

УДК 536-539.4

А.Р. Лепешкин, Н.Г. Бычков, П.А. Ваганов

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова

ИССЛЕДОВАНИЕ УСКОРЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В МАТЕРИАЛАХ В ПОЛЕ ДЕЙСТВИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ УСКОРЕНИЙ И СИЛ

Предложена усовершенствованная методика исследования температуропроводности и теплопроводности материалов в поле действия центробежных ускорений и сил. Разработано устройство с 4 теплопроводниками для определения указанных характеристик на разном стенде с использованием вакуумной камеры в условиях центробежных ускорений и сил. Приведены результаты исследований нестационарного нагрева теплопроводников в поле действия центробежных ускорений и сил. Теплоизолированные теплопроводники были установлены на модельном диске. Из анализа результатов экспериментальных исследований следует, что температуропроводность теплопроводников возрастает при повышении частоты вращения, причем неодинаково в разных направлениях. При этом время передачи тепла по радиальному теплопроводнику существенно сокращается, т.е. наблюдается ускорение теплопередачи в поле действия центробежных ускорений и сил.

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

Введение

Принято считать, что действие центробежных сил и ускорений не вызывают изменения коэффициентов теплопроводности материала. Однако эксперименты, проведенные авторами, показывают, что происходит значительное изменение температуропроводности металлов в поле действия центробежных ускорений и сил.

Лопатки турбин работают при экстремальных центробежных ускорениях свыше 10000 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. Кроме ускорений на роторные детали действует растягивающая центробежная сила, которая также влияет на температуропроводность материалов.

Первые исследования температуропроводности материалов в данных условиях приведены в [1-3]. Исследования температуропроводности материалов при растяжении ранее не проводились.

Влияние сжимающих сил на теплопроводность материалов и металлов ранее исследовалось сотрудниками института физики Даг. НЦ РАН. Из этих исследований следует, что при повышении давления до 250...350 МПа теплопроводность металлов повышалась на 15...20% [4].

В [5, 6] приводятся сведения по электронному явлению в металлах, которое опытным путем установили русские ученые Л.И. Мандельштам и

Н.Д. Папалекси в 1913 г. В их опыте при вращении катушки на концах провода возникала переменная разность потенциалов, и, подключенный к концам провода телефон издавал звук. Этот опыт в 1916 г. был усовершенствован американским ученым Ч. Толменом. Катушка в его опыте приводилась в быстрое вращение и затем резко тормозилась. При этом с помощью баллистического гальванометра регистрировался импульс тока неэлектрического происхождения, связанный с инерционным движением свободных зарядов (электронов, имеющих массу) в тонком медном проводе на катушке. Таким образом, электроны и возможно другие частицы продолжают свое движение при резком торможении проводника. В данных опытах также подтверждается, что ускорения оказывают влияние на электронные явления в металлах, в частности, при торможении. Однако из указанных опытов не было сделано выводов и предположений о возможности появления электронного явления на других режимах вращения и его влиянии на тепловые процессы в коротких проводниках и во вращающихся деталях.

Методика и результаты исследований

В данной работе проведены комплексные экспериментальные исследования (состоящие из 3 этапов) явления температуропроводности металлов в поле действия центробежных растягивающих сил и ускорений при испытаниях на разном стенде с использованием разработанного

запатентованного метода исследований и на специальной установке с осевым нагружением (первый этап исследований).

В исследованиях предусматривалось закрепление на полотне модельного диска двух или более теплоизолированных проводников различных материалов: из никелевого сплава (на втором этапе исследований) и из копелевого провода (на третьем этапе исследований) с электронагревателем.

Методика исследований в данной работе предусматривала закрепление на полотне модельного диска 4 теплоизолированных проводников диаметром 0,5 мм из хромелевого термопарного провода, в средней части которого размещался нагреватель (рис. 1). Первый теплопроводник был размещен в радиальном направлении от нагревателя к ободу, второй теплопроводник в радиальном направлении к центру, третий теплопроводник в окружном направлении, четвертый теплопроводник в противоположном окружном направлении. Первые три теплопроводника теплоизолированы, а четвертый голый теплопроводник (на его конце термопара ТП4) не теплоизолирован и закреплен в трех керамических втулках на диске. В центральном месте соединения четырех теплопроводников расположен электронагреватель и термопара ТП5. На концах теплопроводников приваривались термопары ТП1, ТП2, ТП3 и ТП4.

На выходе из нагревателя к теплопроводникам приваривалась термопара ТП5. После теплоизоляции подготовленного объекта он закреплялся на полотне диска фольгой, привариваемой точечной сваркой. Провода питания электронагревателя и термопары присоединялись к токосъемнику. Модельный диск с 4 теплопроводниками (рис. 2) и электронагревателем устанавливался внутри вакуумной камеры разгонного стенда (рис. 3). На рис. 4 показана вакуумная камера, на крышке которой установлен ртутный токосъемник с проводами, разгонного стенда перед началом проведения экспериментальных исследований.

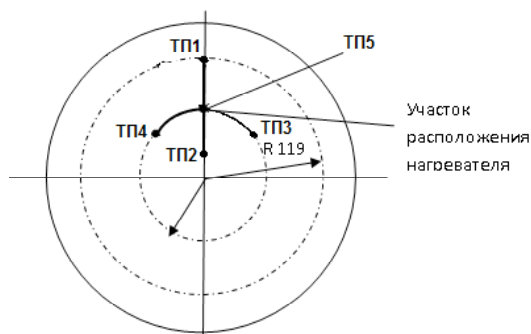


Рис. 1. Расположение 4-х теплопроводников на модельном диске

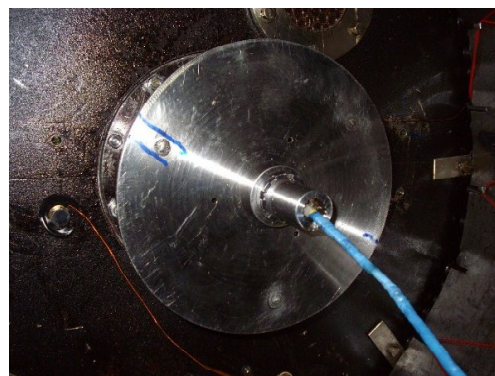


Рис. 2. Модельный диск с теплопроводниками и термопарами, установленный в вакуумной камере разгонного стенда

Для исследования передачи тепла по теплопроводникам проводились измерения температур с помощью термопар, устанавливаемых на концах теплопроводников и вблизи электронагревателя. Экспериментальные исследования температуропроводности выполнялись на разных частотах вращения, которые соответствовали разным центробежным ускорениям и силам и сравнивались с базовыми данными в стационарных условиях без вращения.

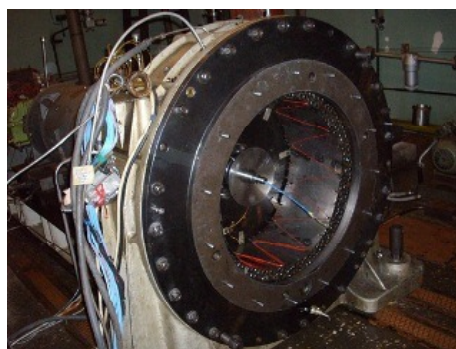


Рис. 3. Разгонный стенд с диском, установленным в вакуумной камере

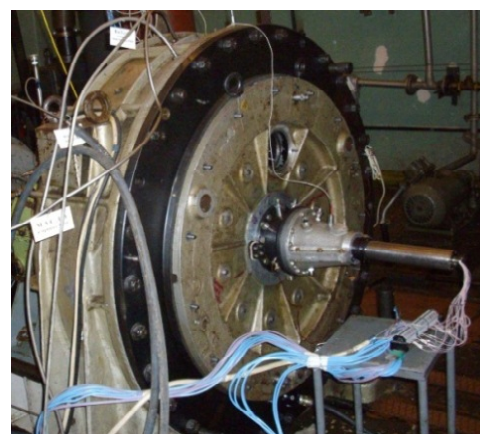


Рис. 4. Разгонный стенд перед началом проведения экспериментальных исследований

Результаты экспериментальных исследований динамики изменения температур на концах проводников из никелевого сплава приведены на рис. 5 при максимальной температуре 300 °С нагревателя.

Выявлено значительное возрастание теплопроводности никелевого сплава с ростом ускорений от 0 до 2500 g (рис. 5).

Время движения теплового потока от нагревателя к концу хромоникелевого теплопроводника при этом сократилось, примерно, в 9 раз (от 52 до 5,7 с) для окружной скорости $v_{окр} = 25$ м/с (2500 g) (рис. 1) и в ~ 20 раз (от 120 до 6 с) при $v_{окр} = 50$ м/с (5000 g) для копелевого проводника. Таким образом, наблюдается значительное ускорение теплопередачи в теплопроводниках в начале нагрева в поле действия центробежных ускорений и сил.

Отсюда следует, что в теплопередаче участвует дополнительный быстрый теплоноситель, образующийся при действии ускорений (возможно куперовские пары электронов, обладающие высокой плотностью). Их концентрация увеличивается с ростом ускорения. Материал теплопроводника также влияет на теплопроводность.

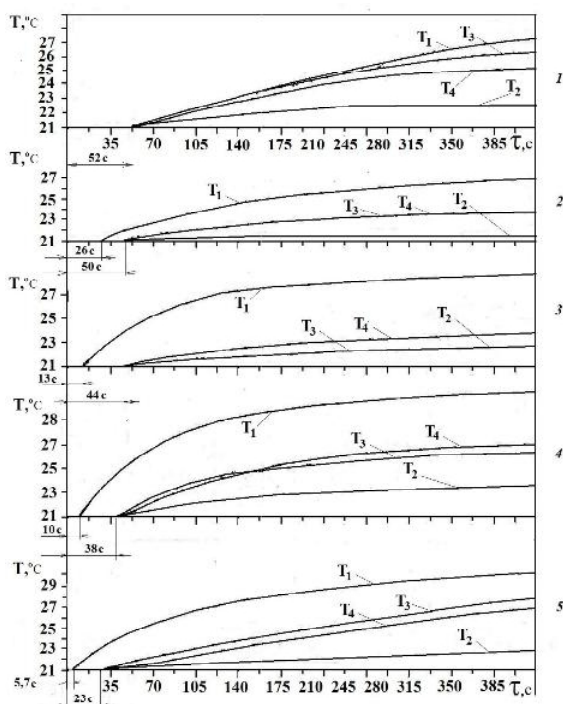


Рис. 5. Динамика изменения температуры на концах 4-х теплопроводников, размещенных в радиальном и окружном направлениях от электронагревателя при разных частотах вращения:
 1 - 0 об/мин, 2 - 15 об/мин, 3 - 100 об/мин,
 4 - 1500 об/мин, 5 - 2500 об/мин

На основе исследований проведен анализ скоростей нагрева и времени передачи тепла по теплопроводникам, расположенным в радиальном и окружном направлениях. Из анализа результатов экспериментальных исследований следует, что теплопроводность теплопроводников на частотах вращения 2500 и 5000 об/мин (50 м/с) возрастает в 2 и 3 раза соответственно по сравнению со стационарным состоянием без вращения. Причем, в радиальном направлении теплопроводность возрастает больше, чем в окружном. В наблюдаемом явлении присутствуют две составляющие: от действия центробежного ускорения и растягивающей центробежной нагрузки. На основе полученных данных о влиянии растяжения вторая составляющая равна, примерно, 10%, а остальная часть 290% связана с влиянием центробежного ускорения. Таким образом, указанный рост теплопроводности связан с увеличением электронной проводимости в металле под воздействием ускорения.

Заключение

В проведенных исследованиях использовалась усовершенствованная методика оценки теплопроводности и теплопроводности материалов в поле действия центробежных ускорений и сил. Разработано устройство с 4-мя теплопроводниками для определения указанных характеристик на разгонном стенде с использованием вакуумной камеры в условиях центробежных ускорений и сил. Приведены результаты исследований нестационарного нагрева теплопроводников в поле действия центробежных ускорений и сил. Из анализа результатов экспериментальных исследований и скоростей нагрева следует, что теплопроводность теплопроводников возрастает при повышении частоты вращения, причем неодинаково в разных направлениях. При этом время передачи тепла по радиальному теплопроводнику (по сравнению с другими теплопроводниками, расположенными по другим направлениям) существенно сокращается, т.е. наблюдается значительное ускорение теплопередачи в теплопроводниках в поле действия центробежных ускорений и сил. Из анализа результатов экспериментальных исследований следует, что теплопроводность теплопроводников возрастает в 2 и 3 раза при увеличении частоты вращения по сравнению со стационарным состоянием без вращения.

В исследуемом явлении теплопроводности присутствуют две составляющие: от действия центробежного ускорения и растягивающей центробежной нагрузки. На основе полученных экспериментальных данных о влиянии растяжения вторая составляющая составляет 10%. Таким образом, указанный рост теплопроводности

водности существенно связан с увеличением электронной проводимости в металле за счет теплоносителей (имеющих массу) - свободных электронов, парных электронов при воздействии центробежных ускорений. Полученные результаты имеют важное практическое значение для оценки теплового состояния вращающихся деталей авиационных двигателей и других турбомашин.

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. Исследование нового эффекта температуропроводности материалов в поле действия центробежных ускорений и сил на разгонном стенде [Текст]/ А.Р. Лепешкин, Н.Г. Бычков // Авиационно-космическая техника и технология.-2011. – Вып. 8/85. – С. 20-23.
3. Лепешкин А.Р. Оценка целесообразности использования теплофизических свойств, полученных в стационарных условиях, при расчетах теплового состояния деталей в поле действия центробежных сил [Текст]/ А.Р. Лепешкин, Н.Г. Бычков // Применение ИПИ-технологий в производстве: Тр. VII Всерос. научн.-практич. конф. 12-13 ноября 2009 г. – М.: МАТИ. – 2009. – С. 59–61.
4. Эмиров С.Н. Влияние давления и температуры на теплопроводность моно- и поликристаллических образцов антимонида галлия [Текст]/ С.Н. Эмиров, Н. М.Булаева, Э.Н. Рамазанова // Тез. докладов XII Российской конф. по теплофизическим свойствам веществ. – М.: Наука. – 2008. – С. 306.
5. Гинзбург В.Л. Памяти А.А. Андропова [Текст]/ В.Л. Гинзбург. - М.: Изд-во АН СССР. – 1955-622 с.
6. Карякин, Н.И. Краткий справочник по физике [Текст] / Н.И. Карякин, К.Н. Быстров, П.С. Киреев // Изд. 3-е. М.: Высшая школа. - 1969. – С. 198-199.

Поступила в редакцию 01.06.2012

A.R. Lepeshkin. Investigation of heat transfer acceleration in materials in field of action of centrifugal acceleration and forces

The improved method for investigation of thermal conductivity and heat conductivity of materials in the field of centrifugal accelerations and forces is offered. The device with 4 heat conductors for the determination of these characteristics on the spin rig with the use of a vacuum chamber in field of a centrifugal accelerations and forces is developed. The results of investigations of unsteady heat of the heat conductors in a field of a centrifugal accelerations and forces are presented. The insulated heat conductors were installed at the model disc. From the analysis of experimental results it follows that the thermal heat conductor increases with increasing of frequency of rotation and varies in different directions. At the same time, the heat transfer time along the radial heat conductor is significantly reduced, i.e. the heat transfer acceleration is observed in the field of centrifugal accelerations and forces.

Keywords: heating, acceleration of heat transfer, rotating disk, thermal conductivity, temperature, centrifugal accelerations and forces.