

А.А. Гарабажиу, доц., канд. техн. наук
А.Ф. Минаковский, доц., канд. техн. наук
Д.Н. Боровский, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОМОЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ

Воздействие на некоторые вещества, в процессе их измельчения, мощными механическими нагрузками вызывает не только увеличение удельной поверхности, необходимое для реализации многих технологических процессов, но и повышение реакционной активности. Как показывают исследования в области механохимии, в процессе совместной механической обработки смесей твердых материалов происходят измельчение и пластическая деформация вещества. При этом ускоряются процессы массопереноса и происходит смешение компонентов на атомном уровне, что и обеспечивает ускорение химического взаимодействия между твердыми реагентами [1].

Рациональное использование измельчающих аппаратов в качестве механоактиваторов имеет большое значение. При кажущейся простоте выбор правильного аппаратурного решения и оптимизации режимов активации измельчением представляет сложную инженерную задачу.

Попытки объективного сравнения активаторов-измельчителей предпринимались неоднократно. Однако сложная зависимость активации от многих параметров измельчения и отсутствие единой количественной меры активации обрекали сравнительные испытания на неудачу.

Результаты механохимической активации в значительной степени зависят от режима механической обработки. Измельчительные аппараты, в которых обычно проводится механическая обработка, характеризуются различными типами и интенсивностью механического воздействия или их сочетанием. Сравнение эффекта механической активации фосфатных руд магматического происхождения (апатитов), проводимой в различных измельчительных аппаратах, описано в [2]. Оценка измельчительных аппаратов сделана на основании данных как по содержанию фосфатов, растворимых в 2%-ом растворе лимонной кислоты и растворах цитрата аммония с рН 7 и 9, так и по удельным затратам электроэнергии на повышение содержания этих форм фосфата в процессе механической обработки фосфатных руд.

Целью исследований явилось определение оптимального режима активации фосфатных руд различного типа в аппаратах с разным видом механического воздействия на измельчаемый материал. Фосфориты с высокой степенью активации P_2O_5 могут быть использованы, как самостоятельные фосфорные удобрения, так и в качестве фосфорсодержащего сырья в производстве комплексных удобрений.

В работах [3, 4], основная часть экспериментов по механохимической активации (МХА) апатитов фосфоритов проводилась в планетарных мельницах. Однако, среди измельчающего оборудования, которое могло бы послужить в качестве активатора, наибольший интерес для сравнения эффективности представляют аппараты ударного типа – дисмембраторы и аппараты истирающего типа – вибрационные мельницы, которые широко распространены в химической и других отраслях промышленности.

В качестве источников фосфорсодержащего сырья использовали фосфориты желвакового типа Верхнекамского месторождения (РФ) и пластового типа месторождения Каратау (Казахстан), состав которых представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав фосфоритов

Фосфорит	Содержание, мас. %								
	CaO	P_2O_5	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	F	CO_2	п.п.п.
Верхнекамский	37,50	22,45	13,61	4,60	3,90	1,85	2,10	3,80	10,4
Каратау (Жанатас)	39,44	21,5	17,66	1,69	0,94	2,83	1,92	6,30	7,72

Содержание лимоннорастворимой формы P_2O_5 ($P_2O_{5ЛР}$) в исследуемом фосфорите Каратау составило 5,03 % масс., а в Верхнекамском фосфорите – 7,25% масс.

При изучении процесса МХА в дисмембраторе изменяемыми параметрами являлись частота вращения ротора и угол установки лопаток классификационной камеры.

В вибрационной мельнице исследовали влияние на МХА фосфоритов следующих параметров: продолжительность активации, тип мелющих тел и массовое соотношение «материал / мелющие тела».

Основным параметром, по которому оценивалась эффективность процесса активации является содержание фосфатов в усвояемой форме, растворимых в 2%-ом растворе лимонной кислоты $P_2O_{5ЛР}$ (%).

При использовании в качестве активатора дисмембратора установлено, что при значительном увеличении дисперсности фосфорита содержание усвояемой формы P_2O_5 практически не изменяется. Наилучшие результаты были получены при небольших частотах враще-

ния ротора – 1500 об/мин. Для фосфорита Каратау в этом случае повышение содержания $P_2O_{5\text{ДР}}$ составило 1,8%. Однако, в ряде экспериментов было отмечено снижение содержания $P_2O_{5\text{ДР}}$. Это можно объяснить тем, что в аппарате ударного типа образуются частицы со значительно меньшим количеством дефектов в своей структуре и, следовательно, составляющие их вещества менее реакционноспособны.

Изучение процесса МХА фосфоритов в вибрационной мельнице проводили при частоте колебаний 1470 мин^{-1} с использованием в качестве мелющих тел стальных шаров диаметром 2,8 мм, 6 мм, 12 мм при различной продолжительности активации и шаровой нагрузки (массовое соотношение $m_{\text{фосфорита}} : m_{\text{шаров}}$), а также смеси шаров различных диаметров.

Зависимость содержания усвояемой формы фосфора ($W_{P_2O_5(\text{усв.})}$, %) и дисперсности материала при активации Верхнекамского фосфорита в вибрационной мельнице стальными шарами от изучаемых параметров представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость содержания усвояемой формы фосфора, остатка на сите (%) и удельной поверхности Верхнекамского фосфорита в вибромельнице от продолжительности активации и шаровой нагрузки

Продолжительность активации / шаровая нагрузка	$W_{P_2O_5(\text{усв.})}$, %	Размер ячейки сита, мкм						$S_{\text{уд.}}$, $\text{см}^2/\text{г}$
		200	100	80	40	20	<20	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
смесь шаров $\varnothing 6,0 \text{ мм} : \varnothing 2,8 \text{ мм} = 30\% : 70\%$								
исходный	7,25	53,71	37,30	7,60	1,39	0,00	0,00	3754,8
t=15 мин., 1:8	7,77	3,68	10,80	6,22	14,97	6,40	0,01	4013,5
t=15 мин., 1:10	7,38	2,11	11,77	6,34	11,10	3,08	0,00	4428,6
t=20 мин., 1:8	8,39	2,29	12,01	7,42	16,84	5,31	0,00	4186,7
t=20 мин., 1:10	8,18	3,68	13,76	9,11	6,64	0,05	0,00	4674,0
смесь шаров $\varnothing 6,0 \text{ мм} : \varnothing 2,8 \text{ мм} = 70\% : 30\%$								
t=15 мин., 1:8	7,8	0,01	37,66	23,87	33,15	5,30	0,00	4296,9
t=15 мин., 1:10	7,6	0,03	25,73	14,45	26,52	10,08	0,00	4151,3
t=20 мин., 1:8	8,0	5,04	32,62	20,16	26,92	8,49	0,00	4428,6
t=20 мин., 1:10	7,01	3,98	32,62	16,84	20,29	2,65	0,00	4605,7
шары $\varnothing 1,0 \text{ мм}$								
t=15 мин., 1:8	6,18	6,03	40,17	21,95	27,55	4,30	0,00	4037,8
t=15 мин., 1:10	7,84	5,16	35,15	20,09	16,36	0,13	0,00	5541,3
t=20 мин., 1:8	6,485	11,48	45,77	21,52	18,94	1,43	0,00	3940,4
t=20 мин., 1:10	5,935	5,60	37,30	18,51	15,93	0,04	0,00	4128,5
t=25 мин., 1:8	7,37	9,33	38,45	29,27	24,10	1,87	0,00	4157,7
t=25 мин., 1:10	7,985	14,95	43,55	18,69	22,43	0,37	0,00	4363,4
t=30 мин., 1:8	6,62	22,43	53,08	23,36	28,97	0,75	0,00	3912,8
t=30 мин., 1:10	7,92	5,61	46,36	20,93	22,24	0,93	0,00	4037,2

Исследование комбинированного способа МХА, заключавшегося в предварительной обработке фосфорита в дисмембраторе с последующей его активацией в вибромельнице, показало отрицательную эффективность по сравнению с активацией в одной только вибрационной мельнице.

Для определения эффективности помола фосфоритов был использован ситовой анализ при помощи рассеивающей машины Retsch AS 200. С увеличением времени помола увеличивается процентное содержание мелкой фракции с размером частиц менее 100 мкм. В соответствии с полученными экспериментальными данными лучшим соотношением мелющих тел с диаметрами 2,8 мм и 6,0 мм является 30% к 70% от общей массы мелющих тел. Для данного соотношения мелющих тел проводилось дополнительное исследование с предварительным помолом фосфорита на вертикальная центробежно-шаровой мельнице, где тонина помола, оцениваемая при помощи ситового анализа, оказалась выше, чем при измельчении на вибрационной мельнице.

Сравнительный анализ результатов активации фосфоритов в дисмембраторе и вибрационной мельнице показал, что использование последнего измельчителя наиболее целесообразно в производстве фосфорных или комплексных удобрений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутягин, П. Ю. Кинетика и энергетический баланс в механохимических превращениях / П. Ю. Бутягин, А. Н. Стрелецкий // Физика твердого тела. – 2005. – Т.47, вып. 5. – С.37–41.
2. Болдырев, В. В. Эффективность измельченных аппаратов для механического активирования твердых тел / В. В. Болдырев, Е. Г. Авакумов, А. Т. Логвиненко. – Новосибирск: Изд-во ИГД СО АН СССР, 1977. – С. 5–10.
3. Чайкина, М. В. Механохимия природных и синтетических апатитов / М. В. Чайкина. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. – 223 с.
4. Соколов, М. Т. Механохимическая активация в процессах переботки природных фосфатов / М. Т. Соколов // Труды БГТУ. – Мн., 2004. – Вып. XII. – С. 56–60.