

Таким образом, полученные результаты исследований величин коэффициентов трения скольжения подшипниковых пар материалов в исследуемых средах позволяют произвести оценку потерь на трение в подшипниках качения и более точно определить рациональные параметры их функционирования.

Библиографический список

1. Воронков Б.Д. Подшипники сухого трения. 2-е изд. перераб. И доп./ Б.Д. Воронков –Л.: Машиностроение, 1979.- 224с.

2. Силаев Б.М. Трибология деталей машин в маловязких смазочных средах/ Б.М. Силаев – Самара: Изд. Самарского государственного Аэрокосмического университета, 2008 – 264с.

3. Опоры осей и валов машин и приборов/[Н.А. Спицын и др.] – М.: Машиностроение, 1970. – 250 с.

4. Демидович В.М. Исследование теплового режима подшипников ГТД/ В.М. Демидович – М.: Машиностроение.

УДК 681.518.2

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К СИСТЕМАМ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ ЗАЗОРОВ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

© 2018 И.Т. Губайдуллин, А.В. Минеев

АО Уфимское научно-производственное предприятие «Молния», г. Уфа

THE ANALYSIS OF THE BASIC TECHNICAL REQUIREMENTS FOR BLADE-TIP CLEARANCE MEASURING SYSTEMS FOR GAS-TURBINE ENGINE

Gubaydullin Y.T., Mineev A.V. (Joint stock company Research-and-production enterprise «Lightning», Ufa, Russian Federation)

The analysis of technical requirements (TRs) for aircraft gas turbine engines (GTE) for radial clearance measurement systems (RCMS), as well as characteristics and parameters of experimental equipment, was carried out. The main technical solutions used in the equipment are investigated, expert estimates of the relevance and feasibility of the main TRs are given. Based on the experience of creating optoelectronic equipment of a similar purpose, actualized and realistic TRs are formulated. The concept of phased implementation of innovative optical-electronic RCMS is proposed.

Одним из ресурсов, направленным на увеличение коэффициента полезного действия (КПД) авиационного ГТД, кроме повышения температуры газов перед турбиной, является комплекс конструкторских, технологических решений, направленных на предельно возможное уменьшение радиальных зазоров (РЗ). Ряд исследований [1,2] показывает, что увеличение относительной величины РЗ по торцам рабочих лопаток (РЛ) на 1% вызывает снижение КПД турбины на 1-2%, что обуславливает возрастание удельного расхода топлива $C_{уд}$ на 1,5...2%. Такое же изменение РЗ в компрессоре добавляет прирост $C_{уд}$ еще на 1,5...3%.

Создание промышленных средств измерения РЗ, обработка технологии адекват-

ного управления РЗ на всех этапах жизненного цикла ГТД является крайне актуальной.

Анализ технических требований и характеристик СИРЗ

Бесконтактные СИРЗ применяются, благодаря возможности получения данных о характере изменения РЗ в процессе работы газогенератора и возможности реализации технологии с активным управлением РЗ со следящей обратной связью. Несмотря на доступность СИРЗ, построенных на различных физических способах измерения, практика их применения пока ограничена нерегулярными эпизодическими испытаниями на стендах при доводке опытных образцов ГТД. Основными факторами препятст-

вующим широкому применению СИРЗ являются:

- нереалистичный комплекс противоречивых ТТ;
- отсутствие корректных методик контроля метрологических характеристик;
- отсутствие верифицированных методик адекватной интерпретации результатов измерений.

К СИРЗ стендового применения не предъявляются «жесткие» требования, касающиеся массогабаритных параметров, надежности, трудоёмкости обслуживания, межкалибровочному периоду и т.п. Анализ основных концептуальных решений показывает ограниченные возможности унификации. Различия в ТТ, «диктуемых» компрессором, турбиной позволяет осуществить ограниченную унификацию основных измерительных модулей, компонентов, технологических средств калибровки, прикладного программного обеспечения и интерактивного графического интерфейса пользователя.

Разработку и промышленное производство СИРЗ стендового применения, осуществляет французская компания Fogale Nanotech. В аппаратуре используется ёмкостной способ измерения РЗ и модульная структура. Многоканальный блок обработки информации со встроенным программным обеспечением совместно с термостойкими кабелями и охлаждаемыми зондами-датчиками обеспечивают регистрацию и постобработку потоковой информации.

Основными недостатками вышеуказанной аппаратуры являются:

- отсутствие взаимозаменяемости зондов-датчиков, коаксиальных кабелей, что обуславливает необходимость совместной градуировки зонда-датчика с кабелем на эталонных моделях РЛ;
- критичность к форме поверхности, изменению геометрии торца РЛ;
- недостаточная прочность коаксиального кабеля.

В отечественной промышленности заметных результатов в создании СИРЗ на основе одновитковых токовых датчиков (ОВТД) достигли специалисты ИПУСС РАН и ПАО «Кузнецов» [3]. Разработаны несколько модификаций многоканальных СИРЗ. Аппаратура показала удовлетвори-

тельные результаты при стендовых испытаниях ГТД. Основным недостатком данных систем - необходимость применения кластеров (групп одинаковых датчиков ОВТД) для получения многомерной информации по всем координатам составляющих вектора измерения. Это приводит к необходимости изготовления группы посадочных отверстий на статоре ГТД. Также ОВТД критичны к конструктивным особенностям (форма поверхности, электропроводящие свойства материала) РЛ.

Ретроспективный анализ информации от различных источников, показывает, что для создания СИРЗ наиболее перспективным является направление, связанное с применением разветвленных волоконно-оптических жгутов [4]. Экспериментальные образцы оптико-электронных СИРЗ показали эффективность такого способа измерения РЗ на компрессоре низкого давления при испытаниях в составе ГТД.

Выводы

1. Несмотря на длительный этап исследований, участие ряда научных, конструкторских организаций, задача создания и промышленного производства аппаратуры измерения РЗ газогенератора авиационных ГТД остаётся актуальной.
2. Оценка параметров и характеристик аппаратуры, предлагаемой рядом фирм, анализ ТТ, конструкций рабочих РЛ компрессора и турбины, особенностей размещения измерительных зондов на внешнем корпусе, условий эксплуатации показывает целесообразность создания унифицированного ряда специализированной оптико-электронной аппаратуры для компрессора и турбины, предназначенной для решения отдельных задач с поэтапной реализацией основных ТТ.
3. Анализ ранее разработанной, производимой аппаратуры измерения РЗ, показывает наиболее перспективное направление для создания как стендовой исследовательской, так и штатной бортовой аппаратуры на основе инновационных решений с применением термо-вибростойких оптических волоконных жгутов-коллекторов. Оптико-электронная аппаратура для измерения РЗ менее критична к материалам, из которых изготавливаются РЛ, и не имеет фундамен-

тальных ограничений, связанных с фазовым переходом (точка П. Кюри).

Библиографический список

1. Зотов В.А., Цаплин М.И. Исследование радиальных зазоров-источников больших потерь / В.А. Зотов, М.И. Цаплин // 75 лет творческой научно-практической деятельности ЦИАМ в авиадвигателестроении. – 2005. – С.250-251.

2. Авиационный двигатель ПС-90А: А.А. Иноземцев, Е.А. Коняев, В.В. Медведев, А.В. Нерадько, А.Е. Ряссов; Под ред.

А.А. Иноземцева. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 320 с.

3. С.Ю. Боровик, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев. Проблемы измерения радиальных зазоров в экстремальных условиях проточной части газотурбинного двигателя и их решение на основе применения одновитковых вихретоковых датчиков // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ – 2014. – С. 6928-6937.

4. García. Desarrollo de un sensor de fibra óptica para la medida del tip clearance y tip timing en motores aeronáuticos // Sensors. 2017.

УДК 621.9.07(075.8)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНАТКИ ДЛЯ ЛЕНТОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ПЕРА ЛОПАТОК ТРЕТЬЕЙ СТУПЕНИ КНД ГТД СЕРИИ «НК»

©2018 Ю.Х. Апкалимова, А.Н. Швецов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

DESIGNING OF THE ACCESSORY FOR ABRASIVE-BELT GRINDING OF THE AIRFOIL PROFILE OF THE THIRD STAGE LPC BLADES OF THE GTE OF THE "NK" SERIES

Apkalimova Yu.Kh., Schvetsov A.N. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The design of the accessory for abrasive-belt grinding of the airfoil profile of the third stage low-pressure compressor blades of the gas turbine engine of the "NK" series is presented. The results of accessory calculating of its accuracy and the stress-strain state of the workpiece during the processing are presented.

При окончательной обработке профиля пера лопаток КНД достаточно часто применяется ручное полирование. Однако качество выполнения данного процесса в значительной мере зависит от субъективных факторов.

Для повышения качества окончательной обработки профиля пера лопаток и повышения производительности процесса ручное полирование в настоящее время заменяют на ленточное шлифование на станках с ЧПУ. В частности для осуществления данного процесса используют ленточно-шлифовальные станки METABO MTS 1000/CNC 3/6 Маяк 622. Однако внедрение ленточного шлифования пера лопаток в производство требует создания специальных поворотных приспособлений, позволяющих осуществить данный процесс.

Для обработки профиля пера лопаток третьей ступени КНД, изготавливаемых из титанового сплава ВТ9, было спроектирова-

но специальное приспособление, позволяющее осуществить ленточное шлифование спинки и корыта. Общий вид приспособления приведен на рис. 1.

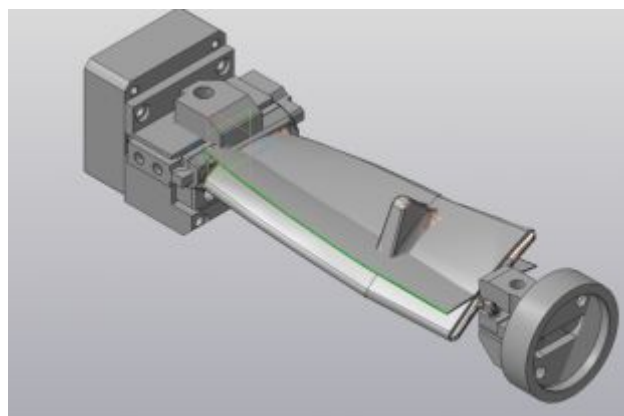


Рис. 1. Общий вид приспособления для ленточного шлифования профиля пера лопаток третьей ступени КНД