

ФОРМИРОВАНИЕ И РОСТ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ПЛАЗМЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Гамов Д.Л.¹, Григорьев А.С.^{1,2}, Хорохорин Д. М.^{1,2}

Научный руководитель: Мышкин В.Ф.

¹Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

²ФГУП «Горно-химический комбинат», 662972, г. Железногорск, ул. Ленина, 53

E-mail: gdl@tpu.ru

Низкотемпературная плазма содержит большое количество химически активных частиц – радикалов. Зачастую плазменные процессы связаны с использованием или образованием конденсированной дисперсной фазы (КДФ). Появление частиц КДФ оказывает существенное влияние на плазменные процессы. КДФ позволяет разделять за короткое время продукты газофазных плазменных процессов от исходных реагентов по разным фазовым состояниям веществ, например, при разделении изотопов.

Известно, что большинство химических элементов состоят из двух или более изотопов. Ранее показано, что радикальные химические реакции в низкотемпературной плазме, находящейся в магнитном поле, селективны по изотопам. Поэтому актуальны исследования явлений, связанных с изучением процесса формирования частиц КДФ в плазме, находящейся в магнитном поле.

В плазмохимических процессах состав исходной смеси оказывает влияние как на физико-химические процессы, так и на состав конечных продуктов. Для моделирования равновесного состава компонентов при различных температурах использовали программу «TERRA». В качестве плазмообразующего газа рассматривалась смесь Ar, O₂ и N₂ при атмосферном давлении, содержащая атомы Fe, C.

Расчетные графики содержания различных соединений в равновесных условиях имеют максимумы, температурная зависимость которых связана с составом плазмообразующей смеси. Можно утверждать следующее. CO₂ образуется лишь при избытке кислорода относительно Fe и C. КДФ, состоящая из смеси дисперсного углерода и оксидов железа, образуется при низких температурах. В условиях термодинамического равновесия дисперсный углерод формируется лишь при содержании кислорода в плазмообразующих смесях (Ar – 100, Fe – 1, C – 1) и (Ar – 70, Fe – 1, C – 1, N₂ – 30) менее 1,3 моль/кг, а Fe₃C – при содержании O₂ менее 1,5 моль/кг. Содержание Fe₃C, при малом содержании кислорода, составляет 0,058 моль/кг, а дисперсного углерода – 1 моль/кг. Азот, образующий оксид при высоких температурах, незначительно влияет на количество образующейся дисперсной фазы плазменной системы. При увеличении концентрации O₂ увеличивается содержание CO и CO₂, и уменьшается количество дисперсного углерода. FeO, в зависимости от температуры, может находиться в виде пара или дисперсных частиц. Полученные закономерности необходимо использовать при анализе экспериментальных данных.

В окружающем плазменный канал пространстве наблюдается окисление паров C, Fe с образованием молекул CO₂ и FeO_x, а также конденсация атомарного углерода при недостатке кислорода. Можно предположить, что окисление дисперсного углерода затруднено при конденсации на нем оксидов железа. Образование зародышей и формирование дисперсных частиц в многокомпонентной системе начинается с одной компоненты, имеющей при заданных условиях меньшее давление насыщенного пара. Давление насыщенного пара железа при температуре 1900К составляет 13,3 Па, углерода при 2030К – 1,33 Па. Поэтому десублимацию углерода можно считать гомогенной, а оксида железа – гетерогенной. Дисперсный порошок осаждали на стеклянную пластину с Al напылением, располагаемую на расстоянии 15 мм по горизонтали от дуги перпендикулярно линиям магнитного поля постоянных магнитов. Аэрозоль также просвечивали с помощью потока широкополосного излучения. Поток прошедшего луча подавали на спектрометр SL-140.

В порошке, формируемом без магнитного поля, рентгенодифракционный анализ (РДА) анализ обнаруживает до 95% углерода. Оксиды железа наблюдаются в незначительном количестве. Во внешнем постоянном магнитном поле 10 мТл формируется дисперсная фаза, в которой содержание микрокристаллов уменьшается в ряду: C (до 50%), Fe₃O₄ (до 45%), Fe₂O₃ (до 15%), FeO (менее 5%). Карбиды железа в дисперсной фазе не обнаруживаются. Анализировали порошок, осаждаемый на стеклянных пластинках, устанавливаемых на расстоянии 15 мм от канала разряда. Без магнитного поля на микрофотографиях видны объемные конгломераты нанодисперсного порошка произвольной формы и размерами до 15 мкм, а также незначительное количество сферических частиц размерами менее 5 мкм. В магнитном поле сферических частиц практически нет, конгломераты наночастиц имеют вид чешуек, а размеры которых не превышают 0,3 мкм. Магнитное поле способствует образованию более крупных частиц (FeO_x)_n перед их столкновением с углеродными частицами. Выделение энергии сублимации способствует слиянию наночастиц (отжиг). Поэтому с помощью РДА в порошке, получаемом в магнитном поле, регистрируется графит и FeO_x. При выполнении исследований использовались электронный микроскоп ЦКП «АЦГПС» ТГУ и рентгеновский дифрактометр ЦКП ТПУ. Исследования финансировались в рамках гранта РФФИ №16-08-00246.