

## МЕТАЛУРГІЯ ЧАВУНУ

УДК 669.162.21

Кравченко В.П.\*

### АКТИВАЦИЯ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ

*Методом струйного измельчения проведена активация доменных граншлаков и цементов. Анализ полученных результатов показал подобность изменения характеристик активности и гранулометрического состава шлаков и цементов. Установлено, что доменные граншлаки после активации приобретают свойства высокоактивных вяжущих веществ.*

**Ключевые слова:** Доменные граншлаки, активация, активность, грансостав.

**Кравченко В.П. Активация доменных шлаків.** Методом струменевого подрібнення проведена активація доменних граншлаків і цементів. Аналіз отриманих результатів показав подібність змін характеристик активності і гранулометричного складу шлаків і цементів. Встановлено, що доменні граншлаки після активації набувають властивостей високоактивних в'язучих речовин.

**Ключові слова:** Доменні граншлаки, активація, активність, гранулометричний склад.

**V.P. Kravchenko. Activation of blast-furnace slag.** Activation of blast-furnace granulated slag and cement was produced by jet grinding. The analysis of results showed the similarity of changes of activity characteristics and of slag and cement grain-size distribution. It was revealed that after activation blast-furnace slag acquires the properties of highly active binding materials.

**Key words:** blast-furnace granulated slag, activation, activity, grain-size distribution.

**Постановка проблемы.** Доменные граншлаки являются скрытно-гидравлическими веществами, обладающими высокой потенциальной способностью к твердению. Это свойство связано с особой аморфной (стекловидной) структурой граншлака [1]. Активность шлака возрастает при добавке активизатора. В качестве такого активизатора используют в цементной промышленности клинкер для получения шлакопортландцементов. Но это не решает вопроса более полного использования активных свойств граншлаков, обусловленных их химсоставом и структурой.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время известно использование в Западной Европе и Японии [2] молотого граншлака менее 1 мм в качестве сырья для получения вяжущих материалов. Авторами [3] выполнены экспериментальные исследования по тонкодисперсному измельчению доменных граншлаков, в результате чего были получены порошки граншлаков с удельной поверхностью  $S = 0,6 - 0,8 \text{ м}^2/\text{г}$ , активность которых возросла до  $300 \text{ кг}/\text{см}^2$ .

В ближайшие 5 – 10 лет в развитых странах мира, в том числе и в России, наиболее важными являются исследования в области нанотехнологий (НТ), направленные в том числе и на получение минеральных вяжущих веществ [4–6]. Исследователи НТ предлагают производить домол, например, цемента перед его использованием до наноразмерных частиц, что позволит повысить активность и, как следствие, сократить расход цемента в стройиндустрии.

**Цель работы** – Провести экспериментальные исследования возможности повышения активности путем активации в струйном измельчителе доменных шлаков и цементов, исключив измельчение до наноразмерных частиц.

**Изложение основного материала.** Для эксперимента были взяты доменные граншлаки

\* инженер, ПАО «Марципольский металлургический комбинат им. Ильича»

отвальные (10-ти летние) ТГШ-продукт шарового помола граншлака и цементы свежие и лежа-  
лые (2 года). Активация проводилась в течении 3-х минут в струйном измельчителе при частоте  
вращения ротора классификатора  $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ . Гранулометрический состав определялся  
ситовым анализом – крупнозернистые фракции и на приборе Multisizer 3 – тонкодисперсные  
фракции.

Результаты механоактивации доменных шлаков и цементов представлены в таблице 1. На  
рис. 1 (а и б) отражен характер изменения активности материалов при измельчении различны-  
ми способами.

Таблица 1

Результаты механоактивации доменных шлаков и цементов					
№ п/п	Лабор. ис- ход. №	Материал	Способ из- мельчения	Частота вращ. ротора классиф., $n, \text{мин}^{-1}$	$\sigma$ , $\text{кг/см}^2$
Доменные граншлаки					
11	1800	Граншлак исход.	не измельч.	-	50
12	1801	ТГШ исход.	шаровый	-	271
13	1802	ТГШ активиров.	струйный	3000	422
Шлак отвальный (10 лет)					
18	1807	Шлак отвал. исход.	не измельч.	-	2,5
19	1808	Шлак активиров.	струйный	1500	5,3
20	1809	---	---	1800	10,2
21	1810	---	---	2000	29,0
22	1811	---	---	2200	36,0
Портландцемент свежий (ПЦ)					
1	1790	ПЦ исход.	шаровый	-	382
2	1791	ПЦ активиров.	струйный	1500	426
3	1792	---	---	2000	523
4	1793	---	---	2500	596
Портландцемент 2006 года (2 года)					
5	1794*	ПЦ исход.	не измельч.	-	-
6	1795	ПЦ активиров.	струйный	2000	350
7	1796	---	---	2500	372

\*образец не выдержал испытание, рассыпался

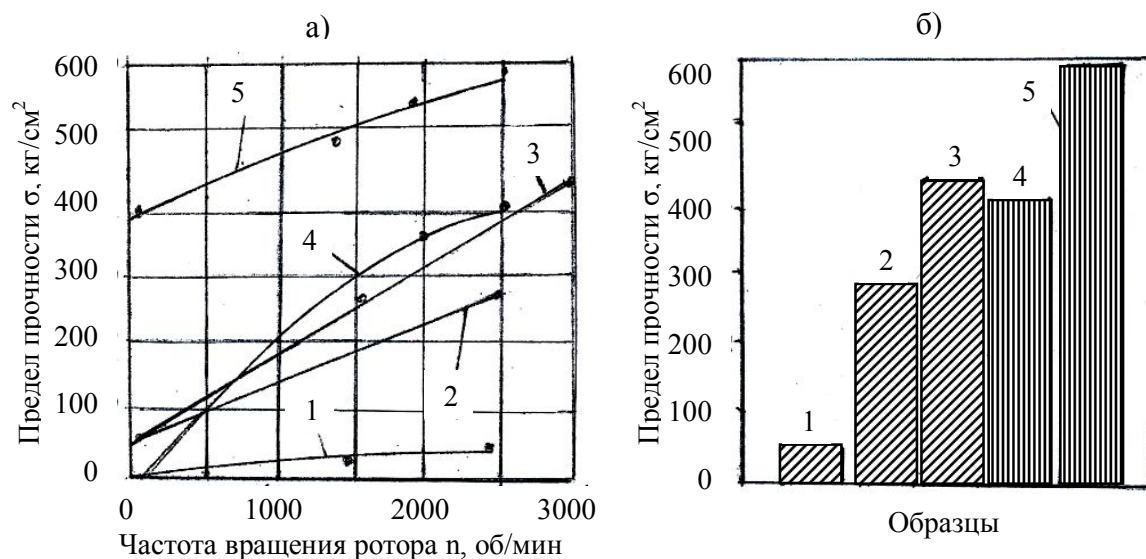


Рис. 1 – Изменение активности измельченных разными способами шлаков и цементов:  
а – зависимость прочности материалов от частоты вращения ротора классификатора;  
б – диаграмма прочности (активности) разноизмельченных шлаков и цементов

На графике и диаграмме: 1 – исходный шлак (отвальный – 10 лет); 2 – ТГШ (шаровый помол граншлака); 3 – активированный ТГШ; 4- цемент свежий; 5 – цемент активированный.

В результате испытаний установлено, что доменные граншлаки после механоактивации в струйной установке повысили свою активность до 422 кг/см<sup>2</sup> (табл. 1, на рис. 1 п. 3 (а и б), что соответствует по показателям прочности цементу М 400. Свежие ПЦ повысили активность в 1,5 раза (от 382 до 596 кг/см<sup>2</sup>, см. табл. 1).

Механоактивация лежалых цементов (2 года) от непригодного к использованию состояния повысила активность до 372 кг/см<sup>2</sup>, что делает их пригодными к использованию в качестве вяжущего.

Низкие показатели активности отвальных шлаков (10 лет) (табл. 1, рис. 1 п. 1 (а и б) объясняются происходящей со временем рекристаллизацией. Шлаки в процессе хранения теряют свою аморфную (активную) структуру, поскольку воздействие атмосферных осадков и СО<sub>2</sub> приводит к их карбонизации: основной клинкерообразующий оксид СаО превращается в карбонат кальция СаСО<sub>3</sub> и реакционная способность шлака снижается.

В результате проведенных исследований установлено, что механоактивация доменных шлаков и цементов методом струйного измельчения сопровождается ростом степени измельчения (дисперсности) и активности вяжущих материалов. Эти изменения нельзя рассматривать в отрыве от гранулометрических показателей дисперсной системы, которые являются важнейшей характеристикой измельченного материала, необходимой для организации технологического процесса дальнейшей переработки.

Были исследованы гранулометрические характеристики: доменные граншлаки – исходные, ТГШ и ТГШ активированный, цементы – исходный и активированный.

Исследования проводились в два этапа:

1 – ситовый анализ грубых фракций;

2 – анализ дисперсных фракций на приборе Multisizer 3.

Результаты гранулометрических исследований зернового состава доменных шлаков и цементов исходных и активированных приведены в табл. 2.

Таблица 2

Зерновой состав доменных шлаков и цементов исходных и активированных

Материал	Наименование остатка	Остатки, % по массе на ситах							
		1,6	1,0	0,63	0,04	0,02	0,063	0,05	-0,05
Граншлак исходный	частный	14,69	14,6	12,76	12,77	16,3	16,25	4,73	7,9
	полный	14,69	29,29	47,05	59,82	75,12	92,37	97,1	
Модуль крупности шлака – 4,15									
ТГШ ис- ходный	частный	0,1	0,26	0,22	0,28	1,06	20,07	15,58	62,43
	полный	0,1	0,36	0,58	0,86	1,92	21,99	37,57	
Модуль крупности ТГШ – 0,63									
ТГШ ак- тив. ПСМ	частный	-	-	-	0,37	2,2	2,75	3,08	91,6
	полный				0,37	2,57	5,32	8,4	
Модуль крупности ПСМ-шлака – 0,02									
		0,106	0,090	0,075	0,063	0,053	0,045	-0,045	
Цемент исходный	частный	6,8	24,8	22,6	24,6	11,9	6,3		3,0
	полный	6,8	31,6	54,2	78,8	90,7	97,0		
	Размер зерна по прибору Multisizer 3, мкм								
		70,2	53,57	39,15	24,4	14,38	9,85	5,25	
Цемент активир.	частный	14,72	11,23	22,08	21,53	14,43	7,64	8,37	
	полный	14,72	25,95	40,03	69,56	83,98	91,63	100	

Из таблицы 2 видно, что с возрастанием степени измельчения (от исходного состояния до активированного) модуль крупности доменных граншлаков снижается от 4,15 до 0,02 соответственно. При этом содержание частиц менее 50 мкм увеличивается от 7,9 % в исходном состоянии шлака до 91,6 % в активированном шлаке.

В цементах (см. табл. 2) содержание частиц размером менее 45 мкм в исходном состоянии составляет 3 %, в активированном цементе – частицы менее 40 мкм составляют 65 %.

Результаты исследования свидетельствуют, что механоактивация в струйном измельчителе доменных шлаков и цементов наряду с ростом их активности сопровождается изменением их гранулометрических составов, характер изменения которых представлен на рис. 2 (а, б).

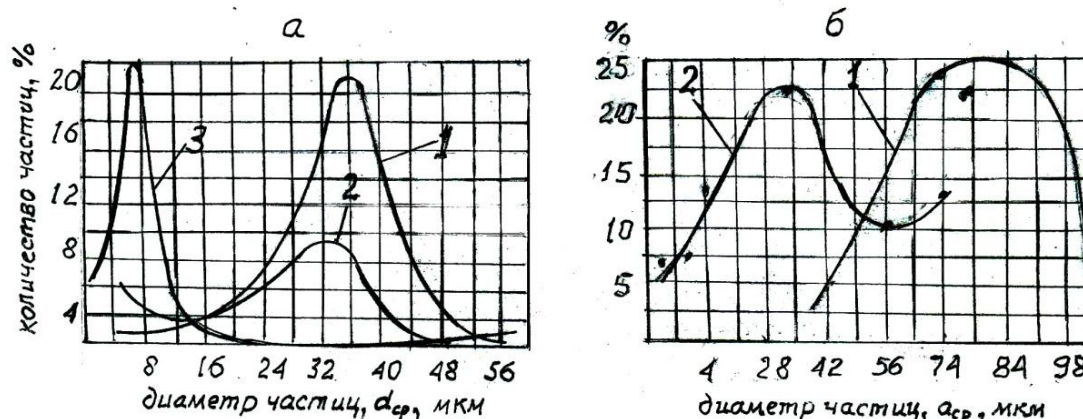


Рис. 2 – Графическое представление данных гранулометрического анализа  
а – доменные шлаки, где 1 – исходный шлак, 2 – ТГШ, 3 – ПСМ-шлак (активированный);  
б – портландцементы, где 1 – исходный цемент, 2 – активированный цемент

Из рисунка 2 (а и б) видно, что активация доменных шлаков и цементов изменяет их гранулометрическую характеристику. Характер изменения гранулометрической картины доменных шлаков подобен изменению гранулометрии цемента.

Максимумы содержания частиц (рис. 2, а и 2, б – пики кривых) смещаются одинаково у доменных шлаков и цементов в сторону мелких частиц.

### Выводы

1. Установлено, что активация в струйном измельчителе при частоте вращения ротора классификатора  $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$  повысила активность доменных шлаков и цементов в 1,5 раза: доменных шлаков – с  $270 \text{ кг/см}^2$  до  $422 \text{ кг/см}^2$ , цементов – с  $382 \text{ кг/см}^2$  до  $596 \text{ кг/см}^2$ .
2. Гранулометрическая характеристика активированных шлаков и цементов свидетельствует, что увеличение активности в 1,5 раза не требует измельчения до наноразмерных частиц.
3. Максимумы (пики на кривых) содержания частиц при активации у доменных шлаков смещаются, как и у цементов, в сторону мелких частиц.
4. При активации по характеру изменения активности и гранулометрии доменные шлаки ведут себя подобно классическому вяжущему – портландцементу.
5. Активацию можно использовать в технологии получения вяжущих из доменных граншлаков.

### Список использованных источников

1. Гуттман А. Применение доменных шлаков. - М, 1935. – 646 с.
2. Kikuchi Y. Field Investigation on the Property Change of Granulated Blast Furnace Slag used for Backfilling of Quay Wall Jut. / Y. Kikuchi, M. Ikegami, H. Yamazaki // Symposium on Engineering Practice and Performance of Soft Deposits (JS-Osaka 2004) Japanese Geotechnical Society, 2004.
3. Кравченко В.П. Гидравлическая активность доменных шлаков / В.П. Кравченко, В.А. Струтинский // Сталь. – 2007. - № 1. – С. 94-95.
4. Корнеев В.И. Ускорители схватывания и твердения портландцемента на основе оксидов и гидроксидов алюминия / В.И. Корнеев, И.Н. Медведев, А.Г. Ильясов // Цемент и его применение. – 2003. – № 2. – С. 40-42.
5. Запорожкова И.В. Строение, свойства и перспективы использования нанотурбулентных материалов / И.В. Запорожкова // Нанотехника. - 2005. - № 4. – С. 42-54.
6. Яковлев Г.И. Нанодисперсная арматура в цементном пенобетоне / [Г.И. Яковлев и др.] – Технологии бетонов. – 2006. - № 3. – С. 50-52.

Рецензент: В.А. Маслов  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.10.2010