

УДК 546.05

ПРЯМОЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ Al, Mg, Ni, Ti МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОЙ ПОТОКОВОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Марков А.Н. (Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева), **Капинос А.А.** (Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева), **Грачев П.П.** (Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)

Научный руководитель – к.х.н., доцент Воротынцева А.В.
(Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)

Наночастицы Al, Mg, Ni, Ti со средним размером менее 50 нм были получены напрямую из объемных образцов методом индукционной потоковой левитации (ИПЛ). Метод ИПЛ основан на взаимодействии высокочастотного переменного поля катушки индуктивности и металлического образца, массой около 2 г, который нагревается и удерживается ЭМП катушки. С поверхности расплавленной капли испаряются атомы металла, которые, конденсируются на инертном газе хладагенте с образованием наночастиц.

Введение.

Разнообразие существующих методов синтеза наночастиц, позволяет получать структуры с различными свойствами при одних и тех же размерах в рамках одного элемента. Большинство методов являются низкокочологичными, многостадийными или дорогостоящими ввиду, к примеру, высокого вакуума $\sim 10^{-4}$ Па обуславливающего плотность нуклеации (CVD и лазерная абляция) и, как следствие, высокую стоимость оборудования.

На сегодняшний день одним из перспективнейших методом получения наночастиц является метод индукционной потоковой левитации (ИПЛ). ИПЛ представляет собой бесконтактный высокотемпературный метод, который имеет широкое применение в отношении исследования как теплофизических, так и термохимических свойств систем жидких сплавов, а также успешно применяется для изготовления наночастиц из различных материалов. Благодаря бесконтактной природе нагрева в большом диапазоне давлений и температур достигается высокая чистота продукта. Метод позволяет проведения синтеза в реакционных и нерреакционных средах с возможностью получения Core/Shell структур.

Основная часть.

Основной целью работы являлось комплексное получение наночастиц металлов с высокой степенью чистоты. Для получения наночастиц Al, Mg, Ni, Ti применялся метод ИПЛ с конденсацией наночастиц в потоке инертного газа. Для достижения стабильной левитации и введения максимальной мощности в расплав проводилось моделирование противоточного индуктора различной конфигурации на основе эмпирических исследований модельной системы. Исследовалось влияние природы продувочного газа, скорости потока на размер получаемых частиц.

Наночастицы Al, Mg, Ni, Ti со средним размером менее 50 нм были получены напрямую из объемных образцов методом индукционной потоковой левитации (ИПЛ). Основными преимуществами этого метода являются высокая производительность (до 200 г/час наночастиц), управление размерами наночастиц в широких гранулометрических пределах (0,5 – 500 нм), бесконтактный нагрев (до 2500 °C), обуславливающий чистоту продукта и соответствие метода основным принципам «Зеленой химии» (прямой синтез). Метод ИПЛ относится к газофазным технологиям, отличительной особенностью которого является испарение металла в подвешенном состоянии (индукционная левитация) и бесконтактный нагрев. Для левитации объемных образцов в работе разработаны 7 типов индукционных катушек на которых исследовались «температурно-левитационные» свойства. На индукторе 5-го типа отрабатывались режимы получения наночастиц с различной массой затравки и природой продувочного газа. Полученные наночастицы были тщательно

охарактеризованы широким спектром физико-химических методов: TEM, HRTEM, SEM, SEM-EDS, XRD, BET, STSA, ВЖ, DLS, ICP-MS. В работе было показано, что метод ИПЛ является одним из перспективнейших методов синтеза наночастиц, на сегодняшний день, позволяющий получать NPs с высокой степенью чистоты и однородности в одну стадию.

Выводы.

Исследование показало, что применение метода ИПЛ позволяет получать наночастицы в одну стадию, не внося дополнительные примеси. В работе изучались различные типы индукторов для устойчивой левитации расплавленной капли.

При исследовании природы продувочного газа на размер получаемых структур, оказалось, что газ с большей теплопроводностью (He) позволяет снизить средний размер. Так же увеличение скорости потока влияло на размер частиц в сторону уменьшения.

Таким образом метод ИПЛ является перспективным в качестве получения наночастиц, позволяющий получать NPs с высокой степенью чистоты и однородности в одну стадию.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-79-10097) и Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках научного проекта лаборатории "Лаборатория «умных» материалов и технологий" проект № FSSM-2021-0013.