УДК 536.2

ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ УСКОРЕНИЙ И СИЛ

Лепешкин А.Р

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова", Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Исследование температуропроводности металлических материалов в поле действия центробежных ускорений и сил имеет важное значение для авиакосмической техники. Характеристики температуропроводности материалов используются при расчете теплового состояния лопаток и дисков ротора турбины. Разработаны оригинальные методика и устройство с теплопроводником для определения теплофизических характеристик материалов на разгонном стенде с использованием вакуумной камеры в условиях центробежных ускорений и сил. Приведены результаты исследований нестационарного нагрева теплопроводника в поле центробежных сил и ускорений. Из анализа результатов экспериментальных исследований следует, что температуропроводность теплопроводника увеличивается при увеличении частоты вращения по сравнению со статическим состоянием без вращения. В исследуемом явлении температуропроводности присутствуют две составляющие: действие центробежного ускорения и центробежной растягивающей нагрузки. Вторая составляющая составляет 10-20% на основе полученных экспериментальных данных о влиянии сил растяжения. Таким образом, указанное увеличение температуропроводности значительно связано с увеличением электронной проводимости металла под действием центробежных ускорений.

ВВЕДЕНИЕ

Предложена методика исследования температуропроводности и теплопроводности материалов в поле действия центробежных ускорений и сил.

Развитие авиадвигателей устойчиво идёт по пути повышения температуры газа перед турбиной. Однако, разработка двигателей пятого поколения, как в России, так и за рубежом наталкивается на серьёзные трудности при освоении более высоких температур. Тепловые расчёты ГТД и их элементов выполняются по классическим моделям и во многих случаях плохо согласуются с экспериментом. Максимальные измеренные температуры на реальных объектах значительно превышают расчетные величины, что не обеспечивает необходимую прочность, надёжность и ресурс деталей перспективных авиадвигателей. При оценке температурного состояния деталей ротора турбины используются коэффициенты теплопроводности, которые были получены в стационарных условиях земного тяготения (g=1) на ненагруженных образцах. В реальных условиях рабочие лопатки и диски турбин нагружены растягивающими центробежными силами ($\sigma_p \approx 250 \ldots 500$ МПа) и работают при ускорениях 40000... 100000 м/с^2 (4000 ... 10000 g) и изменение температуропроводности материала в этих условиях можно ожидать существенным.

Влияние сжимающих сил на теплопроводность соединения GaSb ранее исследовалось сотрудниками института физики Даг. НЦ РАН. На этих соединениях при повышении давления до 250...350 МПа теплопроводность повышалась на 15...20% [1].

Исследования влияния растягивающих сил и центробежных ускорений на теплопроводность металлов ранее не проводились. Данная работа посвящена актуальной проблеме по исследованию температуропроводности материалов в поле действия центробежных ускорений и сил.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В данной работе исследовали температуропроводность материалов из копеля и хромеля в поле действия центробежных растягивающих сил и ускорений при испытаниях на разгонном стенде (рис. 1). Разработанная методика [2] исследований предусматривала закрепление на полотне модельного диска теплоизолированного проводника из копелевого провода с диаметром 0,5 мм с электронагревателем длиной 10 мм (рис. 2). На концах теплопроводника приваривались термопары. Теплоизолированный объект закреплялся на полотне диска фольгой, привариваемой точечной сваркой.

Испытания проводились в вакуумной камере на разгонном стенде, оснащенном автоматической системой управления частотой вращения электропривода и циклическим нагружением. Контроль за температурным состоянием теплопроводника, размещенного на вращающемся диске с нагревателем, производился компьютерной системой, оснащенной крейтом и измерительными платами.

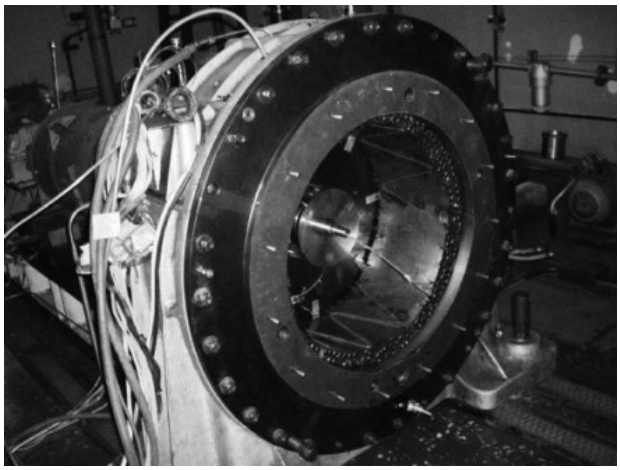

Рис.1 Разгонный стенд с диском, установленным в вакуумной камере.

Обработка результатов осуществлялась по разработанной программе. Для питания электронагревателя использовался стабилизированный источник Б5-47.

Провода питания нагревателя и термопары присоединялись к ртутному токосъемнику. После вакуумирования камеры без включения привода подавалось стабилизированное питание на нагреватель и записывались базовые показания термопар в течение 300...360 секунд работы нагревателя.

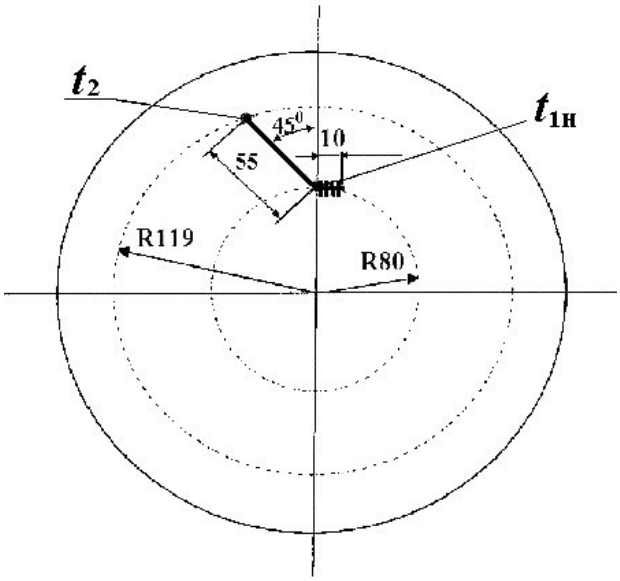

Рис. Схема установки теплопроводника и электронагревателя на диске.

Затем камера развакуумировалась и объект с диском остывали до исходного состояния. После охлаждения камера вновь вакуумировалась (p=0,03атм) включался электропривод. Диск раскручивался до 2500 об/мин, после чего включался нагреватель и осуществлялась запись показаний контрольных термопар в течение 300...360 секунд.

Затем камера развакуумировалась и объект с диском остывали до исходного состояния. После охлаждения камера вновь вакуумировалась (p=0,03атм) включался электропривод. Диск раскручивался до 2500 об/мин, после чего включался нагреватель и осуществлялась запись показаний контрольных термопар в течение 300...360 секунд. Далее вновь выключался нагреватель, камера развакуумировалась, объект охлаждался до исходной температуры и испытания продолжались на частоте вращения диска 5000 об/мин.

Результаты исследований представлены на рис. 3 и 4. На рис. 3 и 4 на оси абсцисс указано время нагрева t, а на оси ординат справа нанесена температура нагревателя $t_{1н}$. Слева на оси ординат показана температура t_2 (рис. 3) и скорость нагрева V_2 (рис. 4) на конце теплопроводника.

Температура нагревателя в течение 30 с достигала 200 °С, после чего темп ее роста

© Лепешкин А.Р.

значительно снижался. На конце теплопроводника при n=0 об/мин (базовый эксперимент) скорость нагрева до 60 с (до прихода основного фронта тепла от нагревателя) был весьма незначительный » 0,01 °С/с. Затем скорость нагрева увеличилась до 0,020÷0,04 °С/с за 30 секунд и держалась довольно стабильно до 270 с, после чего скорость нагрева замедлилась.

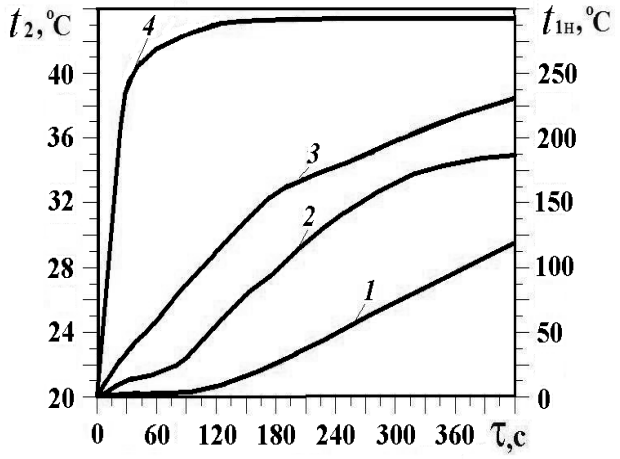

Рис.3 Температура t_2 на конце теплопроводника при разных частотах вращения: 1 – 0 об/мин (0 м/с), 2 – 2500 об/мин (25 м/с), 3 – 5000 об/мин (50 м/с), 4 – температура электронагревателя.

На частоте вращения 2500 об/мин скорость нагрева значительно возросла. Скорость нагрева с 60 до 120 с увеличилась от 0,02 до 0,06 °С/с, т.е. скорость нагрева в среднем возросла, более, чем в 2 раза.

На частоте вращения 5000 об/мин (при окружной скорости » 50 м/с) скорость нагрева увеличилась до 0,07 °С/с за 30 с, т.е. скорость нагрева по сравнению с базовыми условиями увеличилась в среднем в 3 раза.

Проведенные аналогичные исследования теплопроводника из хромелевого провода показали, что его температуропроводность также возрастает в 2-3 раза при увеличении частоты вращения.

В наблюдаемом эффекте присутствуют две составляющие: от действия центробежного ускорения и растягивающей центробежной нагрузки.

Разработана методика испытаний, позволяющая оценить влияние растягивающих напряжений на температуропроводность различных сплавов (рис. 4).

На рис. 4 представлены кривые изменения температуры t_2 при различных растягивающих нагрузках: 1 - 0 МПа, 2 - 10 МПа, 3 - 20 МПа, 4 - 30 Мпа, 5 - 40 МПа, 6 - температура нагревателя $t_н$

Анализ полученных результатов показывает, что температуропроводность образца из никелевого сплава при создании в нем растягивающих напряжений, соответствующих эксплуатационным, изменяется до 10-20% (рис.4).

Время прихода теплового потока от нагревателя к концу теплопроводника при разных величинах растягивающих напряжений остается неизменной.

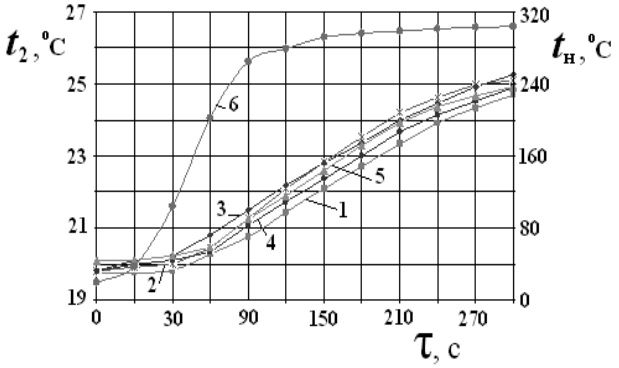

Рис.4 Кривые изменения температурного состояния (t_2) теплопроводника.

На основе полученных данных о влиянии сил растяжения вторая составляющая равна, примерно, 10 %, а остальная часть 290 % связана с влиянием центробежного ускорения. Отсюда следует, что в теплообмене участвует некая масса (масса частиц - свободных электронов, парных электронов и др. с учетом их концентрации) под воздействием инерционных сил (центробежных ускорений). Влияние ее на теплопередачу весьма велико и указанный рост температуропроводности связан с увеличением электронной проводимости в металле с учетом положений закона Видемана-Франца.

Влияние ускорения (торможения) нагретого потока газа и жидкости также оказывает влияние на их теплоотдачу при теплообмене с твердыми телами. Например, в работе [3] в канале при прохождении потока газа через нагретую проволочку тепловой след увеличился в 2,8 раза раза по сравнению с расчетом по классической теории.

ВЫВОДЫ

Разработаны оригинальные методика и устройство для определения теплофизических характеристик материалов на разгонном стенде с использованием вакуумной камеры в условиях центробежных ускорений и сил.

Из анализа результатов экспериментальных исследований следует, что температуропроводность металлических материалов увеличивается в 2-3 раза при увеличении частоты вращения по сравнению со статическим состоянием без вращения. В исследуемом явлении температуропроводности присутствуют две составляющие: действие центробежного ускорения и центробежной растягивающей нагрузки. Вторая составляющая составляет 10-20% на основе полученных экспериментальных данных о влиянии сил растяжения.

Таким образом, указанное увеличение температуропроводности значительно связано с увеличением электронной проводимости металла под действием центробежных ускорений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эмиров С.Н. Влияние давления и температуры на теплопроводность моно- и поликристаллических образцов антимонида галлия / С.Н. Эмиров, Н. М.Булаева, Э.Н. Рамазанова // Тезисы докладов XII Российской конференции по теплофизическим свойствам веществ. – М.: Наука. – 2008. – С. 306. Emirov S.N., Bulaeva N.M. and Ramazanova E.N. The influence of pressure and temperature on the thermal conductivity of mono-and poly-crystalline samples of gallium antimonide, Abstracts of the XII Russian conference on thermophysical properties of substances, Moscow, Science, 2008, p. 306.
2. Пат. 2235982 Российская Федерация, МПК H02N 11/00. Способ и установка для определения теплофизических характеристик твердых материалов в поле действия центробежных сил / А.Р. Лепешкин, Н.Г. Бычков; заявитель и патентообладатель ЦИАМ – № 2010117026/07; заявл. 30.04.2010; опубл. 20.04.2011, Бюл. № 11. Lepeshkin A.R and Bychkov N.G. Patent 2235982, Russian Federation, IPC H02N 11/00, Method and apparatus for determining the thermal properties of solid materials in the field of centrifugal forces, Applicant and patent-holder CIAM - № 2010117026/07; appl. 30.04.2010, publ. 20.04.2011, Bull. no. 11.
3. Иванов Ю.А.. К вопросу об определении характеристик турбулентности с помощью диффузионных измерений / Ю.А. Иванов, С.Ю. Крашенинников // Механика жидкости и газа. – 1970. – №3. – С. 90-96. Ivanov Y.A., Krashenninikov S.Y. To the question of determining the characteristics of turbulence using diffusion measurements, Mechanic of fluid and gas, 1970, no. 3, pp. 90-96.

© Лепешкин А.Р.