

ФОРМИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ЧАСТИЦ В УДАРНО-НАГРЕТОЙ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕ

Зиборов В.С.^{1*}, Еремин А.В.¹, Ротт П.², Штарке Р.²

¹ИТЭС ОИВТ РАН, Москва, Россия, ²ДУ, Дуйсбург, Германия

*vziborov@rambler.ru

В работе проведено комплексное исследование процесса формирования углеродных наночастиц в сверхзвуковой струе, содержащей углеродный пар, возникающий при пиролизе малой добавки C_3O_2 , C_2Cl_4 , CCl_4 в Ar за ударными волнами. Температуры и давления в ударной трубе соответствовали максимальному значению экстинкции в так называемом первом и втором колоколе, а так же в области минимального значения между ними.

Сверхзвуковой поток высокотемпературного газа, содержащего углеродный пар, истекал через осесимметричное сверхзвуковое сопло в торце ударной трубы в затопленное пространство камеры за торцом. Пробы наночастиц были взяты на оси струи на различных расстояниях от среза сопла для каждого выбранного режима параметров торможения. Камера оснащена быстродействующим клапаном для напуска инертного газа избыточного давления, позволяющего запереть сопло и предотвратить попадание относительно «старых» частиц из ударной трубы на решетку. В ряде экспериментов были взяты пробы на выходе из ударной трубы в систему откачки отработанного газа, что позволило сравнить частицы, возникшие в ударной трубе так называемые «старые» частицы, с теми, которые испытали быстрое охлаждение при расширении сверхзвукового потока в струе.

Методами электронной микроскопии высокого разрешения обнаружено, что частицы из сверхзвуковой струи состоят только из углерода и не содержат примесей компонентов исходных веществ. При температурах торможения выше 3000 К на малых расстояниях от среза сопла наблюдаются лишь частицы аморфного углерода, на средних — частично кристаллизованные, покрытие аморфным слоем, на дальних — полностью кристаллические частицы. Анализ проб, взятых на выходе ударной трубы показал незначительное количество кристаллических частиц, содержащих примеси.

При температурах торможения 3200–3400 К и давлениях 2.8–3.3 атм в пробах из сверхзвукового сопла обнаружены так называемые «сферы» — углеродные шары правильной формы одинакового размера — порядка 100 нм.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и DFG.