

УДК 621.927

*Р.В. Барышников**

**РАЗРАБОТКА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ
МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НАНОПОРОШКОВ
МЕТОДОМ САМОИСТИРАНИЯ**

Широкое использование нанопорошков при производстве высокоогнеупорной керамики, радиокерамики, носителей катализаторов дожига выхлопных газов автотранспорта, волоконной оптики и керамики для производства зубных протезов сдерживается высокой стоимостью, недостаточной химической чистотой готового продукта, широким диапазоном гранулометрического состава. Одним из путей решения данной проблемы является получение наноразмерных порошков механическим путем в планетарных мельницах. В большинстве случаев измельчение материала происходит с помощью мелющих тел. Основным механизмом измельчения являются удар и частично истирание. Измельчению ударом подвергаются те частицы, которые попадают между соударяющимися между собой или с обечайкой барабана мелющими телами. Истирание происходит между мелющими телами, которые проскальзывают относительно друг друга. В результате соударений и проскальзывания мелющих тел одновременно с измельчением материала происходит истирание самих тел и в готовом продукте появляются примеси, которые снижают его химическую чистоту.

Измельчение частиц материала возможно и без мелющих тел, т.е. в результате самоистирания. Механизм самоистирания частиц является преобладающим при циркуляционном режиме движения сыпучего материала в поперечном сечении барабана, который существует при угловой скорости вращения барабана в диапазоне $(0,05...0,3)\omega_{кр}$, где $\omega_{кр} = (g/R_6)^{0,5}$, g – ускорение свободного падения, R_6 – внутренний радиус барабана.

* Работа представлена в отборочном туре программы У.М.Н.И.К. 2011 г. в рамках Шестой научной студенческой конференции «Проблемы ноосферной безопасности и устойчивого развития» ассоциации «Объединенный университет им. В.И. Вернадского» и выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО «ГГТУ» В.Ф. Першина.

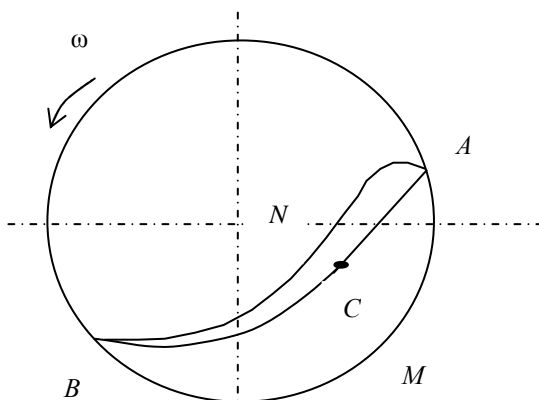


Рис. 1. Схема движения материала в поперечном сечении вращающегося барабана при циркуляционном режиме

При циркуляционном режиме материал, находящийся в поднимающемся слое (*ACBM*, рис. 1), вращается вместе с барабаном и неподвижно относительно обечайки. В скатывающемся слое (зона *ACBN*) частицы движутся вниз. На границе раздела слоев (линия *ACB*) частицы проскальзывают относительно друг друга и именно в окрестности этой границы происходит самоистирание частиц.

Более интенсивно измельчение частиц происходит в планетарной мельнице, схема которой представлена на рис. 2.

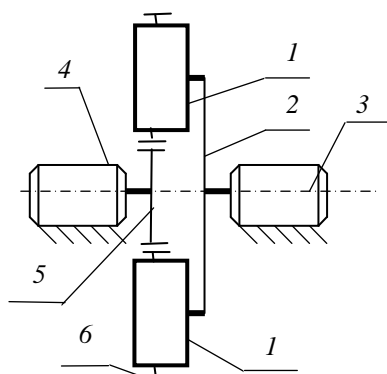


Рис. 2. Схема вертикальной планетарной мельницы:

1 – помольные барабаны; *2* – водило; *3* – привод водила; *4* – привод вращения помольных барабанов относительно их собственных осей; *5* – центральное зубчатое колесо; *6* – зубчатое колесо на барабане

Привод 3 вращает водило 2 с угловой скоростью ω_1 и через зубчатые колеса 5 и 6 вращает барабаны 1 с угловой скоростью $\omega_{61} = \omega_1 i_{56}$, где i_{56} – передаточное отношение между зубчатыми колесами 5 и 6 (рис. 3). Привод 4 вращает зубчатое колесо 5 с угловой скоростью ω_2 . При выключенном приводе 3 от привода 4 барабаны 1 относительно собственных осей будут вращаться с угловой скоростью $\omega_{62} = \omega_2 i_{65}$. Если оба привода включены, то результирующая скорость вращения барабанов относительно собственных осей определяется по следующей формуле:

$$\omega_6 = (\omega_{16} \pm \omega_{26}). \quad (1)$$

Знак «плюс» ставится в том случае, когда приводы 3 и 4 вращаются в одну сторону.

По всей видимости, в планетарных мельницах циркуляционный режим движения сыпучего материала в поперечном сечении помольного барабана существует при тех же условиях, что и в обычном барабане. Можно предположить, что центробежное ускорение в зоне измельчения будет равно: $\alpha = \omega_1^2 R_{сд}$, где $R_{сд}$ – расстояние от центральной оси вращения до центра зоны измельчения. Тогда критическая скорость вращения помольного барабана определяется по формуле:

$$\omega_{крп} = (\omega_1^2 R_{сд} / R_6)^{0,5}. \quad (2)$$

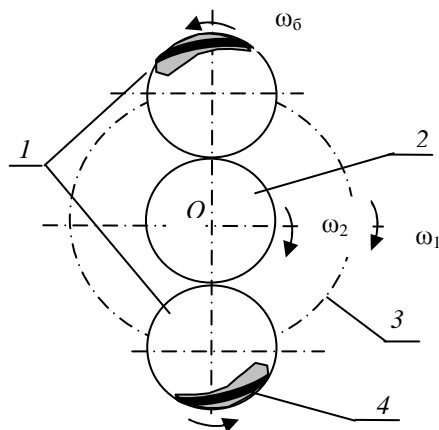


Рис. 3. Схема движения материала в вертикальной планетарной мельнице:

1 – помольные барабаны; 2 – центральное зубчатое колесо;

3 – траектория движения водила; 4 – зона самоистирания

Таким образом, при определенном соотношении угловых скоростей водила и помольных барабанов можно получить характер движения материала, аналогичный показанному на рис. 1.

Результаты предварительных экспериментов показали, что нанопорошки, которые пользуются спросом на рынке, можно получать методом самоистирания, т.е. без мелющих тел, но в этом случае перегрузки в зоне самоистирания планетарной мельницы должны быть порядка 1000g.

К таким материалам относятся, например, нанопорошки оксидов: алюминия; циркония; скандия; титана; церия; иттия; титаната бария.

При реализации измельчения сыпучих материалов методом самоистирания в планетарных мельницах могут быть существенно снижены удельные энергозатраты, т.е. потребление электроэнергии на производство 1 кг нанопорошка. Оптимальный коэффициент заполнения барабана материалом в шаровой мельнице при реализации циркуляционного режима движения равен 0,3, т.е. 30 % объема барабана заполнено мелющими телами и измельчаемым материалом примерно в равных по объему количествах. Если на планетарной мельнице установлено два помольных барабана с внутренними диаметрами 200 мм и длиной 100 мм, то объем мелющих тел составляет 234 см^3 , а масса – 1824 г. Объем измельчаемого материала – 234 см^3 , масса – 468 г. Если исключить из процесса мелющие тела, то массу измельчаемого материала можно увеличить в два раза, т.е. до 936 г. Суммарная масса загрузки в барабан уменьшится с 2292 г до 936 г, т.е. в 2,4 раза. В связи с этим можно уменьшить толщину обечайки барабана с 10 мм до 6 мм, а массу двух барабанов с 12 246 г до 7377 г. Суммарная масса барабанов с загрузкой уменьшится с 14 538 г до 8313 г, т.е. в 1,7 раза. За счет уменьшения суммарной массы потребление электроэнергии на вращение барабанов уменьшится не менее чем в 1,3 раза, а учитывая, что время измельчения уменьшится примерно в 10 раз, а загрузка в барабаны увеличится в 2 раза, удельные энергозатраты на производство нанопорошков уменьшатся примерно в 26 раз.

Поскольку в процессе не применяются мелющие тела, то измельчение всех частиц происходит только по механизму самоистирания, а, следовательно, диапазон изменения гранулометрического состава готового продукта существенно сокращается.

Таким образом, создание высокоскоростной планетарной мельницы, реализующей режим циркуляционного движения измельчаемого материала, позволит повысить производительность оборудования и химическую чистоту нанопорошков, а также получить монодисперсный продукт.

*Кафедра «Прикладная механика и сопротивление материалов»
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*