

ПРОБЛЕМЫ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ КАПИЛЛЯРНОГО И МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ

С.Г. Ершов¹, Л.Н. Бабаева¹

¹ООО «АктивТестГруп», Санкт-Петербург,

В докладе отражены некоторые направления оптимизации процессов неразрушающего контроля магнитопорошковым и капиллярными методами и практические пути их реализации в действующем оборудовании. Рассмотрены такие основные направления оптимизации, как интенсификация и автоматизация процессов контроля, в том числе и на этапе оценки годности контролируемых изделий. Представлен практический опыт проектирования автоматизированных систем капиллярного и магнитопорошкового контроля, приведены результаты автоматизированного контроля изделий и стандартных образцов. Дана оценка некоторых критериев экономической эффективности внедрения на примере автоматизированной установки для капиллярного контроля серии КАМА.

ПРОБЛЕМЫ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ КАПИЛЛЯРНОГО И МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ

С.Г. Ершов¹, Л.Н. Бабаева¹

¹ООО «АктивТестГруп», Санкт-Петербург,

В докладе отражены некоторые направления оптимизации процессов неразрушающего контроля магнитопорошковым и капиллярными методами и практические пути их реализации в действующем оборудовании. Рассмотрены такие основные направления оптимизации, как интенсификация и автоматизация процессов контроля, в том числе и на этапе оценки годности контролируемых изделий. Представлен практический опыт проектирования автоматизированных систем капиллярного и магнитопорошкового контроля, приведены результаты автоматизированного контроля изделий и стандартных образцов. Дана оценка некоторых критериев экономической эффективности внедрения на примере автоматизированной установки для капиллярного контроля серии КАМА.

1 Введение

Безопасность и высокое качество продукции – важнейшие критерии для авиационной промышленности. Важную роль в контроле качества продукции играет неразрушающий контроль, реализация которого в сложившейся производственной и эксплуатационной практике связана с большой долей ручного труда и значительным влиянием человеческого фактора на его результаты.

В условиях глобальной цифровизации промышленности, главными векторами развития неразрушающего контроля должна стать оптимизация процессов НК, а именно максимальная автоматизация всего процесса контроля, в том числе процесса оценки его результатов, а также внедрение необходимых методов интенсификации на отдельных его этапах.

Особое значение оптимизация неразрушающего контроля приобретает при проверке качества изделий особо ответственного назначения. Примером таких

изделий служат лопатки ГТД, подвергаемые многократному капиллярному контролю в процессе производства.

На рисунке 1 приведен график средней наработки новых двигателей CF6-80C2 (GE Aircraft Engines) на «снятие с крыла» по причине выхода из строя лопаток турбины и по причине образовавшихся дефектов в деталях двигателя в целом [1].



Рис. 1 – Средняя наработка новых двигателей CF6-80C2 на снятие с крыла по дефектам лопаток турбины и по всем иным дефектам, вместе взятым

Из графика следует, что именно дефекты лопаток турбины, в подавляющем большинстве случаев, являются причиной вывода двигателей из эксплуатации и отправки их в ремонт.

Особое влияние на ресурс двигателя оказывают дефекты в деталях, которые могут быть пропущены в процессе их производства. На этом принципе основана современная методология расчета ресурса двигателя по концепции безопасного развития дефекта.

В этом ключе оптимизация процессов неразрушающего контроля деталей двигателя путем автоматизации, может быть рассмотрена, как инструмент повышения ресурса за счет исключения влияния человеческого фактора на результаты контроля, а применение современных технологий, использующих процессы интенсификации – как инструмент уменьшения размера минимального выявляемого дефекта.

Основными поставленными задачами стали:

- выбор и внедрение способов интенсификации процессов капиллярного и магнитопорошкового контроля изделий с целью создания оптимальных условий для выявления субмикронных дефектов;

- максимальная автоматизация технологических операций капиллярного и магнитопорошкового контроля с целью исключения влияния человеческого фактора.

2 Данные о полученном практическом опыте оптимизации процессов капиллярного и магнитопорошкового контроля

В качестве способов интенсификации процессов капиллярного контроля, с целью выявления выходящих на поверхность трещин с шириной раскрытия 1 мкм и менее, были выбраны:

- вакуумная сушка, обеспечивающая эффективное удаление из полостей дефектов воды на этапе подготовки поверхности к капиллярному контролю;

- вакуумный способ нанесения пенетранта [2], обеспечивающий увеличение глубины проникновения пенетрата в полость дефекта, по сравнению с классическим временным способом пропитки пенетратом.

В качестве основных направлений автоматизации процесса капиллярного контроля выбраны:

- автоматизация процессов предварительной очистки и сушки изделий, нанесения и удаления материалов;

- тотальное отслеживание и протоколирование всех необходимых технологических параметров, влияющих на качество и надежность капиллярного контроля.

Данные способы интенсификации процессов капиллярного контроля и основные направления

автоматизации были реализованы в автоматизированной установке капиллярного контроля серии КАМА, позволяющей в едином пространстве установки реализовать все этапы капиллярного контроля от подготовки поверхности деталей до нанесения проявителя.

Некоторые результаты контроля на автоматизированной установке КАМА по запатентованной технологии FPI:All-in-Vac отечественным набором дефектоскопических материалов ЛЮМ-33ОВ, полученные при опробовании на стандартных образцах I и II типа по ГОСТ Р ИСО 3452-3 с искусственными дефектами типа трещин, а также на лопатках ГТД с естественными дефектами показаны на рисунках 2-4.

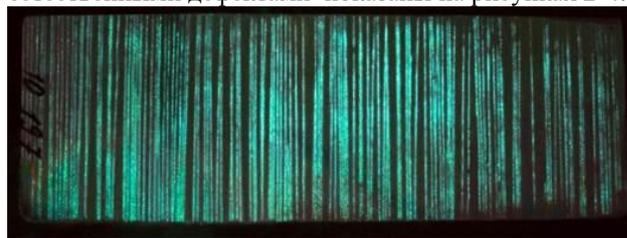


Рис. 2 - Результат контроля образца I типа по ГОСТ Р ИСО 3452-3 с выявленными индикациями от дефектов типа трещин с шириной раскрытия 0,5 мкм

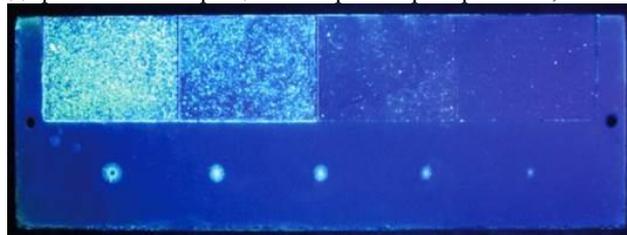


Рис. 3 - Результат контроля образца II типа по ГОСТ Р ИСО 3452-3 с выявленными индикациями от дефектов типа звездообразных трещин

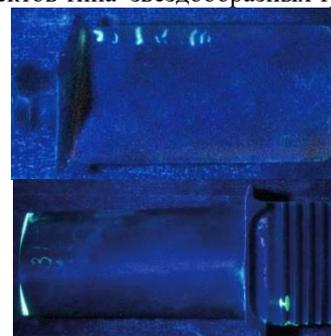


Рис. 4 - Результаты контроля лопаток ГТД с выявленными индикациями от естественных трещин на кромке пера и в замковой части лопаток

Реализация в установке КАМА указанных выше способов интенсификации позволила обеспечить надежное выявление дефектов с шириной раскрытия 0,5 мкм при глубине дефекта 10 мкм и дает возможности для дальнейшего увеличения чувствительности контроля. Реализация процесса капиллярного контроля в автоматическом режиме полностью исключает влияние человеческого фактора на результаты контроля и повышает достоверность результатов, в значительной степени зависящую от строгого соблюдения технологических режимов. Организация всего цикла контроля в пространстве

компактной установки дает неоспоримые экономические преимущества, а именно значительно сокращает длительность технологического процесса, уменьшает производственные площади, необходимые для участка капиллярного контроля, а также делает процесс капиллярного контроля безопасным для персонала и окружающей среды.

В качестве способов интенсификации процессов магнитопорошкового контроля, с целью выявления выходящих на поверхность трещин с шириной раскрытия 1 мкм и менее были выбраны:

- намагничивание деталей из ферромагнитных сплавов в магнитных полях повышенной частоты в диапазоне частот от 300 до 400 Гц;
- применение способа бесконтактного комбинированного намагничивания изделий путем наложения нескольких магнитных полей [3].

В качестве основного направления автоматизации процесса магнитопорошкового контроля была выбрана задача автоматизации поиска релевантных индикаций от дефектов. Эту сложную задачу необходимо было разложить на две подзадачи:

- получение фото-видео изображений в высоком качестве, пригодном для машинной обработки, документирование изображений выявленных индикаций;

- обработка изображений, разработка алгоритмов и выбор оптимального алгоритма принятия решений о релевантности/ нерелевантности индикаций.

Описанные способы интенсификации процессов магнитопорошкового контроля и подходы к автоматизации были реализованы в бесконтактном высокочастотном дефектоскопе ЕрМаг 3D и автоматизированной системе комплексного контроля качества ЕрМаг ТМ-100.

Применение магнитных полей частотой от 300 до 400 Гц позволило увеличить зону надежной выявляемости дефектов [4], улучшить качество (яркость, контрастность) наблюдаемых индикаций от дефектов и эффективно выявлять дефекты в сложных зонах, например на вершущках резьбы, где применение магнитных полей частотой 50 Гц аналогичной напряженности показало неудовлетворительный результат.

Некоторые результаты контроля стандартного образца по ГОСТ 56512 с трещиной с шириной раскрытия менее 1 мкм и деталей с естественными дефектами показаны на рисунках 5-6.

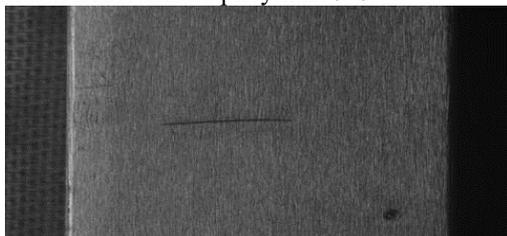


Рис 5 – Результат контроля стандартного образца по ГОСТ 56512 с выявленной индикацией трещины.

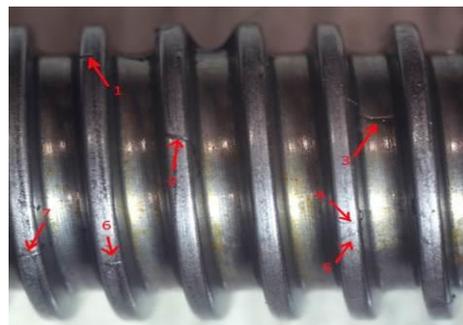


Рис. 6 – Результат контроля детали в зоне резьбы с выявленными множественными индикациями от дефектов типа трещин (1-6) на вершущках и во впадинах резьбы

Применение специализированных источников света и камер высокого разрешения позволило получить снимки поверхности контролируемых деталей при полном отсутствии бликов в качестве, пригодном для их дальнейшей машинной обработки (рисунок 7).

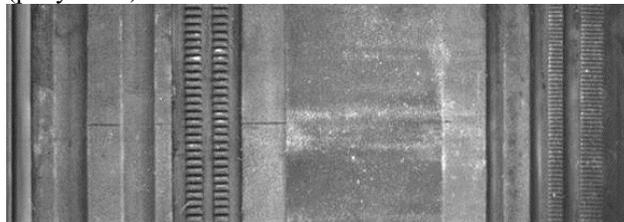


Рис.7 – Пример снимка поверхности детали с обнаруженными индикациями от дефектов, полученного с применением специализированных источников света и видеокamer дефектоскопа ЕрМаг ТМ-100

Программное обеспечение, реализующее принципы и алгоритмы машинного зрения, позволило производить анализ изображения поверхности детали и автоматический поиск зон с релевантными индикациями (рисунок 8). На данном этапе окончательное решение о годности детали с обнаруженными релевантными индикациями от дефектов дает оператор.

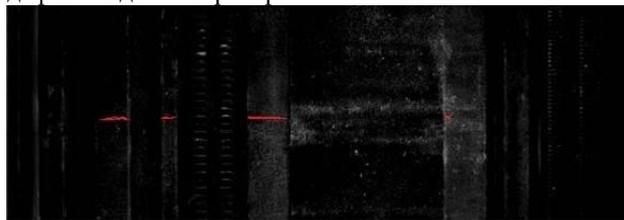


Рис.8 – Результат обработки изображения поверхности детали и распознавания релевантных индикаций специальным программным обеспечением дефектоскопа ЕрМаг ТМ-100

3 Заключение

В результате работ определены перспективные направления интенсификации и автоматизации процессов капиллярного и магнитопорошкового контроля, в том числе ответственных изделий. Выбранные методы интенсификации и автоматизации процесса капиллярного контроля были реализованы в автоматизированной установке капиллярного контроля серии КАМА. Работоспособность

установки КАМА по I условному уровню чувствительности по ГОСТ 18442 была установлена на стандартных образцах и деталях с дефектами. В результате работ были выявлены дефекты с шириной раскрытия от 0,5 мкм при глубине 10 мкм при полностью автоматизированном цикле капиллярного контроля до этапа осмотра деталей.

Выбранный метод интенсификации магнитопорошкового контроля путем применения токов повышенной частоты (300-400 Гц) в разработанном дефектоскопе бесконтактного намагничивания позволил за один цикл намагничивания изделия обнаруживать дефекты различных ориентаций с высокой контрастностью индикаций при намагничивании изделий. Ширина раскрытия обнаруживаемого дефекта - 1 мкм и менее.

Разработанная система фото-видеофиксации изображений выявленных индикаций от дефектов и программное обеспечение для обработки полученных изображений методами машинного зрения позволили осуществлять автоматический поиск релевантных индикаций и автоматическую предварительную разбраковку изделий.

Список использованных источников

- [1] Years later, the CF6 is still rising to meet new challenges. SKYlines, Paris Air Show 1997 Special Edition. GE Commercial Aircraft Engines. 1997.
- [2] ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. М., 2005.
- [3] Шелехов Г.С. магнитопорошковая дефектоскопия/ под ред. В.В Ключева. – М.: Издательский дом «Спектр», 2010.- 336с.: ил.
- [4] ГОСТ Р 56512-2015 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы. М., 2016.