

ЛАЗЕРНЫЙ ПРОФИЛОМЕТР

ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Качество выполнения лопаток, изделий со сложной геометрической поверхностью, определяет ресурс двигателей и компрессоров. Только лазерные методы неразрушающего контроля способны быстро выявить отклонения изделия от заданной формы сразу по нескольким параметрам. Уникальная стереоскопическая система переводит трехмерные поверхности объектов со сложной геометрической формой в двумерное изображение.

Не секрет, что в нефтегазовых комплексах, электроэнергетике, атомной промышленности в качестве компрессоров используют авиационные двигатели. Научно-технический прогресс в авиакосмической отрасли привел к созданию двигателей, обеспечивающих передачу углеводородного сырья на большие расстояния. Особую роль в их работе играет качество выполнения лопаток – изделий сложной формы, несущих наибольшие нагрузки.

Поэтому контроль лопаток – важная и неотъемлемая часть технологического процесса в изготовлении двигателей. Профиль пера лопатки имеет сложную геометрическую форму. В процессе производства контролю подлежат десятки геометрических параметров лопатки, определяемые требованиями технических условий, конструкторской и технологической документации, утвержденными образцами, эталонами и условиями поставки [1]. Средства измерения, используемые в настоящий момент на отечественных серийных авиастроительных предприятиях, связаны с субъективной человеческой составляющей. Высокие требования к качеству продукции определяют высокие требования к квалификации контролеров, их обучению и оплате труда [2]. Современному производству необходимы полностью автоматизированные средства измерений. Поэтому задача создания новых прецизионных бесконтактных автоматических систем контроля лопаток является весьма актуальной. В бесконтактном контроле гео-

метрии сложных поверхностей широко распространены триангуляционный, автоколлимационный, рефлектометрический, интерферометрический методы, методы светового сечения, голографический и стереоскопический [3]. Они разделены на три основных класса.

Первый класс включает методы, основанные на получении пространственной оптической модели рельефа объекта с последующим апостериорным анализом с помощью известных фотограмметрических соотношений. К этому классу относятся стереоскопический и голографический методы. Их достоинство: получение полной информации об объекте за одну экспозицию. Недостатки – сложность программной

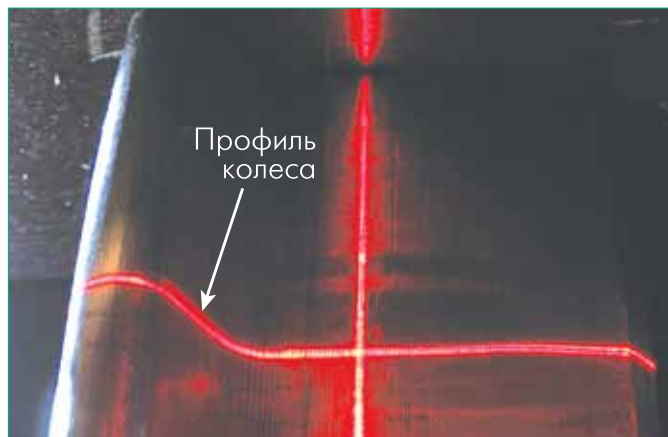


Рис.1 Получение профиля колесных пар

обработки из-за разности в свойствах двух используемых ПЗС-матриц, необходимость выбора реперных точек [4].

Ко второму классу относятся методы светового и теневого сечения. Они позволяют судить о геометрической форме изделия по совокупности двумерных изображений его сечений в избранных плоскостях. Для получения измерительной информации используется одна ПЗС-матрица. Достоинства методов: простота обработки, наглядность визуализированных изображений контура объекта. Недостаток: необходимость механического перемещения контролируемого объекта по одной координате [5].

К методам третьей группы относятся триангуляционный, автоколлимационный, рефлектометрический и интерферометрический [3]. Принцип их действия основан на использовании ПЗС-линейки и двумерного механического сканирования образца. Достоинства: простота конструкции и простота обработки. Недостатки: невысокая производительность контроля, требование прецизионного двумерного механического перемещения.

Специалисты фирмы "Техэконт", которая с 1990 г. занимается проектами лазерных средств неразрушающего контроля, разработали несколько приборов для контроля геомет-

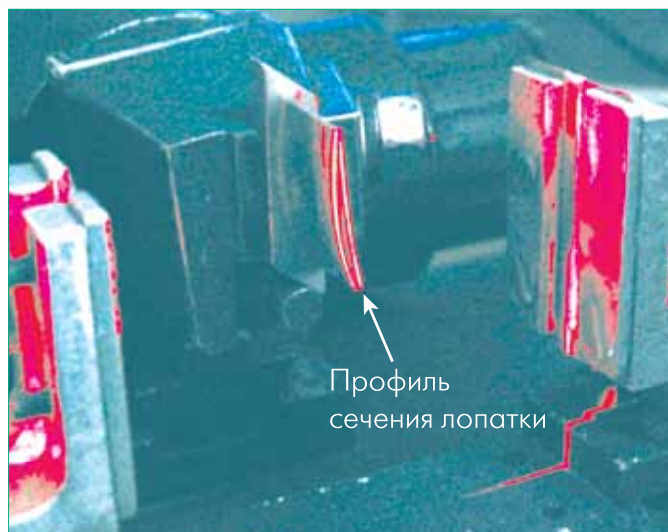


Рис.2 Двустороннее освещение для получения совместного профиля спинки и корыта лопатки авиадвигателя

рии изделий сложной формы. Среди них прибор для контроля геометрии колесных пар и прибор для контроля геометрии лопаток авиационных двигателей (рис.1,2). Прибор контроля профиля лопаток (ПКПЛ) предназначен для контроля геометрии рабочих лопаток турбин и компрессоров авиадвигателей. Он создан с учетом современных технологических

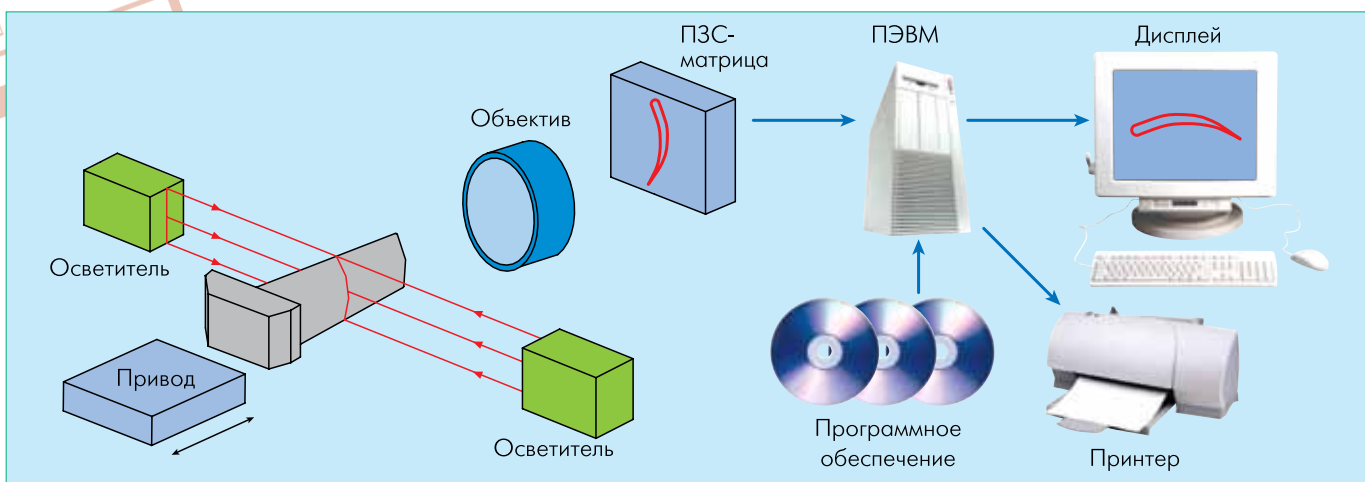


Рис. 3 Схема прибора контроля профиля лопаток (ПКПЛ)

требований производства лопаток авиадвигателей. В основе работы прибора лежит метод светового сечения. Используя идею контроля колесных пар (см. рис.1), лазерные осветители формируют узкие полосы с обеих сторон лопатки, которые, замыкаясь, очерчивают контур сечения для получения двумерного изображения профиля. Перемещая объект контроля с помощью привода [6], получаем профили различных сечений лопатки.

Для формирования единого изображения, сформированного лазерными осветителями со стороны спинки и корыта лопатки, используют уникальную запатентованную стереоскопическую систему (рис.3) [7]. Лазерный контур фокусируется объективом на матрицу ПЗС-камеры. Использование спектрального интерференционного фильтра повышает отношение сигнал/шум. Изображение, сформированное цифровой камерой, передается в компьютер через высокоскоростной последовательный интерфейс.

При анализе контура геометрические параметры сечения, подлежащие контролю: высота, толщина, угол закрутки, толщина на определенном уровне от входной и выходной кромки – находятся путем умножения параметров, вычислен-

ных по полученному контуру, на масштабный коэффициент. Вычисление масштабного коэффициента – отдельная техническая задача, решение которой получают по измерениям эталонного объекта известного размера. Для выполнения точной юстировки и калибровки разработано специальное метрологическое обеспечение. Оно позволяет точно совместить лазерные плоскости обоих осветителей, облегчает операцию калибровки и позволяет установить ноль отсчетного устройства перемещения.

Для обработки изображения контура разработано специальное программное обеспечение. Исследовано влияние эффективности различных процедур предварительной обработки зашумленных изображений контуров: фильтрация, бинаризация, интерполяция яркостного профиля полиномами, оптимизация оптической передаточной функции. Было исследовано влияние шероховатости поверхности лопаток на пространственное распределение интенсивности отраженного лазерного излучения. Благодаря этому с помощью введенных поправок качество изображения лазерных линий улучшено. Экспериментально подтвержден выбор математических моделей оптических передаточных функций элементов прибора, в том числе оптической системы, ПЗС-матрицы и лазерных генераторов линий, заложенных в расчет. Проведен метрологический анализ метода лазерного светового сечения, найдены источники систематических ошибок, разработаны способы минимизации их влияния [8].

В профилометре предусмотрена визуализация и контроль полного профиля сечения в режиме реального времени. Контроль можно проводить в двух режимах – автоматическом режиме допускового контроля и контроле по аналогии с ПОМКЛ (прибором оптико-механическим контролем лопаток), широко применяемым в авиационном машиностроении и по сей день. В первом случае результаты измерений представляют в виде таблицы (рис.4), а во втором – в виде номограмм (рис.5). Погрешность измерения линейных размеров при автоматическом режиме составляет 0,01 мм.

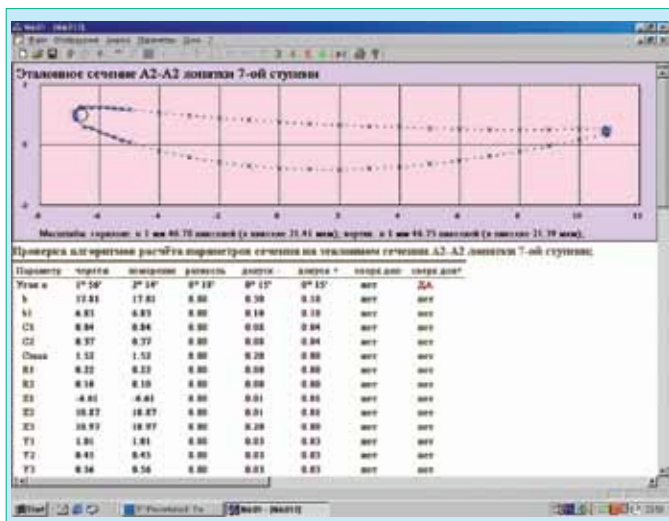


Рис. 4 Экран интерфейса: представление результатов измерений лопатки в табличной форме



Рис.5 Экран интерфейса: представление результатов измерений в графическом виде, по аналогии с ПОМКЛ

В настоящее время прибор (рис.6) проходит апробацию на филиале предприятия "Салют". Одновременно ведутся работы по расширению номенклатуры контролируемых изделий. Комплекс ПКПЛ получил положительную оценку специалистов "Салют", Наро-Фоминского Машиностроительного завода, НПО "Молния", НИИ 13 МО РФ, НИИД, ЦИАМ, МЭИ, МВТУ им. Н.Э.Баумана и Лазерной ассоциации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крымов В., Елисеев Ю., Зудкин К. Производство газотурбинных двигателей/ Под ред. Крымова В.В. – М.: Машиностроение, отд. Машиностроение-Полет, 2002.
2. Марукович Е., Горбунов Д., Марков А., Чичигин Б. Визуально-оптическая дефектоскопия и размерный кон-



Рис.6 Внешний вид прибора ПКПЛ рядом с лопатками авиадвигателя

- троль в литейном производстве/ Под ред. Маруковича Е.И. – Минск: Белорус. наука, 2007.
3. Филинов В., Кеткович А., Филинов М. Неразрушающий контроль/ Под ред. Клюева В. Кн.2: Оптический контроль.–М.: Машиностроение, 2004.
 4. Гинзбург В., Степанов Б.М. Голографические измерения: Радио и связь, 1981.
 5. Кучин А. Оптические приборы для измерения шероховатости поверхности.–М.: Машиностроение, 1981.
 6. Кеткович А., Чичигин Б. Лазерный профилометр изделий сложной формы. – Литье и металлургия 2005, №2 (34).
 7. Кеткович А., Маклашевский В. Лазерный профилометр. Патент РФ № 2 285 234.
 8. Кеткович А., Яковлева Н., Чичигин Б. Лазерная компьютерная система контроля профиля лопаток газотурбинных двигателей ПКПЛ-1. – Контроль. Диагностика, 2007, № 3 (105).



Научно-промышленный Форум "Техническое перевооружение

предприятий машиностроительного комплекса"

20–22 октября 2009 года в Екатеринбурге состоится Научно-промышленный Форум "Техническое перевооружение предприятий машиностроительного комплекса. Специальные лазерные и оптические технологии". Приглашаем к участию в работе Форума руководителей и специалистов машиностроительных предприятий и научных институтов центральных регионов России, Сибири, Дальнего Востока и Уральского региона: Свердловской, Челябинской, Курганской областей, Пермского края, Республики Удмуртия, Башкортостана.

В центре внимания Форума обсуждение современных технических, технологических и организационных решений роста эффективности производства в условиях экономического кризиса. В программе Форума – проведение IV специализированной выставки "Станкостроение. Лазерные и оптические технологии", где будут представлены современное оборудование, технологии и инструменты, обеспечивающие высокое качество выпускаемой продукции, энергоэффективность и экологическую безопасность производства. Важной особенностью проводимой выставки является то обстоятельство, что во время ее работы состоится показ технических возможностей станкостроительной продукции и лазерного оборудования в режиме реальной обработки

деталей. В прошлом году в выставке приняли участие 46 компаний, представляющих Россию, Германию, Италию, Австрию и Болгарию.

Цель форума – привлечение в регион мировых лидеров по производству инструмента для организации совместных производств и трансферта инструментальных технологий.

Организаторы Форума и выставки: Союз предприятий оборонных отраслей промышленности Свердловской области, Союз машиностроителей и ЗАО "Объединение "Универсальные выставки". Поддержку в проведении форума оказывают Правительство Свердловской области, Администрация города Екатеринбурга, Международная научно-техническая организация "Лазерная ассоциация", Общероссийская общественная организация "Союз машиностроителей России".

Зам. директора Объединения "Универсальные выставки" Мальцева А.В. Координатор проекта Нестерова Ольга, тел./факс: (343) 355-01-42 (46, 49); E-mail: daria@unepxo.ru

