

В.П. КРАВЧЕНКО

(Украина, Мариуполь, ПАО "ММК им. Ильича")

**ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АКТИВНОСТЬ
ПОРОШКОВ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ**

Гранулометрический состав порошковых материалов является важной характеристикой, определяющей качество готовой продукции в различных отраслях промышленности [1]. В настоящее время разработаны различные методы гранулометрического анализа порошковых материалов, применяемые для определенных фракций порошков [2].

В данной работе, проведенной в лаборатории Запорожского комбината "Абразив", предоставлены результаты определения гранулометрического состава различных фракций доменного шлака металлургического комбината "Ильича" следующими методами: 1 – ситовый анализ исходного гранулированного доменного шлака и ТГШ (тонкогранулированный шлак) – продукт шарового помола исходного шлака; 2 – анализ на многоканальном анализаторе "Multisizer3", позволяющей одновременно выполнять счет и определять размеры частиц гомогенной суспензии в проводящей жидкости. На данном приборе проводились исследования ТГШ, ПСМ-шлака (продукт струйного измельчения) и ПСМ-шлака активированного, который представляет собой продукт, полученный дополнительным измельчением ПСМ-шлака в струйном аппарате в течении 5 минут.

При проведении гранулометрических анализов путем отсева на стандартном наборе сит были определены модули крупности M_k исходного и измельченных фракций доменного шлака по формуле [3]:

$$M_k = \frac{A_{1,6} + A_{1,0} + A_{0,63} + A_{0,23} + A_{0,063} + A_{0,05}}{100}, \quad (1)$$

где $A_{1,6}$, $A_{1,0}$, $A_{0,63}$, $A_{0,23}$, $A_{0,063}$, $A_{0,05}$ – полные остатки в % на ситах с размером отверстий, соответствующих индексам при A .

Полученные значения модулей крупности M_k для разных фракций доменного шлака представлены в таблице.

Модули крупности разных фракций доменного шлака

Модуль крупности	Шлак исходный	ТГШ (шаровый помол)	ПСМ-шлак (струйный помол)
M_k	3,9	0,62	0,1

Исходя из полученных расчетом по формуле (1) значений M_k и согласно ДСТУ Б.В.2.7-71-98 (ГОСТ 8736-93) "Песок для строительных работ. Технические условия", можно сделать следующее заключение по модулям крупности

Підготовчі процеси збагачення

исследуемых фракций доменного шлака: исходной граншлак ($M_k=3,9$) относится к группе "крупных" песков, ТГШ, имеющий $M_k=0,62$ – "тонкий" песок, ПСМ-шлак ($M_k=0,1$) – "очень тонкий" песок. Следовательно, при помоле исходного граншлака последовательно в шаровой мельнице и струйной установке граншлак из группы "крупных" песков переходит в группу "тонких" песков (ТГШ) и "очень тонких" песков (ПСМ-шлак).

Такое изменение модуля крупности M_k при измельчении шлаков должно приводить к изменению грансостава соответствующей измельченной фракции.

Рассмотрим, как изменяется грансостав шлаков при последовательном измельчении от песков "крупных" до песков "тонких" и "очень тонких".

Для этого все результаты исследований грансоставов (ситовой анализ и Multisizer3) представлены в виде гистограмм распределения частиц по классам крупности (рис. 1-5).

1. Ситовым анализом получены результаты рассева шлака исходного и ТГШ и построены соответствующие гистограммы (рис. 1 и 2) распределение частиц по крупности.



Рис. 1. Гистограмма распределения частиц в шлаке исходном (ситовый анализ)

Підготовчі процеси збагачення



Рис. 2. Гистограмма распределения частиц в ТГШ (ситовый анализ)

Ситовый анализ выявил следующее распределение частиц:

а) шлак исходный (рис. 1) содержал 76,5% частиц крупнее 300 мкм, в котором частицы крупнее 500 мкм составили 40,9%. Частицы тонкой фракции (≤ 63 мкм) составляли 0,7% общей массы пробы;

б) в ТГШ (рис. 2) наибольшее количество частиц содержали фракции: 63-75 мкм – 12,8%, 125-150 мкм – 29,8%, 180-212 мкм – 13,9%. Суммарное содержание частиц крупностью 0-63 мкм составило 12,2%.

По сравнению с исходным граншлаком в ТГШ возросло процентное содержание частиц мелкой фракции (≤ 63 мкм) до 12,8%, а частиц размером 100 мкм и менее составило 38% против 3,5% в исходном шлаке. В исходном шлаке максимум содержания частиц находится в области крупных частиц (300-1000 мкм) (рис. 1). Шаровый помол изменяет гранулометрический состав исходного шлака. Полученный продукт ТГШ имеет большой разброс частиц, т.е. разнообразный грансостав, что хорошо отражается на гистограмме на рис. 2, где наряду с частицами 0-100 мкм – 38%, содержались частицы 100-200 мкм, составляющие 53,7% общей массы пробы. Следовательно, при измельчении исходного шлака в шаровой мельнице, получается продукт ТГШ, имеющий грансостав с широким разбросом частиц по классам крупности.

2. Результаты исследования гранулометрических составов шлаков с разным модулем крупности M_k определяемые как "тонкие" (ТГШ) и "очень тонкие" (ПСМ-шлаки), полученные на приборе "Multisizer3", представлены в виде гистограмм распределения частиц по крупности (рис. 3-5).



Рис. 3. Гистограмма распределения частиц в ТГШ (Multisizer3)

а) на рис. 3 представлена гистограмма распределения частиц по классам крупности в ТГШ, полученная исследованием на приборе "Multisizer3" продукта шарового помола доменного шлака (ТГШ). При сравнении данных результатов с результатами ситового анализа ТГШ (рис. 2) наблюдается общий характер распределения частиц: в обоих методах анализа на гистограммах (рис. 2 и 3) наблюдается разнообразный грансостав без резких скачков содержания частиц каких-либо фракций, т.е. грансостав согласно анализам по двум методам – разнообразный.

В грансоставе ТГШ (рис. 3) в отличие от ТГШ (рис. 2) все 100% частиц были ≤ 42 мкм, т.е. частицы были более мельче. Это можно объяснить не столько разницей в методах анализа, а тем, что пробы для анализа были взяты в разные смены работы шаровой установки, когда в зависимости от потребностей качества выходного продукта ТГШ могли меняться технологические параметры работы установки.

б) на рис. 4 и 5 представлены гистограммы распределения частиц по крупности, в продуктах струйного измельчения шлаков: ПСМ-шлак (рис. 4) и ПСМ-шлак активированный (рис. 5).

Проведенный на приборе Multisizer3 анализ распределения частиц по крупности показал, что, характеризуемые по модулю крупности, как очень "тонкие" пески ($M_k=0,1$), ПСМ-шлаки имеют монодисперсные грансоставы, в которых максимум содержания частиц смещен в сторону мелких зерен как у ПСМ-шлака (рис. 4), так и у ПСМ-шлака активированного (рис. 5). Отличие лишь в количестве содержания частиц, например, в размерном интервале 0-10 мкм у ПСМ-шлака – 85,4%, у ПСМ-шлака активированного – 91,6%. Активация увеличила в ПСМ-шлаке количество частиц ≤ 10 мкм на 6,2%.

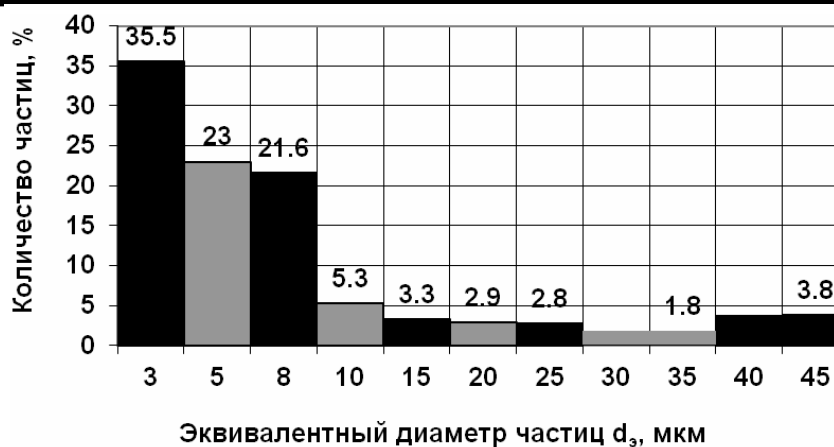


Рис. 4. Гистограмма распределения частиц в ПСМ-шлаке (Multisizer3)

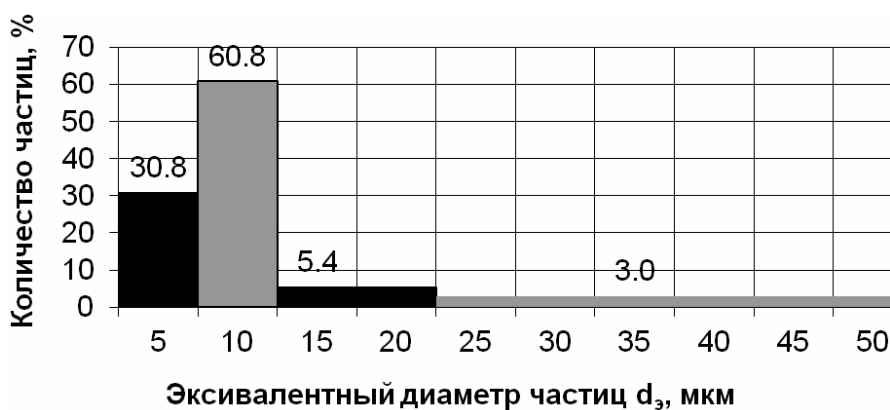


Рис. 5. Гистограмма распределения частиц в ПСМ-шлаке активированном (Multisizer3)

Анализируя полученные результаты измельчения граншлаков, можно отметить, что, изменение грансостава происходит с изменением модуля крупности M_k , что дает основание предположить о существующей взаимозависимости модуля крупности M_k и грансостава шлака, характеризуемого эквивалентным диаметром d_3 и/или удельной поверхностью S исследуемой фракции. Данное предположение (гипотеза) должно быть проверено экспериментальными и аналитическими исследованиями. В случае установления функциональной зависимости $M_k = f(d_3, S)$, зная любой один из трех параметров (M_k, d_3, S), характеризующих измельченный продукт, можно расчётом определить два других параметра без использования сложных и дефицитных для этого приборов.

В данной работе подобная задача не ставилась, т.к. это большой объем работы, которая должна завершиться составлением справочных таблиц численных значений M_k, d_3 и S в широком диапазоне классов крупности от "крупных" песков до "очень мелких", т.е. по крупности частиц от мм до мкм с возможно более узким размерным диапазоном фракции. Подобные справочные таблицы или аналитическая зависимость $M_k = f(d_3, S)$, могут быть востребованы как исследователями, так и производственными.

Підготовчі процеси збагачення

Как показали дальнейшие исследования, изменение при измельчении доменных шлаков их модуля крупности от $M_k = 3,9$ (исходный шлак) до $M_k = 0,1$ (ПСМ-шлак) приводит к получению монодисперсных по грансоставу ПСМ-шлаков (рис. 1-5), которые приобретают высокую поверхностную активность (реакционную способность), проявляющуюся повышением вяжущих свойств шлаков [4, 5].

На рис. 6 представлена гистограмма, показывающая изменение активности шлаков σ в зависимости от размера частиц – эквивалентного диаметра d_3 .

На гистограмме представлены значения σ экспериментальные и расчетные, которые получены по выведенной автором методом математической статистике формуле:

$$\sigma = \frac{950}{\sqrt[3]{d_3}}, \quad (2)$$

где σ – активность фракций доменного шлака ($\text{кг}/\text{см}^2$); d_3 – эквивалентный диаметр частиц, мкм.

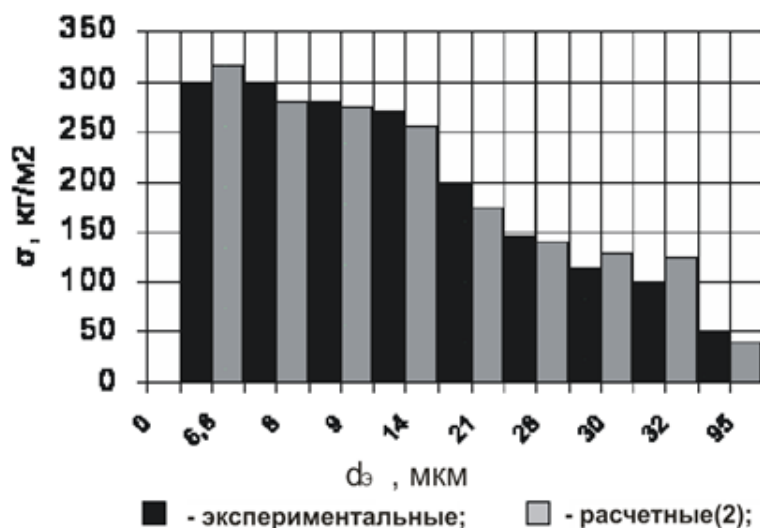


Рис. 6. Гистограмма величин активности шлака в зависимости от размеров частиц

Как видно на рис. 6 экспериментальные и расчетные значения σ близки для каждой фракции. Среднее отклонение расчетных от экспериментальных значений σ не превышает 10%, что вполне приемлемо для практического использования формулы (2).

Из гистограммы (рис. 6) также следует, что в размерном интервале частиц шлака 6-12 мкм активность шлаков σ достигает максимального значения – $300 \text{ кг}/\text{см}^2$. Как было установлено, такими шлаками, имеющими модуль крупности $M_k = 0,1$, являются ПСМ-шлаки, в гранулометрическом составе которых порядка 90% составляют частицы размером до 10 мкм (рис. 4 и 5).

Підготовчі процеси збагачення

Выводы

1. В результате проведенного исследования грансоставов шлаков методом ситового рассева и на анализаторе Multisizer3 построены гистограммы распределения частиц по крупности в шлаках: исходном, продукте шарового помола ТГШ и струйного измельчения – ПСМ-шлаке. Установлено, что шлаки шарового помола ТГШ имеют разнообразный грансостав, а ПСМ-шлаки – монодисперсные, причем ПСМ-шлаки активированные относительно ПСМ-шлаков содержат частицы 0-10 мкм на 6,2% больше.

2. Установлено, что ПСМ-шлаки, в грансоставе которых частицы 6-12 мкм составляют 90%, имеют наибольшую активность $\sigma = 300 \text{ кт/см}^2$.

3. Высказано предположение (гипотеза) о функциональной взаимосвязи модуля крупности M_k , эквивалентного диаметра частицы d_3 и удельной поверхности S . $M_k = f(d_3, S)$, которое требует проверки путем экспериментальных и аналитических исследований.

Список литературы

1. Столина А.Е. Гранулометрический анализ порошка кремния // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – М., 2009. – №2. – С. 31-34
2. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.
3. Чехов А.П., Сергеев А.М., Добров Г.Д. Справочник по бетонам и растворам. 3-е изд. доп. и перераб. – К.: Будівельник, 1983. – 216 с.
4. Кравченко В.П. Высокоактивные вяжущие материалы из доменных шлаков и способы их получения // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 46(87). – С. 20-127.
5. Кравченко В.П., Струтинский В.А. Гидравлическая активность доменных шлаков // Сталь. – 2007. – №1. – С. 94-95.

© Кравченко В.П., 2013

*Надійшла до редколегії 06.03.2013 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*