

Из таблицы видно, что тонкослойное алитирование является наиболее эффективным и практически осуществимым методом. Оно повышает длительную жаропрочность материала дефлекторов и обеспечивает защиту поверхностного слоя от повреждения. Дефлекторы, алитированные на глубину 5-15 мкм, прошли длительные стендовые испытания в изделии и дали положительные результаты.

При эксплуатации изделий наблюдался износ дефлекторов по буртикам. Для уменьшения износа поясков на дефлекторах внедрен процесс электроискрового легирования трех верхних поясков твердым сплавом Т15К6.

В ы в о д ы

1. Внедрение отжига дефлекторов в вакууме с охлаждением в воде обеспечило качественное изготовление деталей.
2. Проведенные мероприятия позволили полностью защитить поверхность дефлекторов от обеднения ее легирующими элементами и повысить длительную прочность дефлекторов в 2 раза.
3. Совместные металлургические, конструктивные, технологические мероприятия позволили повысить ресурс работы дефлекторов в 3 раза.

УДК 629.7.036:62. 135:534.1

А.Ю.Березкин, А.С.Сердотецкий, И.В.Терехин

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ВИБРОИССЛЕДОВАНИЯ БАНДАЖИРОВАННЫХ ЛОПАТОЧНЫХ ВЕНЦОВ

Обеспечение достаточной вибропрочности и надежности лопаточных венцов ГТД, бандажированных полками, и устранение причин таких наблюдаемых в практике дефектов, как усталостные поломки полок, износ и выкрашивание полочных стыков, тесно связаны с развитием теории колебаний бандажированных венцов и методов их экспериментальных вибрационных исследований.

Разработка теоретических методов определения вибрационных свойств полочных венцов находится в настоящее время в стадии

становления. Бандажированным венцом как упругим системам свойственны колебания, где упругое взаимодействие осуществляется не только через диск, но и по бандажной связи. При этом механизм взаимодействия в полочных стыках оказывает заметное влияние на собственные спектры венцов и решающее — на их резонансные колебания. Вместе с тем, в силу сложности этого механизма не существует четких представлений ни о характере, ни о величине виброперемещений. Проведение соответствующих исследований будет способствовать развитию как теории колебаний бандажированных венцов, так и совершенствованию их конструкции.

В настоящей статье рассматриваются некоторые вопросы, связанные с реализацией возбуждения резонансных колебаний венцов и изучением кинематики взаимодействия в полочных стыках в условиях лабораторного эксперимента.

Как известно, одним из основных возбудителей резонансных колебаний лопаточных венцов в турбомашинах является окружная неравномерность газового потока, относительно которой вращается венец.

Стендовые испытания ГИД создают условия возбуждения венцов, наиболее близкие к рабочим [1]. Однако тензометрирование большого числа лопаток во вращающихся венцах технологически затруднено, в то время, как для некоторых исследований необходима информация о вибросостоянии всех лопаток. Информация, полученная при использовании бесконтактных датчиков, установленных на статоре двигателя [2], также носит ограниченный характер, поскольку относится преимущественно к автоколебаниям лопаток по низким формам. Кроме того, стендовые испытания весьма трудоемки и дорогостоящи.

По указанным причинам часть виброиспытаний венцов целесообразно проводить вне двигателя. Если при этом будет реализовано обратное движение возбудителя относительно неподвижного объекта исследований, то значительно упростится тензометрирование венца и отпадет необходимость в мощном приводе для его вращения. Вместе с тем, при экспериментальных исследованиях невращающихся венцов необходимо принимать во внимание определенные отличия от натуральных условий. К ним относятся возможные изменения в уровне возбуждения, в работе замковых устройств и полочных стыков, снижение резонансных частот при отсутствии центробежных сил, а также отсутствие аэродинамического взаимодействия лопаток.

В работе [3] показано, что вращающаяся относительно венца нагрузка эквивалентна системе двух связанных с венцом нагрузок,

гармонически изменяющихся во времени и сдвинутых как по фазе колебаний, так и в окружном направлении. При вращающемся возбуждении в резонансной зоне одновременно реализуются колебания не менее чем по двум собственным парным формам и результирующее движение является бегущей волной или комбинацией бегущей и стоячей волн [1,3].

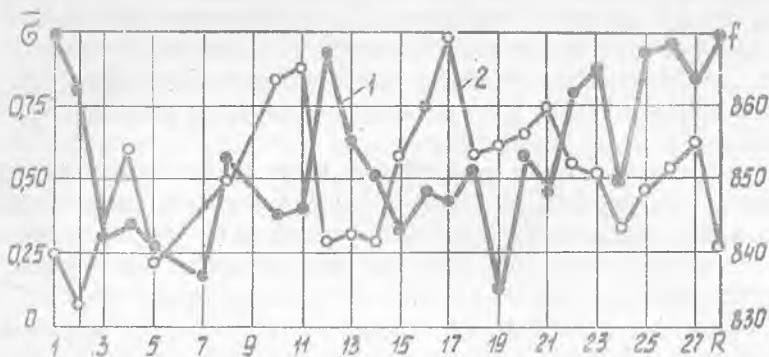
При приложении одной стационарной нагрузки (постоянно распределенной, периодической во времени) результирующее движение близко к колебаниям по собственным формам [1]. Данное возбуждение, скачковое или кинематическое, используется для определения собственных спектров венцов.

Возможность реализации вращающегося возбуждения как суперпозиции двух стационарных нагрузок показана в работе [4], где модель лопаточного венца возбуждается с помощью двух электромагнитов. Имеются также попытки возбуждения венцов посредством электромагнитов, установленных около каждой лопатки. Питание электромагнитов осуществляется импульсным или синусоидальным напряжением от специального устройства. При соответствующем сдвиге по фазе подаваемого на каждый электромагнит тока в венце создается вращающаяся волна нагрузки. Однако практическое использование подобных возбуждателей затрудняется недостаточной их мощностью и сложностью в настройке аппаратуры.

Успешной реализацией условий вращающегося возбуждения является создание установки ВС-3 [5], в которой возбуждение объекта исследований производится струями сжатого воздуха, истекающими параллельно оси ротора установки. При соответствующих частотах вращения ротора в объекте исследования возникают резонансные колебания. Установка обеспечивает эффективное возбуждение объектов в широком диапазоне частот.

Методика виброисследований на установке ВС-3, отлаженная применительно к безбандажным лопаточным венцам, может быть успешно использована и для бандажированных венцов.

При проведении экспериментов на установке ВС-3 выбор частот и гармоник возбуждения ведется по результатам определения собственного спектра венца. Оценка вибрационного состояния венца осуществляется путем тензометрирования его по общепринятой методике. Типичное распределение резонансных напряжений и частот по лопаткам рабочего колеса вентилятора ДТРД представлено на рис. 1.



Р и с. 1. Типичное распределение резонансных относительных напряжений (1) и частот (2) по лопаткам бандажированного венца: \bar{U} - относительные напряжения; f - частота колебаний, Гц; R - номер лопаток

Особый интерес представляет задача измерений виброперемещений в полочных стыках. Поскольку полка, как материальное тело, обладает шестью степенями свободы, то полное представление о характере ее движения может быть получено при измерении всех шести компонент перемещения. В настоящее время затруднительно указать величины этих перемещений. Однако по предварительным оценкам линейные перемещения составляют величины порядка $10^{-4} - 10^{-2}$ мм и угловые $10^{-3} - 10^{-1}$ °. Измерение столь малых величин многокомпонентных виброперемещений представляет сложную задачу. Анализ существующих датчиков показывает, что наиболее пригодными для этих целей являются вихретоковые преобразователи (ВТП) [6].

При контроле виброперемещений метод вихревых токов обладает следующими преимуществами:

- широким диапазоном контролируемых частот и амплитуд вибраций;
- возможностью градуировки статическим путем;
- малым внутренним сопротивлением, позволяющим проводить контроль на значительном удалении преобразователя от регистратора;
- возможностью одновременной регистрации статических и вибрационных перемещений по заданному направлению с помощью контроля постоянной и переменной составляющей входного сигнала преобразователя.

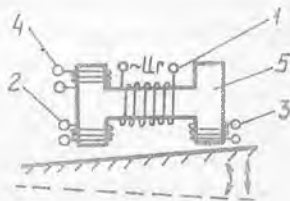
Для измерения многокомпонентных вибраций обычно применяют несколько автономных датчиков, расположенных во взаимно перпендикулярных направлениях. Ввиду малых размеров полок исследование нескольких ВТП затруднено не только условиями размещения, но и их взаимным влиянием. Кроме того, при измерениях взаимных перемещений полок датчики необходимо устанавливать на полки, что при их значительной суммарной массе может повлиять на формы колебаний.

Для бесконтактного контроля линейных и угловых микроперемещений предлагается использовать многокомпонентный, малогабаритный вихретоковый преобразователь.

Изображенный на рис. 2 ВТП предназначен для измерения одной угловой и одной линейной компонент перемещений. На катушку 1 подается ток высокой частоты. Величина наведенной э.д.с. в катушках 2, 3 и 4 зависит от расстояния соответствующего поясного наконечника магнитопровода до объекта. Катушка 4 является компенсационной. После предварительного усиления и детектирования напряжение с катушки 2 используется для выделения сигнала об изменении зазора между датчиком и объектом, а совместно с напряжением с катушки 3 — об изменении углового положения. Датчики, предназначенные для регистрации большого числа компонент, строятся аналогично, но с магнитопроводом более сложной формы. Датчики работают совместно со специально разработанным вторичным преобразователем.

Предварительные испытания выполненных преобразователей показывают приемлемое соответствие их характеристик по чувствительности и точности для решения поставленных задач.

После соответствующих метрологических испытаний датчик предлагается использовать для определения взаимных перемещений в полочных стыках.



Р и с. 2. Принципиальная схема вихретокового преобразователя: 1 — катушка генераторная; 2, 3 — катушки измерительные; 4 — катушка компенсационная; 5 — магнитопровод H-образной формы; 6 — объект

В ы в о д ы

1. Для успешного изучения вибрационных свойств бандажированных лопаточных венцов необходимы специальные установки, имитирующие условия вращающегося аэродинамического возбуждения в ГТД.

2. Для исследования виброперемещений в полочных стыках венцов необходимы специальные датчики, в качестве которых может быть использован разработанный многокомпонентный вихретоновый преобразователь.

3. Установка ВС-3 и специальные методики позволяют исследовать распределения резонансных напряжений и перемещений в бандажированных венцах.

Л и т е р а т у р а

1. И в а н о в В.П. Некоторые вопросы колебаний лопаточных венцов и других упругих тел, обладающих циклической симметрией. - В сб.: Прочность и динамика авиационных двигателей.-М.: Машиностроение, 1971, вып. 6.

2. З а б л о ц и й И.Е., К о р о с т е л е в Ю.А., Ш и - п о в Р.А. Бесконтактные измерения колебаний турбомашин.-М.: Машиностроение, 1977.

3. И в а н о в В.П., С е р д о т е ц к и й А.С. Колебания со стоячими и бегущими волнами упругих тел и систем, обладающих циклической симметрией. - В сб.: Вибрационная прочность и надежность двигателя и систем летательных аппаратов. КуАИ, 1975, вып. I(68).

4. *Ewins D.J. A study of resonance coincidence in bladed discs J. mechanical engineering science. vol. 12, No 5, 1970.*

5. И в а н о в В.П., С е р д о т е ц к и й А.С. Установки для исследования резонансных колебаний лопаточных венцов турбомашин. - В сб.: Динамика и прочность механических систем.-Пермь, 1978

6. К л ю е в В.В. Приборы и системы для измерения вибраций, шума и удара: Справочник.-М.: Машиностроение, 1978, т. I.