

УДК 533.6.011

Влияния несимметричного обтекания на процесс обгара кромки крыла из углерод-углеродного композитного материала при высокоскоростном полете с заданным углом атаки

Бродский Марк Юрьевич

vprk@vprk.npomash.ru

АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия

***Аннотация.** Целью исследования является анализ эволюции геометрии теплонагруженного элемента конструкции, имеющего первоначально форму притупленного клина, выполненного из углерод-углеродного композитного материала (УУКМ), длительное время подвергающегося обгару на участке полета летательного аппарата (ЛА) с постоянными значениями высоты, скорости и угла атаки.*

***Ключевые слова:** углерод-углерод, композит, УУКМ, обгар, обтекание, ЛА, угол атаки*

Введение. Одной из проблем, решаемых при проектировании летательных аппаратов, которые могут осуществлять длительный высокоскоростной полет в плотных слоях атмосферы Земли, является интенсивный аэродинамический нагрев элементов их конструкции. По мере того, как с увеличением скорости полета возрастает энтальпия торможения набегающего потока, материалы конструкции ЛА подвергаются все более интенсивному воздействию тепловых потоков, вследствие чего происходит их абляция. Процесс абляции в течение полета видоизменяет геометрию ЛА, определяя в каждый момент времени его текущую обгарную форму [1].

Методы и материалы; результаты. Известно, что скорость абляции материала в различных точках поверхности ЛА не одинакова и зависит от местных величин давления и интенсивности тепловых потоков, определяемых процессом обтекания. Решающее влияние на теплообмен на поверхности ЛА оказывают процессы, происходящие в относительно тонком пограничном слое. Переход ламинарного погранслоя в турбулентный приводит к значительному возрастанию интенсивности подвода тепла к поверхности аппарата [2], следствием чего становится более интенсивная газификация материала. При этом, независимо от метода расчета конвективного теплообмена в пограничном слое, для его проведения необходимо знать распределение давления и скорости газа на поверхности тела.

Также не вызывает сомнений, что распределение давления по поверхности ЛА зависит от его угла атаки. Ненулевые углы атаки или скольжения приводят к появлению в процессе расчета абляции сложных, не симметричных обгарных форм. Точное моделирование обтекания в таких условиях сопряжено с рядом сложностей [3, 4].

Заключение. Выполненное исследование приводит к необходимости решения комплексной сопряженной задачи обтекания, нагрева и обгара элемента

конструкции из УУКМ [5]. Для решения подобных задач могут быть использованы инженерные методики, основанные на использовании приближенных подходов, подробно проанализированные, в частности, в работах [6, 7].

Список источников

- [1] Горский В.В., Реш В.Г. Исследование аэротермохимического разрушения углеродного материала в струе продуктов сгорания ЖРД. *XXXXIV Симпозиум по механике и процессам управления, посв. 90-летию академика В.П. Макеева: матер.* Москва, РАН, 2014, т. 1, с. 97–108.
- [2] Горский В.В., Саввина А.Г. Конвективный теплообмен и трение в тонком ламинарно-турбулентном пограничном слое на непроницаемой боковой поверхности затупленных конусов малого удлинения. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2021, № 3 (138), с. 25–37.
- [3] Valio-Laurin R. Laminar Heat Transfer on three-dimensional blunt nosed Bodies in hypersonic Flow. *ARS Journal*, 1959, vol. 29, no. 2, pp. 123–129.
- [4] Алифонов О.М., Ненарокомов А.В. Трехмерная граничная обратная задача теплопроводности. *Теплофизика высоких температур*, 1999, т. 37, № 2, с. 231–238.
- [5] Горский В.В., Ватолина Е.Г., Братчев А.В. *Математическое моделирование тепловых и газодинамических процессов при проектировании летательных аппаратов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, 212 с.
- [6] Лунев В.В. *Течение реальных газов с большими скоростями*. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2007, 760 с.
- [7] Горский В.В., Бродский М.Ю. Алгоритм газодинамического расчета на асимметричных конусах методом локальных клиньев и конусов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2023, № 1 (144), с. 22–37.
- [8] Авдудевский В.С. Приближенный метод расчета трехмерного пограничного слоя на линии растекания. *Изв. АН СССР. ОН. Механика и машиностроение*, 1962, № 2, с. 11–16.
- [9] Горский В.В., Ватолина Е.Г. Аппроксимационные формулы для расчета энтальпии равновесного воздуха в широком диапазоне изменения температур и давлений. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2022, № 2, с. 76–83.