

УДК 621.926

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ
НА КИНЕМАТИКУ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ В ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

А. И. ЕЛКИН, В. В. РЯБКОВА, А. В. АБОРКИН

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых
Владимир, Россия

















Высокоэнергетический шаровой размол проводят с использованием различного оборудования и условий (различные продолжительность процесса, соотношения массы мелющих тел к массе обрабатываемого материала, среда обработки и т. п.), которые в совокупности с составом шихты в значительной мере влияют на механику процесса. Поэтому для обеспечения повторяемости результатов необходимо использование единого параметра – величины энергонапряженности, характеризующей геометрические и режимные условия механического синтеза, а также учитывающей тип обрабатываемого материала. Численное определение величины энергонапряженности, с учетом перечисленных факторов, влияющих на механику процесса, возможно на основе математического моделирования методом дискретных элементов [1–3]. Целью работы является моделирование процесса высокоэнергетического шарового размола в планетарной мельнице и изучение влияния коэффициентов трения на характер движения мелющих тел. Для достижения поставленной цели в программном комплексе EDEM, основанном на идеологии динамического метода дискретных элементов, была разработана модель высокоэнергетического шарового размола.

Разработанная модель соответствовала условиям обработки в планетарной мельнице Активатор 2S при скорости вращения водила 694 мин^{-1} и передаточном соотношении 2 с использованием стальных шаров и рабочей камеры. Далее были проведены серии численных экспериментов с варьированием коэффициентов, характеризующих контактное взаимодействие мелющих тел. При расчетах была использована модель контактного взаимодействия Герца – Миндлина. Коэффициент статического трения и трения качения изменяли в диапазонах $0,1 \dots 1$ и $0,01 \dots 0,5$ соответственно. Коэффициент реституции во всех расчетах принимали $0,75$.

В табл. 1 приведены мгновенные изображения, характеризующие влияние коэффициентов трения на кинематику движения мелющих тел на установленном режиме обработки. Из представленных данных видно, что увеличение коэффициента трения качения в рассматриваемом диапазоне не оказывает существенного влияния на характер движения шаров. Однако ведет к снижению относительной скорости и количеству столкновений шаров, что уменьшает суммарную энергию столкновения шаров системы. Это особенно заметно для случаев с малым значением коэффициента статического трения. В то же время влияние коэффициента статического трения на характер движения и энергии столкновения шаров системы более существенно. Так, например, заметно, что при росте коэффициента статического трения изменяется характер движения

шаров. При этом снижается доля «малоподвижных» шаров, что ведет к увеличению энергии столкновения шаров системы. Кроме того, значительно увеличивается средняя сила столкновения мелющих тел. Интересным является то, что наличие в рабочей камере обрабатываемого материала (например, алюминиевого сплава), за счет эффекта самофутировки шаров микрочастицами алюминия, по всей видимости, должно повышать коэффициент статического трения, оказывая благоприятное влияние на эффективность обработки. В то же время наличие обрабатываемого материала между сталкивающимися телами делает столкновения шариков менее упругими. Поэтому данный вопрос требует дополнительного исследования.

Табл. 1. Результаты моделирования положения мелющих тел

Коэффициент трения качения	Коэффициент статического трения			
	0	0,2	0,5	1
0				
0,02				
0,1				
0,5				

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00889, <https://rscf.ru/project/23-29-00889/>.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Burmeister, C. F.** Process engineering with planetary ball mills / C. F. Burmeister, A. Kwade // Chem Soc Rev. – 2013. – № 42 (18). – P. 7660–7667.
2. **Rosenkranz, S.** Experimental investigations and modelling of the ball motion in planetary ball mills / S. Rosenkranz, S. Breitung-Faes, A. Kwade // Powder Technology. – 2011. – № 212. – P. 224–230.
3. Моделирование энергосиловых параметров обработки в планетарной мельнице и оценка их влияния на размер частиц композиционного порошка сплава АМг2/графит / В. Г. Гусев [и др.] // Металлы. – 2019. – № 1. – С. 27–34.