

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ШАМОТА

Пилов П.И., докт.тех.наук, проф.,  
Горобец Л.Ж., докт. техн. наук, Прядко Н.С., канд. техн. наук,  
Стрельников Г.А., докт. техн. наук  
Национальный горный университет, Институт технической  
механики НАН и НКА Украины, Днепропетровск

*Исследованы технологические и акустические характеристики процесса струйного измельчения шамота с позиции регулирования производительности струйной мельницы методом акустической эмиссии.*

*Technological and acoustic characteristics of jet grinding process are determined for chamotte to regulate the productivity by the acoustic emission method.*

**Проблема и ее связь с научными задачами.** В настоящее время развивается научное направление прогнозирования показателей измельчения на основе параметров акустической эмиссии при разрушении модельных нагружаемых образцов. Прогноз энергоемкости и эффектов измельчения является актуальной задачей в проблеме оптимизации процесса измельчения и его управления. Исследование процессов измельчения с использованием акустоэмиссионного мониторинга целесообразно, поскольку метод акустической эмиссии позволяет получить информацию об эффектах диспергирования при разрушении измельчаемых частиц в различных измельчительных устройствах и режимах нагружения.

**Анализ исследований и публикаций.** Изучение связей технологических и акустических характеристик процессов измельчения может составить основу для управления эффектами измельчения при решении многих технологических задач: раскрытие минералов в обогащении полезных ископаемых, извлечение металлов в гидрометаллургии, повышение прочности изделий из тонкодисперсных материалов. Установлено, например, что добавка 30...45% тонкодисперсной фракции (-40 мкм) шамота или глинозема, полученной струйным методом, обеспечивает повышение на 33 % прочности обожженных огнеупорных изделий.

**Постановка задачі.** В данной работе проведено изучение влияния крупности измельчаемых частиц при струйном измельчении шамота с использованием акустоэмиссионных и технологических характеристик этого процесса.

**Изложение материала и результаты.** Измельчение (диспергирование) является завершающей стадией разрушения. В исследовании физических закономерностей измельчения определяющая роль принадлежит методу акустической эмиссии, который регистрирует излучение упругих волн при локальных изменениях структуры твердого тела с дефектами. Экспериментальными исследованиями установлена корреляция размеров разрушенных частиц, структурных зерен и трещин в нагружаемом образце [1, 2].

Полагаем, что изменение размера частицы в акте ее разрушения свободным ударом в процессе струйного измельчения обусловит изменение амплитуды акустического сигнала (АС) в согласии с известными эмпирическими зависимостями размера разрыва от длительности и амплитуды АС. По опытным данным [3] в диапазоне размеров трещин от 0,1 мм до 1 км выявлена линейная корреляционная связь (в двойных логарифмических координатах) длительности  $T(c)$  АС с размером  $l$  (м) образовавшейся трещины:  $T = \alpha \cdot l/v$ , где  $v$  – скорость роста образующейся трещины,  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности.

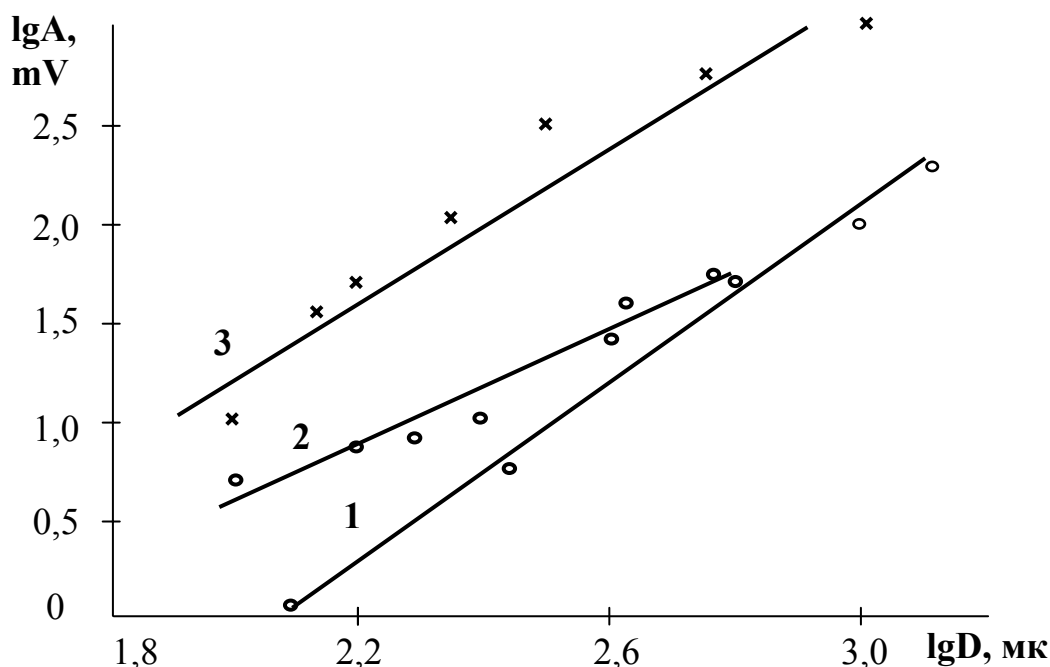


Рис. 1. Связь между размером трещины и амплитудой А.С.

1 – диабаз (размер зерен 0,1...2 мм); 2 – стеклянные волокна (диаметр 0,1...2 мм); 3 – пористое стекло (размер перемычек между порами 0,1...1 мм)

Согласно рис. 1 в диапазоне размеров (0,1...2 мм) структурных неоднородностей (минеральные зерна диабаза, стеклянные волокна, перемычки между порами) максимальная амплитуда АС при разрушении соответствует наибольшей образовавшейся трещине. Из этого следует, что фундаментом прогноза характерных размеров измельченных ударами частиц может служить амплитудный анализ АС при соударениях измельчаемых частиц на основе установленной зависимости характерного значения амплитуды АС от размера разрушаемого образца для конкретного материала.

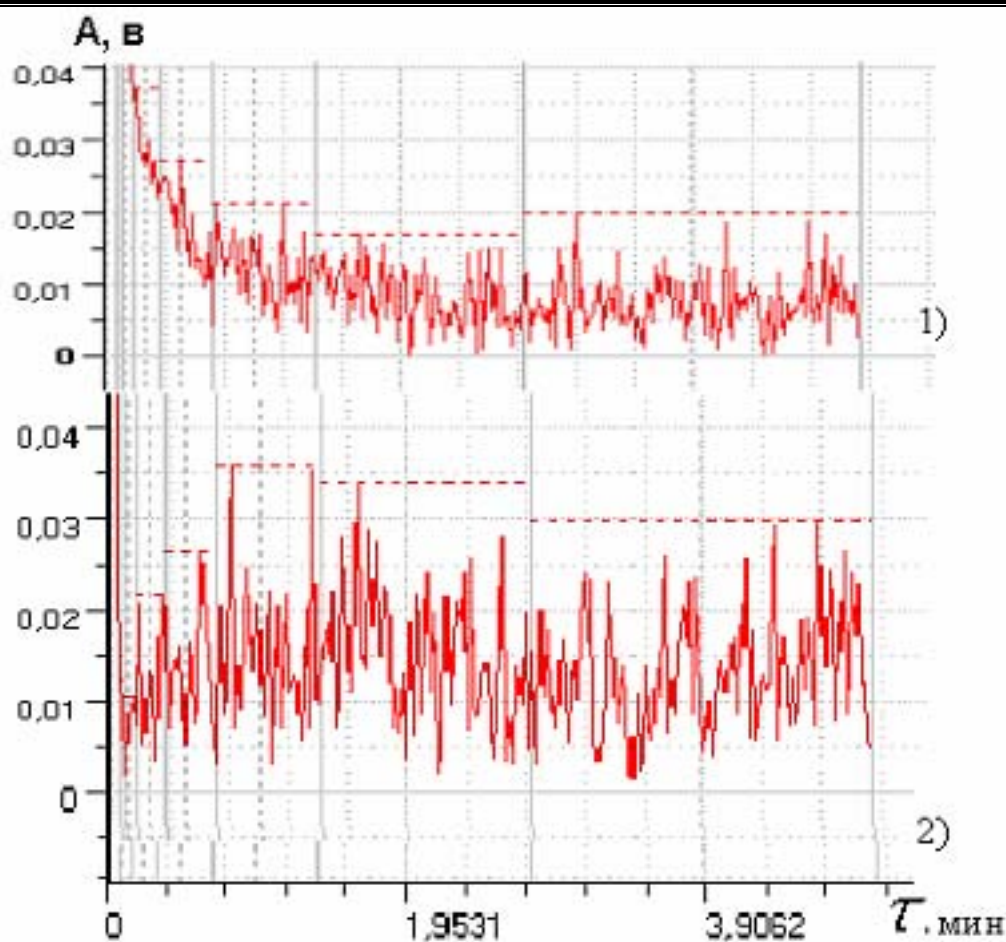
Цель проведенных экспериментов состояла в получении достоверных и представительных выборок с обработкой на ЭВМ для выявления зависимостей между амплитудно-частотными характеристиками АС и крупностью исходных и измельченных частиц в различных режимах загрузки струй материалом.

Разработанная методика позволяла определять акустическую активность зоны измельчения с помощью широкополосного пьезодатчика, соединенного с латунным волноводом (специального профиля), помещенным внутри помольной камеры струйной мельницы. Датчик сигналов АЭ разработки МГТУ им. Баумана [4] был соединен с аналогово-цифровым преобразователем и компьютером. Время регистрации АС составляло 0,1 с. Измельченный материал взвешивался и подвергался ситовому анализу.

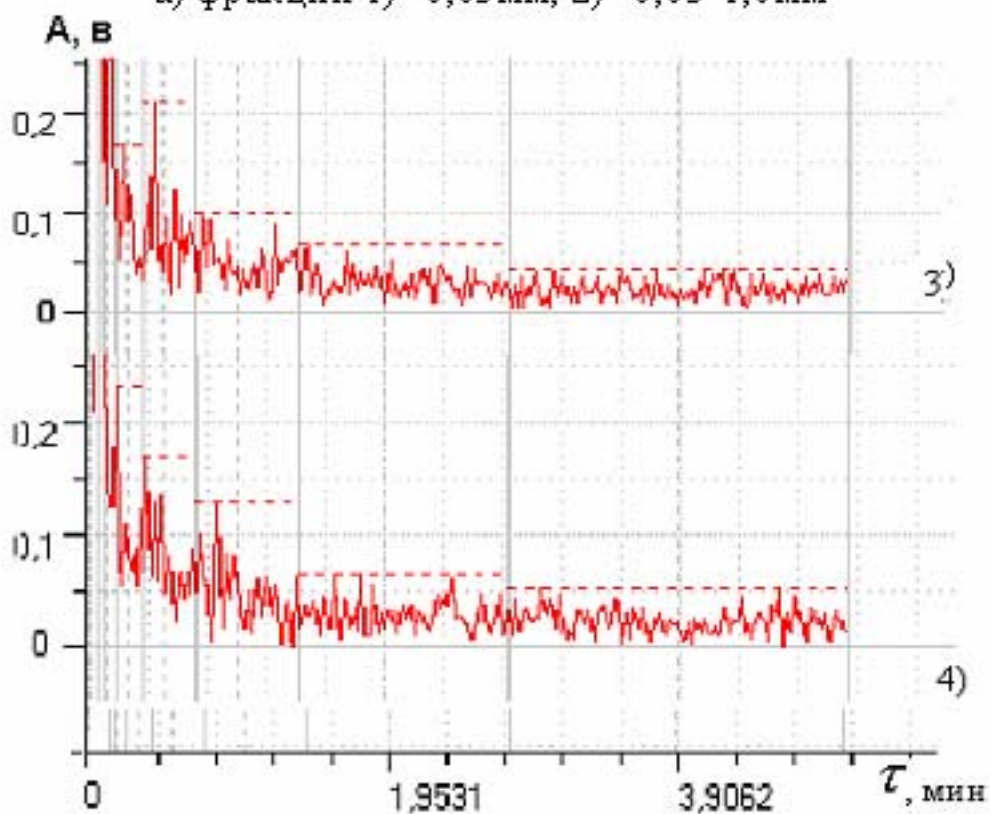
Таблица 1 – Режимы и показатели струйного измельчения шамота

№ п/п	Фракция мм	P, МПа	n, мин <sup>-1</sup>	Q, кг/ч	T, °С	Содержание классов (мкм), %		
						-100	-63	-40
1	-0,63	0,2-0,45	2000	1,48	10	100,0	100,0	99,6
2	1,6-0,63	0,2-0,45	2000	1,47	10	100,0	97,0	95,75
3	2,5-1,6	0,2-0,45	2000	1,46	10	100,0	100,0	99,6
4	3,5-2,5	0,2-0,45	2000	1,44	10	100,0	100,0	99,78
5	Эталон	0,2-0,45	2000	1,64	10	100,0	100,0	100,0
6	3 - 0	0,3	500	-	10	99,35	95,75	не опред
7	3 - 0	0,3	380	-	10	96,7	88,9	- "-
8	3 - 0	0,3	400	-	10	96,65	90,25	- "-
9	-0,63	0,3	400	8,7	200	97,1	88,4	- "-
10	1,6-0,63	0,3	400	5,9	200	95,0	81,7	- "-
11	2,5-1,6	0,3	400	4,9	10	94,3	82,4	- "-
12	3 - 0	0,3	400	5,4	10	97,9	93,0	- "-

*Примечание:* содержание классов (мкм) в исходном материале (3–0 мм) составляет: -100 мкм – 20,2%, - 63мкм – 17,0%; аналогично в эталоне шамота – 94,9 и 83,4%.



а) фракции 1) - 0,63мм, 2) - 0,63-1,6мм



б) фракции 3) - 1,6-2,5мм, 4) - 2,5-3,5мм

Рис.2 - Влияние крупности исходного материала на изменение амплитуд АС в процессе струйного измельчения шамота.

Исходный материал представлял собой дробленый шамот крупностью менее 3 мм полидисперсного состава с преимущественным содержанием следующих фракций (мм): 3,0-1,6 (28 %), 1,6-1,0 (16 %), 1,0-0,63 (11 %), контрольного класса -0,063 (17 %). К измельченному продукту предъявлялось требование достижения дисперсности, близкой к эталонному порошку, в котором содержание класса менее 0,063 мкм составляло 83-85 % при общей крупности не более 5-6 % остатка на сите 0,1 мм.

В таблице 1 приведены условия и результаты струйного измельчения шамота в следующих режимах измельчения и классификации: давление энергоносителя (сжатого холодного или нагретого воздуха  $P_0 = 0,2-0,45$  МПа, температура перед истечением из сопла  $T_0=10-200^\circ\text{C}$ . Производительность мельницы по готовому продукту составила  $Q = 1,44-8,7$  кг/ч в зависимости от режима работы классификатора, изменяющего дисперсность продукта.

На рис. 2 показано влияние крупности исходного материала на изменение амплитуд АС в процессе струйного измельчения шамота для следующих фракций: а) -0,63мм (1), 0,63-1,6мм (2); б) 1,6-2,5мм (3), 2,5-3,5мм (4).

Изменение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) на различных состояниях загрузки струй при измельчении шамота показано на рис.3: а)1-загрузка исходного материала, 2-рабочий режим измельчения, 3- разгрузка мельницы. Рис. 2б иллюстрирует изменение АЧХ в случае подачи в зону помола весьма тонкодисперсных фракций, в частности, при загрузке эталонного порошка шамота (дисперсность -94,9 % класса менее 100 мкм).

В таблице 2 сопоставлены средние и максимальные значения преимущественных амплитуд АС при струйном измельчении фракций в диапазоне от 0,63 до 3,5 мм.

Таблица 2 - Изменение преимущественной величины амплитуды АС в зависимости от фракции измельчаемого шамота.

№	Фракции, мм	Величина амплитуды, В	
		$A_{\text{средн}}$	$A_{\text{мах}}$
1	- 0,63	0,01	0.02
2	+0,63 - 1,6	0,15	0,35
3	+1,6 - 2,5	0,25	0.45
4	+2,5 - 3,5	0,35	0,62

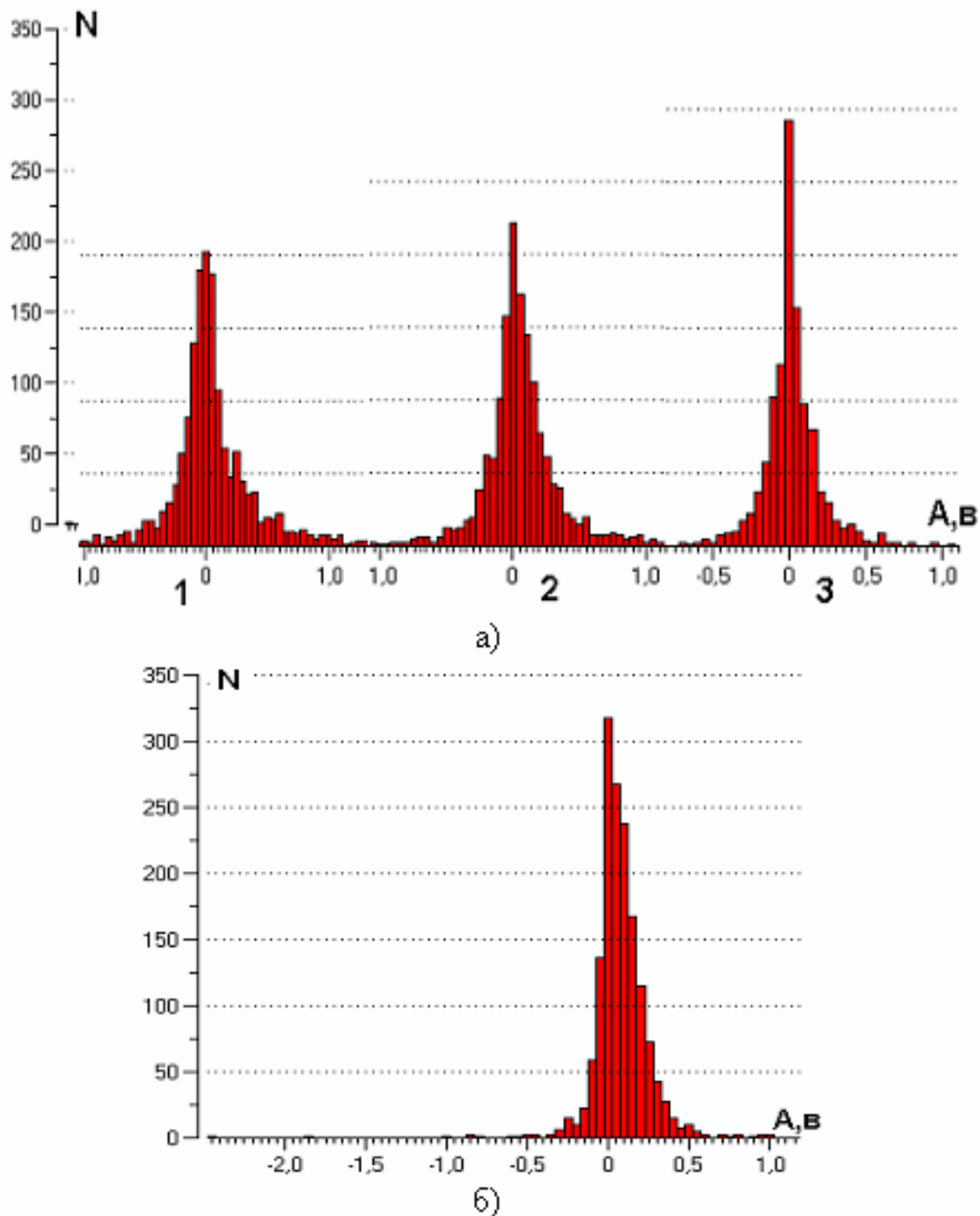


Рис.3-Изменение амплитудно-частотных характеристик струйного измельчения шамота: а) 1-загрузка, 2-рабочий режим, 3- разгрузка, б) счет сигналов АЭ при загрузке эталонного порошка шамота.

**Выводы и направление дальнейших исследований.**

Анализ технологических показателей струйного измельчения шамота позволил сделать следующие выводы.

- С уменьшением частоты вращения ротора классификатора от  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  до  $n = 400 \text{ мин}^{-1}$  производительность мельницы увеличивается от  $Q = 1,44 \dots 1,64 \text{ кг/ч}$  до  $Q = 4,9 \dots 8,7 \text{ кг/ч}$ .

- Уменьшение крупности измельчаемых частиц в 3 раза (от 1 до 0,3 мм) обеспечивает повышение производительности в 1,5 раза.

- Эталонная дисперсность готового продукта достигается в следующем режиме струйного измельчения: опыты № 10, 11 -  $n = 400$  мин<sup>-1</sup> при  $Q = 4,9...5,9$  кг/ч.

- Прирост производительности за счет использования нагретого до 200 °С энергоносителя составил порядка 20 % (средний размер частиц исходного материала - 1...2 мм).

- Для исключения переизмельчения мелких фракций (16% класса менее 100 мкм), содержащихся в дробленом шамоте, целесообразно реализовать операцию предварительного грохочения дробленого шамота по классу менее 100 мкм перед струйным измельчением.

- С целью увеличения удельной производительности и снижения энергоемкости струйного измельчения следует рекомендовать применение нагретого энергоносителя с температурой выше 200...500°С.

- Проведенный акустоэмиссионный мониторинг кинетики струйного измельчения шамота позволил установить закономерное изменение гистограмм АЧХ в результате уменьшения преимущественного размера частиц (твердофазного наполнителя струй), циркулирующих в системе мельница-классификатор: диапазон амплитуд АС с продолжительностью измельчения сокращается, а счет АС в результате накопления в струях измельченных частиц преимущественного размера естественно возрастает (рис. 3а).

- Увеличение крупности измельчаемых частиц на порядок величины (от 0,3 до 3 мм) увеличивает более чем на порядок значение амплитуд АС как при загрузке струй, так и в рабочем режиме измельчения при прочих равных условиях (параметры энергоносителя, режим классификации).

Проведенное исследование показало перспективность применения акустоэмиссионного мониторинга струйного измельчения твердых сыпучих материалов для дальнейшей разработки системы регулирования этого процесса.

Список источников.

1. Горобец Л.Ж. Развитие научных основ измельчения твердых полезных ископаемых. Автореферат дисс. д-ра техн. наук: НГУ: Днепр-ск. – 2004. - 35 с.
2. Пилов П.И., Горобец Л.Ж. Определение связей параметров разрушения и эффектов измельчения горных пород // Матеріали 5-ї Міжнародної конференції «Проблеми комплексного освоєння недр. – Форум гірників» -2007.-11-13 жовтня 2007 р.–м. Дн-ськ.-С.264-269.
3. Фролов Д.И., Килькеев Р.Ш., Куксенко В.С. Изучение динамики слияния микротрещин методом акустической эмиссии // Механика композитных материалов.- 1981.- № 1.- С.116.
4. Бовенко В.Н. Синергетические эффекты и закономерности релаксационных колебаний в состоянии предразрушения твердого тела: Автореф. дисс. д-ра физ.-мат. наук:М.-1990.-30с.

*Дата поступления статьи в редакцию: 05.11.07*

---