

УДК 620.1

А.Д. Кадосов¹, И.С. Леднев¹, Т.Д. Павлова¹, А.Н. Головков¹

КОНТРОЛЬНЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАГНИТОПОРОШКОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ И МАГНИТНЫХ ИНДИКАТОРОВ (обзор)

DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-76-84

Рассмотрены основные виды российских и зарубежных контрольных образцов для магнитопорошкового контроля, применяемых для оценки работоспособности магнитопорошковых дефектоскопов, работоспособности магнитных индикаторов, а также для определения направления намагничивающего поля. Показано их устройство, приведены рекомендации по их использованию, интерпретации результатов, а также факторы, которые могут привести к повреждению и выходу из строя образцов. Определены задачи, при которых следует использовать специальные образцы для магнитопорошкового контроля.

Ключевые слова: магнитопорошковый контроль, контрольные образцы, определение работоспособности, магнитные индикаторы, намагничивающее поле, проверка качества, магнитный дефектоскоп, индикаторные полоски, количественно-качественные индикаторы.

A.D. Kadosov¹, I.S. Lednev¹, T.D. Pavlova¹, A.N. Golovkov¹

THE TEST PIECES TO DETERMINE THE PERFORMANCE OF MAGNETIC PARTICLE FLAW DETECTORS AND MAGNETIC MEDIA (review)

The article describes the main types of Russian and worldwide test pieces for magnetic particle inspection, used to assess the performance of magnetic particle flaw detectors, the performance of magnetic indicators, as well as to determine the direction of the magnetizing field. Their device is shown, recommendations on their use, interpretation of results, and also factors which can lead to damage and failure of samples are given. The problems of using special test pieces for magnetic particle inspection are shown.

Keywords: magnetic particle inspection, test pieces, determination of performance, magnetic media, magnetizing field, quality control, magnetic flaw detector, flux indicator strips, quantitative quality indicators.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Основной составляющей конкурентоспособности авиационной продукции являются ее надежность и долговечность. Развитие методов оценки качества выпускаемой продукции, в том числе методов неразрушающего контроля, является одной из приоритетных задач современной науки [1–4]. Различные методы неразрушающего контроля в соответствии с современными стандартами позволяют обнаруживать поверхностные и внутренние нарушения сплошности материала, тем самым отбраковывать на стадии изготовления потенциально ненадежные изделия и уменьшать вероятность отказа изделия во время эксплуатации [5–13].

Магнитопорошковый контроль является одним из самых распространенных методов неразрушающего контроля стальных деталей. При соответствующих условиях магнитопорошковым методом можно обнаружить невидимые и слабо видимые поверхностные дефекты с раскрытием от 1 мкм, глубиной от 10 мкм, протяженностью от 0,5 мм.

На выявляемость дефектов магнитопорошковым методом контроля влияет множество различных факторов: магнитные характеристики материала объекта контроля, способ контроля, форма и размер объекта контроля, виды намагничивания и намагничивающего тока, чистота обработки и шероховатость поверхности объекта контроля, наличие на поверхности объекта контроля загрязнений или покрытий [14]. Не менее важны исправность рабочего оборудования и работоспособность магнитных индикаторов, таких как магнитные порошки, суспензии, аэрозоли, магнитогуммированные пасты и др.

Для оценки работоспособности магнитопорошковых дефектоскопов и индикаторов применяют контрольные образцы – детали или специальные изделия с искусственными или естественными дефектами типа несплошности материала в виде узких плоских пазов, цилиндрических отверстий или трещин различного происхождения.

В настоящее время для проверки качества магнитных индикаторов на территории РФ следует применять контрольные образцы, указанные в ГОСТ Р 56512–2015 (приложение В) или ГОСТ Р ИСО 9934-2–2011. Работоспособность магнитных индикаторов и дефектоскопов оценивают путем выявления дефектов на образцах с применением режимов, указанных в сопроводительной документации или рассчитанных исходя из магнитных характеристик материала и размеров контрольных образцов. Магнитный индикатор и дефектоскоп считаются пригодными к использованию, если дефекты на образце выявлены, а индикаторный рисунок соответствует дефектограмме.

Контрольные образцы для магнитопорошкового контроля

Контрольный образец типа 1 представляет собой постоянный магнит с двумя видами трещин: грубыми трещинами, полученными шлифовкой, и мелкими – коррозионным растрескиванием (рис. 1). Образец применяется для проверки работоспособности магнитных индикаторов.

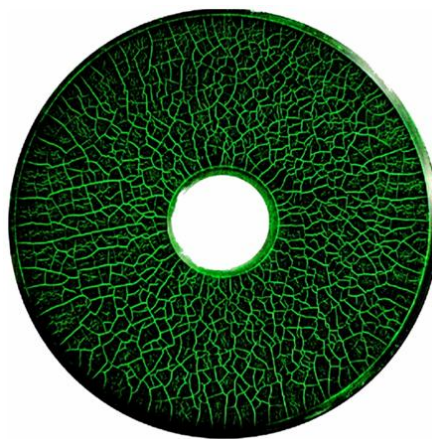


Рис. 1. Эталонный образец типа 1 по ГОСТ Р ИСО 9934-2–2011 [15]

На контрольный образец наносят магнитную суспензию с двух сторон, после чего помещают на впитывающую ткань в вертикальном положении, давая стечь излишней суспензии.

Магнитный индикатор считается годным, если индикаторный рисунок совпадает с дефектограммой, представленной в сертификате на контрольный образец.

Данный образец выполнен из сплава, имеющего высокую коэрцитивную силу, и не требует намагничивания перед применением. Образец не следует помещать в сильные магнитные поля, например в намагничивающие или размагничивающие устройства, так как это может повлиять на изменение остаточного поля образца – его силу и направление [16].

Сравнительный образец типа 2 состоит из двух притертых стальных блоков, стянутых винтами, с искусственным дефектом между ними (рис. 2). С торцевых сторон расположены постоянные магниты, которые создают магнитные поля рассеяния, уменьшающиеся по мере увеличения расстояния от магнитов. Чувствительность магнитного индикатора определяется длиной индикаций над дефектом. Сравнение чувствительности различных магнитных индикаторов следует проводить с применением одного и того же контрольного образца. Сравнение результатов оценки чувствительности магнитных индикаторов, полученных на разных контрольных образцах, не допускается.



Рис. 2. Эталонный образец типа 2 по ГОСТ Р ИСО 9934-2–2011 [15]

Отметим, что на проявление индикаторного рисунка на данном контрольном образце могут повлиять загрязнения, сильные магнитные поля и механическое воздействие. Механическое воздействие, например падение, может вызвать сдвиг притертых граней, что может привести к порче образца. В случае механических повреждений ремонт такого образца невозможен [17].

Для оценки работоспособности дефектоскопов, имеющих электроконтакты или электромагнит с ярмом, применяют образец МО-1 (рис. 3), изготовленный по ГОСТ Р 56512–2015.



Рис. 3. Контрольный образец МО-1 [18]

Образец выполнен в виде плоской стальной пластины с одним поверхностным дефектом и двумя подповерхностными дефектами в виде отверстий, которые находятся на различной глубине от рабочей поверхности. Поверхностный дефект представляет собой вставку с узким плоским пазом. При нанесении магнитного индикатора может образовываться рисунок, повторяющий контуры вставки полностью или частично, однако оценку работоспособности дефектоскопа осуществляют только по наличию порошка над пазом.

Для оценки работоспособности дефектоскопов полюсного намагничивания с применением соленоида или кабеля, намотанного в виде соленоида, применяют контрольные образцы МО-2 (рис. 4) и МО-3 (рис. 5), изготовленные по ГОСТ Р 56512–2015. Образец МО-3 также применяется для проверки дефектоскопов с магнитным ярмом, например электромагнитом.

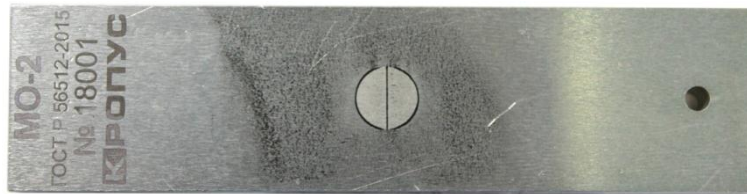


Рис. 4. Контрольный образец МО-2 [18]

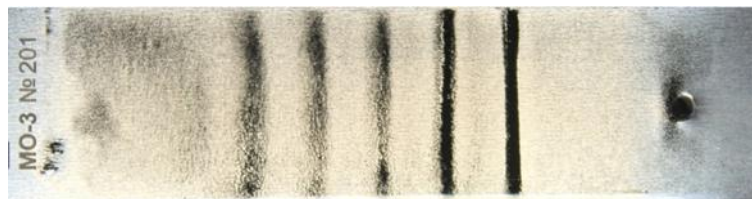


Рис. 5. Контрольный образец МО-3 [18]

Стальной образец МО-3 выполнен в форме бруска и содержит вставку с дефектом в виде плоской несплошности материала. Оценка работоспособности дефектоскопа осуществляют по наличию магнитного индикатора над дефектом, так же как и на образце МО-1. Отложения магнитного порошка по контуру вставки не являются критерием оценки работоспособности.

Контрольный образец выполнен в виде стального бруска, содержащего пять подповерхностных дефектов в виде цилиндрических отверстий, расположенных на различной глубине, закрытых винтами (рис. 5). Глубина залегания дефекта влияет на яркость и четкость индикаторного следа. Наименее четкий индикаторный рисунок определяет наиболее глубоко расположенный дефект.

Для оценки работоспособности дефектоскопов циркулярного и индукционного намагничивания применяют контрольный образец МО-4 (рис. 6) по ГОСТ Р 56512–2015. Данный образец выполнен в виде стального диска с центральным отверстием.



Рис. 6. Контрольный образец МО-4 [18]

Для проверки работы дефектоскопов индукционного намагничивания на цилиндрической поверхности диска расположен поверхностный дефект в виде плоской несплошности материала, перпендикулярной образующей цилиндра.

Для проверки дефектоскопов циркулярного намагничивания на образце расположены поверхностный дефект, плоскость которого параллельна образующей цилиндра, и три подповерхностных дефекта в виде отверстий.



Рис. 7. Контрольный брусок для магнитопорошкового контроля (Magnetic Particle Test Bar) [19]

Контрольный образец Test Bar, удовлетворяющий требованиям ASTM E1444 и NAVSEA T9074-AS-GIB-010/271 (рис. 7), предназначен для проверки работоспособности магнитопорошкового оборудования. Данный образец подходит для проверки оборудования (контроль «мокрым» способом) намагничивающих устройств, а также дефектоскопов с магнитным ярмом. Контрольный брусок содержит поверхностные и подповерхностные дефекты. На каждой стороне образца расположены поверхностные дефекты, ориентированные в двух направлениях, которые служат для проверки циркулярного и продольного намагничивания переменным током. Подповерхностные дефекты, расположенные на различной глубине, служат для определения глубины проникновения однополупериодного и двухполупериодного постоянного тока. Для предотвращения попадания магнитных частиц внутрь образца все искусственные дефекты заполнены эпоксидной смолой [20].

При оценке работоспособности стационарных дефектоскопов контрольный образец зажимают между неподвижным контактным диском (передней бабкой) и контактным диском, закрепленным на передвижной каретке (задней бабкой). При оценке работоспособности намагничивающих устройств используют контактные зажимы для установки образца либо помещают контрольный образец в соленоид, образованный витками кабеля.

Контрольный образец Tool Steel Ring по ASTM E1444 предназначен для быстрой системной проверки магнитопорошкового оборудования и магнитного индикатора на постоянном токе. Данный образец представляет собой стальной диск с центральным отверстием, в котором сделаны двенадцать искусственных подповерхностных дефектов в виде сквозных отверстий с различной глубиной залегания (рис. 8).



Рис. 8. Кольцо из инструментальной стали (Tool Steel Ring) [19]

Для намагничивания необходимо применять центральный проводник диаметром 2,54–3,175 см. Контрольный образец намагничивают циркулярно в приложенном поле, при этом для каждого испытания устанавливают силу тока, заданную в документации на контрольный образец. В зависимости от силы тока и вида магнитного индикатора на образце проявляется несколько устойчивых индикаций от искусственных дефектов. Минимальное количество дефектов, выявляемое при заданном режиме, указывается в документации на образец.

Рекомендуется проводить первичную оценку работоспособности для каждого уникального сочетания образца, оборудования и магнитного индикатора для того, чтобы в дальнейшем отслеживать любые изменения в работоспособности оборудования и материалов [21].

Для оценки качества технологий магнитопорошкового контроля в других странах применяют количественно-качественные индикаторы (QCI). Применение индикаторов удовлетворяет требованиям AISI 1005, AS5371, ASTM E1444-05. Такие индикаторы представляют собой контрольные образцы из низкоуглеродистой стали с искусственными дефектами (рис. 9). С их помощью можно убедиться в установлении правильного направления магнитного поля и его величины, которые обеспечивают четкое появление индикаций над дефектами.

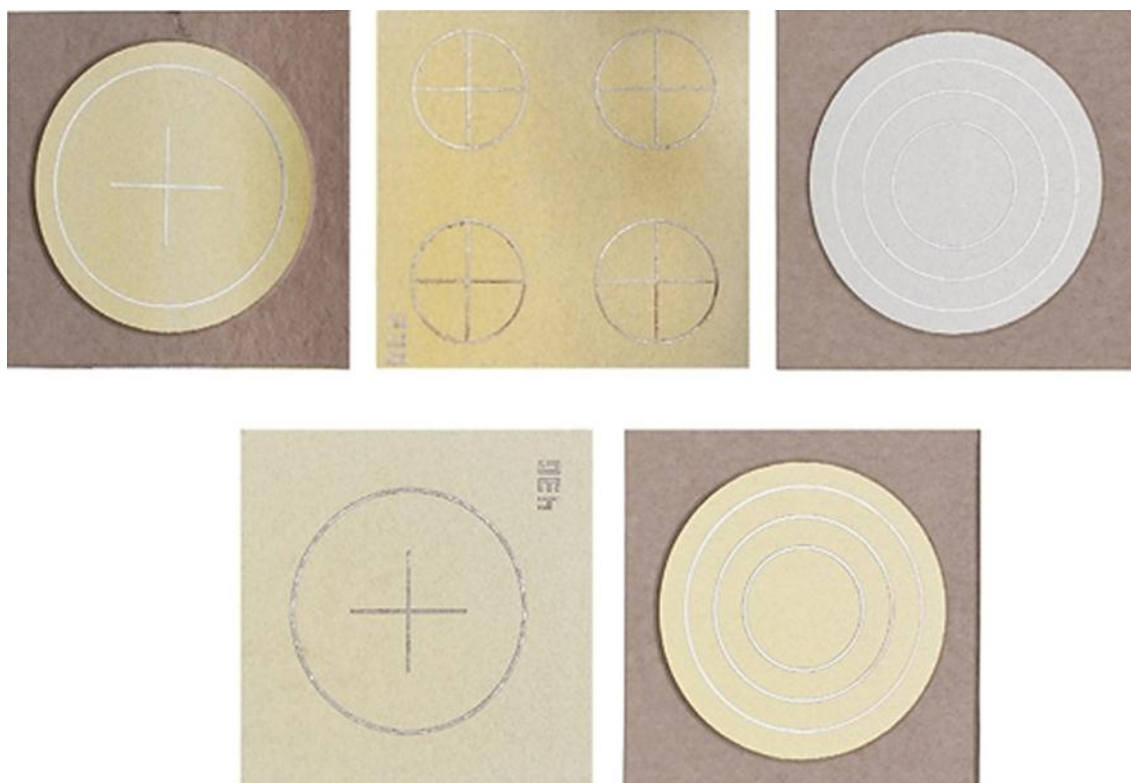


Рис. 9. Количественно-качественные индикаторы [19]

Образцы располагают на объекте контроля и надежно закрепляют таким образом, чтобы не было воздушного зазора между индикатором и объектом контроля. Данный вид образцов не подразумевает повторного крепления на изделия.

Количественно-качественные индикаторы не обладают остаточной намагниченностью. Возможно появление следов индикаторных материалов на контрольных образцах после снятия намагничивающего поля, в случаях, когда объект контроля, обладая

большой остаточной намагниченностью, намагничивает количественно-качественный индикатор [22].

Магнитные индикаторные полоски с искусственными дефектами предназначены для определения направления намагничивающего поля и не подходят для определения его величины. Их применение регламентировано стандартами ASTM E709, ASTM E1444, ASTM E3024.

Данный вид контрольного образца представляет собой тонкую полосу из стали с высокой магнитной проницаемостью, покрытую латунным или серебряным слоем, содержащую три прорези различной толщины (рис. 10). Такие искусственные дефекты при намагничивании отображаются в виде линейных индикаций.



Рис. 10. Магнитные индикаторные полоски Magnaflux [19]

Магнитные индикаторные полоски жестче количественно-качественных индикаторов, поэтому их нелегко расположить на криволинейной поверхности объекта контроля. Данные образцы, в отличие от количественно-качественных индикаторов, крепятся на поверхность объекта контроля не на постоянной основе, что позволяет использовать их повторно. При закреплении такой полоски на объекте контроля с помощью клейкой ленты центральную часть не заклеивают во избежание ухудшения образования индикаций.

Наиболее сильные индикации образуются при размещении полоски длинной стороной перпендикулярно линиям магнитного поля, слабые – если образец расположен под углом к магнитному полю. Отсутствие индикаций свидетельствует о параллельном расположении контрольного образца относительно линий магнитного поля [23].

Специальные образцы для магнитопорошкового контроля

Использование рассмотренных ранее образцов с целью проверки возможности применения магнитопорошкового метода для контроля конкретных объектов, оценки вероятности обнаружения дефектов, а также для отработки режимов магнитопорошкового контроля – не допускается.

Для решения подобных задач требуется применение специальных образцов, повторяющих полностью или частично форму и материал контролируемого изделия, так как от формы зависит конфигурация силовых линий в изделии, а от материала (и его термической обработки) – подбор способов и режимов намагничивания.

При разработке образцов для оценки вероятности обнаружения дефектов необходимо учитывать технологические параметры и условия контроля и эксплуатации объекта контроля, типы и размеры дефектов, а также их расположение и ориентацию.

Для проверки возможности применения и отработки режимов магнитопорошкового метода контроля допускается применение контрольных образцов в виде объектов контроля с естественными дефектами или искусственными трещинами. Зачастую подбор таких образцов осуществляют из числа забракованных объектов по наличию естественных дефектов либо забракованных по другим параметрам. В случае отсутствия естественных дефектов на объекте, на нем делают искусственные дефекты в виде вставок или другим способом. Применение таких контрольных образцов также подходит для определения работоспособности дефектоскопов и магнитных индикаторов.

Заключения

Достоверность результатов контроля напрямую зависит от надежности оборудования и качества дефектоскопических материалов.

Использование контрольных образцов для магнитопорошкового контроля позволяет быстро и эффективно провести оценку работоспособности дефектоскопов и магнитных индикаторов. Для проверки каждого вида намагничивания предусмотрен конкретный вид контрольного образца.

Необходимо понимать и соблюдать технологию применения по назначению данных контрольных образцов для обеспечения надежной работы средств неразрушающего контроля. В связи с этим недопустимо применение контрольных образцов, предназначенных только для проверки работоспособности магнитных индикаторов, для проверки работоспособности магнитных дефектоскопов и наоборот.

Помимо работоспособности оборудования и применяемых индикаторных материалов, одними из ключевых факторов, влияющих на выявляемость дефектов при магнитопорошковом контроле, являются величина и направление намагничивающего поля. Анализ зарубежных стандартов показывает, что оценка этих факторов возможна с помощью количественно-качественных индикаторов и магнитных индикаторных полосок. Применение таких образцов пока не регламентировано российскими стандартами, однако в будущем возможно их широкое распространение из-за простоты и удобства оценки параметров технологических процессов магнитопорошкового контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. №2 (14). С. 16–21.
2. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
3. Каблов Е.Н. Россия на рынке интеллектуальных ресурсов // Эксперт. 2015. №28 (951). С. 48–51.
4. Луценко А.Н., Перов Н.С., Чабина Е.Б. Новые этапы развития Испытательного центра // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 460–468. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-460-468.

5. Мурашов В.В. Оценка степени накопления микроповреждений структуры ПКМ в деталях и конструкциях неразрушающими методами // *Авиационные материалы и технологии*. 2016. №3 (42). С. 73–81. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-3-73-81.
6. Бойчук А.С., Генералов А.С., Степанов А.В. Неразрушающий контроль углепластиков на наличие несплошностей с использованием ультразвуковых фазированных решеток // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №3 (36). С. 84–89. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-3-84-89.
7. ГОСТ Р ИСО 9934-2–2011. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Часть 2. Дефектоскопические материалы. М.: Стандартинформ, 2013. 20 с.
8. Неразрушающий контроль: справочник в 7 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2004. Т. 6. Кн. 1: Магнитные методы контроля / В.В. Клюев, В.Ф. Мужичкий, Э.С. Горкунов, В.Е. Щербинин. 832 с.
9. Герасимов В.Г., Покровский А.Д., Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль в 5 кн. М.: Высшая школа, 1992. Кн. 3: Электромагнитный контроль: практ. пособие / под ред. В.В. Сухорукова. 312 с.
10. Бондарева В.С., Павлова Т.Д. Требования к магнитопорошковому контролю в европейских нормах и российских стандартах // *Комментарии к стандартам, ТУ, сертификатам: ежемесячное приложение к журналу «Все материалы. Энциклопедический справочник»*. 2013. №11. С. 14–18.
11. Шелихов Г.С. Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов. М.: Эксперт, 1995. 224 с.
12. ГОСТ Р 56512–2015. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы. М.: Стандартинформ, 2016. 56 с.
13. ASTM E1444/E1444M-16e1. Standart practive for magnetic particle testing. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016. 22 p.
14. Павлова Т.Д., Кадосов А.Д., Степанов А.В., Головков А.Н. Влияние характеристик магнитных индикаторных материалов на чувствительность магнитопорошкового контроля // *Комментарии к стандартам, ТУ, сертификатам: ежемесячное приложение к журналу «Все материалы. Энциклопедический справочник»*. 2016. №6. С. 12–15.
15. HELLING Россия: офиц. сайт. URL: <http://www.helling-russia.ru> (дата обращения: 26.03.2019).
16. Reference block type 1 according to DIN EN ISO 9934-2 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.karldeutsch.de/PDF/Produktinformationen/PI%20FLUXA%20Vergleichskörper%201%20d%20e%202017-09-06.pdf> (дата обращения: 26.03.2019).
17. Reference block type 2 according to DIN EN ISO 9934-2 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.karldeutsch.de/PDF/Produktinformationen/PI%20FLUXA%20Vergleichskörper%202%20d%20e%202017-08-17.pdf> (дата обращения: 26.03.2019).
18. НПЦ «Кропус»: офиц. сайт. URL: <http://www.kropus.com> (дата обращения: 26.03.2019).
19. Magnaflux Non-Destructive Testing Product & Equipment [Электронный ресурс]. URL: <https://www.magnaflux.com/Magnaflux> (дата обращения: 26.03.2019).
20. Magnetic Particle Test Bar Product Data Sheet [Электронный ресурс]. URL: https://www.magnaflux.com/Files/Product-Data-Sheets/Accessories/Magnetic-Particle-Test-Bar_Product-Data-Sheet_English.pdf (дата обращения: 26.03.2019).
21. Tool Steel Ring Product Data Sheet [Электронный ресурс]. URL: https://www.magnaflux.com/Files/Product-Data-Sheets/Accessories/Tool-Steel-Ring_Product-Data-Sheet_English.pdf (дата обращения: 26.03.2019).
22. Quantitative Quality Indicator Test Piece Shims [Электронный ресурс]. URL: https://www.magnaflux.com/Files/Product-Data-Sheets/Accessories/Quantitative-Quality-Indicator-Test-Pieces_Product-Data-Sheet_English.pdf (дата обращения: 26.03.2019).
23. Laminated Magnetic Flux Indicator Strips [Электронный ресурс]. URL: https://www.magnaflux.com/Files/Product-Data-Sheets/Accessories/Magnetic-Flux-Indicators_Product-Data-Sheet_English.pdf (дата обращения: 26.03.2019).