

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ ОХЛАЖДАЕМЫХ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Евгений Иванович ИВКИН родился в 1946 г. в городе Москве. Доцент МАИ. Кандидат технических наук, доцент. Основные научные интересы — в области ультразвуковых технологий. Автор более 100 научных работ. E-mail: k205@mai.ru

Eugeny I. IVKIN, Ph.D., was born in 1946, in Moscow. He is an Associate Professor at the MAI. His research interests are in ultrasonic technologies. He has published over 100 technical papers. E-mail: k205@mai.ru

Игорь Александрович СИРОТКИН родился в 1983 г. в городе Ленинграде. Аспирант МАИ. Основные научные интересы — в области ультразвуковой очистки. Автор трех научных работ. E-mail: k205@mai.ru

Igor A. SIROTKIN, was born in 1983, in Leningrad. He is a Postgraduate Student at the MAI. His research interests are in ultrasonic cleaning. He has published 3 technical papers. E-mail: k205@mai.ru

В настоящее время при производстве и ремонте авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) возникает большая проблема очистки охлаждающих каналов лопаток турбины от различных видов загрязнений. На сегодняшний день разработано множество способов очистки, позволяющих качественно удалять загрязнения из внутренних полостей. Но наряду с задачей очистки важное значение имеет контроль качества очистки в серийном производстве. В статье освещен вопрос контроля качества очистки в современном газотурбостроении.

A serious problem emerges throughout manufacturing and repair of aviation gas-turbine engines. The problem relates to a cleaning of cooling channels within turbine blades from various contamination substances. Many techniques have been developed to perform high-quality cleaning of inner cavities in machine parts. However besides of the cleaning we need examination techniques suitable for large-scale manufacturing environment. This subject is analyzed in the paper in regard to gas-turbine engine production.

Ключевые слова: лопатка турбины, охлаждающие каналы лопаток турбины, очистка, загрязнение, рентгеновский метод контроля, тепловизионный метод контроля.

Key words: turbine blade, cooling channels of turbine blades, cleaning, contamination, X-ray inspection technique, infrared imaging inspection technique.

Одной из важнейших задач совершенствования авиационных двигателей является повышение их надежности и ресурса.

Современная авиационная техника характеризуется все возрастающими требованиями к таким характеристикам изделий, как качество, надежность

и долговечность, которые в значительной степени зависят от чистоты поверхностей деталей и узлов оборудования. Конструкции современных механизмов и приборов постоянно усложняются, возрастает чувствительность их деталей и узлов к загрязнениям. Поэтому обычные, «классические» методы очи-

стки (например, ручная и механизированная очистка щетками, химическое и электрохимическое обезжиривание, струйная промывка) уже не могут обеспечить надлежащего качества очистки.

Надежность газотурбинных двигателей в значительной степени зависит от надежности работы лопаток турбины, поскольку они являются наиболее нагруженными деталями. Лопатки подвергаются действию статических, динамических, циклических нагрузок, а также испытывают циклические термические напряжения, они работают в условиях агрессивной газовой среды при высокой температуре и подвергаются газовой коррозии. На поверхностях хвостовиков лопаток создаются высокие контактные напряжения.

При разработке процессов очистки необходимо уделять большее внимание вопросу контроля качества очистки. Неправильный выбор метода контроля может стать препятствием к достижению заданного критерия очистки или привести к необоснованному увеличению времени, а следовательно, к снижению производительности и повышению энергоемкости процесса.

Все методы контроля качества очистки можно разделить на две группы:

- 1) прямые;
- 2) косвенные.

К прямым методам контроля качества очистки относятся визуальный контроль, фотографический и др. Данные методы отражают непосредственное качество очищенной поверхности. Косвенные, как правило, показывают какую-либо из эксплуатационных характеристик очищенных деталей и разрабатываются исходя из условий эксплуатации каждой конкретной детали. Так, охлаждаемые лопатки турбины ГТД подвергаются обоим методам контроля.

Рентгенографический метод. Метод основан на получении рентгеновского снимка охлаждающих

каналов лопаток. Преимуществом данного метода является тот факт, что он позволяет определить характер и место залегания загрязнения во внутренних полостях лопаток, что помогает получить статистические данные и выбрать метод очистки. К недостаткам данного метода можно отнести невозможность дать количественную оценку степени засоренности, а также тот факт, что при рентгеновской съемке во внутреннюю полость лопатки засыпают металлический порошок, который необходимо удалять.

При рентгеновском контроле используют как минимум три основных элемента (рис. 1):

- источник ионизирующего излучения;
- контролируемый объект;
- детектор, регистрирующий дефектоскопическую информацию.

При прохождении через изделие ионизирующее излучение ослабляется — поглощается и рассеивается. Степень ослабления зависит от толщины и плотности контролируемого объекта, а также от интенсивности и энергии излучения.

Тепловизионный метод. Метод, разработанный на ФГУП ММПП «Салют» и основанный на проведении испытаний в условиях, приближенных к рабочим условиям работы охлаждаемых лопаток турбины, показывает степень охлаждения лопатки. Преимуществом данного метода, в отличие от рентгенографического, является количественная оценка качества охлаждения лопатки. К недостаткам следует отнести невозможность определения характера загрязнения, точное место залегания засора.

Сущность метода заключается в предварительном нагреве лопатки и последующем охлаждении путем пропускания сжатого воздуха через внутренние каналы лопатки, при этом процесс охлаждения лопатки фиксируется с помощью тепловизора в памяти компьютера. В результате вторичной обработки результатов испытаний выявляются дефектные зоны и производится оценка пригодности.

На рис. 2 представлен общий вид установки.

В состав установки входят стенд (1), компрессорный модуль (2), тепловизор (3), компьютер.

В процессе производства охлаждаемых лопаток турбины контроль качества очистки каналов малого сечения вызывает большие трудности, поэтому комплекс из рентгеновского анализа и тепловизионных испытаний дает адекватную оценку качества очистки охлаждающих каналов лопаток турбины.

На рис. 3, 4 и 5 представлены результаты рентгеновского контроля, сопоставленные с результатами тепловизионного анализа охлаждения лопатки до и после операции очистки.

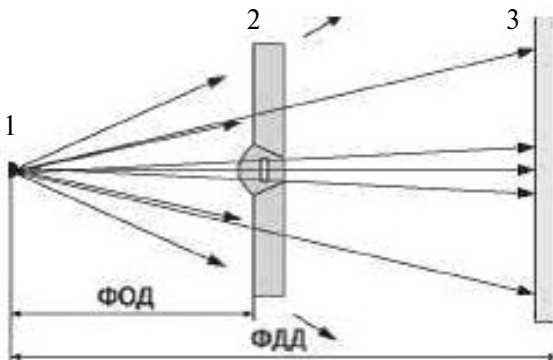


Рис. 1. Схема просвечивания:

- 1 — источник; 2 — контролируемый объект;
3 — детектор

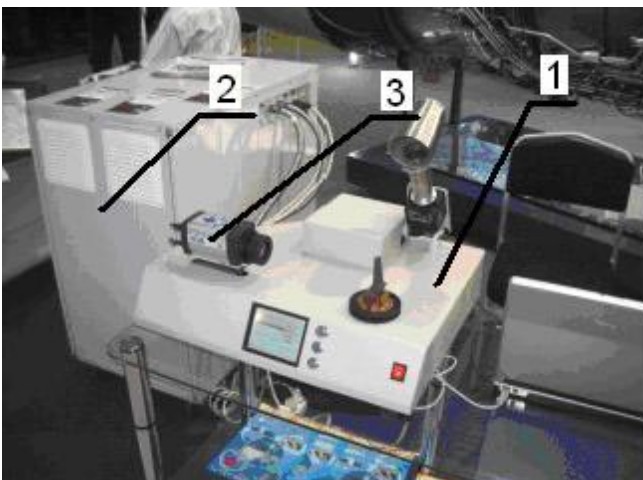


Рис. 2. Общий вид установки:
1 — стенд; 2 — компрессорный модуль;
3 — тепловизор



Рис. 3. Рентгеновский снимок охлаждающих каналов лопатки турбины

Неохлаждаемых зон:	44.62%
Среднее знач. коэфф. А:	0.09
Среднее знач. отн. коэфф.:	82.38
Эталон:	С эт без жикл
Порог дефектности:	0.65
Перепад на шум:	4 °С
Козф. поправки Т:	0.75
Т рамки:	165 °С
Т продувки:	27.57 °С
Р начальное:	3.8 кгс/см ²
Р конечное:	2.44 кгс/см ²
Аппроксимация Р:	эсп.
Сглаживание термофильма:	есть
Сглаживание эталона:	нет
Порог переохлаждения:	---
Фильтрация результата:	есть

Градации качества охлаждения:

■	<0.25
■	0.25 - 0.5
■	0.5 - 0.75
■	>0.75
■	переохлаждение



Рис. 4. Результаты тепловизионного контроля охлаждения лопатки турбины до операции очистки

Выводы

1. Недостатком рентгеновского метода контроля является его субъективность.
2. Недостатком тепловизионного контроля является отсутствие полной информации о характере загрязнения.
3. Необходимо совместное проведение тепловизионных испытаний и рентгеновского контроля, так как это позволит выбрать вид очистки (ультра-

звуковая, химическая, дэйтоновский метод очистки, гидроабразивная очистки и т.д.), а также получить максимально полную информацию о годности лопатки к эксплуатации.

4. Необходимо проводить контроль охлаждаемых лопаток турбины до операции очистки, так как результаты анализа позволят корректировать режимы очистки.

Неохлаждаемых зон:	0.56%
Среднее знач. коэфф. А:	0.18
Среднее знач. отн. коэфф.:	165.05
Эталон:	С эт без жикл
Порог дефектности:	0.65
Перепад на шум:	4 °С
Коэф. поправки Т:	0.75
Т рамки:	165 °С
Т продувки:	30.86 °С
Р начальное:	3.47 кгс/см ²
Р конечное:	2.21 кгс/см ²
Аппроксимация Р:	экср.
Сглаживание термофильма:	есть
Сглаживание эталона:	нет
Порог переохлаждения:	---
Фильтрация результата:	есть

Градации качества охлаждения:

■	<0.25
■	0.25 - 0.5
■	0.5 - 0.75
■	>0.75
■	переохлаждение



Рис. 5. Результаты тепловизионного контроля охлаждения лопатки турбины после операции очистки

Библиографический список

1. Шмаков М. Выбор системы рентгеновского контроля. Взгляд технолога. www.tech-e.ru, 15.03.2009.
2. Автоматизированная установка для тепловизионного контроля лопаток АСТКЛ, www.salut.ru, 15.03.2009.

Московский авиационный институт
Статья поступила в редакцию 26.03.2009