

**В.П. КРАВЧЕНКО**

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

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧАЕМОСТИ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ**

Доменные шлаки являются неизбежным результатом технологического процесса современного уровня металлургического производства. Как отходы они в недостаточном объеме используются в качестве сырья для дальнейшей переработки, что приводит к их накоплению и образованию огромных отвалов (более 2 млрд т) и значительному изъятию из землепользования ценных угодий (более 160 тыс. га).

Поэтому полная переработка отходов металлургического производства шлаков, является актуальной как с экономической стороны, так и с экологической.

Одним из направлений утилизации шлаков является использование их для получения вяжущих материалов. По своему химическому составу доменные шлаки являются слоистыми оксидными соединениями [1], имеющие гидравлическую активность 1,02-1,07, что ниже активности цементов, составляющей 1,7-2,4 [2]. Доменные шлаки относительно их активности можно характеризовать как скрытно-гидравлические вещества [3]. Чтобы использовать шлаки как вяжущие материалы, необходимо повысить их гидравлическую активность.

Одним из путей повышения активности шлаков является измельчение. Еще Д.И. Менделеев утверждал, что для повышения реакционной способности вещества "необходимо его возможно мелко измельчить".

Автором были проведены исследования зависимости активности доменных шлаков от степени измельчения и установлен гранулометрический состав измельченного доменного шлака, в котором максимум распределения частиц по крупности определяется узким размерным интервалом в зерновом ряду, обладающим высокой реакционной способностью. Измельченные доменные шлаки до такого гранулометрического состава показали высокую активность – 300-400 кг/см<sup>2</sup> [1] и могут быть использованы как вяжущие вещества в строительстве. Во многих производствах используется измельчение материалов, например, в цементной промышленности – измельчение компонентов цемента. Этот процесс энергоемкий и является весомой частью экономических затрат производства.

Поэтому в данной работе были проведены экспериментальные исследования по оценке измельчаемости доменных шлаков относительно ПЦ клинкера для выяснения экономической эффективности технологического процесса получения вяжущих из доменных шлаков путем их измельчения.

В работе [4] автором были выполнены расчеты скоростных характеристик частиц доменного шлака и ПЦ клинкера в струйном аппарате и сделаны выво-

## **Підготовчі процеси збагачення**

ды, что частицы шлака обладают более высокой кинетической энергией, чем частицы ПЦ клинкера и поэтому их разрушение (помол) во встречных струях в помольной камере будет эффективнее, т.е. доменных шлак против ПЦ клинкера будет разламываться легче, что потребует меньших энергозатрат.

Для этой цели была проведена механоактивация (дополнительное измельчение) в течение 3-х минут в струйном аппарате ТГШ (шаровый помол доменного шлака) и портландцемента (95% ПЦ клинкера) являющийся также продуктом шарового помола. На приборе Multisizer 3 был выполнен гранулометрический анализ полученных продуктов измельчения, результаты которых представлены в табл. 1 и 2.

*Таблица 1*

Результаты фракционного анализа шлака активированного

№	Номера группы каналов (фракций)	$d_{\min}$ , мкм	$d_{\max}$ , мкм	$d_{cp}$ , мкм	Суммарный выход, %
1	5 – 7	3,6135	3,857	3,7353	35,47
2	9 – 11	4,5237	4,77	4,647	23,87
3	13 – 21	6,6272	6,989	6,8	21,46
4	23 – 27	10,0627	10,6119	10,3	4,57
5	29 – 33	13,8418	14,5973	14,2	3,29
6	35 – 39	19,0403	20,0795	19,5599	2,92
7	41 – 45	22,8577	27,6206	25,239	2,83
8	47 – 51	36,0274	37,9938	37,0106	1,82
9	53 – 55	46,8826	49,4415	48,162	3,77
$\Sigma$					100,0

*Таблица 2*

Результаты фракционного анализа ПЦ активированного

№	Номера группы каналов (фракций)	$d_{\min}$ , мкм	$d_{\max}$ , мкм	$d_{cp}$ , мкм	Суммарный выход, %
1	7 – 11	4,2996	4,5343	4,417	3,18
2	13 – 17	5,9144	6,2372	6,076	4,19
3	29 – 23	8,1356	8,5797	8,358	5,24
4	25 – 33	12,5399	12,824	12,682	11,8
5	35 – 41	20,1456	21,2452	20,695	15,25
6	43 – 49	30,8192	32,5013	31,66	20,64
7	51 – 57	47,1477	49,7211	48,434	24,87
8	59 – 61	64,49	68,01	66,25	10,04
9	63	75,53	79,6525	77,59	4,79
$\Sigma$					100,0

Каждая проба активированного шлака и цемента прибором Multisizer 3 были разбиты на 64 фракции, которые в табл. 1 и 2 сгруппированы в 9 фракций со средним значением размеров зерен исследуемого материала ( $d_{cp}$ ). Из таблиц видно, что в активированном шлаке около 60% частиц имеют размер порядка 4 мкм (табл. 1), а в активированном ПЦ – 50% частиц распределены в размерном интервале 30-48 мкм (табл. 2). Это различие в крупности частиц хорошо иллюстрируется на графике (рис. 1).

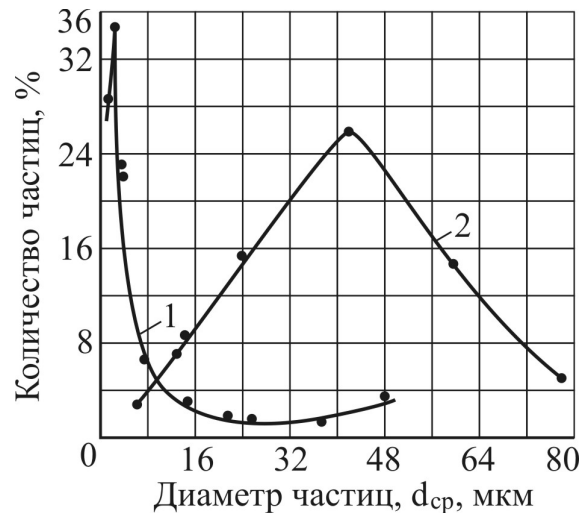


Рис. 1. Графічне зображення розподілу частинок в продуктах активації:  
1 – доменний шлак; 2 – портландцемент

Из рис. 1 видно, что наибольший максимум на кривых распределения по размеру зерен имеет активированный доменный шлак, причем максимум содержания частиц значительно смещен в сторону мелких частиц относительно ПЦ.

Хорошей иллюстрацией разницы в величине зерен служат микрофотографии проб активированных доменного шлака и портландцемента, представленные на рис. 2 и 3.

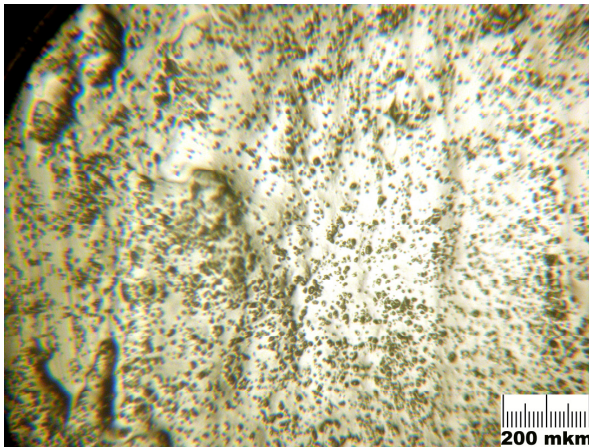


Рис. 2. Микрофотография доменного шлака активированного  
( $d_{cp} = 7,8$  мкм,  $S = 0,87$  м<sup>2</sup>/г)

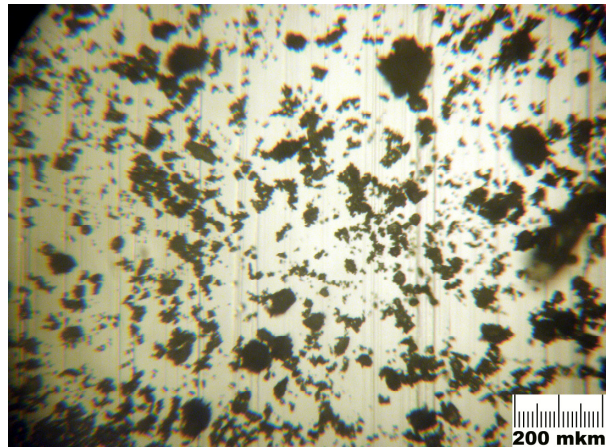


Рис. 3. Микрофотография цемента активированного  
( $d_{cp} = 34,4$  мкм,  $S = 0,26$  м<sup>2</sup>/г)

На рис. 2 и 3 видно, что после одинаковых условий механоактивации в струйном аппарате продуктов шарового помола доменного шлака (рис. 2) и портландцемента (рис. 3) видна разница в величине зерен: механоактивированные шлаки (рис. 2) значительно мельче, чем цемент – ПЦ клинкер (рис. 3).

## **Підготовчі процеси збагачення**

Гранулометрическим анализом активированных продуктов шлака и цемента было установлено: активированные шлаки –  $d_{cp} = 7,8$  мкм; активированные цементы –  $d_{cp} = 34,4$  мкм. Разница в размере зерен очевидна и существенна.

Для получения одинаковой степени дисперсности для ПЩ требуется больше времени механоактивации, чем для шлаков. Следовательно, исследованиями гранулометрической картины распределения частиц по крупности, микрошлаков и цементов подтверждается предположение автора, сделанное в теоретической работе [4] о более высокой степени разрушения-измельчения в помольной камере струйного аппарата доменных шлаков относительно ПЩ клинкера (цемента).

В результате данного исследования установлено, что струйное измельчение доменных шлаков менее энергозатратно, чем измельчение ПЩ клинкера (цемента) и является более предпочтительным способом в технологическом процессе диспергирования доменных шлаков.

### *Выводы*

В результате проведенного экспериментального исследования установлено, что степень измельчаемости доменных шлаков более высокая относительно ПЩ клинкера (цемента) и менее энергозатратна, что положительно скажется на экономической эффективности технологических процессов получения вяжущих материалов из доменных шлаков методом дисперсного измельчения в струйных аппаратах.

### **Список литературы**

1. Кравченко В.П., Струтинский В.А. Гидравлическая активность доменных шлаков // Сталь. – 2007. – № 1. – С. 94-95.
2. Колокольников В.С. Производство цемента. – М.: Высшая школа, 1970. – 287 с.
3. Туттман А. Применение доменных шлаков. – М.: Металлургия, 1966. – 363 с.
4. Кравченко В.П. Динамика дисперсного потока газозвеси в разгонном узле струйного аппарата // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 47(88). – С. 40-48.

© Кравченко В.П., 2012

*Надійшла до редколегії 02.03.2012 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*