
Методические вопросы ультразвукового контроля дисков авиационного двигателя



**Пьянков
Валерий
Афанасьевич***

Ведущий специалист УЗК
ОАО «Пермский
моторный завод»,
к. т. н.

Ранее ультразвуковая дефектоскопия авиационных двигателей использовалась в условиях производства с целью отбраковки заготовок деталей, содержащих дефекты в основном металлургического происхождения. Переход на обслуживание двигателя ПС-90А и его модификаций для самолетов ТУ-204 и др. по техническому состоянию привел к необходимости применения ультразвуковой дефектоскопии основных деталей турбины высокого давления двигателя в процессе ремонта.

Контролю подвергаются диски 1-й и 2-й ступеней, диски промежуточные: передний и задний, дефлектор, изготовленные из жаропрочного никелевого сплава ЭП 741НП методом порошковой металлургии. Основными сведениями при выполнении требований к контролю являются размер и наиболее вероятное направление развития дефектов (эксплуатационные трещины), вид и соответствующий уровень чувствительности метода, которым конструктивные элементы диска проверяются. Операция контроля дисков является особо ответственной.

Контроль выполняется контактным ручным способом с применением дефектоскопов УД2-70 и УД2В-П с сохранением в памяти режимов настройки на всех этапах прозвучивания дисков. Для настройки дефектоскопа используются стандартные образцы предприятия с искусственными дефектами в виде плоскодонных отражателей (ПО) или риски. Контролируются ступица со стороны центрального отверстия, торцевой и конусной поверхностей; диафрагма; обод; область крепежных отверстий на диафрагме диска.

* Технология контроля дисков разработана совместно с инженером Е. И. Хузиным и инженером Р. А. Сададиновым

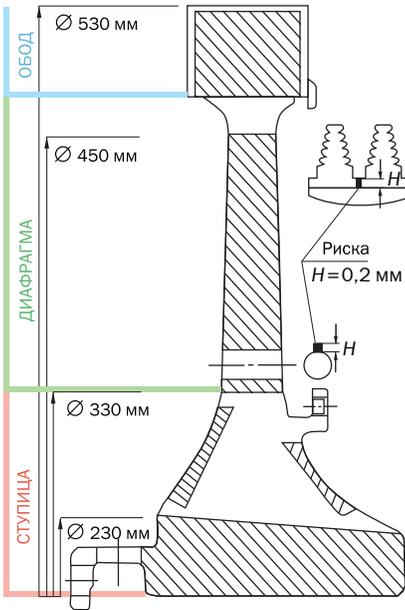


Рис. 1. Зоны контроля диска турбины 1-й ступени

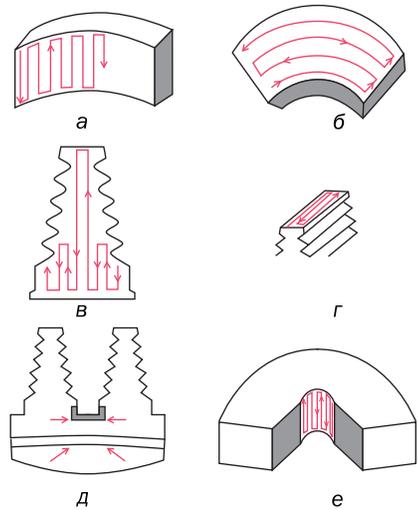


Рис. 2. Схемы сканирования конструктивных элементов диска: а — центрального отверстия ступицы; б — торцевой поверхности ступицы; в, г — торцевой и внешней поверхности замка; д — торцевой поверхности обода; е — образующей поверхности отверстия

На рис. 1 представлены зоны контроля диска турбины 1-й ступени. Контроль выполняется в доступных зонах для выявления дефектов, не выходящих за пределы чувствительности метода. Диски контролируются с обеих сторон продольными (L), сдвиговыми (T) и поверхностными (S) волнами. Поисковая чувствительность превышает уровень настройки на 6 дБ. Схемы сканирования дисков показаны на рис. 2.

Технологией контроля предусматривается скорость сканирования не более 1 м/мин.

Контроль ступицы диска со стороны центрального отверстия выполняется в три этапа. На первом этапе проводится контроль раздельно-совмещенным пьезоэлектрическим преобразователем (РС ПЭП) на частоте 5,0 МГц с шагом сканирования 1,0 мм с чувствительностью, эквивалентной ПО \varnothing 0,4 мм на глубине 10 мм (рис. 2а). На втором этапе контроль выполняется прямым ПЭП (П111-5-К6-002) с переменной чувствительностью: на глубине 10–20 мм эквивалентной ПО \varnothing 0,4 мм, а на глубине 20–50 мм — ПО \varnothing 0,8 мм. На третьем этапе контроль проводится наклонным ПЭП (П121-5. О-65°) при настройке на искусственный дефект в виде риски

длиной 12 мм и шириной 0,1 мм и направлен на выявление поверхностных и подповерхностных дефектов до 1,5 мм от поверхности. На втором и третьем этапах контроля шаг сканирования установлен 1,5 мм.

Контроль ступицы диска с торцевой поверхности выполняется в четыре этапа (рис. 2б). Первые три этапа аналогичны этапам контроля ступицы со стороны центрального отверстия и обеспечивают такую же чувствительность. На четвертом этапе контроль проводится перпендикулярно радиальному направлению ПЭП (П121–5.0–50°) *T*-волнами с переменной чувствительностью, эквивалентной ПО Ø 0,4 мм на глубине от 10 до 15 мм и ПО Ø 0,8 мм на глубине от 15 до 40 мм. Шаг сканирования 1,5 мм. Для выявления подповерхностных дефектов контроль конусной части ступицы диска проводится ПЭП (П121–5.0–65°) с шагом сканирования 1,5 мм при настройке на искусственный дефект в виде риски длиной 12 мм и шириной 0,1 мм.

Диафрагма диска контролируется *T*-волнами двумя типами ПЭП: П 121–5.0–65° и П121–5. 0–50° с чувствительностью, эквивалентной ПО Ø 0,8 мм на глубине 10 и 30 мм для выявления соответственно дефектов радиального направления по всей толщине детали (рис. 2б). Шаг сканирования 1,5 мм.

Контроль обода диска включает три этапа. Первый этап — контроль замка диска *L*-волнами РС ПЭП на частоте 5,0 МГц с торцевой поверхности с шагом сканирования 1,0 мм с чувствительностью, эквивалентной ПО Ø 0,4 мм на глубине от 2 до 10 мм (рис. 2в). Второй этап — контроль замка диска *L*-волнами РС ПЭП на частоте 10,0 МГц с внешней стороны замка (торца) с шагом сканирования 1,0 мм с чувствительностью, эквивалентной ПО Ø 0,4 мм на глубине от 2 до 15 мм (рис. 2г). На третьем этапе контроля обеспечивается выявление поверхностных дефектов в зоне впадины между замками на ободке диска при настройке на искусственный дефект в виде риски длиной 10 мм и шириной 0,2 мм (рис. 2д).

Область крепежных отверстий Ø 13 мм на диафрагме диска контролируется поверхностными волнами по образующей поверхности наклонным специализированным РС ПЭП (рис. 2е). Настройка дефектоскопа производится на искусственный дефект в виде риски размером 0,1 × 0,2 мм, нанесенной на фаске отверстия. Общий вид и размеры ПЭП показаны на рис. 3.

Производственный опыт ручной проверки дисков разного назначения выявил ряд факторов, которые ограничивают объем контроля и влияют на достоверность результатов:

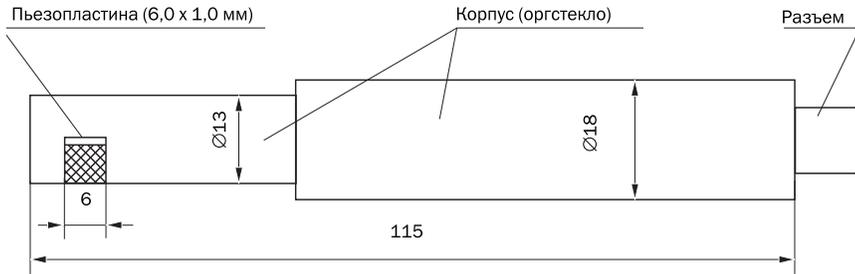


Рис. 3. ПЭП для контроля отверстий

1. Контроледоступность диска в соответствии с разработанной технологией ограничена. Объем прозвучивания составляет не более 70–80%. К конструктивным элементам дисков, ограничивающим контроль, относятся области галтелей, имеющие двойную кривизну в радиально-осевом направлении (обод — диафрагма, диафрагма — ступица); отверстия; замки; фланцы; фаски. Даже при ограниченном объеме контроль дисков занимает значительное время. Время контроля дисков 1-й ступени составляет не менее 18 ч, дисков промежуточных и дефлектора — 9 ч.

2. Чувствительность контроля зависит от состояния структуры металла и состояния поверхности диска. При прозвучивании дисков прямым ПЭП на частоте 5,0 МГц L -волнами и допуске техническими условиями размере макрозерна в металле до 2 мм амплитудный уровень структурных шумов может достигать величины, эквивалентной ПО \varnothing 0,4 мм уже на глубине 20 мм. Практические измерения показали, что при ручном контроле уверенно можно выявить ПО \varnothing 0,8 мм только до глубины 50 мм (рис. 4). Сильное влияние на чувствительность контроля оказывает состояние поверхности диска при наклонном вводе T -волн в металл. Даже при шероховатости поверхности $R_a = 2,5$ мкм и незначитель-

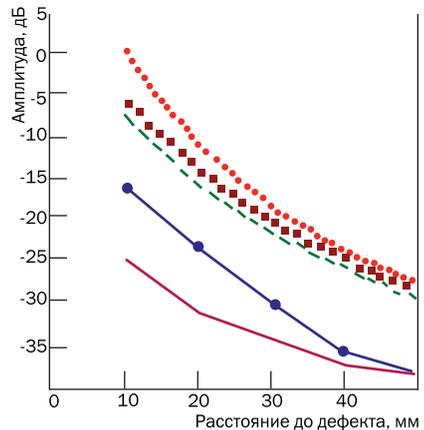


Рис. 4. Зависимость амплитуды эхо-сигнала от размера и расстояния до ПО. Уровень сигнала от ПО: ● — 2,0 мм; ■ — 1,2 мм; — — 0,8 мм; ● — 0,4 мм. Красная линия — уровень структурных шумов

ном изменении толщины контактного слоя в процессе контроля осцилляция эхо-сигналов на частоте 5,0 МГц при угле ввода ультразвука $\alpha = 50^\circ$ составляет $6 \div 9$ дБ, что снижает чувствительность дефектоскопа. Размах осцилляции, ее длительность увеличиваются с увеличением угла падения ультразвука, кривизны конусной поверхности детали.

3. Достоверность результатов ручного контроля дисков во многом зависит от психоэмоциональной нагрузки и утомляемости зрения дефектоскописта, перенапряжения кистей рук при перемещении ПЭП по контролируемой поверхности. С человеческим фактором связаны нестабильность шага, скорости и траектории построчного перемещения ПЭП на поверхности детали, низкая устойчивость акустического контакта между ПЭП и деталью.

Экспериментально выявление дефектов проверялось на натурном образце, представляющем собой часть диска — сегмент с нанесенными в нем пятью искусственными дефектами в виде ПО различного диаметра на глубине 20 мм.

Поиск дефектов осуществлялся с применением прямого ПЭП 111-5-К6-002. Чувствительность прибора с превышением на 6 дБ полезного сигнала над шумом соответствовала эквивалентному ПО $\varnothing 0,8$ мм, скорость сканирования 1 м/мин.

Шаг сканирования для обнаружения ПО $\varnothing 0,8$ мм был установлен экспериментально (расстояние между крайними положениями ПЭП, при которых амплитуда эхо-сигнала равна 0,7 от максимальной) и составлял 1,5 мм. В эксперименте участвовали 40 дефектоскопистов, прошедших аттестацию по специальности и имеющих опыт работы не менее трех лет в области УЗК. Траектория, шаг и скорость перемещения ПЭП на поверхности образца соответствовали указаниям утвержденной заводской инструкции. При заданной чувствительности контроля все 5 дефектов должны были быть выявлены.

Как видно из гистограммы на рис. 5, вероятность выявления дефектов резко падает с уменьшением их размеров. Так, всего 6 (15%) дефектоскопистов из 40 обнаружили ПО $\varnothing 0,8$ мм в образце диска за

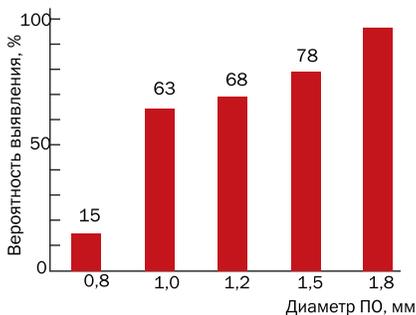


Рис. 5. Гистограмма распределения выявления ПО

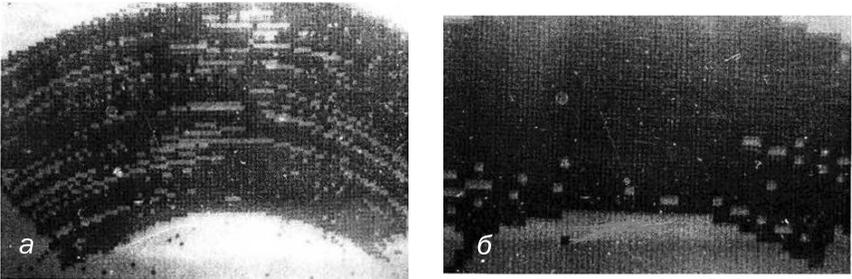


Рис. 6. Результаты построчного сканирования диска с шагом: а — 1,0 мм; б — 3,0 мм. Белое поле соответствует отклонению шага от установленного значения

расчетное время контроля 30 мин. Естественно, дефектоскописту сложно выдержать требования к соблюдению скорости и шага сканирования 1,5 мм, тогда как для выявления ПО \varnothing 1,2 мм шаг сканирования допускается 3,0 мм при расчетном времени контроля 14 мин. При этом его можно выдержать более точно.

С уменьшением размеров ПО расстояние между соседними линиями перемещения ПЭП вдоль поверхности диска выдержать практически невозможно. Перемещение ПЭП становится, в общем, стохастическим, слабо поддающимся контролю дефектоскопистом (рис. 6).

Влияние человеческого фактора можно исключить, автоматизируя процесс УЗК с применением иммерсионного или щелевого (длина волны соизмерима с толщиной, например, масляной пленки) вариантов ввода ультразвука в деталь. Однако сложная геометрическая форма ступицы и обода дисков не позволяет проводить сканирование на всей поверхности детали. С учетом технических возможностей контроль может быть комплексным: обод и ступица контролируются ручным способом, диафрагма — автоматизированным.

Подобный опыт применения в производстве комплексного УЗК титановых дисков компрессора высокого давления двигателя Д-30 для самолета ТУ 134 имеется. Автоматизация имеет ряд дополнительных преимуществ: высокая и стабильная скорость сканирования при многочасовом режиме работы, возможность сохранения результатов контроля для их последующей обработки.

Выводы

1. Разработана технология и оценена надежность ручного УЗК роторных дисков (на примере диска 1-й ступени) авиационного двигателя.

2. Для выполнения операции контроля при высокой трудоемкости и ограниченном объеме прозвучивания дисков сложной конструкции необходимо применение большого набора средств, технологических приемов сканирования и режимов настройки дефектоскопа.

3. С ужесточением требований к допустимым размерам дефектов в дисках вероятность пропуска дефектов при ручном контроле возрастает.

4. Эффективность контроля дисков можно повысить, используя комплексный способ прозвучивания (ручной — для ступицы и обода и автоматизированный — для диафрагмы).