

УДК 620.179.16

РОЛЬ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ПРИЧИН ОТКАЗОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ВЫБОРА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ В КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЯХ

В.М. САМОЙЛЕНКО, Д.Н. КОЧКИН, О.Е. ЗУБОВ

Раскрывается важная роль методов неразрушающего контроля (НК) как источника информации при оценке качества изделий авиационной техники (АТ). Обозначена проблема необоснованного выбора методов НК при оценке технического состояния АТ и намечены пути решения этой проблемы за счет обоснованного выбора средств НК в конкретных условиях применения. Дана четкая классификация методов неразрушающего контроля по критериям: применимости в ограниченных условиях, чувствительности при выявлении самого опасного дефекта – трещины, выявляемости сварных дефектов и коррозионных поражений.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, показатели качества, отказ.

Отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособности изделия, а работоспособность – это состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией. Возникновение отказа – конечный результат ряда последовательных этапов повреждения, которые независимо от вида отказа в конечном итоге имеют общие черты.

При эксплуатации изделия действуют все виды энергии, но для начала процесса повреждения необходим определенный их уровень. Если этот уровень не превзойден, то предпосылки для возникновения отказа отсутствуют. Если же процесс повреждения возник, то он будет изменять начальные свойства или состояние материалов, из которых изготовлено изделие.

В основе процесса потери изделием работоспособности всегда лежат физические закономерности, но в силу разнообразия и переменности действующих факторов эти зависимости приобретают вероятностный характер. Скорость V какого-либо повреждения материала есть функция ряда входных параметров γ , ζ , τ , полученная на основе физико-химических законов.

Параметры γ характеризуют состояние материала: твердость, прочность, качество поверхности и др.

Параметры ζ характеризуют условия эксплуатации: нагрузки, скорость, температура и др.

Вскрытие сущности физико-химических процессов, которые приводят к отказу изделия, является основой для оценки надежности изделий и повышения качества выпускаемой продукции.

Несмотря на то что основную роль в формировании показателей качества и уровня эксплуатационных характеристик выпускаемых изделий играют последние технологические операции, часть свойств передается и с промежуточных операций, что вынуждает контролировать все этапы, на которых изделие получает заданные свойства, и выявлять те операции, которые оказывают наиболее существенное влияние на выходные параметры готового изделия.

Все отказы изделия связаны с технологией, так как именно она определяет уровень качества и все свойства, полученные в процессе изготовления и сборки изделия. Последовательность технологических операций, применяемые методы и режимы обработки оказывают непосредственное влияние на износостойкость, прочность, коррозионную стойкость, теплостойкость, стабильность механических и физических свойств и другие эксплуатационные показатели изделия.

Знание связи между эксплуатационными показателями и параметрами γ , характеризующими состояние материала, позволяет путем измерения изменений этих параметров методами неразрушающего контроля определять кинетику физико-химических процессов повреждения,

уровень работоспособности конструктивных элементов изделий техники и прогнозировать возможность появления того или иного отказа. Так, износостойкость зависит от химического состава, определяемого спектральным анализом, структуры и механических свойств, определяемых электромагнитным методом. Усталостная прочность определяется характеристиками материала, состоянием поверхностного слоя и наличием дефектов, проверяемых комплексом неразрушающих методов контроля (акустическими, электромагнитным, радиационными).

В процессе эксплуатации каждого изделия имеется большое число признаков, по которым можно при контроле их методами неразрушающего контроля определить интенсивность протекания физико-химических процессов повреждения, степень изменения эксплуатационных характеристик и работоспособность. Эти признаки делятся на три группы:

1. Изменение выходных параметров изделия, которые определяют его работоспособность согласно установленным техническим условиям. Эти параметры измеряют тем или иным способом с применением методов неразрушающего контроля.

2. Признаки степени повреждения (износ, деформация, глубина коррозии и т.п.), по которым можно судить о работоспособности изделия. Они являются первопричиной отказа и связаны с выходными параметрами функциональной зависимостью. Число этих признаков в сложном изделии весьма велико и их одновременный контроль не представляется возможным. Поэтому контроль повреждений является вторым этапом после контроля его выходных параметров, когда необходимо установить причину потери работоспособности. Исключение составляют лишь те изделия, о которых заранее известно, что их повреждение является основной причиной изменения выходных параметров, например, износ цилиндрично-поршневой группы двигателя, коррозия обечайки резервуара.

3. Косвенные признаки, функционально связанные с работоспособностью изделия и отражающие изменения, происходящие в изделиях. Ими могут быть акустические сигналы, изменение температуры изделия и давления в системе, наличие в смазке продуктов износа, параметры, характеризующие динамическое состояние системы (амплитудно-фазовые и частотные характеристики и др.).

Таким образом, результаты неразрушающего контроля являются одним из основных источников информации при изучении процессов возникновения и развития отказов, а также при разработке рекомендаций по их устранению и предупреждению.

Контроль качества изделий методами неразрушающего контроля осуществляется путем воздействия на изделия различного рода полей, излучений и веществ и фиксации результатов взаимодействия их с материалом изделий и имеющимися в них дефектами. Результаты этого взаимодействия являются, как правило, косвенными признаками, по которым оценивается качество изделий. Эти признаки обычно связаны с наличием дефектов и нарушений структуры материала, влияющими на характер передачи энергии или движения вещества в материале изделий.

Большое разнообразие существующих методов и средств контроля качества изделий авиационной техники невольно требует их обоснованного выбора для применения в конкретных условиях.

Этот выбор базируется на совокупной технической оценке различных методов и средств дефектоскопии. Для такой оценки необходимы, конечно, научно обоснованная система соответствующих показателей (критериев) технической эффективности рассматриваемых методов или средств, а также достаточно универсальная методика ее применения. Однако каких-либо единых и к тому же регламентированных данных в этой области еще не получено, поэтому техническую оценку методов и средств контроля качества изделий АТ производят раздельно и сравнительно произвольно. Так, в качестве показателей технической эффективности методов и средств контроля используют более десятка различных характеристик. Опыт позволяет выделить из их числа три основные – применимость, чувствительность и выявляемость дефектов.

Под применимостью метода (средства) понимают принципиальную возможность его эффективного использования в конкретных рассматриваемых условиях. В качестве таких основных условий часто ограничиваются принятием во внимание следующих признаков:

1. Физические свойства материала контролируемого объекта.
2. Форма объекта контроля – кривизна его поверхностей, наличие острых кромок, канавок и т.п. По данному признаку различают простые и сложные детали.
3. Состояние и чистота обработки поверхностей контролируемого объекта.
4. Возможное место расположения отыскиваемого дефекта. В этом отношении дефекты разделяют на поверхностные, подповерхностные (на глубине не более 0,5...1 мм), внутренние и под слоем покрытия.
5. Место проведения контроля – на производстве, при эксплуатации или при ремонте. Этот признак учитывает условия проведения контроля по производительности, уровню безопасности, доступности зоны контроля и т.п.

В табл. 1 приведены обобщенные данные по применимости важнейших методов НК с учетом ограниченного числа основных признаков. Здесь знаки «+» и «-» указывают соответственно на возможность или невозможность применения того или иного метода, а совместное наличие этих знаков – применимость метода в ограниченных, специальных условиях.

Из данных табл. 1 следует, что все существующие методы НК имеют ограниченную применимость. Особенно сильное влияние на этот показатель оказывают такие факторы, как состояние поверхности и сложность формы объекта контроля, глубина залегания в нем дефекта и наличие покрытий. При этом наибольшей универсальностью обладают радиационные методы НК. Однако если принять во внимание, например, условия безопасности их применения, габариты и веса аппаратуры, производительность и стоимость контрольных операций, то и эти методы получают существенные ограничения в применении.

Под чувствительностью метода (средства) контроля качества изделий АТ понимают наименьшие размеры выявляемых им опасных дефектов. Обычно таким дефектом считают трещину и при оценке чувствительности принимают во внимание ее протяженность (длину), ширину раскрытия и глубину (размер в направлении контроля). Иногда учитывают также глубину залегания трещины (расстояния до нее от поверхностей) и площадь.

Усредненные данные по чувствительности основных методов НК (табл. 2) указывают на высокую в целом чувствительность существующих методов НК: они позволяют обнаружить дефекты размером по отдельным показателям в несколько десятков микрометров. Во-вторых, чувствительность НК по разным ее показателям оказывается различной. Так, по протяженности трещины большинство методов НК является практически равноценным; по ширине раскрытия радиационные и феррозондовый методы обладают наименьшей чувствительностью, а остальные методы – примерно равноценной. По глубине трещины наиболее эффективными оказались УЗК и магнитные методы; по глубине ее залегания – УЗК и радиационные.

Третьим основным показателем различных методов контроля служит выявляемость ими дефектов, под которой понимают вероятность обнаружения дефектов минимального размера. Этот показатель определяет надежность контроля и поэтому особенно важен в производстве и эксплуатации изделий АТ.

Выявляемость зависит от многочисленных, в том числе и от субъективных факторов: состояния оборудования и инструмента, квалификации и самочувствия операторов, характера и уровня внешних воздействий и т.п. Поэтому оценивают выявляемость обычно по относительной пятибалльной шкале, в которой оценка в 5 баллов соответствует наивысшей выявляемости. Типичные значения выявляемости сварочных и коррозионных дефектов основными методами НК содержатся соответственно в табл. 3, 4.

Таблица 1

Применимость основных методов НК

Метод НК	Условия контроля													
	Материал			Форма		Чистота обработки		Место расположения дефекта			Место контроля			
	магнитный	немагнитный	неметалл	простая	сложная	грубая, шероховатая	Rz ≤ 200 мкм	поверхность	подповерхностный слой	в глубине	под покрытием	на производстве	при эксплуатации	при ремонте
Опτικο-визуальный	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	+	+	+
Рентгенографический	+	+	±	+	±	+	+	+	+	+	+	+	±	+
Гамма-графический	+	+	+	+	±	+	+	+	+	+	+	+	±	+
Магнитопорошковый	+	+	+	+	±	—	+	+	±	—	±	+	+	+
Магнитографический	+	+	+	+	±	±	+	+	±	—	±	+	+	+
Феррозондовый	+	+	+	+	+	—	+	+	±	±	±	+	+	+
Электромагнитный	+	+	±	+	+	—	+	+	±	±	±	+	+	+
Метод красок	+	+	±	+	+	±	+	+	—	—	—	+	+	+
Люминесцентный	+	+	±	+	+	±	+	+	—	—	—	+	—	+
Теневой УЗК	+	+	+	+	±	±	+	+	+	+	±	+	—	—
Резонансный УЗК	+	+	+	+	—	—	+	—	+	+	—	+	—	—
Эхо-метод УЗК	+	+	+	+	±	±	+	±	+	+	±	+	+	+
Импедансный	+	+	+	+	—	+	+	—	—	+	—	+	±	—

Таблица 2

Чувствительность основных методов НК по трещинам

Метод НК	Минимальные размеры, мм			Площадь, мм ²	Глубина залегания, мм
	ширина раскрытия	протяженность	глубина		
Опτικο-визуальный	0,005 – 0,01	0,05 – 0,1	—	—	поверхность
Капиллярный	0,001 – 0,03	0,1 – 0,3	—	—	поверхность
Магнито-порошковый	0,001 – 0,003	0,5	0,01	≥ 2	≤ 0,2 – 3,0 ≤ 8 – 25
Феррозондовый	0,015	2	0,01 – 0,05		
Электромагнитный	0,005 – 0,01	1,0 – 2,0	0,1 – 0,2	—	≤ 1,0
Рентгенографический	0,025 – 0,01	0,5 – 2,0	1,5 – 3% δ	—	≤ 120 – 160 ≤ 200 – 250 по стали
Гаммаграфический	0,1 – 0,2	0,5 – 3,0	2 – 4% δ		
Теневой УЗК	0,001 – 0,03	0,3 – 1,0	0,01 – 0,1	0,25 0,5 – 1,0	≤ 5000 по стали
Эхо-метод УЗК					

Таблица 3

Выявляемость основных видов сварочных дефектов различными методами НК

Вид дефекта	Методы НК					
	Выявляемость дефектов по пятибалльной шкале					
	оптико-визуальные	капиллярные	радиационные	магнитные	электромагнитный	акустические
Неметаллические включения	0	0	4	3	2	4
Непровар	2	0	3	3	2	4
Пористость	2	3	4	3	3	3
Трещины	3	4	3	4	3	4
Подрезы	4	0	4	0	0	2
Крупнозернистость	0	0	0	0	3	4

Таблица 4

Выявляемость коррозионных поражений различными методами НК

Вид коррозии	Методы НК					
	Выявляемость поражений по пятибалльной шкале					
	оптико-визуальные	капиллярные	радиационные	магнитные	электромагнитные	акустические
Равномерная	3	3	0	0	4	0
Равномерная и точечная	3	4	0	0	4	0
Межкристаллитная	3	4	0	0	5	4
Коррозионное растрескивание	2	3	0	4	5	4

Обоснованный выбор средств НК качества изделий АТ в конкретных условиях требует экономической оценки. Задача по такому выбору относится к задаче на поиск оптимального варианта по стоимостному критерию.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Неразрушающий контроль* / под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2005.
2. *Практические занятия и военно-технические игры: учеб. пособие* / под ред. О.Н. Дружинина, М.М. Чернышева. М.: МО СССР, 1986.

PRODUCTS NONDESTRUCTIVE TESTING PART WHEN ANALYZING THE CAUSES OF FAILURES AND ESPECIALLY OF THEIR CHOICE IN APPLYING IN SPECIFIC CONDITIONS

Samoilenko V.M., Kochkin D.N., Zubov O.E.

The important role of non-destructive testing methods as a source of information in evaluating the aircraft products quality is exposed. The problems of unreasonable choice of nondestructive testing methods in the evaluation of the aircraft products technical state are denoted and the ways to solve this problem through correct nondestructive testing methods choice in the concrete conditions are identified. A clear classification of NDT methods according to the criteria: applicabil-

ity in limited conditions, the sensitivity in detecting the most dangerous defect – crack, weld defects and corrosion damages detection are given.

Keywords: nondestructive testing, quality indicators, failure.

REFERENCES

1. *Nerazrushajushhij kontrol'*. Pod red. V.V. Kljueva. M.: Mashinostroenie. 2005. (In Russian).
2. *Prakticheskie zanjatija i voenno-tehnicheskie igry: ucheb. posobie*. Pod red. O.N. Druzhinina, M.M. Chernysheva. M.: MO SSSR. 1986. (In Russian).

Сведения об авторах

Самойленко Василий Михайлович, 1961 г.р., окончил ВВИА им. Н.Е. Жуковского (1990), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой авиатопливообеспечения и ремонта летательных аппаратов МГТУ ГА, автор более 75 научных работ, область научных интересов – технология производства и ремонта авиационной техники.

Кочкин Дмитрий Николаевич, 1949 г.р., окончил ВА им. Дзержинского (1990), доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры авиатопливообеспечения и ремонта летательных аппаратов МГТУ ГА, автор 36 научных работ, область научных интересов – техническая диагностика металлоконструкций и неразрушающий контроль.

Зубов Олег Евгеньевич, 1965 г.р., окончил Краснодарское ВВКИУ РВ (1987), кандидат технических наук, доцент кафедры авиатопливообеспечения и ремонта летательных аппаратов МГТУ ГА, автор 26 научных работ, область научных интересов – техническая диагностика металлоконструкций и неразрушающий контроль методом акустической эмиссии.