

перспективных путей снижения напряженности элементов конструкции и улучшения параметров ГТД является применение композиционных материалов, имеющих малый удельный вес и высокие прочностные характеристики.

Приведены данные по основным механическим характеристикам высокопрочных композиционных материалов ориентированной структуры на основе полимерной матрицы /стеклопластики, углепластики, боропластики/. Эти данные свидетельствуют о том, что композиционные материалы по своим прочностным свойствам во многом превосходят традиционные металлические материалы. Указаны основные особенности механических свойств этих материалов, обусловленные спецификой строения.

Проанализировав результаты исследований конструктивной прочности композиционных материалов на образцах, приближающихся по форме к изделиям, а также результаты исследования прочностных свойств натуральных деталей типа лопаток и оболочек.

Рассмотрены результаты изучения вибрационных характеристик натуральных конструкций в широком диапазоне частот нагружения и отмечена специфика поведения композиционных материалов при действии вибрационной нагрузки. Результаты этих исследований свидетельствуют о возможности применения композиционных материалов для изготовления силовых элементов конструкции ГТД, работающих в условиях умеренных температур.

Исследованы конструктивные решения некоторых элементов конструкции, разработанные с учетом специфики свойств композиционных материалов.

На примере некоторых типов ГТД исследованы перспективы применения композиционных материалов в конструкции ГТД и дано экономическое обоснование целесообразности применения этих материалов.

Рассмотрены схемы технологических процессов изготовления из композиционных материалов лопаток, оболочек и других деталей ГТД.

З.С.ПАЛЛЕЙ, В.А.БАРЫШЕВ, В.А.ПИВОВАРОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СРОКОВ СЛУЖБЫ ЛОПАТОК ТУРБИН
ГТД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Ресурс двигателя существенным образом связан с работоспособностью его наиболее нагруженных узлов и деталей, в кото-

рым наряду с дисками, опорами и т.д. относятся и лопатки газовых турбин. Определить долговечность указанных деталей расчетным путем с учетом специфических условий нагружения и постепенного накопления повреждений в эксплуатации практически не представляется возможным, что объясняется, главным образом, несовершенством методов расчета, в которых не учитываются отмеченные факторы.

Перечисленные обстоятельства привели к необходимости практической оценки долговечности деталей ГТД посредством наземных стендовых испытаний по эквивалентной программе.

При выборе эквивалентного эксплуатационной наработке режима для рабочих лопаток турбин был проведен анализ статистических данных по разрушениям лопаток в эксплуатации, в результате которого выявлено, что наибольшая доля разрушений лопаток происходит по причинам падения термоусталостных характеристик их материала.

Эти характеристики определяют склонность материала лопаток к разрушению воздействия термических напряжений на переменных режимах работы двигателя.

Наиболее напряженным переменным режимом является режим запуска, который и рассматривался в качестве эквивалентного режима для турбинных лопаток.

Для доказательства эквивалентности режима запуска и эксплуатационной наработки была проведена проверка идентичности законов накопления повреждений на турбинных лопатках в условиях ускоренных ресурсных испытаний и в условиях эксплуатации.

Количественная оценка эквивалентности режима запуска осуществлялась при помощи динамического параметра "остаточная долговечность". В процессе эксперимента сравнивались лопатки третьей ступени турбины ТВД, нагруженные различным числом запусков на стенде, и различной наработкой в эксплуатации.

Анализ характера изменения остаточной долговечности по числу запусков и по числу часов наработки в эксплуатации свидетельствует об идентичности их функционального изменения.

Качественная оценка структурных преобразований также подтвердила сходство процессов накопления повреждений по наработке и запускам.

Пересчет количества запусков на число часов эксплуатационной наработки осуществляется по параметру "живучесть турбинных лопаток", под которой понимается время развития усталостной

трещины с момента ее появления до стадии перехода в хрупкий по-
лом при фиксированном значении динамической нагрузки.

Изменение живучести рабочих лопаток исследуемой третьей
ступени турбины ТВД по эксплуатационной наработке хорошо аппрок-
симируется монотонно убывающей функцией, имеющей в широкой обла-
сти наработок приблизительно линейный характер. Представленная
зависимость удовлетворительно выражена корреляционным уравне-
нием

$$\bar{y} = 36,4 - 0,0017 \bar{x}_{\text{нар}} \quad , \quad /1/$$

где \bar{y} - живучесть,
 $\bar{x}_{\text{нар}}$ - число эксплуатационной наработки.

Аналогичное изменение живучести было замерено на лопатках,
имеющих предварительную наработку и нагруженных различным коли-
чеством запусков.

Функциональное изменение живучести лопаток в интервале
0-3000 запусков, выполненных на стенде, описывается уравнением

$$\bar{y} = 26,6 - 0,0012 \bar{x}_{\text{зап}} \quad , \quad /2/$$

где $\bar{x}_{\text{зап}}$ - число запусков на стенде

Совместное решение уравнений позволяет найти связь между
числом запусков и числом часов эксплуатационной наработки. Соот-
ношение между уравнений /1/ и /2/ выразится зависимостью

$$\bar{x}_{\text{нар}} = 0,71 \bar{x}_{\text{зап}} \quad . \quad /3/$$

С учетом полученного соотношения определение сроков служ-
бы лопаток осуществляется получением на профильной части лопаток
термоусталостных надрывов. Это состояние лопаток считается пре-
дельным, а их ресурс определяется нижним доверительным интерва-
лом зависимости /3/.

Данная методика может быть использована при определении
сроков службы всех типов турбинных лопаток, изготовленных из
литейных и деформируемых дисперсионно твердеющих сплавов.