Измерение скорости плазменного разрушения термостойких материалов

Кавыршин Д.И., Чиннов В.Ф., Саргсян М.А., Гаджиев М.Х., Хромов М.А.

Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва, Россия

С использованием средств спектральной диагностики и скоростной визуализации выполнено исследование пространственно-временных изменений температур (электронной, колебательной и вращательной) и скорости убыли материала в области разрушающего воздействия азотной плазменной струи на поверхность изотропного и пиролитического графита. При длительном воздействии на графиты азотной плазменной струи (Т∞ ≈ 9000К), обеспечивающей в зоне торможения нагрев образцов до температуры 3000÷3500К, методами двухпозиционной скоростной визуализации и метода «лазерного ножа» исследована динамика убыли массы изотропного и пиролитического графита.

На квазистационарном этапе нагрева образцов установлено количественное соответствие между спектроскопически определяемой концентрацией атомарного углерода – основного продукта разрушения графита, и измеренной скоростью потери его массы:
[C] ≈ (1 ÷ 2)·1015см–3; ≈ 5·10–3 г/см2с. Созданный в ОИВТ РАН комплекс [5] обеспечивает получение и исследование плазмы различных газов (Ar, He, N2, воздух) и их смесей в широком диапазоне температур (T = 10 – 30 кК), массовых расходов 0,2 – 5 г/с, скоростей 50 – 1000 м/с в выходном сечении плазмотронов. Экспериментальная оценка скорости потери массы материала образца в режиме реального времени выполняется методами двухпозиционной высокоскоростной видеосъемки и разработанного авторами метода лазерной профилометрии с использованием «лазерного ножа» [6]. В исследованиях использовались изотропный графит марки МПГ-6 цилиндрической формы с плотностью *ρ*≈ 1,70 – 1,8 г/см3 и анизотропный графит УПВ-1Т с плотностью *ρ*≈ 2,1 – 2,2 г/см3 в форме параллелепипеда с характерной толщиной 3 – 5 мм и стороной 15 – 25 мм. В методе «лазерного ножа» в результате выполненных видеонаблюдений была исследована динамика роста кратера на аблирующей поверхности графитового образца.

Исследовано также воздействие азотной плазменной струи (ток дуги 150 А, напряжение горения 110 В, расход газа 1.5 г/с, диаметр выходного сопла плазмотрона 6 мм) на образец из пиролитического графита «НИИИГРАФИТ» размером 12 х 18 х 3 мм. При удельных тепловых нагрузках 1 – 2 кВт/см2 экспериментально установлены пространственно-временные изменения скорости убыли материала образцов (3÷20 мг/см2с), температуры их поверхности (2000 ÷ 3500 К), температуры электронов плазмы набегающего потока (12000 ÷ 6000 К), плазмохимического состава в области «вдува» продуктов разрушения. Совместный анализ пространственно-временных изменений концентрации основных продуктов разрушения – атомов углерода и радикала CN и скорости убыли материала углеродсодержащего образца позволяет установить относительную роль процессов гетерогенной (Csolid + N → CN) и гомогенной (Cgas + N + M → CN + M) нитризации углерода в зоне взаимодействия.

Работа выполняется при частичной поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований по проектам 17-08-00816 и 19-08-00451.

Литература

[1]. V.F. Chinnov, A.S. Tyuftyaev, D.I. Kavyrshin, A.G. Ageev, M.A. Sargsyan and M.Kh. Gadzhiev Comprehensive Study of the Effect of Plasma Stream on Heat-Resistant Materials // High Temp (2018) https://doi.org/10.1134/S0018151X18010224.

[2]. A.G. Ageev, D.I. Kavyrshin, M.A. Sargsyan, M.Kh. Gadzhiev, V.F. Chinnov Determination of graphite sublimation rate in high enthalpy plasma flow using ‘laser knife’ method // International Journal of Heat and Mass Transfer 107 (2017) 146 – 153.