

УДК 621.926:678.053

Ю.А. БИРЮКОВ*, Л.Н. БОГДАНОВ*, А.Ю. ОБЪЕДКОВ*, В.А. ПОЛЮШКО*, А.Ю. БИРЮКОВ*,
А.В. ГРЯЗЕВ*, О.Л. ХАСАНОВ**

ЭФФЕКТИВНОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ ПНЕВМОЦИРКУЛЯЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ¹

Приведены результаты сравнительных испытаний по измельчению и воздушно-центробежной сепарации ультрадисперсных порошков разработанным авторами пневмоциркуляционным методом с широко используемым способом переработки порошков встречными струями в «псевдооживленном слое».

Ключевые слова: ультрадисперсные порошки, фракционирование, измельчение, гранулометрический состав.

В настоящее время активно развивается производство керамики с новыми эксплуатационными свойствами, основой которой являются ультрадисперсные порошки с химически чистыми, однородными по размеру и морфологии частицами. Практически все методы получения таких порошков, включая и самые современные (плазменный, электровзрывной, газофазный синтез, химические), характеризуются тем, что получаемый продукт имеет большую долю как чужеродных включений, так и агрегатов частиц размером значительно более одного микрона. В связи с этим возникает необходимость по улучшению получаемых порошков путем выделения из них частиц требуемого размера. Достичь решения этой задачи на основе обычных проточных методов с воздушно-центробежной классификацией невозможно. Однако существует способ, чувствительный для достаточно мелких порошков (на уровне 5–10 мкм), реализованный в устройствах крупнейшей корпорации в области порошковой технологии «Nosokawa Micron Ltd». В нем совмещены процессы измельчения частиц встречными струями в «кипящем слое» и воздушно-центробежной классификации [1]. На рис. 1, а представлена такая лабораторная установка марки «AFG».

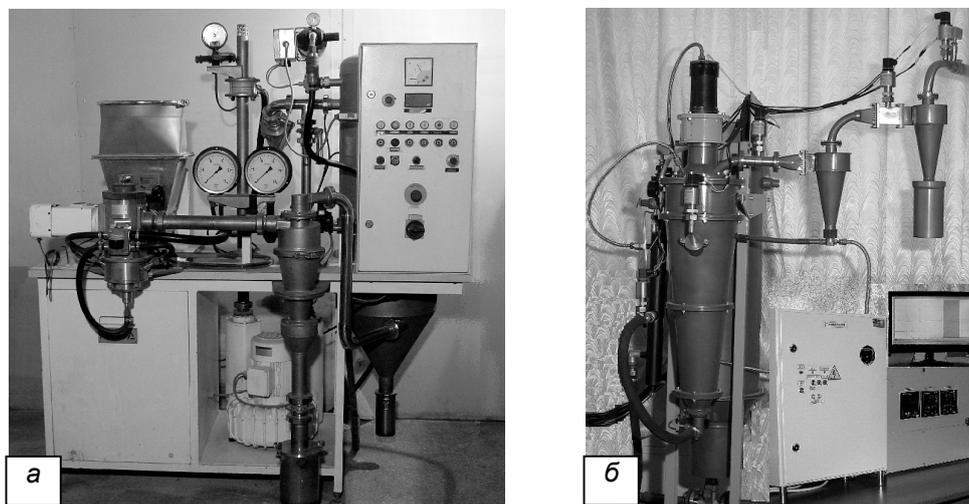


Рис. 1. Установки «AFG» (а) и «К-05» (б)

На основе многолетних исследований в Томском государственном университете в различных областях порошковой технологии и особенно в получении ультрадисперсных и наноразмерных порошков из различных неорганических и органических материалов, а также на основе промышленной реализации авторами разработана высокоэффективная технология [2, 3], которая основана на струйном взаимодействии газа с насыпным слоем при многоконтурной рециркуляции материала.

¹ Работа выполнена в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ от 09.04.2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» и договора № 13.G25.31.0017 от 07.09.2010 г. между ОАО «ИСС» им. акад. М.Ф. Решетнева и Минобрнауки РФ.

ла, в результате чего на частицы можно оказывать любое активное воздействие: диспергирование агрегатов, измельчение, активацию поверхности частиц, глубокую сушку, смешивание различных по размерам и плотности материалов и др. За счет рециркуляции материала как в рабочем объеме, так и во внешних контурах обеспечивается оптимальное распределение времени пребывания различных по размеру частиц для достижения необходимого на них воздействия. Фотография лабораторной установки «К-05», реализующей пневмоциркуляционный метод, представлена на рис. 1, б.

В связи с актуальностью выделения узких фракций в субмикронном диапазоне возник интерес по оценке эффективности применения вышеуказанных технических решений. Были проведены оценочные испытания обоих устройств на порошках различных дисперсностей и при сходных режимных параметрах. Измерения гранулометрического состава порошков проводились на лазерном дифрактометре «Mastersizer 2000». В качестве примера приведены результаты испытаний для порошков Al_2O_3 , которые представлены в таблице и на рис. 2–4.

Гранулометрический состав исходных порошков и полученных на установках «AFG» и «К-05»

Дисперсный состав		Производительность, G_m , кг/ч	δ_{50} , мкм	δ_{90} , мкм	δ_{100} , мкм
Исходный материал – «крупный»			54,4	122,5	147,2
«AFG» ($p = 6$ ати, $q = 46$ кг/ч)		1,2	4,3	8,7	15,5
«К-05» ($p = 5,5$ ати, $q = 70$ кг/ч)	фракция № 1 – 53 %	2,5	2,5	5,3	10,9
	фракция № 2 – 47 %		1,3	3,1	5,4
Исходный материал – «мелкий»			1,7	3,5	7,3
«AFG» ($p = 6$ ати, $q = 46$ кг/ч)		0,3	1,8	3,5	6,9
«К-05» ($p = 5,5$ ати, $q = 34$ кг/ч)	фракция № 1 – 72 %	0,8	1,4	2,9	5,3
	фракция № 2 – 28 %		0,9	2,05	4,1

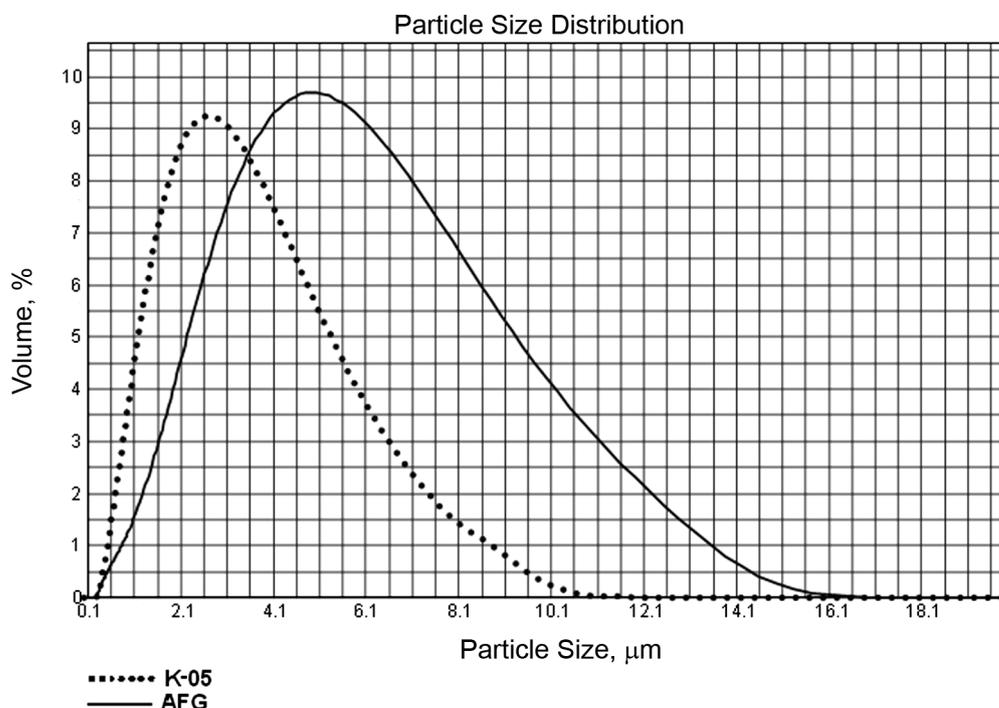


Рис. 2. Дифференциальные кривые массового распределения частиц по размерам для продуктов, полученных на установках «К-05» и «AFG» из крупного исходного порошка Al_2O_3

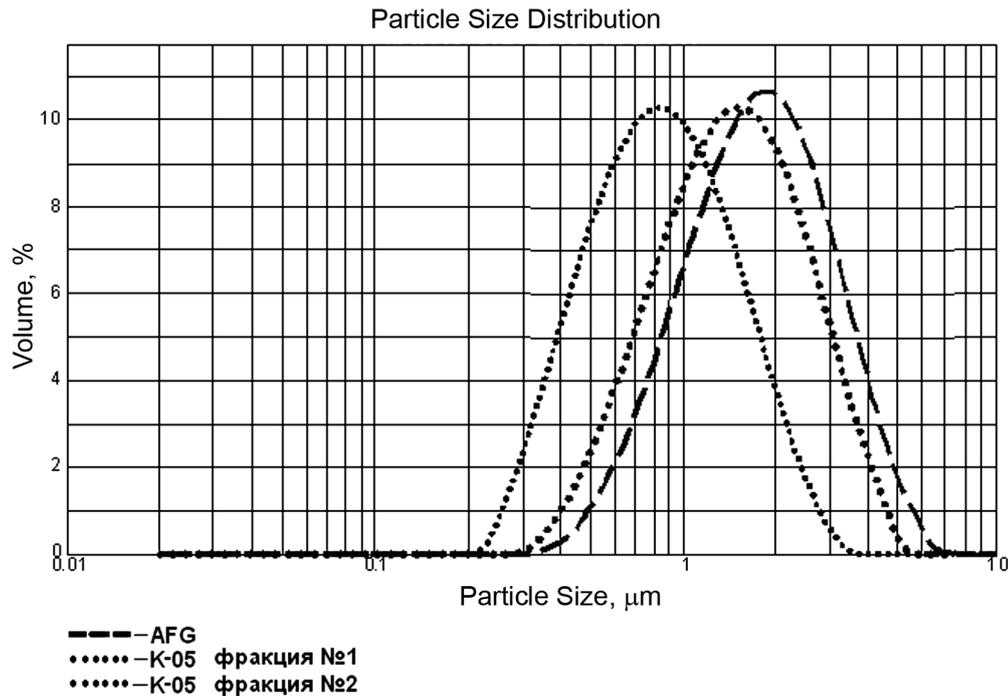


Рис. 3. Дифференциальные кривые массового распределения частиц по размерам для продуктов, полученных на установках «К-05» и «AFG» из мелкого исходного порошка Al_2O_3

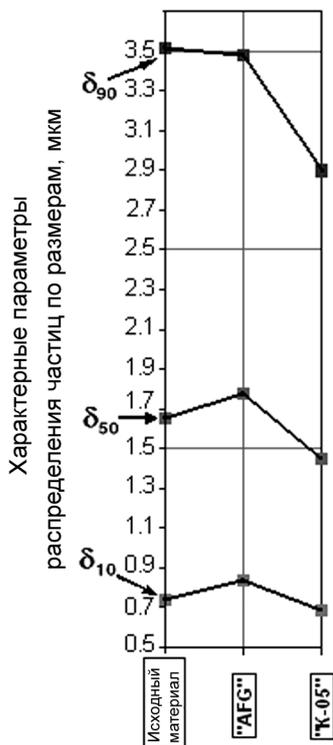


Рис. 4. Характерные параметры гранулометрических составов – исходного материала и продуктов, полученных на установках «Nosokawa» и «К-05»

Как видно из рис. 3 и 4, для мелкодисперсных порошков установка «AFG» не дает удовлетворительных результатов ни по измельчению, ни по классификации. Это объясняется тем, что для таких материалов характерна низкая концентрация частиц в «псевдооживленном слое», в результате чего не эффективно используется энергия струй. В зоне ротора также из-за низкой концентрации мелких частиц отсутствует эффективное жгутообразование, которое необходимо для воздушно-центробежной классификации частиц в таком диапазоне размеров, и как показатель этого, во фракции на выходе нет даже уменьшения δ_{90} (рис. 4). Но на установке «К-05», как видно из рис. 3, 4, для мелкодисперсного материала происходит и измельчение и классификация. Кроме того, из рис. 3 видно, что пневмоциркуляционный метод позволяет получать существенно отличающиеся друг от друга фракции. Это достигается за счет многократных рециркуляций во внутреннем и внешних контурах.

Ниже представлено соотношение энергозатрат для обеих установок при крупном и мелком исходном материале. Полезная потребляемая мощность для крупного исходного материала составляет на установке «К-05» около 8,7 кВт, на установке «AFG» – 6,2 кВт. Производительность установки «К-05» составляет примерно 2,5 кг/ч, а установки «AFG» – 1,2 кг/ч. Отсюда удельные энергозатраты W , определяемые по формуле: $W = p \cdot q / G_m$, составляют для установки «К-05» примерно 3,4 кВт·ч/кг, а для «AFG» – 5,2 кВт·ч/кг. Следует отметить, что только около 70 % частиц, полученных на «AFG», имеют аналогичный грансостав, как на «К-05», поэтому в пересчете на совпадающий фракционный состав удельные энергозатраты установки «AFG» еще больше – 5,6 кВт·ч/кг. Как видно из рис. 2 и ре-

гичный грансостав, как на «К-05», поэтому в пересчете на совпадающий фракционный состав удельные энергозатраты установки «AFG» еще больше – 5,6 кВт·ч/кг. Как видно из рис. 2 и ре-

зультатов, приведенных в таблице, для крупного материала установка «К-05» при меньшей величине удельных энергозатрат имеет существенно лучшее качество по гранулометрическому составу продукта по сравнению с установкой «AFG».

Соотношение энергозатрат при мелком исходном материале следующее. Полезная потребляемая мощность для установки «К-05» составляет около 4,2 кВт, а для установки «AFG» – 6,2 кВт. При массовом выходе установки «К-05» 0,8 кг/ч, а установки «AFG» – 0,3 кг/ч, удельные энергозатраты для установки «К-05» составили 5,3 кВт·ч/кг, а для «AFG» – 20,7 кВт·ч/кг. То есть измельчение в ней примерно в 4 раза ниже, чем в установке «К-05».

Из проведенных экспериментальных исследований и сравнительных испытаний следует, что применение пневмоциркуляционного метода для различных порошков, в том числе ультрадисперсных, получаемых современными способами, позволяет осуществлять выделение субмикронных и наноразмерных фракций, что актуально для производства современной керамики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проспект корпорации «Hosokawa Micron Ltd», сайт <http://www.alpinehosokawa.com/02powder/prodprod/machines/>
2. Бирюков Ю.А., Богданов Л.Н., Дунаевский Г.Е., Евстафьев В.Ф., Ивонин И.В., Ищенко А.Н., Лымарь А.М. Порошок активированного алюминия, способ его получения, устройство для реализации способа и блок управления устройством // Патент RU 2371284 С2 от 27.10.2009, МПК В22F 1/00, (прототип).
3. Бирюков Ю.А., Бузник В.М., Дунаевский Г.Е. и др. // Ультрадисперсные и наноразмерные порошки: создание, строение, производство и применение / под ред. акад. В.М. Бузника. – Томск: Изд-во НТЛ, 2009. – 192 с.

*НИИ прикладной математики и механики Национального исследовательского Томского государственного университета, г. Томск, Россия Поступила в редакцию 10.07.12.

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

E-mail: powder@niipmm.tsu.ru

Бирюков Юрий Александрович, зав. лабораторией;

Богданов Леонид Николаевич, с.н.с.;

Объедков Александр Ювиальевич, н.с.;

Полюшко Владимир Анатольевич, м.н.с.;

Бирюков Александр Юрьевич, м.н.с.;

Грязев Андрей Владимирович, м.н.с.;

Хасанов Олег Леонидович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой, директор Нано-Центра ТПУ.