия проведения контроля.

В серии ГОСТ Р ИСО 9934, а также в ГОСТ Р 56512–2015 отсутствует деление на условные уровни чувствительности для поиска дефектов определенных параметров. В ГОСТ 21105–87 были выделены уровни чувствительности МПК, разделение которых происходило условно по ширине раскрытия поверхностных несплошностей на контролируемой детали. Протяженность таких несплошностей для достоверной индикации должна составлять 0,5 мм и более. Для ОК, эксплуатируемых в экстремальных средах и условиях, актуален условный уровень чувствительности А (ширина раскрытия 2 мкм при значении $R_a \leq 2,5$). Уровни Б и В (10 и 25 мкм соответственно при значении $R_a \leq 10$) применимы для остальных случаев при контроле неотчетственных деталей или заготовок с возможной последующей механической и химической обработками. Чувствительность МПК не регламентируется и становится меньше при значении $R_a \geq 10$ мкм.

Главным расхождением в системах международных и отечественных стандартов по МПК является применение контроля способом остаточной намагниченности (СОН), регламентированного российскими документами. В международных стандартах применяется только способ приложенного поля (СПП). При СОН обработка магнитным индикатором происходит после окончания намагничивания ОК.

В ГОСТ Р 56512–2015 в зависимости от марки стали, геометрических размеров и сложности формы ОК описаны технологии применения обоих способов. Оба способа, как СОН, так и СПП, обладают собственными достоинствами и недостатками.

По требованиям ISO 9934-1:2016 [13] применяется только контроль в приложенном поле, который объединяет между собой операции намагничивания и полива суспензией детали. Операции проходят параллельно, причем допускается обрабатывать суспензией контролируемую деталь как до, так и во время помещения ее в магнитное поле. Этот технологический прием позволяет контролировать сразу несколько деталей с использованием специальной оснастки. Для установления четкой картины индикаций обработку магнитным индикатором необходимо прекратить до снятия намагничивающего поля с ОК. Объект контроля находится под действием постоянного или переменного намагничивающего поля до полной остановки видимого движения большей части магнитного индикатора.

У способа остаточной намагниченности также есть ограничения по применению. В том случае, если требуется контролировать короткие детали, из нескольких штук таких деталей составляют цепочку. Разрывать цепь до нанесения магнитного индикатора нельзя, поскольку произойдет перераспределение магнитных полей.

Применения СОН возможно для ограниченного списка марок стали: по требованиям ГОСТ Р 56512–2015 [14] марка стали ОК должна иметь соответствующее значение коэрцитивной силы – от 9,5 А/см. На возможность использования СОН также влияет заданный уровень чувствительности на ОК и соотношение длины к поперечному размеру ОК. Операционные требования допускают проводить обработку магнитным индикатором поверхности ОК после намагничивания детали не более чем через 3 ч. В этом промежутке времени намагниченные детали не должны находиться в контакте друг с другом. Вследствие этого происходит частичное или полное размагничивание.

На рис. 2 представлен график для анализа определения применимости контроля СОН при заданном условном уровне чувствительности. Зная значение отмеченной на оси абсцисс коэрцитивной силы марки стали ОК, проводится проекция до пересечения с кривой уровня чувствительности, необходимого при МПК, точка на оси ординат соответствует значению остаточной индукции марки стали ОК. Для определения возможности проведения МПК с соответствующим уровнем чувствительности следует обозначить точку пересечения значений коэрцитивной силы и остаточной индукции марки стали ОК. Контроль СОН с необходимым уровнем чувствительности достижим при условии, что точка пересечения лежит выше или на кривой заданного уровня чувствительности. При условии, когда точка пересечения расположена ниже кривой необходимого уровня чувствительности, использование СОН невозможно [15].

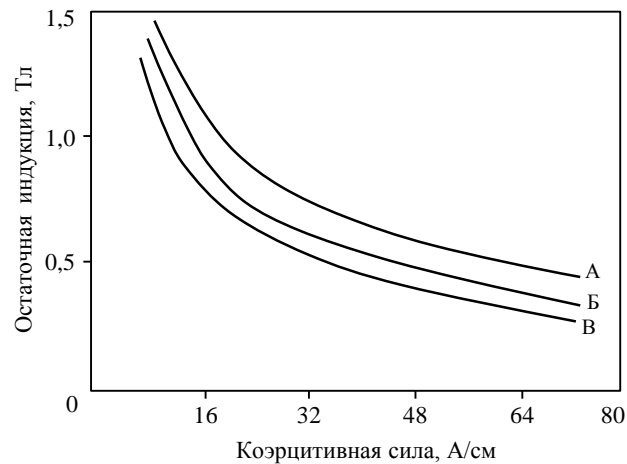


Рис. 2. Определение применимости контроля способом остаточной намагниченности при заданном условном уровне чувствительности

Индикации дефектов с одинаковыми параметрами при МПК в приложенном поле и на остаточную намагниченность могут различаться. На это оказывает влияние осаждение магнитного порошка по волокнам строения металла или в местах структурной неоднородности при контроле деталей СПП. Причиной может являться и способ применяемой при изготовлении ОК механической обработки поверхности. Наличие рисок или стыков, а также резких переходов сечения, совпадающих с направлением намагничивающего поля, тоже может вызывать ложные отложения порошка или оставлять сильный фон [16].

В соответствии с требованиями ГОСТ 21105–87 при проведении контроля СПП необходимую напряженность магнитного поля для обеспечения выбранного уровня чувствительности можно определить с помощью графика, изображенного на рис. 3, где по оси абсцисс даны значения коэрцитивной силы материала контролируемой детали, а по оси ординат – напряженность истинного магнитного поля. Прямые соответствуют одному из уровней чувствительности – А, Б или В.

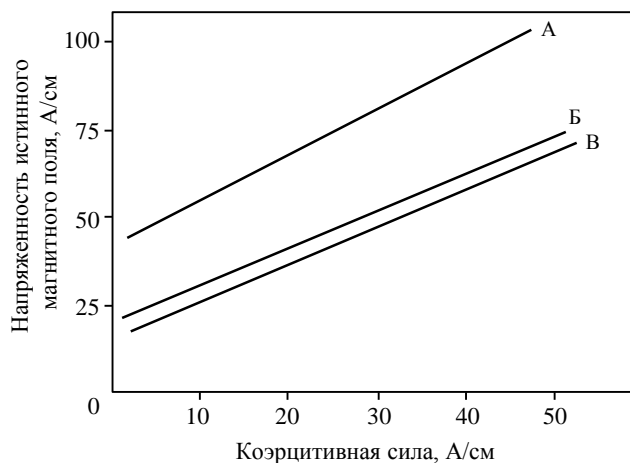


Рис. 3. Определение напряженности истинного магнитного поля способом приложенного поля

В ГОСТ Р 56512–2015 определение требуемой напряженности приложенного магнитного поля проводится только по значениям максимума и минимума без учета минимально искомого дефекта.

Для определения способа МПК в ГОСТ Р 56512–2015 есть описание преимуществ СОН перед СПП, которые возможно использовать для повышения эффективности МПК. Такие рекомендации могут быть полезны при составлении технологических инструкций и карт контроля на новые или опытные изделия, при обновлении парка оборудования на производстве и при смене поставщика индикаторного материала.

В отечественных стандартах по МПК помимо циркулярного и полюсного намагничивания ОК встречается комбинированное намагничивание. В международных стандартах ISO подобный метод намагничивания отсутствует. При комбинированном намагничивании возможен поиск разнонаправленных несплошностей для ОК сложной геометрической формы. Метод применим только для намагничивания в приложенном поле.

Согласно ГОСТ Р 56512–2015 на условный уровень чувствительности не влияет слой немагнитных покрытий толщиной до 40 мкм – дефекты материала ОК будут уверенно выявлены. В том случае, если толщина покрытий >50 мкм, чувствительность начинает снижаться. Угол до 45 градусов между плоскостью дефекта и направлением магнитного потока также не снижает вероятность обнаружения этого дефекта. Надежность выявления дефекта сильно уменьшается, если данный угол <30 градусов.

При сравнении требований отечественных стандартов, указанных ранее, с требованиями международного стандарта ISO 9934-1:2016 есть разница в значениях. По ISO 9934-1:2016 для надежности выявления дефекта угол наклона между его плоскостью и направлением магнитного потока должен быть не более 60 градусов. Допустимое значение толщины немагнитных покрытий без влияния на чувствительность контроля составляет 50 мкм.

Основные и наиболее значительные различия отечественной и международной систем стандартов состоят в расчете необходимых значений токов намагничивания и осуществлении технологии МПК способом остаточной намагниченности.

При расчете токов для циркулярного и продольного намагничивания требования системы ГОСТ учитывают параметры поверхности ОК, а именно значение шероховатости поверхности контролируемой детали. Наличие на поверхности контроля лакокрасочного и любого другого немагнитного покрытия толщиной >40 мкм, которое влияет на итоговую чувствительность контроля, является более строгим ограничением по сравнению с требованиями, содержащимися в документах ИСО.

В системе ГОСТ учитывается возможность контролировать детали СОН – способом, отсутствующим в документах ISO. Благодаря этому МПК имеет следующие технологические выгоды:

- упрощение расшивки образовавшихся валиков магнитного порошка благодаря отсутствию осаждающегося порошка сильным фоном на контролируемой поверхности;
- снижение влияния на ОК локального и общего высокого нагрева благодаря меньшему значению расчетного тока;
- повышение производительности и мобильности проведения МПК.

Заключения

Результаты сравнительного анализа отечественных адаптированных стандартов серии ГОСТ Р ИСО 9934 и ГОСТ Р 56512–2015 с международным стандартом ISO 9934-1:2016 позволяют утверждать, что при проведении МПК особо ответственных деталей и узлов, эксплуатация которых происходит в экстремальных условиях, следует руководствоваться ГОСТ Р 56512–2015. При выполнении требований, изложенных в актуальных национальных стандартах, гарантировано обнаружение недопустимых дефектов, указанных в ТУ на изделие.

Проработка и издание новых редакций документов ГОСТ по методам НК, в том числе магнитного контроля, позволяют актуализировать базу нормативно-технической документации на производствах авиационной промышленности. Введение на территории

Российской Федерации переведенных международных стандартов серии ISO без их адаптации к национальному производству приводит к спорным моментам в процессах изготовления изделий как с налаженным выпуском, так и новых. Изменения, представленные в новых версиях документов, необходимо вводить постепенно или с оговорками. В настоящее время существует большое количество нормативной документации по МПК на уровне инструкций и руководящих документов, созданной крупными представителями газовых, нефтяных и авиационных отраслей промышленности в Российской Федерации, качество которой в первую очередь зависит от качества основного документа в любой области или отрасли – ГОСТа.

Библиографический список

1. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Кудинов И.И., Головков А.Н., Генералов А.С., Князев А.В. Оценка вероятности выявления эксплуатационных дефектов в деталях авиационной техники из жаропрочных сплавов с использованием дефектоскопических жидкостей отечественного и зарубежного производства // Дефектоскопия. 2021. № 1. С. 64–71.
2. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. № 5. С. 8–18.
3. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. № 2 (14). С. 16–21.
4. Каблов Е.Н. Без новых материалов – нет будущего // Metallurg. 2013. № 12. С. 4–8.
5. 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.
6. 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.
7. 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: <https://journal.viam.ru> (дата обращения: 03.06.2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-2-115-122.
8. Косарина Е.И., Крупнина О.А., Демидов А.А., Михайлова Н.А. Цифровое оптическое изображение и его зависимость от радиационного изображения при неразрушающем контроле методом цифровой рентгенографии // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 1 (54). С. 37–42. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-1-37-42.
9. ГОСТ Р ИСО 9934-1–2011. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Часть 1. Основные требования. М.: Стандартинформ, 2013. 16 с.
10. ГОСТ Р ИСО 9934-2–2011. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Часть 2. Дефектоскопические материалы. М.: Стандартинформ, 2013. 16 с.
11. ГОСТ Р 53700–2009 (ИСО 9934-3:2002). Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Часть 3. Оборудование. М.: Стандартинформ, 2010. 12 с.
12. Бондарева В.С., Павлова Т.Д., Степанов А.В., Косарина Е.И. Требования к магнитопорошkovому контролю в европейских нормах и российских стандартах // Комментарии к стандартам, ТУ, сертификатам. 2013. № 9. С. 14–18.
13. ISO 9934-1:2016. Non-destructive testing – Magnetic particle testing. Part 1: General principles. Swiss: ISO copyright office, 2016. 17 p.
14. ГОСТ Р 56512–2015. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы. М.: Стандартинформ, 2016. 56 с.
15. ГОСТ 21105–87. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. М.: Изд-во стандартов, 2003. 14 с.
16. Шелихов Г.С. Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов. М.: Гос. предприятие НТЦ «Эксперт», 1995. 224 с.