

Методы и средства акустического контроля авиационного двигателя в производстве

Сотрудники ОАО «Пермский моторный завод»:



**Веретенников
Игорь
Борисович**

Инженер 1 кат.,
2 уровень
по акустическому
виду НК.



**Пьянков
Валерий
Афанасьевич**

Начальник бюро,
к. т. н.



**Вахов
Вадим
Викторович**

Ведущий инже-
нер, 2 уровень
по акустическому
виду НК.



**Елисеева
Мария
Александровна**

Студентка V курса
Пермского уни-
верситета.

**Сададинов
Рустам
Аббасович**

Инженер 1 кат.,
2 уровень по
акустическому
виду НК.

В ОАО «Пермский моторный завод» (ПМЗ) в производстве авиационных газотурбинных двигателей семейства ПС-90А (рис. 1) для среднемагистральных и дальнемагистральных самолетов ТУ-204, ИЛ 96-300 широко применяются неразрушающие методы контроля, в том числе, акустические.

Конструкторская сложность и разнообразие сложнoleгированных материалов, высокие требования к качеству и надежности деталей и узлов двигателя требуют создания и внедрения прогрессивных технологических процессов и оборудования. В основных производственных цехах предприятия применяются приборы отечественных и зарубежных производителей. Большое внимание на предприятии уделяется разработке и внедрению автоматизированных средств контроля заготовок деталей. Известно, что при ручном контроле на достоверность результатов большое влияние оказывают субъективные факторы. Существует психологическая связь: на дефектоскописта воздействует сам фактор контроля, величина его объема и исключительно редкое появление случайных дефектов при устойчивом технологическом процессе производства.

Автоматизированные системы контроля дисков

Важное место занимает контроль дисков компрессора и турбины, работающих в условиях знакопеременных механических и тепловых нагрузок. Диски являются базовыми деталями двигателя. Конструкторской и нормативно-технологической документацией к ним предъявляются особые требования. Так, контроль штампованных дисков компрессора из титановых сплавов должен выполняться с чувствительностью, эквивалентной плоскодонному отражателю $\varnothing 0,8$ мм, а дисков турбины из жаропрочных гранулируемых никелевых сплавов — отражателю $\varnothing 0,4$ мм.

Достоверность контроля, его производительность, тесно связаны с проблемой автоматизации технологического процесса. Одним из решений задачи по выполнению требований к качеству материалов дисков из титановых сплавов явилось внедрение в производство в 1980–90 гг. автоматизированных установок типа УКД-3 [1].

Повышенные требования к качеству материала дисков из гранулируемых сплавов, сложная геометрическая форма в окончательно готовом виде, их высокая стоимость потребовали разработки и применения технических средств и методик контроля дисков в заготовках с малыми припусками. На предприятии успешно внедрена автоматизированная иммерсионная система LS-200 LP (производитель «Scan Master», Израиль)

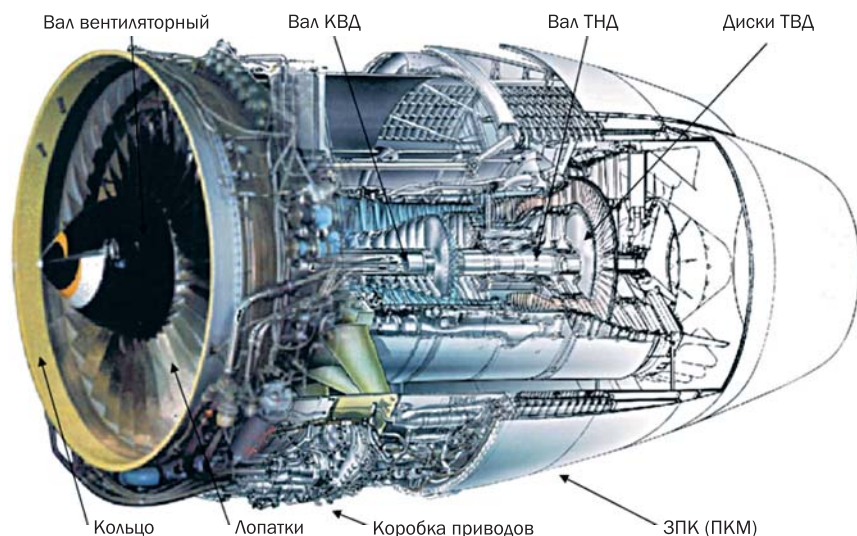


Рис. 1. Двигатель ПС-90А. Детали и узлы, подлежащие акустическому контролю



Рис. 2. Автоматизированная система УЗК дисков

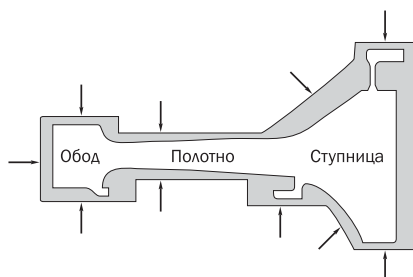


Рис. 3. Направления прозвучивания заготовки диска турбины 1-й ступени

входного УЗК заготовок дисков (рис. 2) [2]. Система оснащена процессорным управлением позиционирования ПЭП по осям и углу; ультразвуковой аппаратурой, программным обеспечением управления параметрами контроля и обработки данных, двухканальным иммерсионным ПЭП ID1-5/10 на базе высоко демпфированных пьезопластин сферической центральной и кольцевой формы на частоту 10,0 и 5,0 МГц. Для выполнения требований к качеству по жесткости и размеру взвешенных частиц вода проходит через очиститель.

На рис. 3 показаны направления прозвучивания заготовки диска, поступившей для контроля после механической обработки. Контроль заготовки на глубину до 30 мм от поверхности выполняется продольными волнами, сфокусированной сферической линзой, на частоте 10,0 МГц. Для выявления дефектов, эквивалентных плоскодонному отверстию $\varnothing 0,4$ мм, на глубине 30–70 мм используется кольцевая пьезопластина. Контроль осуществляется с обеих сторон заготовки. Форма заготовки выбирается с учетом максимального прозвучивания готовой детали.

Для обеспечения чувствительности контроля, эквивалентной $\varnothing 0,4$ мм, шероховатость поверхности заготовок дисков поддерживается на уровне $R_a 0,8-2,5$. Такие требования к поверхности заготовок в серийном производстве выполнить довольно сложно. Однако в этом случае достигается максимальная чувствительность контроля и минимальная мертвая зона $\approx 2,0$ мм.

Эксплуатация системы в производстве показала эффективность ее применения: с 2007 г. проверено более 700 заготовок. Из них 5 по результатам контроля (амплитуда сигнала превышала браковочный уровень) были задержаны и предъявлены поставщику. Применение методики

и средств контроля заготовок с минимальными припусками на механическую обработку позволило снизить расход материала в 2–2,5 раза.

Автоматизированные системы контроля валов

Система, разработанная «НПЦ КРОПУС-ПО» (г. Ногинск, Московская обл.) по ТЗ ОАО «ПМЗ», предназначена для иммерсионного эхо-импульсного контроля заготовок валов с целью выявления внутренних дефектов, представляющих собой нарушение сплошности металла (трещины, внутренние разрывы, расслоения, рыхлоты, неметаллические включения), не выходящие за пределы чувствительности метода. Трещины и внутренние разрывы чаще всего образуются при деформации вследствие высоких напряжений и малой пластичности металла при ковке.

Сканер перемещает ПЭП в заданную точку пространства для ввода ультразвуковых волн под различными углами. Скорость вращения вала до 20 об/мин. Контроль производится в пяти направлениях с использованием продольных L и сдвиговых S волн: перпендикулярно оси вала (L волны); в радиальной плоскости (S волны, угол ввода 40° , и L волны, угол ввода 20°); в осевой плоскости в двух взаимно противоположных направлениях (S волны, угол ввода 50°). На рис. 4 показана схема контроля вала вентилятора двигателя, которая позволяет надежно выявлять дефекты разной ориентации. В качестве примера, на рис. 5 приведены результаты УЗК вала с последующей проверкой другими методами НК. Тип дефектов — расслоения, неметаллические включения, заковы.

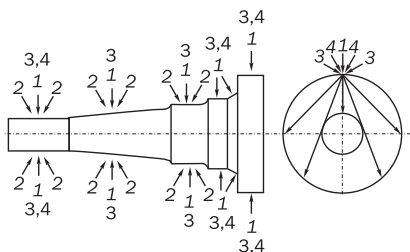


Рис. 4. Направления прозвучивания вала вентилятора:

- 1 — L волны, угол ввода 0° ;
- 2 — S волны, угол ввода 50° ;
- 3 — S волны, угол ввода 40° ;
- 4 — L волны, угол ввода 20°

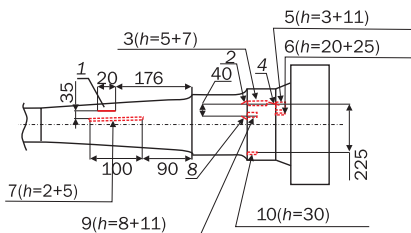


Рис. 5. Условные размеры дефектов и их координаты по результатам ультразвукового, магнитопорошкового и рентгенографического контроля вала: — — дефект выходит на наружную поверхность заготовки; ---- — дефект не выходит на наружную поверхность; h — глубина залегания дефекта, мм

Установка УЗК колец

В общем объеме контролируемых деталей двигателя значительное место занимают кольца, фланцы из жаропрочных никелевых и титановых сплавов, коррозионностойких сталей, изготовленные из горячекатаных и прессованных профилей, листов с помощью контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением. Всего контролю сварных швов подлежат более 130 шифров колец, отличающихся диаметрами, площадью и конфигурацией поперечного сечения.

Контроль продольных сварных швов выполняется в иммерсионном варианте сдвиговыми волнами на установке УКК-1, разработанной и внедренной в производство в ОАО «ПМЗ». Габариты проверяемых колец: диаметр внутренний 250–1500 мм; высота 30–150 мм; толщина 10–80 мм. Контроль колец толщиной до 25 мм выполняется совмещенным ПЭП. Для повышения достоверности выявления дефектов по всему сечению сварного шва толстостенных колец контроль выполняется по схеме «тандем» [3]. Для этого применяется многоэлементный раздельно-совмещенный ПЭП.

В корпусе ПЭП размещены последовательно один излучающий и четыре приемных пьезоэлемента, контролирующих определенный участок сварного шва. Переключение пьезоэлементов осуществляется через коммутатор к дефектоскопу. В зависимости от марки материала и размера колец угол наклона пьезоэлементов можно изменять относительно вертикального положения от 0 до 25°.

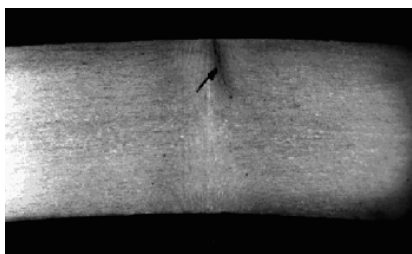


Рис. 6. Расслоение в зоне сварного шва

Основными дефектами в сварном шве являются макро- и микротрещины, которые могут образовываться в шве и околшовной зоне в результате перегрева, недостаточной осадки, загрязненности основного металла; непровары, окисные пленки (в изломах в виде темных полос или цветов побежалости); расслоения — несплошности, как правило, в околшовной зоне

в местах изгиба волокон основного металла, вытянутые в направлении вдоль волокон (рис. 6).

На основе статистического анализа результатов УЗК более 100 стыков заготовок колец толщиной 1025 мм и металлографических исследо-

ваний установлено, что достоверность контроля составляет $\approx 75\%$. Для оценки достоверности была использована методика [4]. За норму допустимости дефектов при равных интересах поставщика и потребителя в данном случае принимался минимальный размер технологического припуска на механическую обработку полуфабрикатов колец.

Контроль звукопоглощающих конструкций (ЗПК) из полимерных композиционных материалов

С целью повышения эффективности звукопоглощения и снижения массы двигателя большое внимание уделяется внедрению узлов, представляющих собой:

- обшивки из стекло-, углепластика;
- соединения металлических обшивок с ячеистой сотовой структурой с внутренними элементами жесткости;
- клеевые конструкции.

К таким узлам относятся: кожух сопла, кожух наружной и задней подвески, диафрагма т. д. Всего контролю подвергается более 20 узлов.

Акустический импедансный метод, наиболее распространенный в авиационном двигателестроении, позволяет выявлять зоны нарушения соединения обшивки с сотовым наполнителем (отслоения), межслойной связи обшивки (расслоения), нарушения целостности сотового наполнителя и других дефектов, приводящих к изменению физических характеристик материалов. Для этого используется дефектоскоп ДАМИ-С с преобразователем ПАДИ-8С. Основными информативными характеристиками метода являются: амплитуда либо фаза сигнала. Контроль многослойных (12–14 слоев) композитов выполняется теневым методом на низкой частоте дефектоскопом УСД-60Н. Имеются конструкции с малой жесткостью, состоящие из склеенных между собой нескольких тонких $\approx 0,25$ мм слоев стеклопластика с ячеистым наполнителем. В этом случае зону слабого склеивания слоев можно обнаружить, применяя датчики ударного возбуждения УДП-10-02Е (рис. 7). Площадь выявляемого дефекта не менее 10×10 мм.



Рис. 7. Дефектоскоп ДАМИ-С09 с датчиком УДП-10-02Е



Рис. 8. Фрагмент ЗПК: 1 — обшивка титановая; 2 — дефекты искусственные; 3 — заполнитель ячеистый

Двухсторонняя обшивка ЗПК газогенератора показана на рис. 8. Проводится контроль неперфорированных и перфорированных обшивок. Площадь искусственных дефектов, выявленных при таком контроле, соответствует $\varnothing 14$ мм.

Другой областью применения импедансного метода является контроль корпуса вентилятора двигателя с целью выявления отслаивания покрытия УПК153, состоящего из трехкомпонентной композиции (смола-153, полиэтиленполиамин, тальк) толщиной 2 мм от титановой основы.



Рис. 9. Контроль зубчатого колеса

Конструкция коробки приводов двигателя включает колеса зубчатые из стали 20Х3МВФ-Ш, изготовленные с применением электронно-лучевой сварки (ЭЛС) в несколько проходов (рис. 9). Одним из основных показателей качества ЭЛС является глубина проплавления кольцевого соединения по линии разъема вала и зубчатого венца колеса. Технические требования допускают проплавление $5,0 \pm 0,5$ мм. Недостаточная глубина провара ослабляет механическую прочность детали и может привести к разрушению ее при эксплуатации двигателя.



Рис. 10. Непровар по стыку

Металлографические исследования показали, что основным дефектом в сварном шве колес является непровар по стыку (рис. 10). В корне шва могут быть также несплошности в виде раковин.

УЗК выполняется в контактном варианте эхо-методом L и S волнами на частоте 10,0 МГц раздельно-совмещенными преобразователями