

Расчетная модель поверхностного разрушения углеродных композиционных материалов

Д.Ю. Прасолов¹

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

С середины 1970-х годов стали применять углеродные композиционные материалы (УКМ) для различных изделий ракетно-космической техники. Это связано с уникальным сочетанием низкой плотности ТФХ и ФМХ УКМ, которые не деградируют в механическом смысле вплоть до температур порядка 3000К. Но при высоких температурах УКМ подвержены термохимическому разрушению, скорость которого определяется рядом физических и химических процессов:

- Окислением кислородсодержащими компонентами (O_2 , H_2O , CO_2), проявляющемся при температурах, больших 800К;
- Химическим взаимодействием с другими газовыми компонентами воздуха и продуктов сгорания, не содержащими кислорода (N_2 , H_2), при температуре, большей 2800К;
- Сублимацией при температуре, большей 3300К;
- Механическим, химическим и термическим напряжениями в микроструктуре УКМ;
- Эрозией.

В дальнейшем ограничимся первым пунктом, как наиболее важным и определяющим во многих практических случаях скорость разрушения материалов при высоких уровнях тепловых нагрузок.

В то же время в большинстве теоретических работ УУКМ не рассматривается как совокупность материалов с различными термохимическими свойствами. Обычно принимается, что углеродистый материал содержит в себе до 100% углерода, который может вступать в химические реакции с такими газовыми компонентами, как O_2 , H_2O , CO_2 , и скорости этих реакций описываются законом Аррениуса. Во многом такой подход справедлив в тех случаях, когда речь идет о графитах, являющихся пусть и поликристаллическими, но достаточно однородными с малой анизотропией свойств.

В случае УКМ такой подход не совсем верен, поскольку на масштабе структурного элемента одновременно могут присутствовать самые разнообразные формы углерода, имеющие реакционные способности, отличающиеся в кратности и даже на порядок.

Различие в скорости уноса массы отдельных элементов УКМ будет приводить к формированию неровностей или шероховатости поверхности, масштабы которой должны быть сопоставимы с масштабом структурных элементов, что подтверждается многочисленными экспериментальными данными.[1]

Шероховатость поверхности, в свою очередь, приводит к интенсификации теплообмена и, следовательно, росту скорости уноса массы УУКМ.

В данной работе проводилось численное моделирование взаимодействия высокотемпературного потока продуктов сгорания РДТТ и неоднородной поверхности УУКМ, состоящей из углеволокна в качестве каркаса и пироуглерода в качестве матрицы. Моделирование было произведено посредством пакета MATLAB. В качестве основной была принята «Модель Бояринцева – Звягина»[2].

Физическая модель наглядно продемонстрирована на рисунке 1. Продукты сгорания РДТТ диффундируют через пограничный слой к поверхности РДТТ, где реагируют с материалом стенки. Продукты реакции, в свою очередь, диффундируют в обратную сторону.

Предложенная модель обладает значительным числом недостатков и упущений, что позволяет говорить о ней лишь как о приближенной расчетной модели.

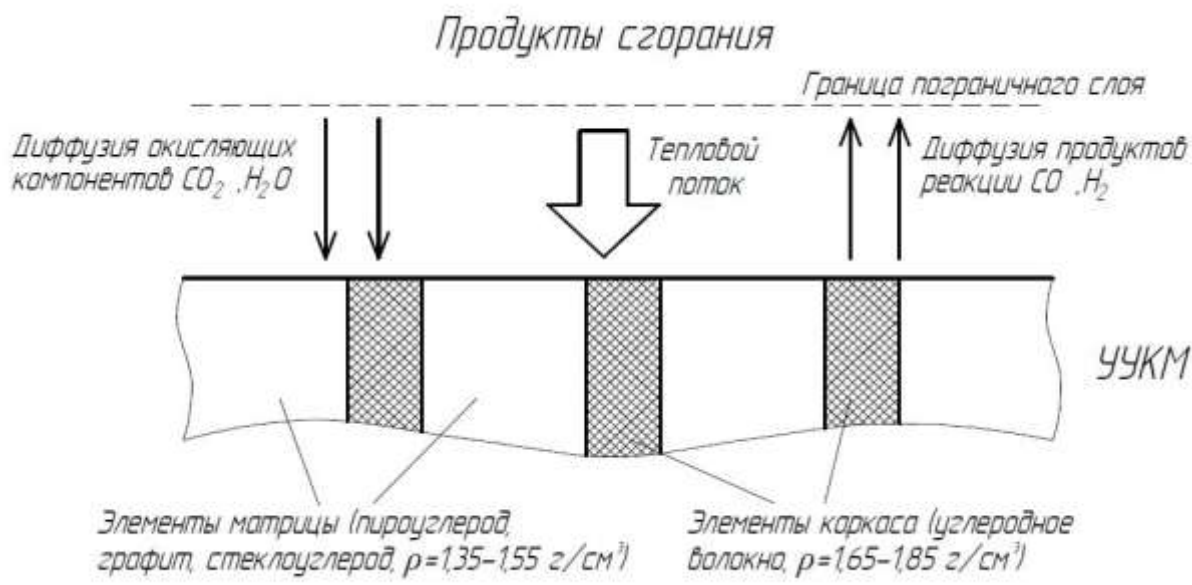


Рис.1

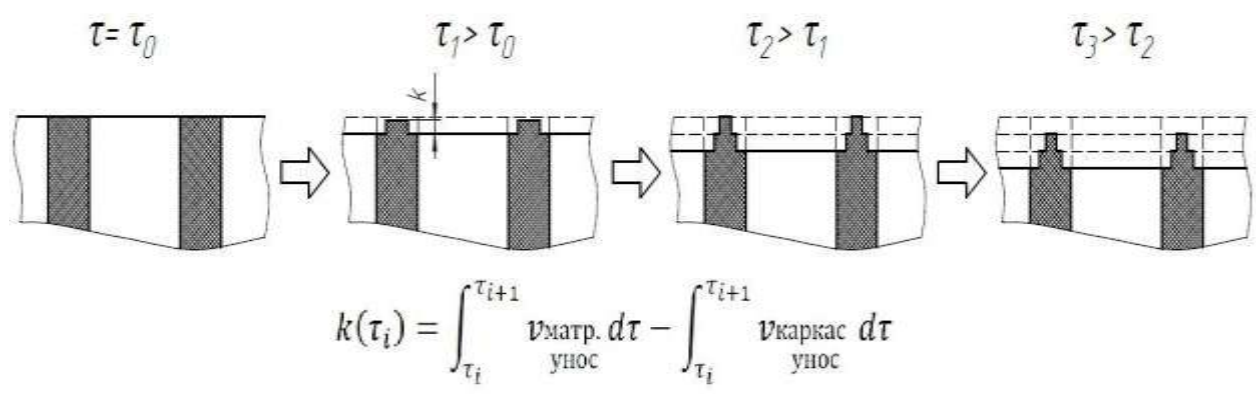


Рис.2 Структура шероховатости в зависимости от времени.

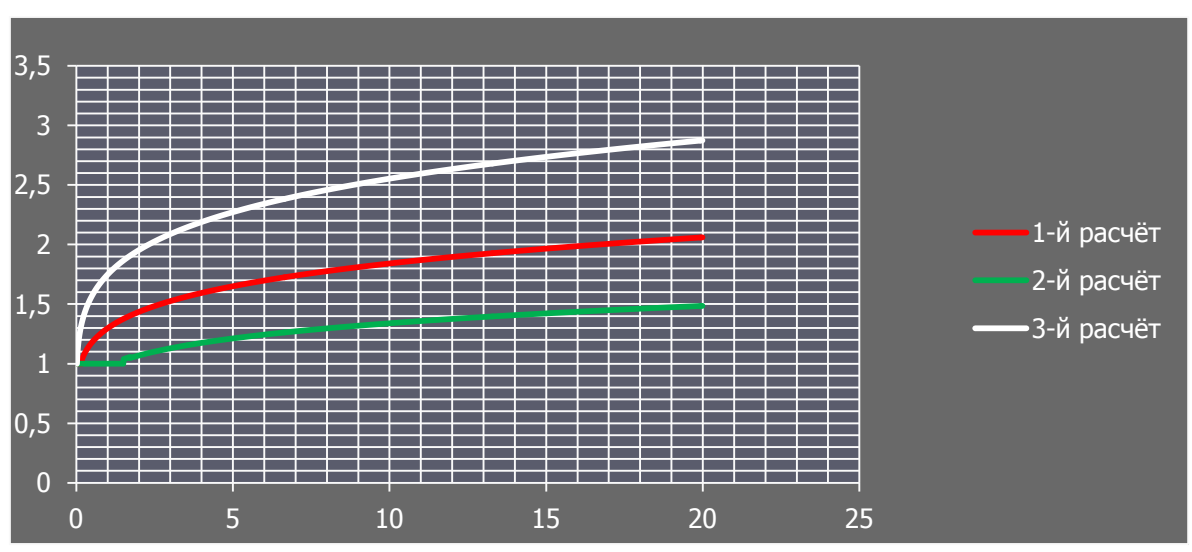


Рис. 3. Зависимость интенсивности коэффициента теплоотдачи от времени

В качестве расчетного метода был использован явный метод Эйлера.

Основные параметры системы описываются следующим образом:

Давление потока равно 4000000Па, скорость потока 300м/с и направлена горизонтально, температура стенки принимает значения 1700К, 2100К и 2500К; температура набегающего потока – 2000К, 2500К и 3000К соответственно;

Поверхность УУКМ представляет собой упорядоченный набор цилиндров радиусом 0.0001м, расстояние между соседними цилиндрами 0.0005м.

Необходимо определить зависимость интенсивности теплообмена между потоком и поверхностью УУКМ и скорость уноса массы материала.

Построена приближенная модель уноса массы УУКМ с учетом различия термодимических свойств каркаса и матрицы и влияния шероховатости на интенсификацию теплообмена;

Выполненные расчетные оценки показали, что проявление шероховатости поверхности УУКМ может приводить с течением времени к интенсификации теплообмена на 60-100%, при этом массовая скорость уноса каркаса материала изменяется в существенно меньшей степени и составляет 20-40%.

Литература:

1. *Г. Шлихтинг*. Теория пограничного слоя. – Издательство «Наука», 1974.
2. *В.И. Бояринцев, Ю.В. Звягин*. Исследование разрушения углеродистых материалов при высоких температурах // Теплофизика высоких температур – 1975, Том 13, №5 – С.1045-1051