

Введение В связи с ростом применения нанотехнологий в промышленности и увеличением количества материалов с принципиально новыми свойствами, созданных на основе наноразмерных объектов, возникает необходимость в разработке и отладке технологий их производства. Часто в качестве таких объектов используются нанодисперсные порошки различных веществ, одним из наиболее эффективных методов получения которых, является парогазофазный синтез. Его, как правило, осуществляют электронно-лучевым, лазерным и плазмохимическим (плазмодинамическим) способами [1,2]. Плазмохимический способ осуществления парогазофазного синтеза имеет ряд преимуществ перед другими [3]: - широкий диапазон обрабатываемых веществ, - высокая производительность аппаратуры, - возможность регулирования дисперсионных характеристик порошков, за счет изменения параметров плазменной обработки, - исходное сырье подвергается глубокой очистке и в ходе реакции не загрязняется материалами реактора. Переработка сырья в плазмохимическом реакторе сопровождается процессами плавления, испарения, конденсации и кристаллизации. Особое внимание при проведении плазмохимического синтеза нанопорошков следует уделять подготовке сырья. Известно, что при увеличении размеров частиц увеличивается и время необходимое на их прогрев (рис. 1) [3]. Таким образом, для получения частиц заданного размера при увеличении размера частиц исходного сырья без снижения скорости потока газа необходимо увеличивать расстояние пробега частицы в струе плазмы, что не всегда конструктивно возможно. Таким образом, предварительное измельчение исходного сырья играет определяющую роль при необходимости получения продукта с наноразмерными частицами. Рис. 1 – Влияние размера частиц на продолжительность их прогрева при $w=27,5$ м/с, $\lambda_s = 5$ Вт/(м·К). 1 - 1, 2 - 10, 3 - 100, 4 - 1000, 5 - 10000 мкм, T_p - температура плазмы, T_c - температура частиц

Следовательно, перед подачей порошка в струю плазмы необходимо максимально увеличить долю этой фракции. Другим немаловажным фактором является точность дозирования порошка, которая зависит от его склонности к сегрегации и слеживаемости, а также от колебания насыпной плотности.

Экспериментальная часть В данной работе исследовано влияние технологических параметров измельчения порошка SiO₂ в планетарной мельнице на его дисперсный состав и насыпную плотность. В качестве исходного сырья использовали порошок SiO₂ кристаллической модификации, применяемый для производства хрустала (т.е. высокой степени чистоты), дисперсный состав которого представлен в таблице 1. Таблица 1 – дисперсный состав исходного порошка SiO₂

Содержание частиц в диапазоне фракции (мкм) (%)	>100	50-100	20-50	10-20	1-10
1	56,11	21,63	12,06	3,55	5,66
2	0,99				

Измельчение порошка диоксида кремния проводили на планетарной мельнице Pulverisette 6 (Германия), снабженной металлическим стаканом с шарами, защищенными слоем из износостойкого материала. Масса одной загрузки порошка составляла

100 г. После измельчения каждой партии порошка производили чистку и сушку трущихся элементов. Насыпную плотность исходного и измельченных порошков определяли по ГОСТ 27801-93. Дисперсный состав определяли при помощи лазерного анализатора «Analysette-22». Результаты исследования дисперсного состава представлялись в виде диаграмм (пример на рис.2), на основании которых вычислялась доля необходимой фракции (1-10 мкм). Рис. 2 - Диаграмма распределения частиц по размерам исходного порошка SiO₂, полученная при помощи лазерного анализатора «Analysette-22» Результаты и их обсуждение Порошок измельчали при скорости вращения ротора планетарной мельницы в диапазоне 150-650 об/мин (20-100 % мощности) с продолжительностью 10-60 мин. На рис. 3 представлены результаты определения содержания фракции 1-10 мкм и насыпной плотности порошков, измельченных при скорости вращения ротора 330 об/мин (\approx 50 % мощности) в течение 1 часа. В процессе измельчения порошка вследствие высоких деформационных нагрузок происходил нагрев рабочих элементов, поэтому цикл измельчения делили на отрезки по 10 мин. Из данных, представленных на рис. 3, видно, что в процессе измельчения порошка наряду с ростом содержания фракции 1-10 мкм наблюдается снижение его насыпной плотности, а характер кривых указывает на уменьшение эффективности измельчения после 30 мин обработки. Одной из возможных причин этому может служить то обстоятельство, что в процессе измельчения более мелкая фракция порошка подкидывается к верхней крышке металлического стакана и за счет разницы температур налипают на ее поверхности. При продолжительности обработки более 30 мин доля порошка, связанного с верхней крышкой, не участвующего в процессе дальнейшего измельчения, значительно увеличивается, соответственно общая эффективность измельчения падает. Рис. 3 - Зависимость содержания фракции 1-10 мкм и насыпной плотности (ρ) порошка от времени измельчения на планетарной мельнице при скорости вращения ротора 330 об/мин (\approx 50 % мощности) Для определения оптимальных режимов измельчения порошка на основе полученных данных была построена контурная диаграмма (рис.4). Рис. 4 - Контурная диаграмма влияния скорости вращения ротора и продолжительности процесса измельчения на содержание фракции 1-10 мкм Из диаграммы (рис.4) видно, что скорость вращения ротора и продолжительность процесса измельчения оказывают существенное влияние на рост содержания частиц с размером 1-10 мкм в порошке, причем, варьируя соотношение данных параметров, можно подобрать оптимальный режим. Выводы 1. Применение планетарной мельницы для предварительного измельчения порошка SiO₂, используемого в качестве исходного сырья в плазмохимическом синтезе наночастиц, является эффективным. 2. Изменение технологических параметров планетарной мельницы позволяет регулировать необходимый уровень деформационной нагрузки и соответствующий ему диапазон температур.