

Д.В. Лобовиков, А.М. Ханов, Е.В. Матыгуллина, Л.Д. Сиротенко

Пермский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИТОВ В ПЛАНЕТАРНОМ ГРАНУЛЯТОРЕ

Представлены результаты исследования процессов гранулообразования порошковых композиционных материалов с различными физико-механическими свойствами в планетарном грануляторе. Установлены механизмы и последовательность этапов образования гранул, позволяющие оптимизировать параметры гранулирования для получения композиционного материала необходимого гранулометрического состава и структуры.

Гранулированные материалы в настоящее время широко применяются в различных технологических процессах. Особый интерес представляет получение гранул из порошковых композиций с различными физико-механическими свойствами и гранулируемостью. Наиболее распространенными типами грануляторов, используемых для получения композиционных гранул методом окатывания, являются барабанные (со стационарной осью) и тарельчатые грануляторы.

Наиболее эффективным является процесс гранулирования в грануляторе планетарного типа. Это обусловлено тем, что сила взаимодействия между частицами существенно возрастает благодаря дополнительной центробежной силе и силе Кориолиса. В некоторых случаях, когда гранулируемый материал достаточно пластичен, может быть применено сухое гранулирование.

В планетарном грануляторе давление на материал при высоких скоростях соударения частиц материала может быть в 100–200 раз выше, чем в барабанном грануляторе со стационарной осью [4]. Повышенная скорость соударения частиц и увеличенное давление в местах контакта влияют на процесс образования гранул положительно и позволяют получать гранулы с лучшими физико-механическими характеристиками, чем при гранулировании в грануляторе со стационарной осью. Планетарные грануляторы распространены в меньшей степени вследствие недостаточной изученности происходящих в них процессов.

Целью данной работы явилось изучение процессов и определение оптимальных условий гранулообразования порошковых композиционных мате-

риалов с различными физико-механическими свойствами в планетарном грануляторе.

Разработанный гранулятор [1] состоит из двух барабанов, водила (ротора), в котором барабаны вращаются, привода водила от электродвигателя с переменной частотой вращения, тормозного механизма с регулируемым тормозным моментом. Представим схему планетарного гранулятора (рис. 1).

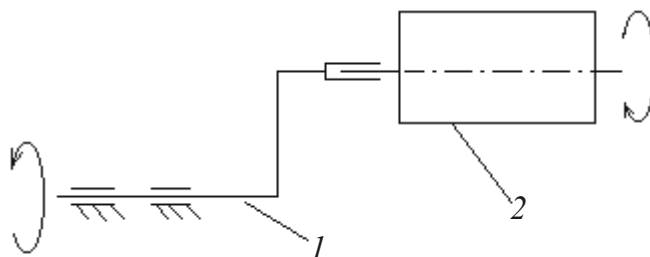


Рис. 1. Схема планетарного гранулятора:
1 – ротор (водило); 2 – барабан

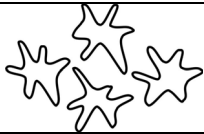

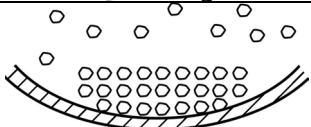
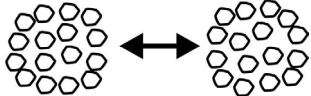
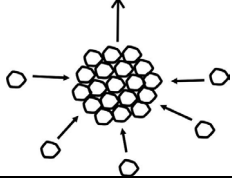
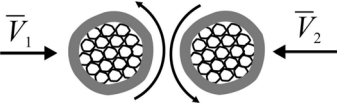
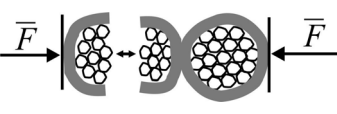
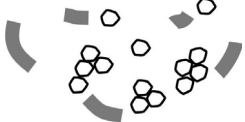
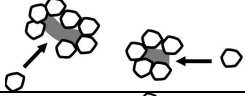

Технические характеристики используемого в роторе гранулятора: диаметр барабана $D = 140$ мм, ширина барабана $B = 150$ мм, радиус планетарного вращения барабана $R = 100$ мм.

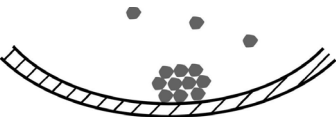
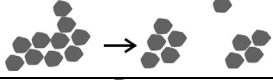
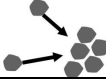
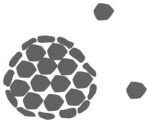
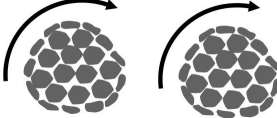
Экспериментальные исследования проводились при относительной скорости вращения барабанов, направленной в обратную сторону относительно планетарной скорости.

В каждой области применения гранулированных материалов требуется определенный гранулометрический состав и структура гранул. Знание последовательности этапов гранулообразования позволяет управлять процессом путем оптимизации параметров гранулирования для получения материала необходимого гранулометрического состава и структуры.

Для исследования использовали композиционные материалы с различной пористостью и физико-механическими свойствами: порошок СФ-2У, в состав которого входит связующее на основе жидкого стекла, и алюмосиликатная композиция, содержащая глинистые компоненты [2]. В таблице приведено описание процессов, происходящих в грануляторе при получении гранул из СФ-2У [3]. Гранулирование менее пластичного порошка на основе алюмосиликатной керамики описывается этапами 3–10.

Последовательность образования гранул из композиции из СФ-2У

№ процесса	Схематическое изображение процесса или состояния	Описание процесса
1		Пористые частицы порошка до гранулирования в планетарном грануляторе
2		Пористые частицы порошка разрушаются. Образуются мелкие частицы. Насыпная плотность увеличивается на 80–90%
3		Мелкие частицы спрессовываются у поверхности барабана. Образуются большие комки. Они недостаточно прочны из-за значительной пористости
4		Большие комки разламываются. Под действием окатывания образуются комки с формой близкой к сферической
5		Мелкие частицы присоединяются к комкам сферической формы
6		Поверхность комков уплотняется. Поверхностный слой приобретает плотную структуру. Образуются гранулы с плотной поверхностью и рыхлой сердцевиной
7		Плотная поверхность гранул разрушается под действием ударов и давления. Рыхлые слои дают усадку, поверхность трескается, гранула разламывается на части
8		Гранулы с плотной поверхностью разрушаются
9		К обломкам с плотной структурой присоединяются мелкие частицы
10		Образуются мелкие гранулы, полностью состоящие из плотного материала

№ процесса	Схематическое изображение процесса или состояния	Описание процесса
11		<p>Вследствие того, что максимальное давление имеет место в слоях материала, расположенных около поверхности барабана, гранулы спрессовываются у поверхности барабана. Образуются агломераты. Пористость таких агломератов высока, а прочность мала. При ударных взаимодействиях с другими агломератами происходит их уплотнение или разрушение</p>
12		<p>Большие агломераты неправильной формы под действием изгибающих сил и ударов разрушаются</p>
13		<p>К агломератам присоединяются мелкие гранулы и частицы, состоящие из плотного материала</p>
14		<p>В результате окатывания агломератов, состоящих из мелких гранул, получаются большие гранулы с диаметром более 6 мм. Частицы на поверхности больших гранул расплющиваются и заполняют впадины и отверстия</p>
15		<p>Под действием трения и ударов поверхности больших гранул становятся гладкими</p>

Данная последовательность гранулообразования позволяет подобрать оптимальное время гранулирования для получения гранул определенной структуры и гранулометрического состава.

Определение оптимальных параметров процесса гранулирования в планетарном грануляторе [3] показало, что существуют минимальная предельная относительная скорость барабанов, при которой изменение планетарной скорости не дает значительного увеличения скорости гранулообразования, и минимальная предельная планетарная скорость, при которой изменение относительной скорости барабанов не дает значительного увеличения скорости гранулообразования. Следовательно, чтобы обеспечить эффективность гранулирования, относительная скорость вращения барабанов и планетарная скорость должны быть больше своих минимальных значений. Для повышения скорости гранулообразования необходимо увеличивать одновременно планетарную скорость и относительную скорость вращения барабанов.

С повышением планетарной скорости средний диаметр при равном времени гранулирования увеличивается, давление в слоях материала, соприкасаю-

щихся с поверхностью барабана, растет во второй степени вследствие увеличения центробежной силы, что способствует более эффективной агломерации.

Рассмотрим результаты экспериментальных исследований по гранулированию композиций СФ-2У и алюмосиликатной керамики (рис. 2–3).

Экспериментально установлено, что с увеличением планетарной скорости, как и с увеличением относительной скорости вращения барабанов, скорость гранулообразования увеличивается. В процессе гранулирования диаметр средней фракции монотонно увеличивается, происходит смещение всех фракций в сторону увеличения размеров их частиц, так как процесс агломерации преобладает над процессом разрушения. В начале гранулирования скорость уплотнения максимальна, затем она постепенно уменьшается, и, когда частицы разрушившихся рыхлых агломератов полностью заполняют плотные слои гранул, уплотнение порошкового материала прекращается.

Приведенные результаты гранулирования позволяют подобрать режимы для получения порошковых гранул необходимого гранулометрического состава. Например, для получения гранул из алюмосиликатной порошковой композиции диаметром 1,5 мм необходимо гранулировать порошковый материал 18 с при планетарной скорости вращения 700 об/мин и относительной скорости вращения 1500 об/мин (рис. 4–5).

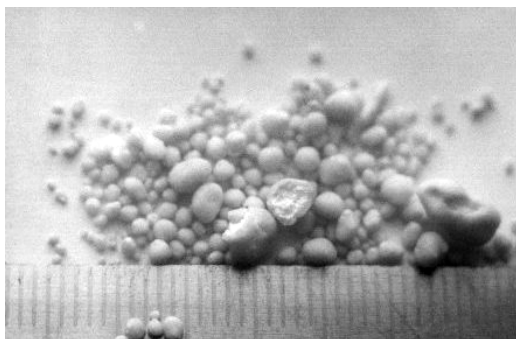


Рис. 2. Целые гранулы и разлом гранулы порошка СФ-2У. Масштаб 3:1



Рис. 3. Нефракционированные гранулы алюмосиликатной керамики

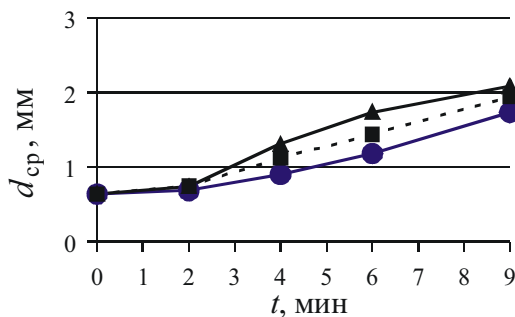


Рис. 4. Зависимость среднего размера гранул композиции СФ-2У от времени гранулирования. Планетарная скорость вращения барабанов: *a* – 500 об/мин; *b* – 600 об/мин; *в* – 700 об/мин. Относительная скорость вращения барабанов: ● – 400 об/мин; ■ – 600 об/мин; ▲ – 800 об/мин

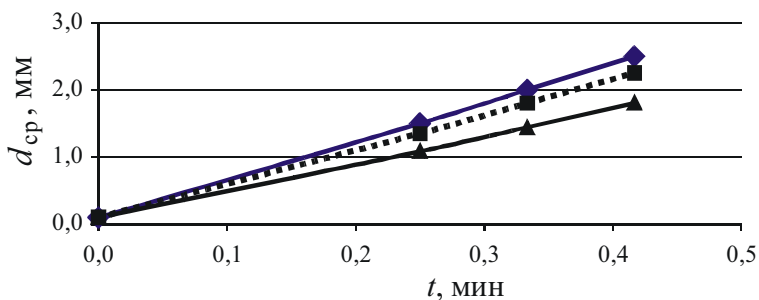


Рис. 5. Зависимость среднего размера гранул из алюмосиликатной порошковой композиции от времени гранулирования. Планетарная скорость вращения барабанов: ▲ – 650 об/мин; ■ – 700 об/мин; ● – 750 об/мин. Относительная скорость вращения барабанов: ▲ – 1300 об/мин; ■ – 1400 об/мин; ● – 1500 об/мин

Таким образом, исследована последовательность гранулообразования, которая позволяет подобрать оптимальное время гранулирования для получения гранул из различных материалов определенной структуры и гранулометрического состава.

Список литературы

1. Планетарный гранулятор: пат. Рос. Федерация: МКИ 7 В 01 J 2/12 / Лобовиков Д.В., Ханов А.М., Храмов Б.Л. – № 2191064; опубл. 20.10.2002, бюл. № 29. – 17 с.
2. Лобовиков Д.В. Получение гранулированных порошковых композиций в планетарном грануляторе: автореф. дис. ... канд. техн. наук; Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2009. – 21 с.
3. Лобовиков Д.В., Матыгуллина Е.В. Получение композиционных гранулированных материалов в планетарном грануляторе. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 153 с.
4. Давление в сыпучем материале при гранулировании в планетарном грануляторе / А.М. Ханов [и др.] // Вестник ПГТУ. Проблемы современных материалов и технологий. – Пермь, 2005. – № 11. – С. 163–169.

Получено 20.01.2010