

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 669.24' 783:539.389.1

DOI: 10.17223/00213411/64/5/20

В.В. ШЕХОВЦОВ, А.Ю. АБЗАЕВ, О.Г. ВОЛОКИТИН, А.А. КЛОПОТОВ

ТЕПЛОВАЯ КОНВЕКЦИЯ В ЗОНЕ ПЛАВЛЕНИЯ ПОЛОЙ МИКРОЧАСТИЦЫ Al_2O_3 *

Представлены результаты численного моделирования развития зоны плавления полой сферической микро-частицы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Объектом исследования была выбрана часть кругового сектора в виде оболочки полой частицы, которая формируется под действием потока плазмы. Для численного описания нестационарного конвективного теплопереноса в оболочке полой частицы использовалась система уравнений Навье – Стокса в приближении Буссинеска, описывающая слабую конвекцию среды. Вследствие высокого коэффициента пористости ($\Pi = 0.56$) исходной агломерированной частицы со структурой $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ внутренняя область на этапе прогрева $T_p \geq T_{\text{melt}}$ находится в условиях теплообмена с натекающим тепловым потоком, поэтому температура в центре совпадала с температурой поверхности частицы. В результате перегрева конденсированной фазы формируется жидкий слой из сплавленных зерен во внутренней и внешней областях микрочастицы. В этом случае фронт плавления направлен к центру оболочки. В процессе численного моделирования установлено, что в зонах плавления (жидкая фаза) обнаруживается конвективный теплоперенос, векторное поле которого охватывает практически всю область жидкой фазы. Отмечено, что тепловая конвекция во внешней жидкой фазе характеризуется скоростями, превышающими более чем в 2 раза скорости смещений во внутренней области частицы. Показано, что внутри конвекционной области отсутствует смещение материала, способствующее осуществлению неоднородного нагрева в расплавленном слое частицы, что существенно сказывается на скорости перемещения фронта плавления.

Ключевые слова: полая микрочастица $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, границы раздела фаз, плазма, конвекция, теплоперенос, численное моделирование.

Введение

В настоящее время интенсивно развиваются технологии получения полых частиц тугоплавких оксидов с применением различных видов источников нагрева [1–4]. В работах [5–8] обсуждаются различные условия формирования формы, диаметра, толщины оболочки полых частиц, а также влияние гидродинамических и теплофизических процессов при движении их в несущей среде. Наиболее перспективным методом синтеза полых частиц является ввод агломерированных объектов в воздушно-плазменную струю, истекающую из электродугового плазмотрона [9–12]. В основу метода положены нагрев и плавление капиллярно-пористого объекта (агломерат) при сложно-сопряженном процессе капсулирования газовой фазы, находящейся в разветвленной системе микропор. На этапе разогрева агломерата формируется жидкая пленка из сплавленных зерен, фронт плавления направлен в глубь частицы. В большинстве случаев фронт плавления имеет параболический вид, что говорит о градиентном нагреве. В [13] установлено, что время формирования первичной пленки, образованной из внешнего слоя зерен $\delta_p = 1\text{--}5$ мкм, составляет $t_j = 5.8 \cdot 10^{-8}$ и $2.9 \cdot 10^{-7}$ с, что, как минимум, на три-четыре порядка меньше времени полного плавления агломерата и на один-два порядка меньше времени прохождения фронта плавления через один слой зерен.

Одним из основных критериев формирования структуры материала является степень термического нагрева конденсированного материала [14–16]. При термических воздействиях в капиллярно-пористых средах наблюдаются сложные процессы теплопереноса [17–19]. Однако в современных исследованиях не уделено должного внимания процессам конвективного теплопереноса [20, 21] и его роли в формировании зоны плавления в области смещения межфазных границ.

Таким образом, цель настоящей работы – исследование особенностей развития зоны плавления в сферической полой микрочастице в рамках модели связанных задач конвективного теплопереноса в жидкой фазе при температурах плавления конденсированного материала. В качестве объекта исследования была выбрана модельная сферическая полая микрочастица со структурой $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10102).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>