

## ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФРАКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОШКОВ ДОМЕННОГО ШЛАКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Установлены методом ситового анализа гранулометрические характеристики порошков доменного шлака различной степени измельчения. Неполная гранулометрическая картина дифференциальной функции распределения по крупности свидетельствует о недостаточно узком диапазоне фракций, использованных при исследовании.

Встановлені методом ситового аналізу гранулометричні характеристики порошків доменного шлаку різного ступеня подрібнення. Неповна гранулометрична картина диференціальної функції розподілу по крупності свідчить про недостатньо вузький діапазон фракцій, використаних при дослідженні.

Granulometric characteristics of blast-furnace slag powders with different grinding are established by a size-consist analysis method. Incomplete granulometric character of a differential function of the fineness distribution testifies that fraction ranges used are inadequate.

**Введение.** Любая дисперсная система наиболее полно может быть охарактеризована гранулометрическим (дисперсным) составом [1]. Эта характеристика является важнейшей, так как применительно к производственной практике градация частиц по степени измельчения в любой дисперсной системе определяет особенности их физико-химических свойств, а следовательно, и технологичность в той или иной области использования.

В настоящее время разработаны различные методы гранулометрического анализа порошковых материалов, применяемые для определенных фракций порошков [2 – 3].

Наиболее часто для контроля процессов измельчения и определения гранулометрических характеристик применяют ситовый анализ, который используется в данном исследовании.

Цель данной работы – установление гранулометрических характеристик доменного шлака различной степени измельчения: шлак отвальный (исходный материал), тонкогранулированный (ТГШ – продукт шарового помола), дисперсный порошок шлака (ПСМ-шлак, продукт струйного измельчения). Результаты ситового анализа этих материалов представлены соответственно в табл. 1 – 3.

Таблица 1

Классы крупности, мкм	$\bar{Y}$ , %	Суммарный выход, %		$\lg Y^-$	$\lg x$	$\lg \lg \frac{100}{\bar{Y}}$	$Y(t) = \frac{\bar{Y}}{\Delta t}$ мкм <sup>-1</sup>
		$Y^-$	$Y^+$				
-2500 + 1600	14,69	85,31	14,69	1,931	3,2041	-0,9206	0,016
-1600 + 1000	14,6	70,71	29,29	1,8495	3,00	-0,9221	0,024
-1000 + 630	12,76	57,95	42,05	1,7631	2,7993	-0,9514	0,034
-630 + 400	12,77	45,18	54,82	1,655	2,6021	-0,6183	0,055
-400 + 200	16,3	28,88	71,12	1,4576	2,3010	-0,8964	0,081
-200 + 63	16,25	12,63	87,37	1,1014	1,7993	-0,8972	0,118
-63 + 50	4,73	7,9	92,1	0,8976	1,699	0,1222	0,364
-50 + 0	7,9	0	100	–	–	–	–

В таблицах приведены результаты разового отсева (частичный выход  $\bar{Y}$ ), расчеты суммарных выходов, представляющих собой сумму выходов всех классов крупнее (суммарный выход по плюсу) и мельче (суммарный выход по минусу) отверстий данного сита, расчеты логарифмических характеристик.

Таблица 2

Классы крупности, мкм	$\bar{Y}$ , %	Суммарный выход, %		$\lg Y^-$	$\lg x$	$\lg \lg \frac{100}{\bar{Y}}$	$Y(l) = \frac{\bar{Y}}{\Delta l}$ мкм <sup>-1</sup>
		$Y^-$	$Y^+$				
- 630 + 400	0,86	99,14	0,86	1,9963	2,6021	0,3149	0,004
- 400 + 200	1,06	98,08	1,92	1,9916	2,3010	0,2953	0,005
- 200 + 63	20,07	78,01	21,99	1,8922	1,7993	-0,8434	0,146
- 63 + 50	15,57	62,44	37,56	1,7955	1,699	-0,9072	1,196
- 50 + 0	62,44	0	100				

Таблица 3

Классы крупности, мкм	$\bar{Y}$ , %	Суммарный выход, %		$\lg Y^-$	$\lg x$	$\lg \lg \frac{100}{\bar{Y}}$	$Y(l) = \frac{\bar{Y}}{\Delta l}$ мкм <sup>-1</sup>
		$Y^-$	$Y^+$				
- 630 + 400	0,37	99,63	0,37	1,9984	2,6021	0,386	0,0016
- 400 + 200	0,22	97,43	2,57	1,9975	2,3010	0,2193	0,011
- 200 + 63	2,75	94,68	5,32	1,9763	1,7993	0,1931	0,02
- 63 + 50	3,08	91,6	8,4	1,9619	1,699	0,1792	0,237
- 50 + 0	91,6	0	100				

Графическое изображение гранулометрического состава – распределение по крупности исследуемых трех проб доменного шлака, представлено на рис. 1, 2, 3.

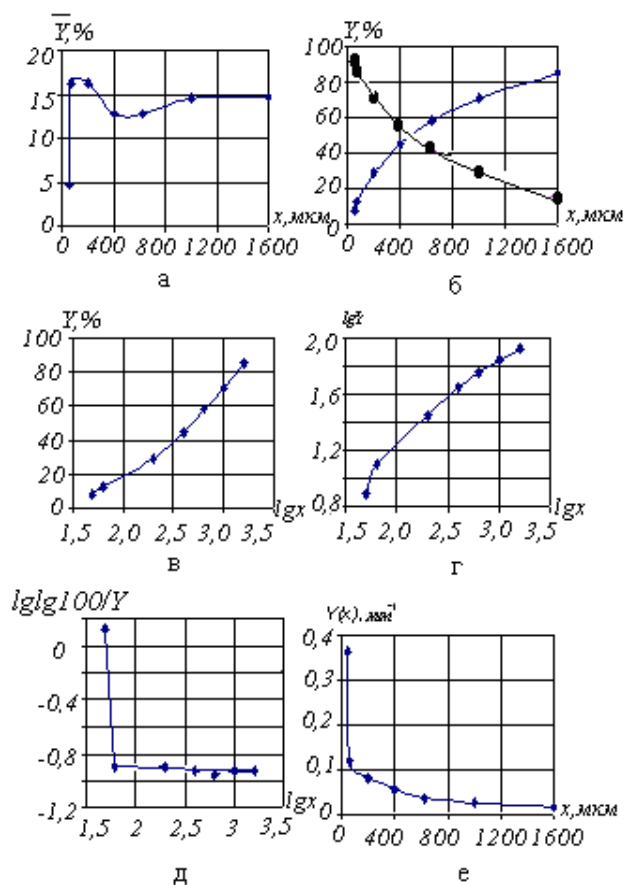


Рис. 1

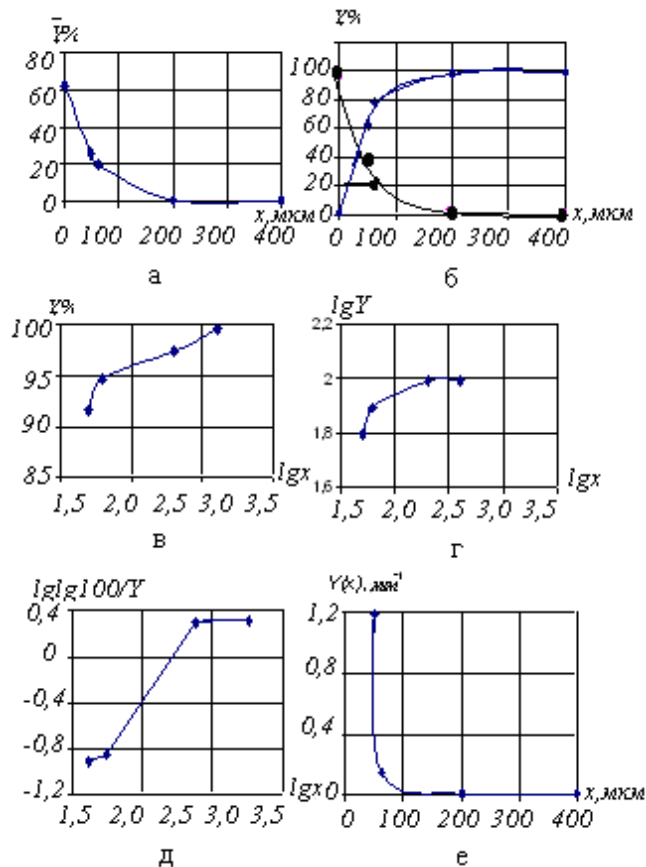


Рис. 2

Характеристики крупности построены в прямоугольной системе координат: частные – по выходу отдельных классов, а кумулятивные (суммарные) – по суммарному выходу классов, размер ячеек сита соответствовал нижней границе класса. Анализ представленных данных (рис. 1а, 2а, 3а) позволяет сделать вывод, что струйное измельчение по сравнению с шаровым дает более тонкие (на 46,7% по классу крупности менее 50мкм) порошки по их грансоставу.

Так как графики 1б, 2б, 3б построены «по плюс  $x$ » и «по минус  $x$ », обе кривые зеркально отображают друг друга и пересекаются в точке, соответствующей выходу материала, равному 50 %. Степень вогнутости кривой «по плюс  $x$ » увеличивается от шлака исходного (рис. 1б) до ПСМ-шлака (рис. 3б), что свидетельствует о преобладании мелких частиц в пробе струйного измельчения.

Суммарные характеристики при графическом отображении в логарифмических и полулогарифмических шкалах позволяют более точно отсчитывать выход частиц мелких классов. Представленные на рис. 1в, рис. 1г, рис. 2в, рис. 2г, рис 3в, рис. 3г логарифмические характеристики отображают характерное распределение в исследуемых пробах шлака зерен по крупности.

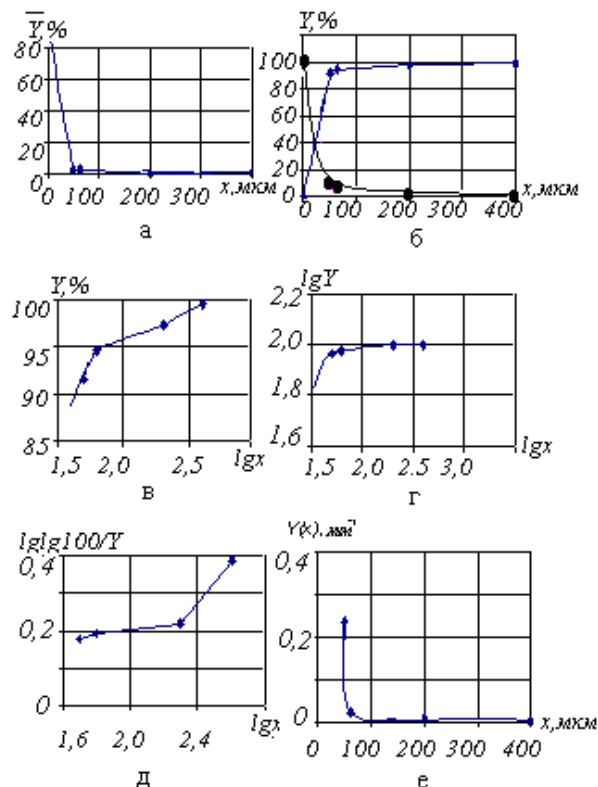


Рис. 3

Гранулометрические характеристики распределения по крупности в аналитической форме описываются теоретическим распределением частиц по размерам – уравнением Розина и Рамллера [4]  $\Phi_{(di+)} = 100 - bd_i^n$ , где  $\Phi_{(di+)}$  – суммарный выход материала класса крупности частиц «по плюсу» определенного размера  $di$  (т.е. крупнее  $di$ );  $b, n$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от свойств материала и размера его частиц.

Полученные экспериментальные гранулометрические характеристики (рис. 1д, 2д, 3д) в графическом отображении приближаются к прямой линии, что вполне соответствует теоретическому распределению по размерам согласно уравнению Розина и Рамллера.

Дифференциальная функция распределения частиц  $f(x)$ , связанная с интегральной функцией  $F(x)$  соотношением  $Y = f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$ , имеет, как правило, один четко выраженный максимум с пологим спадом в область более крупных частиц и более крутым спадом в область более мелких частиц [1, 5].

В данном исследовании дифференциальная функция распределения имеет одну ниспадающую ветвь в область крупных частиц (рис. 1е, 2е, 3е), что может быть объяснено отсутствием в данном ситовом анализе разделения на более мелкие фракции размером менее 50 мкм. Для получения более полной гранулометрической картины требуется дополнительное исследование с разделением на более дробные фракции как по макро-, так и микро- размерам частиц.

При струйном измельчении шлака на противоточной струйной установке производительностью 2–30 кг/ч проводился акустический мониторинг процесса. Используемая аппаратная схема и методика описана в [6]. В экспериментах крупность получаемого измельченного продукта изменяли путем регулирования частоты  $n$  вращения ротора классификатора (типа КОВ) струйной измельчительной установки. В частности, представленные в работе материалы были получены в процессе струйного измельчения при  $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ .

Проведенные исследования позволили проследить зависимость акустических параметров от гранулометрического состава исходного материала. В [6] показана амплитуда акустических сигналов на различных стадиях измельчения шамота. Установлено, что максимальные значения амплитуд акустических сигналов в начале рабочего режима измельчения коррелируют с размером частиц загружаемого материала. На рис. 4а представлены амплитуды сигналов на начальной стадии измельчения исходного отвального шлака. На рис. 4б показаны изменения амплитуды сигналов в первые секунды измельчения шлака после шаровой мельницы и в конце процесса струйного измельчения (рис. 4в).

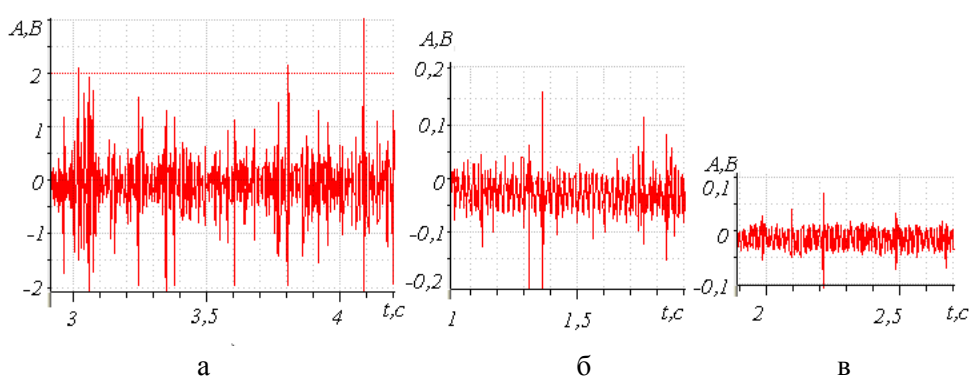


Рис. 4

Гранулометрический состав загружаемого материала соответствует исходному шлаку (рис. 4а), тонкогранулированному шлаку (рис. 4б), который являлся исходным материалом для струйной мельницы. Результат струйного измельчения – дисперсный порошок шлака (рис. 4в). Величина амплитуды для первых видов шлака отличается на порядок, второго и третьего – в два раза, что коррелирует с анализом гранулометрического состава материала. Таким образом, используя результаты акустического мониторинга процесса струйного измельчения, можно контролировать гранулометрический состав получаемого измельченного продукта в процессе измельчения.

#### Выводы.

1. Установлены гранулометрические характеристики по крупности в табличной и графической формах для исходного доменного шлака и измельченного в шаровой и газоструйной мельнице. Газоструйное измельчение дает на 46,7 % мельче порошки самой мелкой фракции (-50 мкм).

2. Полученные экспериментальные гранулометрические характеристики приближаются к прямой линии, что соответствует теоретическому распределению частиц по уравнению Розина и Рамллера.

3. Неполная гранулометрическая картина дифференциальной функции распределения по крупности свидетельствует о недостаточно узком диапазоне фракций, использованных в исследовании порошковых доменных шлаков.

4. На основе акустического мониторинга процесса струйного измельчения можно контролировать крупность частиц получаемого продукта в процессе измельчения.

1. Мяздриков О. А. Дифференциальные методы гранулометрии / О. А. Мяздриков // *Металлургия*, 1974. – 170 с.
2. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П. А. Коузов // Л.: Химия, 1987. – 264 с.
3. Андреев С. Е. Закономерности измельчения и исчисления характеристик гранулометрического состава / С. Е. Андреев, В. В. Товаров, В. А. Перов // М.: Metallurgizdat, 1959. – 437 с.
4. Одинцов А. А. Влияние исходного гранулометрического состава твердого аглоплыва на степень его переизмельчения / А. А. Одинцов, В. А. Долгинский // *Изв. вуз. Черная металлургия* 2009. № 4. – С. 9 – 15.
5. Паничкина В. В. Методы контроля дисперсности и удельной поверхности металлических порошков / В. В. Паничкина, И. В. Уварова // Киев: Наукова думка. 1973. – 188 с.
6. Прядко Н. С. Анализ качества продукта струйного измельчения на основе акустического мониторинга / Н. С. Прядко // *Техническая механика*. – 2010. – № 2. – С. 86 – 101.

Институт технической механики  
НАН Украины и НКА Украины,  
Днепропетровск

Получено 05.08.10,  
в окончательном варианте 24.09.10