

УДК 536-539.4

А.Р. ЛЕПЕШКИН, Н.Г. БЫЧКОВ

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

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО ЭФФЕКТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ В ПОЛЕ ДЕЙСТВИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ УСКОРЕНИЙ И СИЛ НА РАЗГОННОМ СТЕНДЕ

Предложен метод исследования нового эффекта температуропроводности и теплопроводности материалов в поле действия центробежных ускорений и сил. Разработано устройство для определения указанных характеристик на разгонном стенде с использованием вакуумной камеры в условиях центробежных ускорений и сил [1]. Приведены результаты исследований нестационарного нагрева теплопроводников в поле действия центробежных ускорений и сил. Теплопроводники установлены на диске. Из анализа результатов экспериментальных исследований следует, что температуропроводность теплопроводников возрастает при повышении частоты вращения. По полученным результатам представлены оценки температуропроводности и теплопроводности теплопроводников.

Ключевые слова: *нагрев, вращающийся диск, температуропроводность, температура, центробежные ускорения и силы.*

Введение

Тепловые расчеты ГТД обычно плохо подтверждаются экспериментальными исследованиями. При МКЭ-расчетах теплового состояния деталей ротора турбины используют коэффициенты теплопроводности материала лопаток и дисков, которые были получены в стационарных условиях земного тяготения. Принято считать, что действие центробежных сил и ускорений не вызывают изменения коэффициентов теплопроводности материала. Однако эксперименты, проведенные авторами, показывают, что это априорное утверждение неверно.

Лопатки турбин работают при экстремальных центробежных ускорениях $40000...100000 \text{ м/с}^2$ ($4000...10000 \text{ g}$) и изменение температуропроводности материала в этих условиях можно ожидать существенным. Вероятно, неучет этого обстоятельства приводит к различию температурных полей лопаток турбин прогнозируемых расчетом и наблюдаемых в эксперименте [2]. Кроме ускорений на роторные детали действует растягивающая центробежная сила.

Влияние сжимающих сил на теплопроводность соединения GaSb ранее исследовалось сотрудниками института физики Даг. НЦ РАН. На этих соединениях при повышении давления до $250...350 \text{ МПа}$ теплопроводность повышалась на $15...20\%$ [3].

Исследования температуропроводности материалов при растяжении ранее не проводились.

Методика и результаты исследований

В данной работе проведены исследования явления температуропроводности материала в поле действия центробежных растягивающих сил и ускорений при испытаниях на разгонном стенде (рис. 1) с использованием разработанного метода исследований.

Данный метод [3] исследований предусматривал закрепление на полотне модельного диска теплопроводников из копелевого провода с диаметром $0,5 \text{ мм}$ с электронагревателем длиной 10 мм (рис. 2).

Электронагреватель размещался в месте соединения теплопроводников. Теплоизолированный объект закреплялся на полотне диска фольгой, привариваемой точечной сваркой.



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

Первый теплопроводник был размещен под углом 45° к радиальному направлению, а другой вместе с нагревателем располагался в окружном направлении. На концах и в месте соединения теплопроводников (перед нагревателем) приваривались термопары t_1 , t_2 и t_n (рис. 2).

Испытания проводились в вакуумной камере на разгонном стенде, оснащенный 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. Обработка результатов осуществлялась по разработанной программе. Для питания электронагревателя использовался стабилизированный источник Б5-47.

Провода питания нагревателя и термопары от теплопроводников 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.

Затем камера развакуумировалась и объект с диском остывали до исходного состояния. После охлаждения камера вновь вакуумировалась ($p = 0,03 \text{ атм}$) 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.

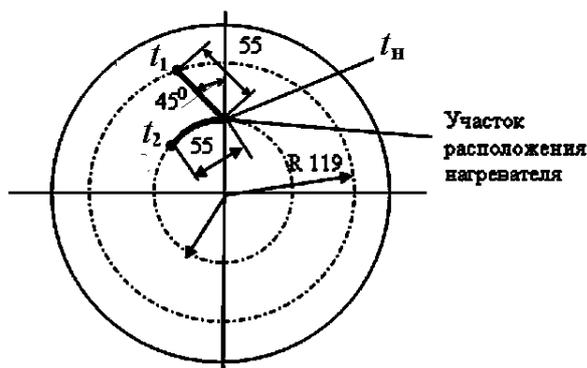


Рис. 2. Схема установки теплопроводника и электронагревателя на диске

Результаты исследований представлены на рис. 3÷6. На рис. 3 и 4 на оси абсцисс указано время нагрева τ , а на оси ординат справа нанесена температура

нагревателя t_n (рис. 5 и 6). Слева на оси ординат показана температура t_1 , t_2 (рис. 3 и 4) и скорость нагрева v_1 , v_2 (рис. 5 и 6) на концах первого и второго теплопроводника.

Температура нагревателя в течение 30 с достигала 200°C , после чего темп ее роста значительно снижался. На концах теплопроводников при $n = 0$ об/мин (базовый эксперимент) скорость нагрева до 60 с (до прихода основного фронта тепла от нагревателя) была весьма незначительной $\approx 0,01^\circ\text{C}/\text{с}$.

Затем скорость нагрева увеличилась до $0,020 \div 0,04^\circ\text{C}/\text{с}$ за 30 секунд и держалась довольно стабильно до 270 с, после чего скорость нагрева замедлилась.

На частоте вращения 2500 об/мин скорость нагрева теплопроводников значительно возросла. Скорость нагрева с 60 до 120 с увеличилась от $(0,020 \div 0,024)$ до $0,041 \div 0,057^\circ\text{C}/\text{с}$, т.е. скорость нагрева в среднем возросла, более, чем в 2 раза. На частоте вращения 5000 об/мин (при окружной скорости $\approx 50 \text{ м/с}$) скорость нагрева увеличилась до $0,064 \div 0,072^\circ\text{C}/\text{с}$ за 30 с, т.е. скорость нагрева по сравнению с базовыми условиями увеличилась в среднем в 3 раза.

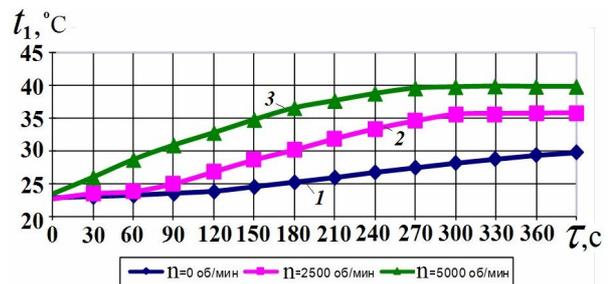


Рис. 3. Температура t_1 на конце первого теплопроводника в зависимости от времени τ нагрева при разных частотах вращения:

- 1 – 0 об/мин (0 м/с),
- 2 – 2500 об/мин (25 м/с),
- 3 – 5000 об/мин (50 м/с)

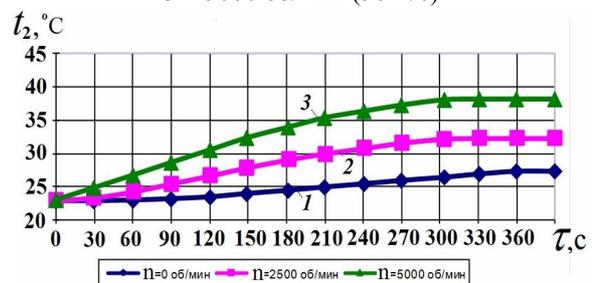


Рис. 4. Температура t_2 на конце второго теплопроводника в зависимости от времени τ нагрева при разных частотах вращения:

- 1 – 0 об/мин (0 м/с),
- 2 – 2500 об/мин (25 м/с),
- 3 – 5000 об/мин (50 м/с)

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

На основе данных о влиянии сжатия [3] вторая составляющая равна, примерно, 20 %, а остальная часть 200...280 % вероятно связана с влиянием ускорения. Отсюда следует, что в теплопередаче участвует некая масса (масса частиц - свободных электронов, парных электронов и др.) с учетом их концентрации. Влияние ее на теплопередачу весьма велико и указанный рост теплопроводности возможно связан с увеличением электронной проводимости в металле под воздействием ускорения.

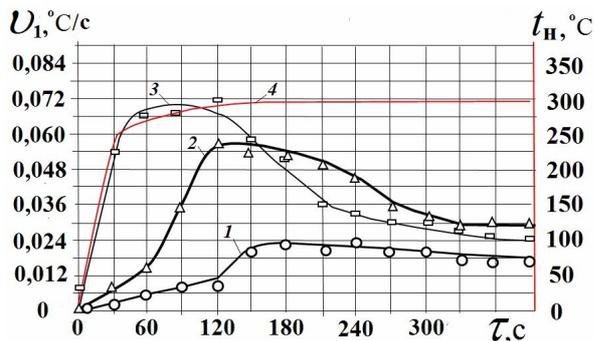


Рис. 5. Скорость нагрева U_1 на конце первого теплопроводника в зависимости от времени τ нагрева при разных частотах вращения:

- 1 – 0 об/мин (0 м/с),
- 2 – 2500 об/мин (25 м/с),
- 3 – 5000 об/мин (50 м/с),
- 4 – температура электронагревателя

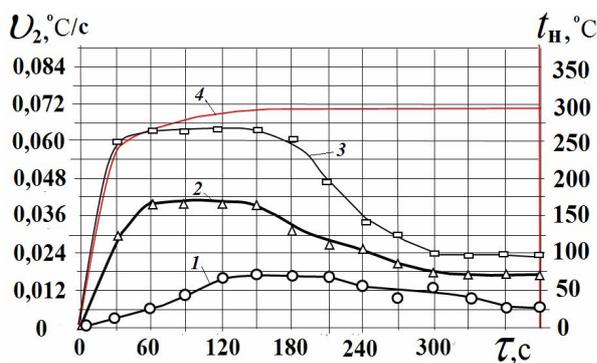


Рис. 6. Скорость нагрева U_2 на конце второго теплопроводника в зависимости от времени τ нагрева при разных частотах вращения:

- 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 основе анализа экспериментальных исследований автором разработана гипотеза образования электронных пар под действием инерционных сил (центробежных ускорений), которая позволяет объяснить повышение теплопроводности металлов не только в радиальном, но и в окружном направлении.

Заключение

Из анализа результатов экспериментальных исследований следует, что теплопроводность теплопроводников на частотах вращения 2500 и 5000 об/мин возрастает в 2 и 3 раза соответственно по сравнению со стационарным состоянием без вращения. Причем, в радиальном направлении теплопроводность возрастает больше, чем в окружном, т.е. на частотах вращения 2500 и 5000 об/мин соответственно на 40 и 25%.

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

Указанный рост теплопроводности существенно связан с увеличением электронной проводимости в металле за счет теплоносителей - свободных электронов, парных электронов при воздействии центробежных ускорений.

Литература

1. 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.

2. Лепешкин А.Р. Оценка целесообразности использования теплофизических свойств, полученных в стационарных условиях, при расчетах теплового состояния деталей в поле действия центробежных сил / А.Р. Лепешкин, Н.Г. Бычков // Применение ИПИ-технологий в производстве: Труды VII Всероссийской научно-практической конференции. 12-13 ноября 2009 г. – М.: МАТИ, 2009. – С. 59-61.

3. 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.

Поступила в редакцию 1.06.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., начальник отдела А.Н. Петухов, ФГУП “Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова”, Москва, Россия.

**ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОГО ЕФЕКТУ ТЕМПЕРАТУРОПРОВІДНОСТІ МАТЕРІАЛІВ
В ПОЛІ ДІЇ ВІДЦЕНТРОВИХ ПРИСКОРЕНЬ І СИЛ
НА РОЗГІННОМУ СТЕНДІ**

О.Р. Лепешкін, М.Г. Бичков

Запропонований метод дослідження нового ефекту температуропровідності і теплопровідності матеріалів в полі дії відцентрових прискорень і сил. Розроблений пристрій для визначення вказаних характеристик на розгінному стенді з використанням вакуумної камери в умовах відцентрових прискорень і сил [1]. Приведені результати досліджень нестационарного нагріву теплопровідників в полі дії відцентрових прискорень і сил. Теплопровідники встановлені на диску. З аналізу результатів експериментальних досліджень виходить, що температуропровідність теплопровідників зростає при підвищенні частоти обертання. По отриманих результатах представлені оцінки температуропровідності і теплопровідності теплопровідників.

Ключові слова: нагрів, диск, що обертається, температуропровідність, температура, відцентрові прискорення і сили.

**INVESTIGATION OF NEW EFFECT OF THERMAL CONDUCTIVITY OF MATERIALS
IN FIELD OF ACTION OF CENTRIFUGAL
ACCELERATION AND FORCES**

A.R. Lepeshkin, N.G. Bychkov

The method of investigation of new effect of thermal conductivity and heat conductivity materials is offered in a field of action of centrifugal accelerations and forces. The device is developed for definition of the specified characteristics on spin rig with use of the vacuum chamber in conditions of centrifugal accelerations and forces [1]. The results of investigations of non-stationary heating of heat conductors in a field of action of centrifugal accelerations and forces are resulted. The heat conductors have been established on a disk. The thermal conductivity grows at increase of frequency of rotation. It follows from the analysis of results of experimental researches. By the received results the estimations of thermal conductivity of heat conductors by the received results are presented.

Key words: heating, rotating disk, thermal conductivity, temperature, centrifugal accelerations and forces.

Лепешкин Александр Роальдович – д-р техн. наук, проф., начальник сектора ФГУП “Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова”, Москва, Россия, e-mail: lepeshkin@rtc.ciam.ru.

Бичков Николай Григорьевич – канд. техн. наук, начальник сектора ФГУП “Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова”, Москва, Россия, e-mail: lepeshkin@rtc.ciam.ru.