

УДК 629.735.33

Контроль качества лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей

Н.Г. Серёгин, кандидат технических наук,
доцент кафедры управления качеством и стандартизации,
И.А. Сигутин, студент,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области «Технологический
университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-
космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область.

*Рассмотрены основные методы неразрушающего
контроля и их особенности, применяемые в производстве и
эксплуатации лопаток газотурбинных двигателей.
Предложено применение конфокальной лазерной сканирующей
микроскопии в качестве метода неразрушающего контроля
лопаток газотурбинных двигателей.*

Газотурбинный авиационный двигатель, лопатка турбины,
неразрушающий контроль, конфокальная лазерная
сканирующая микроскопия.

Quality control of turbines of aviation gas turbine engines

N.G. Seregin, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Quality
Management and Standardization,

I.A. Sigutin, student,
of the State Budgetary Educational Institution of Higher
Education of the Moscow Region «Technological University named
after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut
A.A. Leonova», Korolev, Moscow region.

*The main methods of non -destructive control and their
features used in the production and operation of the shoulder blades*

of gas turbine engines are considered. The use of confocal laser scanning microscopy as a method of non - destructive control of the shoulder blades of gas turbine engines is proposed.

Gas turbine aircraft engine, turbine blade, non-destructive testing.

Предмет исследования

Наиболее дорогостоящими и важными деталями газотурбинных двигателей (ГТД) являются лопатки турбин. В современных ГТД применяются лопатки из жаропрочных материалов, при эксплуатации подвергающиеся интенсивным нагрузкам, что приводит к неисправности двигателей. Неисправности ГТД, которые сопровождаются повышением температуры газов в турбине, приводят к перегреву лопаток, который подразумевает под собой нагрев материала детали до температуры, превышающей максимально допустимую температуру нагрева для данного сплава. Надежность лопаток турбин определяет ресурс ГТД, а, следовательно, летно-технические и эксплуатационные характеристики летательных аппаратов, а также безопасность полетов. Поэтому так необходимо проверять лопатки ГТД на наличие различных дефектов в конструкции и материале деталей, которые могут в себя включать расслоения, дефекты применяемых материалов, воздушные раковины и так далее. При проверке лопаток ГТД задействуют различные методы разрушающего и неразрушающего контроля качества изделий, главной задачей которых является выявление дефектов на ранней стадии их развития, что может привести к разрушению как частично, так и полностью. К неразрушающим методам контроля относятся: магнитные, акустические, визуально-оптические, тепловые, токовихревые, капиллярные, радиационные и другие методы.

Так как ГТД обладают значительной длительностью межремонтного цикла, то возникают дополнительные требования к эффективности их неразрушающего контроля [1, 2].

Целью данной работы является выбор методов неразрушающего контроля при проверке поверхностей лопаток

газотурбинных двигателей, а также рассмотрение перспективы внедрения визуально-оптических методов неразрушающего контроля на примере конфокальной микроскопии, и разработка рекомендаций по их применению.

Методы исследования

Эхо-импульсным методом формируют импульс ультразвуковых волн, а затем регистрируют эхо-сигнал, отражаемый от дефектов [3]. На рисунке 1 представлена схема применения эхо-импульсного метода.

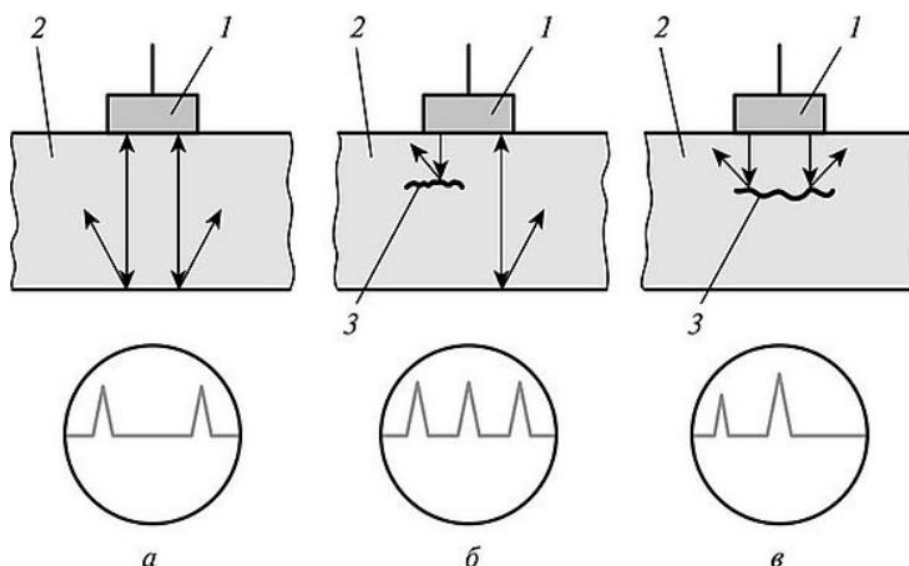


Рисунок 1 – схема применения эхо-импульсного метода

Импульс проходит через деталь 2 и, отражается от противоположной стороны и затем возвращается к излучателю. Возвращённый сигнал регистрирует прибором (рис. 1, а). Если дефект 3 не в полном объёме перекрывает импульс, тогда на экране возникнет дополнительный сигнал (рис. 1, б). При блокировании импульса полно объёмным дефектом на приборе импульс не отражается (рис. 1, в). Величина же данного сигнала дает представление о Размеры дефекта прямо пропорциональны величине и глубине залегания сигнала.

Достоинства и недостатки эхо-импульсного метода приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Эхо-импульсный метод	
Достоинства метода	Недостаток метода
Возможность настройки ультразвукового луча	Высокая стоимость преобразователей
Точное определение координат дефектного места	
Определение вида дефекта	
Универсальность преобразователей	
Возможность контроля объектов с геометрически сложными формами	

Резонансным методом производят неразрушающий контроль в многослойных конструкциях [4]. Изображение схемы контроля резонансным методом представлена на рисунке 2, где 1 – преобразователь, 2 - дефект.

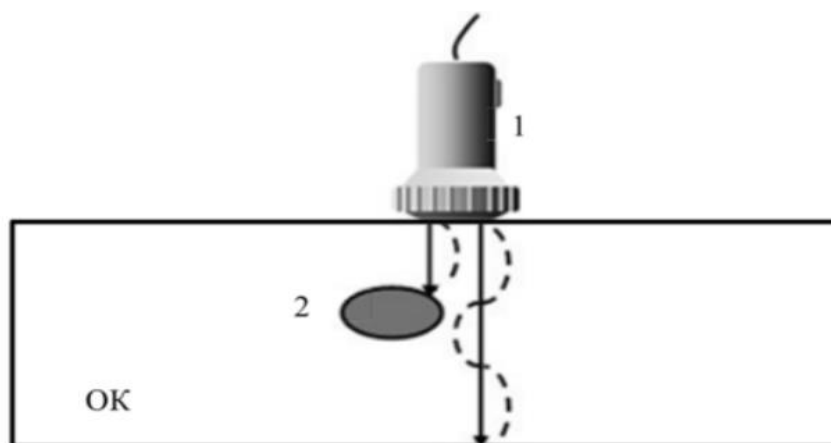


Рисунок 2 – схема контроля резонансным методом

Достоинства и недостатки резонансного метода приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Резонансный метод	
Достоинства метода	Недостаток метода
Определяют наличие дефектов и толщину объекта контроля	Высокая сложность контроля криволинейных изделий
Определяют глубину расположения дефекта	

Методом свободных колебаний (МСК) в течении непродолжительного времени, воздействуя на изделие, генерируют импульсы затухающих колебаний.

Иллюстрация МСК, в которой 1 — генератор; 2 — вибратор; 3 — приемник; 4 — анализатор спектра; 5 — индикатор, приведена на рисунке 3.

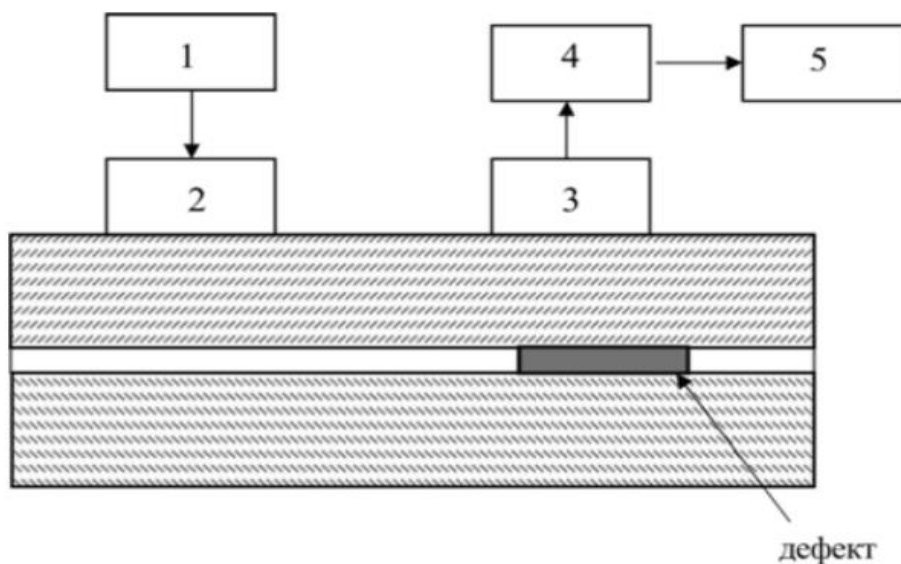


Рисунок 3 – Схема контроля методом свободных колебаний

Спектральный состав акустического сигнала по МСК, где изделие с дефектом — 1 и без дефекта — 2 рассмотрено на рисунке 4.

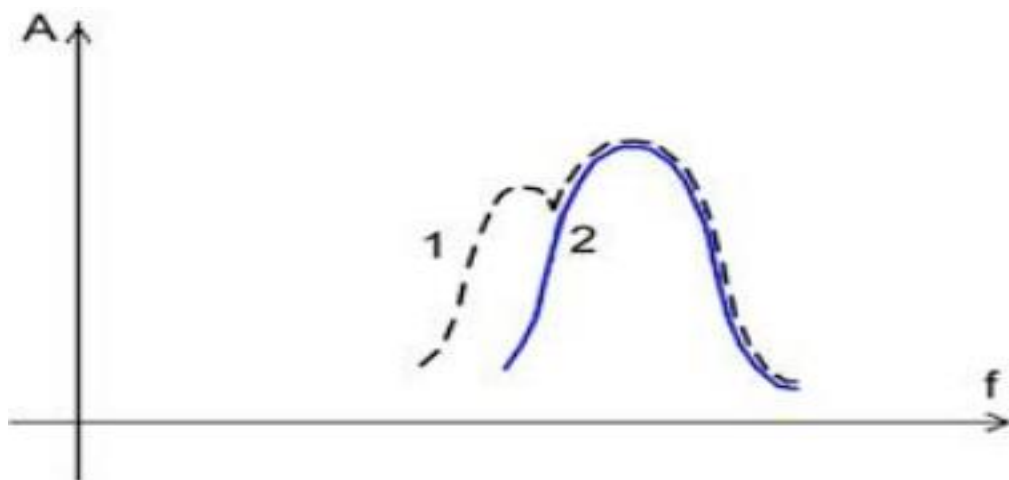


Рисунок 4 - Спектральный состав акустического сигнала при использовании метода свободных колебаний

Достоинства МСК приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Достоинства МСК
Неразрушающий контроль деталей из материалов, обладающих с малым модулем Юнга
Значительные коэффициенты затухания вибраций
Поиск дефектов в глубине деталей

Реверберационно-сквозным ультразвуковым методом на определённом расстоянии друг от друга на объекте контроля фиксируют передающий и приемный преобразователи [5].

Схема неразрушающего контроля внутренних дефектов для изделий без дефекта (а) и с дефектом (б) реверберационно-сквозным ультразвуковым методом приведена на рисунке 5.

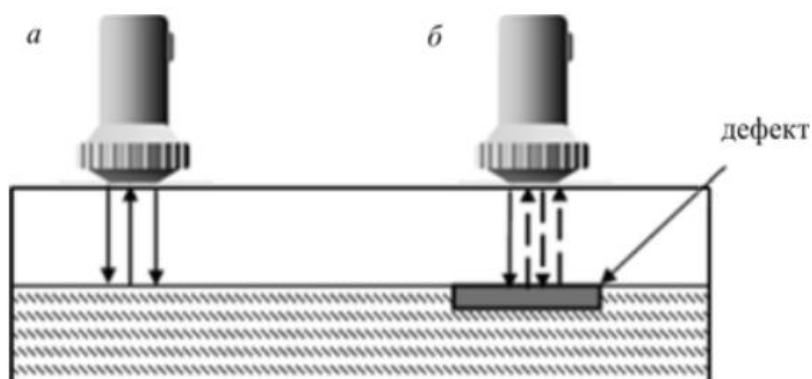


Рисунок 5 - схема неразрушающего контроля внутренних дефектов для изделий без дефекта (а) и с дефектом (б) реверберационно-сквозным ультразвуковым методом

Рассмотрим процесс вывода изображений на экране дефектоскопа, работающего реверберационно-сквозным ультразвуковым методом (рис. 6), где а — отсутствие дефекта; б — наличие дефекта: t_2 — время реверберации.

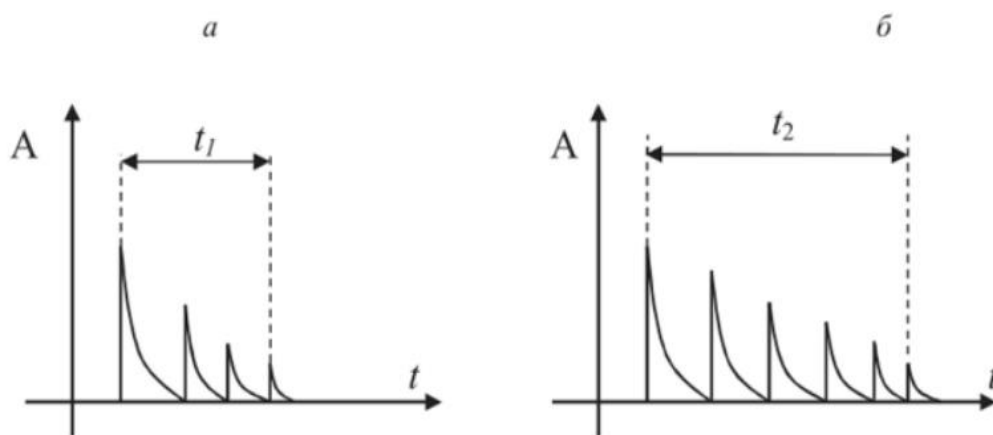


Рисунок 6 - Вид экрана дефектоскопа при контроле реверберационно-сквозным ультразвуковым методом

Импедансным методом ультразвукового контроля производят анализ изменения входного импеданса поверхности объекта контроля, с которым взаимодействует преобразователь

[6]. Метод наиболее эффективен при контроле качества сотовых клеёных конструкций, с целью определения наличия непроклеев и расслоений. Преобразователи, применяемые при оценке качества изделий, могут быть выполнены совмещенными (рис. 7, а) и раздельно-совмещенными (рис 7, б).

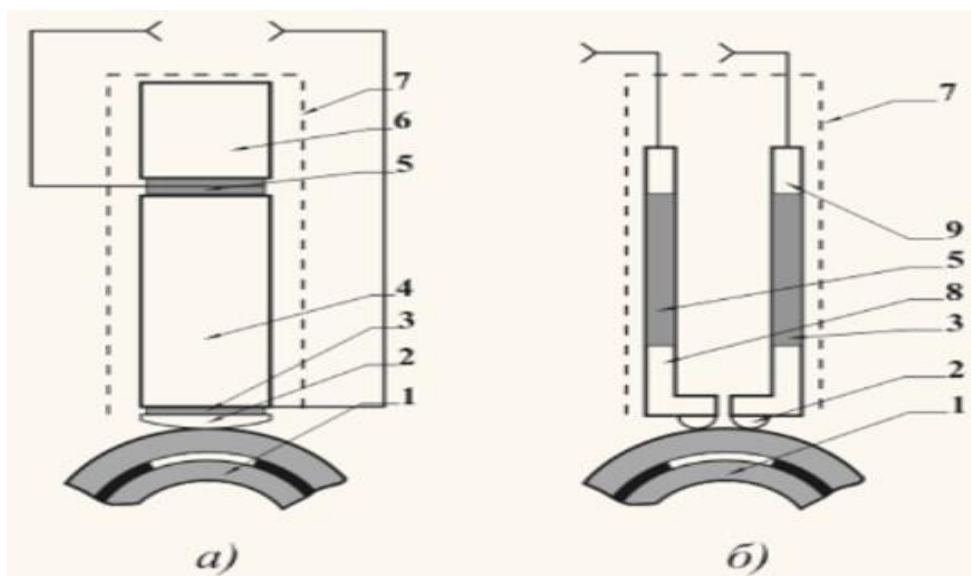


Рисунок 7 – преобразователи импедансного дефектоскопа: 1 - контролируемый объект; 2 - контактный наконечник пьезоэлементов; 6 - тыльная масса; 7 - корпус преобразователя; 8 - излучающий вибратор; 9 - приемный вибратор.

Достоинства и недостатки импедансного метода ультразвукового контроля приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Импедансный метод ультразвукового контроля	
Достоинство метода	Недостаток метода
Высокая чувствительность	Относительно малая глубина залегания выявляемых дефектов

Методом акустико-эмиссионного контроля наиболее эффективно выявляют наличие трещин в деталях изделий [7] (рис. 8).

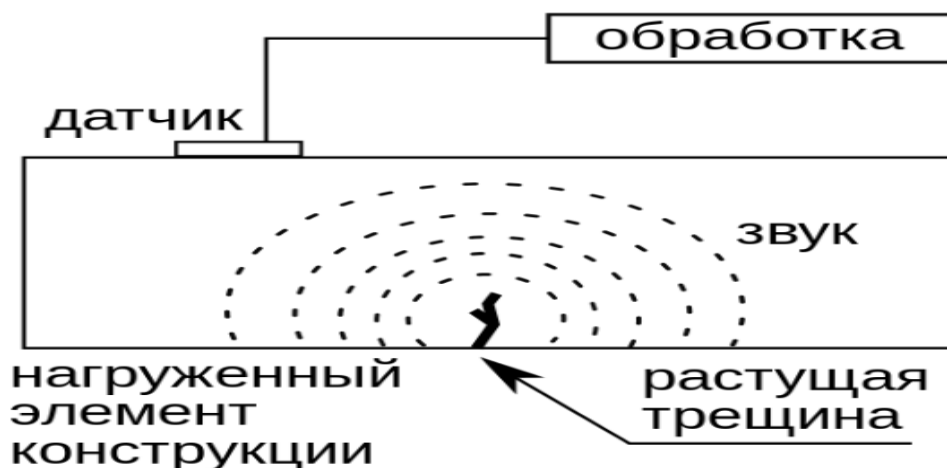


Рисунок 8 – принцип диагностики трещин при помощи акустической эмиссии

Однако, при всех достоинствах ранее перечисленных методов неразрушающего контроля изделий машиностроения, для решения задач контроля качества лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей наиболее оптимальным может служить **метод конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (МКЛСМ)** [8, 9,10]

При выполнении неразрушающего контроля изделий машиностроения МКЛСМ применяют одновременно два источника тока: источник белого света в оптическом режиме и лазер в режиме лазерного сканирующего конфокального микроскопа.

Конфокальный микроскоп позволяет создать трехмерное изображение за счёт послойного сканирования деталей по глубине.

Представленные ниже рисунки 9, 10 и 11 наглядно демонстрируют широкие возможности и перспективу конфокальной микроскопии.

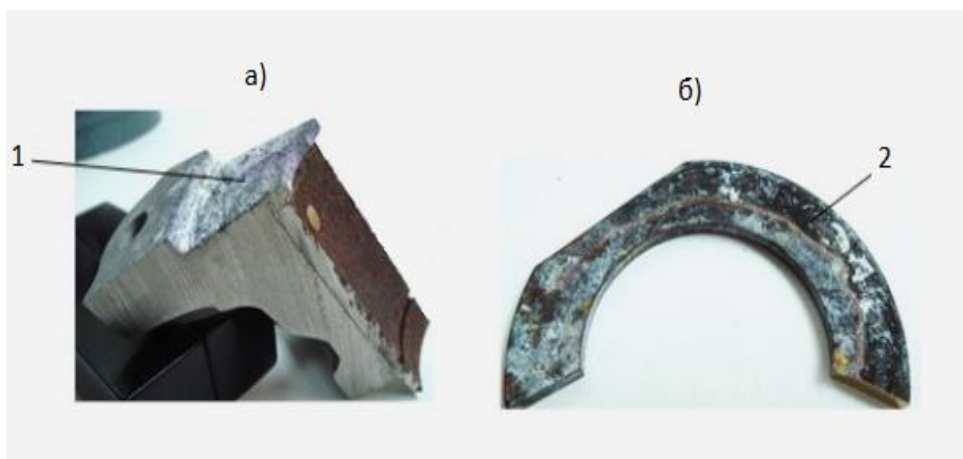


Рисунок 9 – Внешний вид детали «а» и «б» в зонах 1 и 2

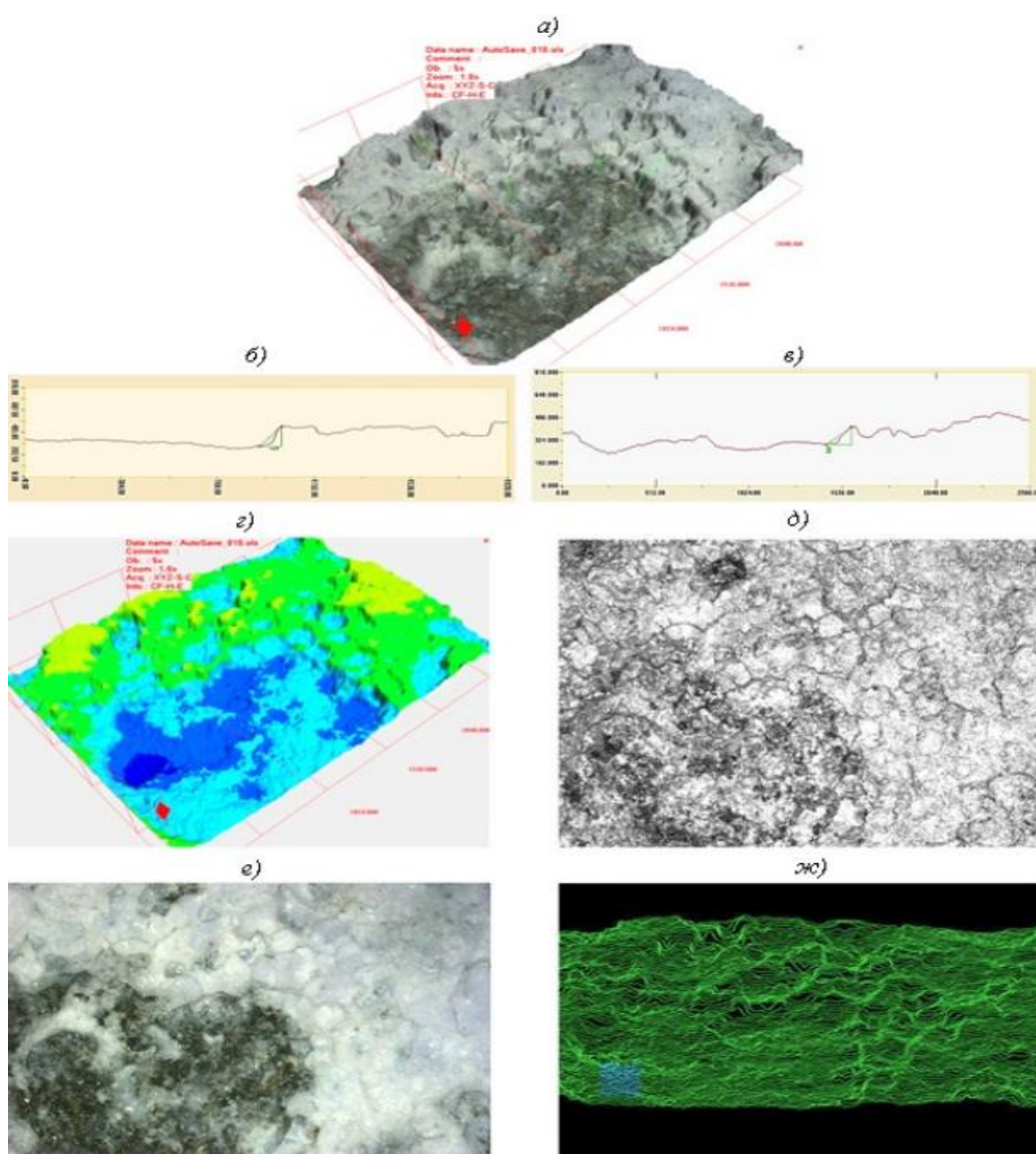


Рисунок 10 – Поверхность детали «а» в зоне 1 при разрешении x50

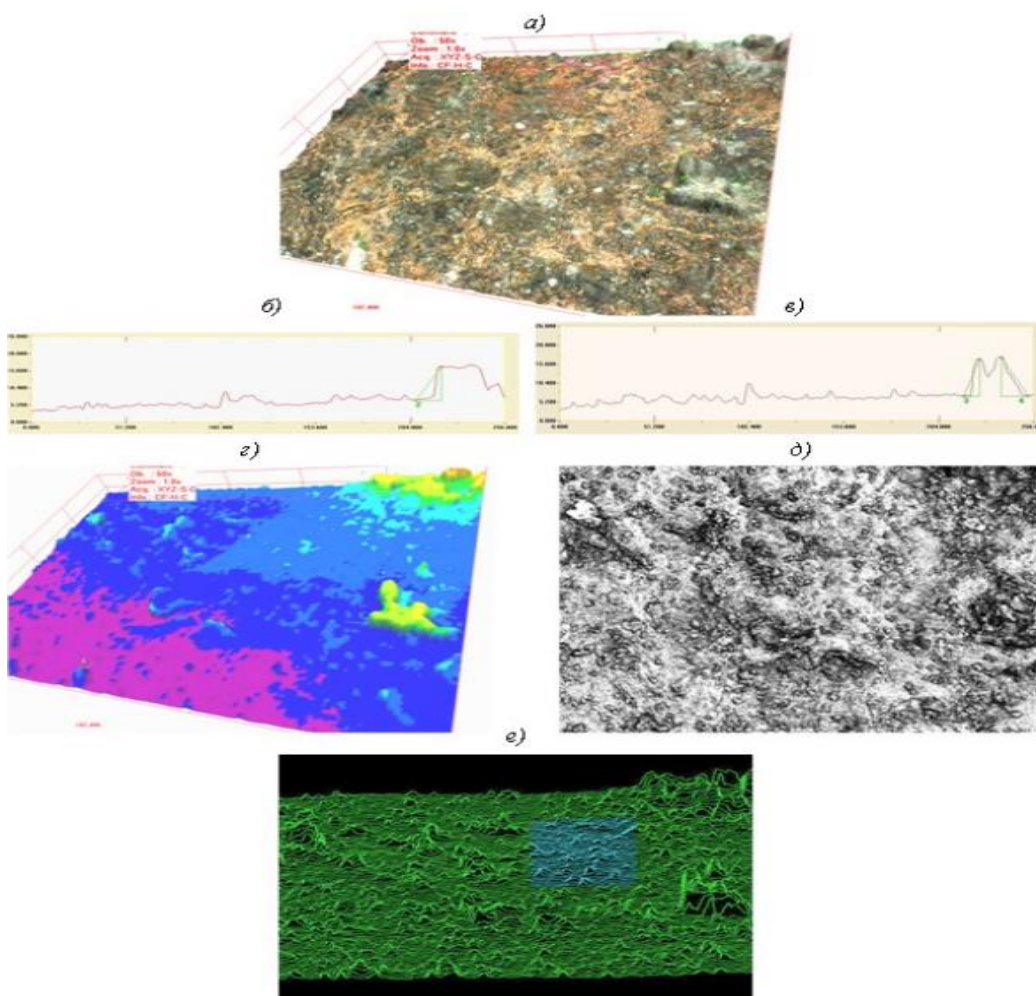


Рисунок 11 – поверхность детали «б» в зоне 2 при разрешении x500

Кроме того, МКЛСМ позволяет исследовать структуру и определять шероховатость поверхности различных деталей.

Результаты исследования

На основании рассмотренных данных по методам неразрушающего контроля, для контроля качества лопаток ГТД предлагается применять МКЛСМ, так как данный метод обладает следующими преимуществами:

- высокая разрешающая способность;
- возможность построения 3D изображения объекта контроля путем сканирования каждой точки объекта;
- возможность проводить исследования с объектами сложной формы;
- возможность определять шероховатость поверхности объекта;
- хорошая контрастность изображения;
- цифровая обработка полученных данных в результате исследования.

Однако, несмотря на все преимущества метода неразрушающего контроля с применением МКЛСМ, данный метод не может выступать в качестве единственного метода неразрушающего контроля лопаток ГТД. Методы неразрушающего контроля должны применяться комплексно, совместно, чтобы обеспечить наивысшее качество изделий и предупредить будущее разрушение детали. МКЛСМ может дополнять методы контроля, направленные на выявление дефектов внутри самого изделия. Идеальным дополнением метода МКЛМС могут выступать резонансный и эхо-импульсный методы, так как МКЛМС не способен обнаружить дефекты в теле детали. При комбинировании данных методов возможно существенно улучшить неразрушающий контроль лопаток турбин ГТД, а, следовательно, и продлить ресурс работы лопаток газотурбинных двигателей, что, в свою очередь, позволит продлить ресурс работы и самого газотурбинного двигателя.

Литература

1. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие. – СПб.: Профессия, 2008. — 560 с.: ил.
2. Алёшин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие. Издание 2-е, переработанное и доп. – М.: Машиностроение, 2013. - 576 с.: ил.
3. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. Издание 2-е, переработанное и доп. – СПб.: Издательство «СВЕН», 2007. 296 с.
4. Мурашов В.В. Неразрушающий контроль клеевых соединений. Клеи. Герметики. Технологии. 2008. №7. С. 21-28.
5. Генералов А.С., Бойчук А.С., Мурашов В. В. Контроль прочности углепластиков на клеевых препрегах ультразвуковым методом. Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №5.
6. Бойцов Б.В., Васильев С.Л., Громашев А.Г., Юрсенсон С.А. Методы неразрушающего контроля, применяемые для конструкций из ПКМ. Электронный журнал «Труды МАИ». 2011. Выпуск № 49.
7. Неразрушающий контроль: Справочник: в 7 т. Под общ. ред. Клюева В.В. т.3: Ультразвуковой контроль: издание 2-е, испр. М.: Машиностроение, 2006. 864 с.
8. Исходжанова И.В. Применение конфокальной лазерной сканирующей микроскопии для решения материаловедческих задач /В сб. материалов VII Евразийской научно-практической конференции «Прочность неоднородных структур». М.: МИС и С. 2014. С. 138.
9. Чабина Е.Б., Алексеев А.А., Филонова Е.В., Лукина Е.А. Применение методов аналитической микроскопии и рентгеноструктурного анализа для исследования структурно-фазового состояния материалов //Труды ВИАМ. 2013. №5. Ст. 06 (viam-works.ru).
10. Клевцов Г.В., Мерсон Е.Д. О возможности использования конфокального лазерного сканирующего микроскопа для исследования микрорельефа поверхности разрушения металлических материалов //Фундаментальные исследования. 2012. №11. С. 1185–1189.