

**Исследование течения и испарения пленок диоксида кремния при прогреве и разрушении композиционных материалов в высокотемпературных окислительных средах**

А. И. Турутько

Московский физико-технический институт (государственный университет)

ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»

В настоящее время перспективным направлением в ракетостроении является использование композиционных материалов на основе углерода для изготовления сопловых насадков в ЖРД и РДТТ. Один из способов повышения стойкости композиционных материалов является введение в них карбида кремния в виде теплозащитного покрытия. В данной работе рассматривается пассивный режим разрушения карбида кремния, то есть когда на поверхности материала образуется пленка диоксида кремния. Наличие такого слоя хорошо повышает стойкость композиционных материалов, при этом важно точно рассчитать скорость уменьшения толщины такого покрытия, для того что бы его хватило на всё время работы.

Вопросу течения и испарения посвящены работы [1], [2], [3], рассматривающие задачу внешнего обтекания летательного аппарата. Однако в этих работах было сделано ряд допущений, неприемлемых для данной работы. Так, в этих работах принимается линейной зависимость градиента давления и силы аэродинамического трения от координаты, и используется зависимость вязкости от температуры, позволяющие получить аналитическое решение, однако не позволяющие проводить расчет течения пленки для других материалов.

Цель работы – определить скорость унос материала с поверхности пленки диоксида кремния, образующейся в результате разрушения покрытия на основе карбида кремния, с учетом прогрева материала, оценить количество унесенного материала.

Решение этой задачи разбивается на несколько частей. Во-первых, решается тепловая задача нагревания модели (сопла или пластины), которая описывается уравнением теплопроводности с учетом течения расплава и граничными условиями. Во-вторых, ищется скорость течения пленки диоксида кремния, которая описывается уравнениями сохранения массы, энергии и импульса. В-третьих, решается задача нахождения скорости испарения вещества с поверхности пленки, описываемая уравнениями баланса масс с учетом химических и физических превращений вещества. Эти задачи решаются с использованием численных методов, таких как метод Рунге-Кутты и метод прогонки. Полученные результаты

тестируются путем сравнения с аналитическими решениями, известными для конкретных частных случаев[1], и так же с результатами расчета программ других авторов.

#### Литература

1. *Полежаев Ю.В., Юревич Ф.Б.* Тепловая защита. - М., «Энергия», 1976 – С. 187-236.
2. *Горский В.В., Гордеев А.Н., Дудкина Т.И.* Аэротермохимическая деструкция карбида кремния, омываемого высокотемпературным потоком воздуха // В кн.: Теплофизика высоких температур, 2012 – том 50, №5, с. 692-699.
3. *Горский В.В., Полежаев Ю.В.* О некоторых особенностях, связанных с течением пленки расплава // В кн.: Теплофизика высоких температур, 1966 – том 4, №2, с. 218-227.