

УДК 621.438

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОЗИТНОЙ СОПЛОВОЙ ЛОПАТКИ МЕТОДОМ 3D ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

© 2016 Б.Е. Байгалиев¹, А.Г. Тумаков², Е.А. Тумаков¹, А.В. Черноглазова¹

¹Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ

²Волгодонский филиал ЗАО Инжиниринговая компания «АЭМ-технологии»

Статья поступила в редакцию 21.10.2016

В работе рассмотрено изготовление модели композитной сопловой лопатки методом 3D прототипирования. Для изготовления реальной лопатки необходимо отработать технологию и методику ее изготовления на моделях. В качестве моделей представлена вся композитная лопатка, арматура лопатки из металла и теплозащита. На первом этапе модели изготавливали из полимерных материалов. Изготовление этих моделей позволило осуществить отладку математического обеспечения процесса изготовления реальных лопаток и их работы в ГТД. Было выявлено, что предложенная конструкция охлаждаемой лопатки позволяет реализовать рабочую температуру набегающего потока 2300К. Для возможности работы при высоких температурах продуктов сгорания используются различные методы охлаждения сопловых лопаток. Широко используется заградительное воздушное охлаждение, которое осуществляется вдувом относительно холодного воздуха на наружную поверхность профиля лопатки через проницаемый (пористый) материал. При «пористом охлаждении» струи охладителя на выходе из пор сливаются и образуют пограничный слой, существенно уменьшая тем самым конвективный теплообмен между газом и поверхностью профиля. *Ключевые слова:* газотурбинный двигатель (ГТД), сопловая лопатка, пограничный слой, пористое охлаждение.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в ракетно-космической отрасли для изготовления лопаток ГТД применяют методы 3D прототипирования. Изготовление изделий методами 3D прототипирования осуществляется одним экструдером, при этом рабочим материалом является металлический порошок одного вида. Лопатки могут изготавливаться из нержавеющей стали, титана, вольфрама. Структура лопаток представляет собой проницаемый спеченный порошок.

При изготовлении композитных лопаток, состоящих из металлического каркаса и теплозащитного покрытия возникают технологические проблемы. Суть этих проблем заключается в том, что мы должны использовать два материала с различными теплофизическими свойствами. В нашем случае температура спекания армирующих элементов из порошков высоколегирован-

ных сталей отличается от температуры спекания оксида циркония, используемого в качестве теплозащиты.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Были изготовлены модели элементов сопловой композитной лопатки. Одним из элементов является арматура каркаса, состоящая из металла, другим элементом является теплозащитное покрытие, предохраняющее эту арматуру от высокотемпературных потоков продуктов сгорания. На данном этапе модели изготавливались из полимерных материалов, что позволило осуществить отладку математического обеспечения процесса изготовления реальных лопаток и их работы в ГТД.

Математическое обеспечение работы включало в себя определение температурного состояния металлической арматуры и поверхности композитных сопловых лопаток из оксида циркония, определения давления во всех элементах данной лопатки и распределение векторов скоростей продуктов сгорания и охлаждающего воздуха [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате расчетов было выявлено, что предложенная конструкция охлаждаемой лопатки позволяет реализовать рабочую полную температуру наружной поверхности лопатки не менее 1800К при полной температуре набегающего потока 2300К и максимальной температуре армирующих элементов не более 650К. Ввиду

Байгалиев Борис Ергазович, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения. E-mail: baigaliev@rambler.ru

Тумаков Алексей Григорьевич, кандидат технических наук, ведущий инженер по расчетам Отдела главного конструктора. E-mail: tumakov_ag@atomtmash.ru.

Тумаков Евгений Алексеевич, аспирант кафедры теплотехники и энергетического машиностроения. E-mail: tumakov_ag@atomtmash.ru.

Черноглазова Алевтина Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения, сварки и производственной безопасности.

E-mail: alevtinac@mail.ru

того, что армирующие элементы коэффициент теплопроводности значительно больше, чем оксид циркония, температурное состояние лопатки остается равномерным и постоянным. Кроме того, вследствие повышения стойкости к разрушению при циклических температурных нагрузках за счет обеспечения равномерного поля температур в теле лопатки (перепад температур имеет место в толщине порядка 1,5 мм) повышается ресурс лопатки.

Для возможности работы при высоких температурах продуктов сгорания используются различные методы охлаждения сопловых лопаток. Для предотвращения повышения температуры в охлаждаемых лопатках высокотемпературных газовых турбин широко используется заградительное воздушное охлаждение, которое осуществляется вдувом относительно холодного воздуха на наружную поверхность профиля лопатки через

проницаемый (пористый) материал [2]. Сущность «пористого охлаждения» заключается в том, струи охладителя на выходе из пор сливаются и образуют пограничный слой, существенно уменьшая тем самым конвективный теплообмен между газом и поверхностью профиля (рис. 2).

При изготовлении реальных лопаток большое значение имеет изготовление моделей лопаток. Композитная лопатка состоит из двух компонентов (рис. 3). Поэтому возникает необходимость обеспечить экструдирование и спекание сразу двух компонентов: металлического и керамического порошков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод 3D прототипирования для создания сопловой композитной лопатки. Предложенная конструкция охлаждаемой лопатки по-

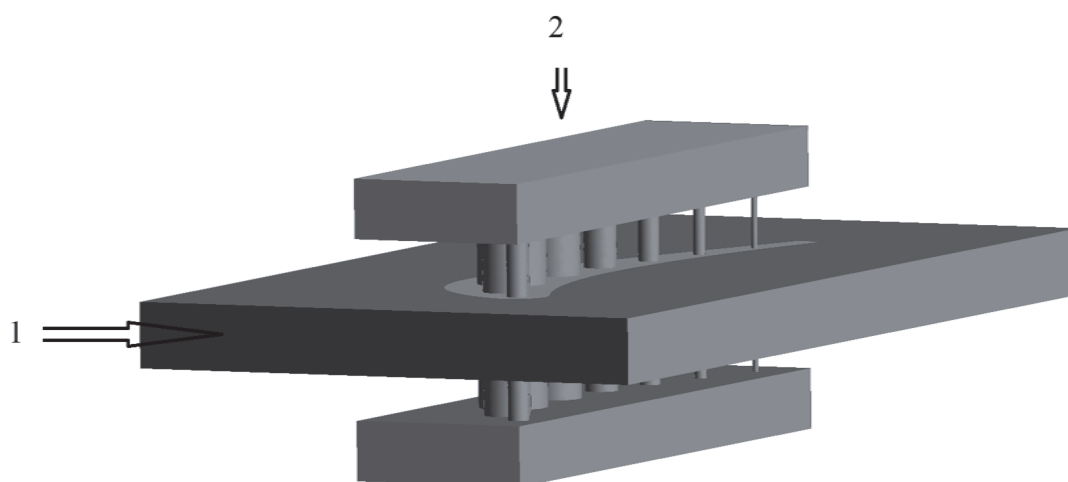


Рис. 1. Общий вид расчетной модели:
1 – вход набегающего потока; 2 – вход охлаждающего воздуха

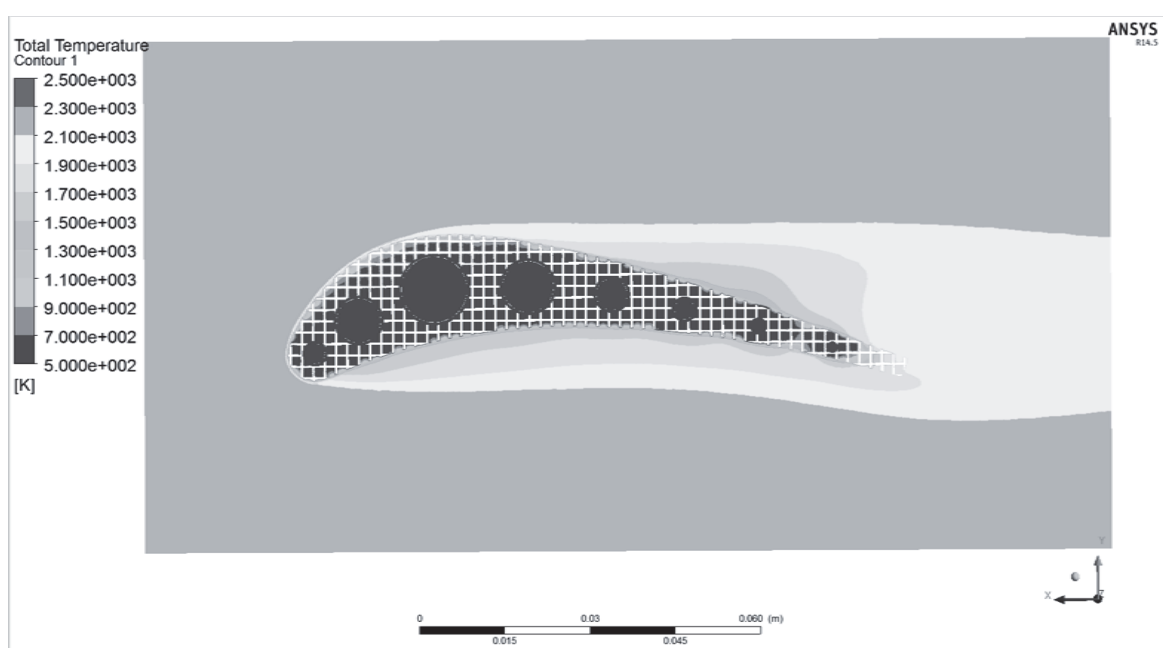


Рис. 2. Полная температура в средней плоскости набегающего потока и охлаждающего воздуха

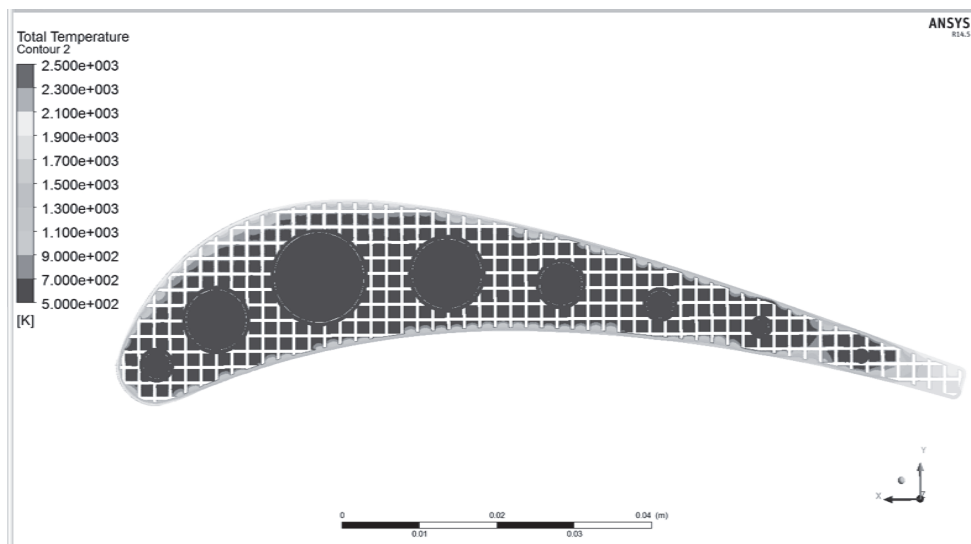


Рис. 3. Композитная лопатка состоит из двух компонентов: металлического и керамического порошков

звояет реализовать рабочую полную температуру наружной поверхности лопатки не менее 1800K при полной температуре набегающего потока 2300K. Ввиду того, что коэффициент теплопроводности армирующих элементов значительно больше, чем у оксида циркония, температурное состояние лопатки остается равномерным и постоянным. Повышается стойкость к разрушению при циклических температурных нагрузениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байгалиев Б.Е., Тумаков А.Г., Кравцов А.В. Охлаждаемая лопатка. Пат. 2502875 (РФ). 2013.
2. Байгалиев Б.Е. Температурное состояние пористой пластины с учётом вязкостной диссипации // Пятая Российская национальная конференция по теплообмену (РНКТ – 5). М.: Изд-во МГЭУ. 2010. Т. 7. С. 45-48.

DESIGNING OF THE COMPOSITE NOZZLE BLADE BY THE 3D PROTOTYPING

© 2016 B.E. Baygaliev¹, A.G. Tumakov², E.A. Tumakov¹, A.V. Chernoglazova¹

¹Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev

²Volgodonsk Branch Office of JSC Engineering Company “AEM-Technology”

The paper describes the manufacture of the composite nozzle blade model by the 3D-prototyping method. To produce the real blades the technology and methods need to be developed using their models. As a model the whole reinforced composite blade including the thermal protection was presented. In the first stage the models were produced from the polymeric materials. The production of these models has allowed carrying out the adjustment of the mathematical program for the manufacturing process of the real blades and their work in the gas-turbine engine. It was found that the proposed design of the cooled blades allows the operating at the temperature of the oncoming flow of 2300K. To be able to work at high temperatures of the combustion products a variety of methods for the cooling of the nozzle blades are in use. Widely used is the protective air cooling by blowing of cold air on the outer surface of the profile of the blade through the permeable (porous) material. In case of “porous cooling” the streams of the cooler at the outlet of the pores merge and form a boundary layer, thereby significantly reducing convective heat transfer between the gas and the surface of blade.

Keywords: gas-turbine engine, the nozzle blade, a boundary layer, porous cooling.

Boris Baigaliev, Doctor of Technics, Professor at the Thermal Engineering and Energy Engineering Department.

E-mail: baigaliev@rambler.ru

Alexey Tumakov, Candidate of Technics, Leading Engineer for the Calculations of the Main Designer Department.

E-mail: tumakov_ag@atomash.ru.

Eugene Tumakov, Graduate Student of Thermal Engineering and Energy Engineering Department.

E-mail: tumakov_ag@atomash.ru

Alevtina Chernoglazova, Candidate of Technics, Associate Professor at the Materials Science, Welding and Industrial Safety Department. E-mail: alevtinac@mail.ru