

- izing drum/ V.I. Zaselsky, D.V. Popolov, S.A. Uchitel' // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – 2010. –V. 2/1 (44) – P. 73-76. (Rus.)
4. Korotych V.I. Agglomeration of ore materials / V.I. Korotych, Y.A. Frolov, G. N. Bezdezhsky // Scientific edition. - Ekaterinburg: SEE HPE "UGTU-UPI", 2003. – 400 p. (Rus.)
5. Quality of sinter and recycled sinter fines on different stages of processing of sinter / G.V. Korshikov, S.L. Zevin, E.V. Nerzhitsky [et al] // Steel. – 1988. – V. 12. – P. 6-12. (Rus.)
6. Bazilevich S.V. Study of recycled sinter fines regime / S.V. Bazilevich, E.A. Pakhomov // Steel. – 1964. – V. 2. - P. 108-111. (Rus.)
7. Bazilevich S.V. Agglomeration / S.V. Bazilevich, E.F. Vegman. – Moscow: Metallurgy, 1967. – 368 p. (Rus.)
8. Method of preparation of the sinter charge: A. c. 1082848 USSR, IPC C 22 B 1/16. (Rus.)
9. Method of preparation of the sinter charge: A. c. 420670 USSR, IPC C 21 B 1/10. (Rus.)

Рецензент: В. П. Тарасов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 16.11.2011

УДК 669.162.21

©Кравченко В.П.*

СЕЛЕКТИВНАЯ АКТИВАЦИЯ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ

По результатам гранулометрических исследований ТГШ и ПМС-шлаков разработана схема селективной активации доменных шлаков, которая в два раза снижает потребный объем доизмельчаемого шлака. Регулировка работы классификатора первичной классификации позволяет получать грансостав с оптимальным размерным рядом зерен высокой реакционной способности.

Ключевые слова: доменные граншлаки, активация, активность, грансостав, классификатор.

Кравченко В.П. Селективна активація доменних шлаків. За результатами гранулометричних досліджень ТГШ та ПСМ-шлаків розроблена схема селективної активації доменних шлаків, які у два рази знижують необхідний об'єм подрібнення шлаку. Регулювання роботи класифікатора первинної класифікації дозволяє отримати гранулометричний склад з оптимальним розмірним рядом зерен високої реакційної здібності.

Ключові слова: доменні граншлаки, активація, активність, гранулометричний склад, класифікатор.

V.P. Kravchenko. Selective activation of Blast Furnace slag. On the basis of grain size analysis of SGS and PSM slags a procedure for selective activation of blast furnace slag was developed, which is capable of reducing twice the required volume of slag regrinding. By adjusting the operation of primary stage classifier it is possible to obtain granule composition with optimal grain sizes with high reaction capability.

Keywords: blast-furnace granulated slag, activation, activity, grain-size distribution, classifier.

Постановка проблемы. Как указывается в источнике [1] механоактивация в струйной установке ТГШ (продукт шарового помола граншлака) повышает гидравлическую активность доменных шлаков до величины, равной марке портландцемента (ПЦ) М400. При этом рекомен-

* инженер ПАО ММК «Ильича», г. Мариуполь

дуются использовать активацию в технологии получения вяжущих материалов из доменных шлаков. Важным при этом является удержание этого технологического процесса в рамках экономической целесообразности. Для этого необходим выбор оптимального способа активации – модели разрушения зерна, корректировка грансостава и аппаратное обеспечение.

Анализ последних исследований и публикаций. На протяжении длительного времени еще в СССР проводились научно-исследовательские работы, направленные на увеличение вяжущих свойств портландцементов (ПЦ), обеспечения более полного использования потенциальной энергии минеральных вяжущих веществ, экономии энергии и топливных ресурсов [2].

Увеличение активности поступающего на предприятия портландцемента путем дополнительного измельчения в шаровой мельнице до удельной поверхности $S = 3000-3500 \text{ см}^2/\text{г}$ нецелесообразно. Прирост удельной поверхности практически пропорционален затраченной работе [3].

Несмотря на долгие годы теоретических и экспериментальных исследований, отработанного эффективного способа активации портландцемента, когда бы затраты на ее осуществление не превышали бы затрат на его производство, в настоящее время не существует.

В источнике [4] предлагается метод селективной дезинтеграторной активации портландцементов, где авторы вместо шаровой мельницы предлагают использовать дезинтегратор для повышения активности портландцементов. Использование данного метода позволяет увеличить долю цементных зерен средней, наиболее ценной фракции, получить частицы осколочной формы, и таким образом кардинально повысить вяжущие свойства портландцемента при минимальных энергозатратах и эксплуатационных расходах.

Цель работы. Полученные в работе [1] результаты механоактивации доменных шлаков и цементов подтверждают его эффективность как способа повышения активности вяжущих материалов. Целью данной работы является разработка оптимального варианта селективной активации доменных шлаков согласующегося с его экономической целесообразностью.

Изложение основного материала. Активацию доменных шлаков можно эффективно реализовать ударным методом измельчения [4]. В данном случае была выбрана струйная противоточная установка, где частицы шлака разрушаются при соударениях во встречных воздушных потоках (струях), истекающих из специальных сопел с до и сверхзвуковыми скоростями.

При этой схеме частицы доменного шлака легко разрушаются по местам концентрации дислокаций, образуя зерна угольной (щебеночной) формы, которые обладают повышенной реакционной способностью [1]. Для повышения эффективности активации в качестве исходного материала был выбран предварительно измельченный в шаровой мельнице граншлак – ТГШ.

На лазерном приборе Multisizer 3 были проведены гранулометрические анализы измельченных шлаков. Multisizer 3 представляет собой многоканальный анализатор – от 4 до 300 каналов (фракций), на которые прибор позволяет разделить любое распределение по размеру зерен и одновременно выполнять счет и определять размеры частиц. Для получения более полной гранулометрической картины распределения частиц по крупности исследование проводилось на 256 каналах (фракциях).

Результаты гранулометрических анализов шлаков измельченных в шаровой мельнице – ТГШ и в струйной установке – ПСМ-шлак, приведены в табл. 1 и 2.

Наибольшую активность ($300-422 \text{ кг}/\text{см}^2$) показали ПСМ-шлаки и ПСМ-шлаки активированные [1]. При рассмотрении результатов гранулометрического анализа ПСМ-шлака (табл. 2) установлено, что фракция менее 20 мкм составляет 99 %. ПСМ-шлаки имеют монодисперсный зерновой состав и представлен в основном частицами размером менее 20 мкм, следовательно, ПСМ-шлаки имеют оптимальный зерновой ряд с частицами высокой реакционной способности.

Одним из действенных способов увеличения активности без существенного изменения его дисперсности является также и изменение формы зерна при его помоле в зависимости от типа помольного оборудования.

Выполненные микрофотографии шлака исходного (фракция – -80 мкм, рис. 1), ТГШ (рис. 2), ПСМ-шлаки (циклон и активированный шлак, рис. 3) показывают, что частицы шлака исходного имеют более округлую форму, чем ТГШ.

Исходный цемент имел осколочную форму зерна, ТГШ – «огалькованную».

Таблица 1

Результаты фракционного анализа ТГШ – 256 фракций

№ п/п	Номера группы каналов (фракций)	d_{\min} , МКМ	d_{\max} , МКМ	d_{cp} , МКМ	Суммарный выход, %
1	1 – 13	2,59	5,64	5,62	4,08
2	15 – 27	6,50	6,57	6,53	4,60
3	29 – 39	7,48	7,56	7,52	2,29
4	41 – 51	8,53	8,62	8,57	2,47
5	53 – 59	9,50	9,60	9,55	1,89
6	61 – 69	10,47	10,59	10,53	2,55
7	71 – 77	11,54	11,67	11,61	2,40
8	79 – 83	12,45	12,59	12,52	2,08
9	85 – 91	13,44	13,58	13,51	2,94
10	93 – 97	14,498	14,656	14,58	2,39
11	99 – 103	15,47	15,64	15,55	2,64
12	105 – 109	16,51	16,69	16,60	3,08
13	111 – 113	17,43	17,62	17,52	2,19
14	115 – 119	18,40	18,60	18,50	3,24
15	121 – 123	19,43	19,63	19,53	2,46
16	125 – 129	20,51	20,73	20,62	4,04
17	131 – 133	21,65	21,89	21,77	2,75
18	135 – 137	22,61	22,86	22,73	3,05
19	139 – 141	23,62	23,87	23,74	3,15
20	143 – 154	24,66	24,93	24,79	3,76
21	147 – 151	26,04	26,32	26,18	5,6
22	153 – 157	27,79	28,09	27,94	6,14
23	159 – 161	29,33	29,66	29,49	4,52
24	103 – 167	30,97	31,31	31,14	7,26
25	169 – 173	33,06	33,42	33,24	6,07
26	175 – 181	35,67	36,06	35,86	6,95
27	183 – 187	38,48	38,90	38,69	3,42
28	189 – 193	41,06	41,51	41,29	1,58
29	197 – 199	44,30	44,78	44,54	0,31
30	203	46,77	47,27	47,02	0,1
Σ					100

Таблица 2

Результаты фракционного анализа ПСМ-шлака (256 фракций)

№	Номера группы каналов (фракций)	d_{\min} , МКМ	d_{\max} , МКМ	d_{cp} , МКМ	Суммарный выход, %
1	1 – 7	3,849	3,897	3,874	7,51
2	9 – 25	4,517	4,64	4,578	17,56
3	27 – 39	5,486	5,553	5,52	16,54
4	41 – 53	6,506	6,586	6,546	20,01
5	55 – 63	7,526	7,619	7,572	14,18
6	65 – 73	8,503	8,606	8,555	10,96
7	75 – 81	9,478	9,602	9,54	5,69
8	83 – 89	10,457	10,58	10,52	3,23
9	91 – 97	11,528	11,669	11,60	1,52
10	99 – 103	12,55	12,71	12,63	0,62
11	105 – 109	13,50	13,67	13,58	0,39
12	111 – 117	14,71	14,89	14,80	0,24
13	121 – 125	16,41	16,65	16,53	0,13

Продолжение табл. 2

№	Номера группы каналов (фракций)	d_{\min} , мкм	d_{\max} , мкм	d_{cp} , мкм	Суммарный выход, %
14	127	17,23	17,44	17,34	0,04
15	133 – 135	19,76	18,99	18,87	0,05
16	137 – 139	18,70	19,94	19,82	0,11
17	143	20,94	21,19	21,06	0,03
18	149	22,53	22,80	22,66	0,04
19	161	26,07	26,39	26,23	0,06
20	167	28,05	28,39	28,22	0,07
21	179	32,47	32,87	32,67	0,11
22	199	41,43	41,94	41,68	0,25
23	221	54,17	54,83	54,5	0,57
Σ					100,0

В ПСМ-шлаке (рис. 3, а) частицы имели осколочную «щебеночную» форму, так как разрушение зерна происходит путем свободного соударения частиц при их движении в воздушном потоке, такое воздействие вызывает разрушение зерен по местам структурных дефектов. Микрофотографии исходного цемента (шаровый помол, рис. 4, а) показали различие в форме зерна от ТГШ (рис. 2).

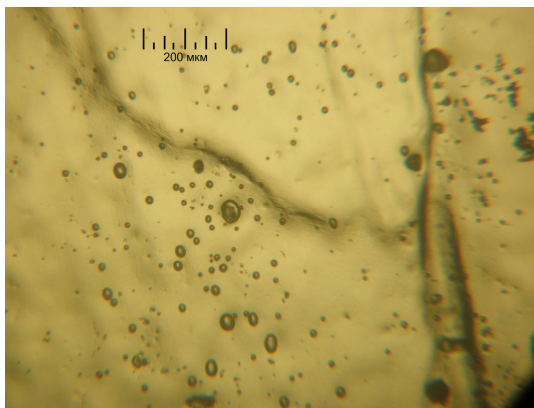


Рис. 1 – Микрофотография шлака исходного, фракция – -80 мкм ($d_{cp} = 50,3$ мкм, $S = 0,21$ м²/г)

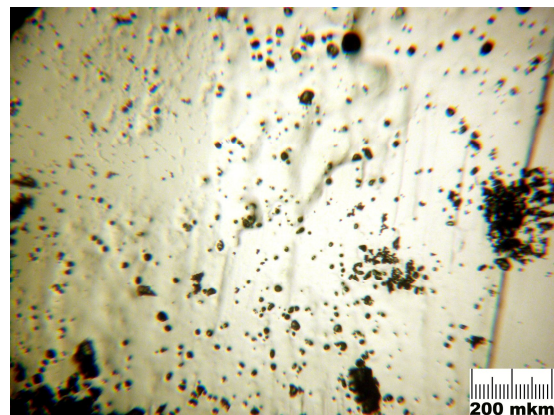


Рис. 2 – Микрофотография тонкогранулированного шлака (ТГШ) – шаровый помол, фракция – -80 мкм ($d_{cp} = 38$ мкм; $S = 0,3$ м²/г)

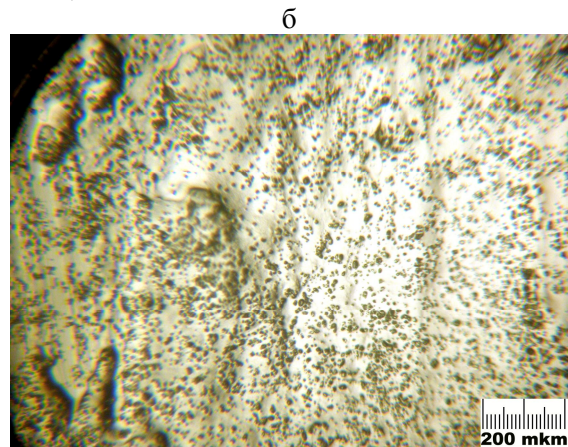
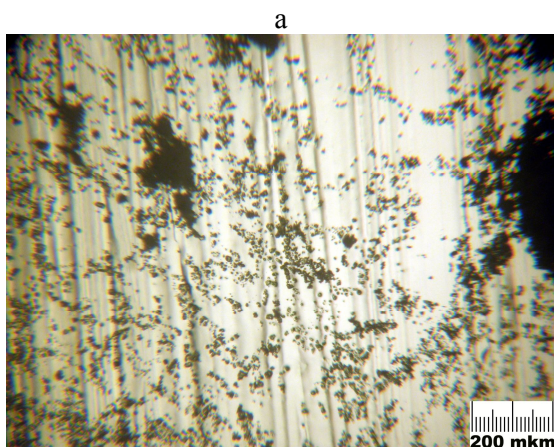


Рис. 3 - Микрофотография доменного граншлака струйного помола: а – ПСМ-шлак ($d_{cp} = 8,6$ мкм, $S = 0,72$ м²/г); б – ПСМ – шлак активированный ($d_{cp} = 7,8$ мкм, $S = 0,87$ м²/г)

Это одна из причин низкой активности ТГШ относительно ПЩ. Активированные ПСМ-шлаки (рис. 3, б) и цементы (рис. 4, б), показали высокую активность: 400 и 600 кг/см² соответственно и имели самые мелкие (7,8 и 34,4 мкм) осколочной формы зерна.

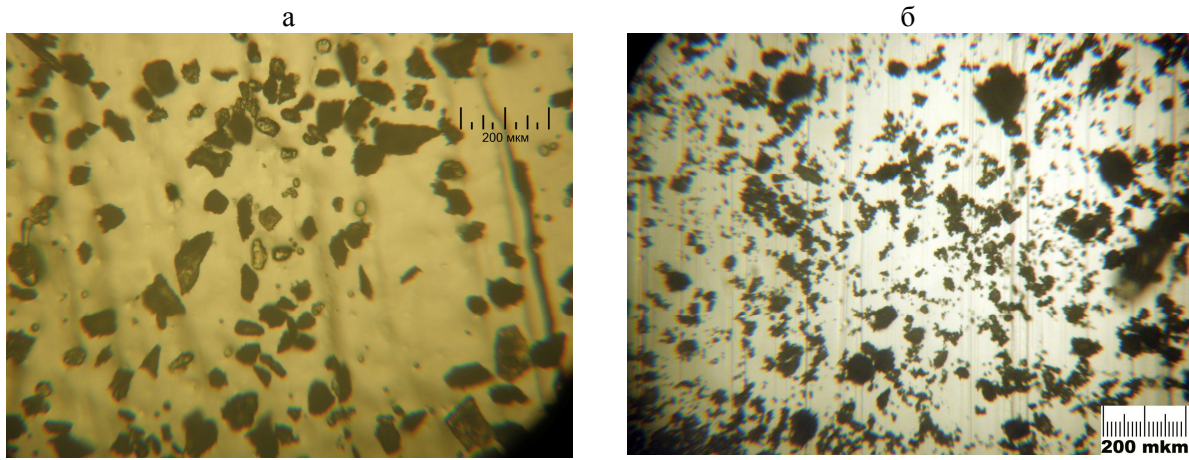


Рис.4 - Микрофотография цемента: а – исходный, фракция – 80мкм ($d_{cp}=39,6\text{мкм}$, $S=0,24\text{ м}^2/\text{г}$); б – активированный ($d_{cp}=34,4\text{мкм}$, $S=0,26\text{ м}^2/\text{г}$)

Микрофотографии измельченных фракций доменного шлака (рис. 3) и цемента (рис. 4) подтверждают, что при струйном измельчении частицы приобретают более активную осколочную форму, способствующую повышению реакционной способности шлаков и цементов [1]: $d_{cp} \leq 20\text{ мкм}$ (для шлака).

При шаровом помоле доменного граншлака (ТГШ) гранулометрическая картина распределения частиц по крупности более равномерная. Частиц активного размерного ряда (менее 20 мкм) содержится – 45 % (табл. 1, сумма пунктов 1-16).

Проводить в шаровой мельнице доизмельчение ТГШ для повышения содержания фракции менее 20 мкм не целесообразно по причине высоких энергозатрат, не эффективной модели разрушения зерна, невозможности корректировки грансостава. Опасность при увеличении тонкости помола в шаровой мельнице заключается так же в большом количестве переизмельченных частиц размерами 1-2 мкм. Эти высокодисперсные частицы даже при хранении гидратируют с влагой воздуха и не способствуют повышению активности доменного шлака.

Поэтому активация проводилась в струйной установке. С учетом результатов гранулометрических анализов ТГШ (табл. 1) и ПСМ-шлака (табл. 2) была разработана схема селективной (выборочной) активации доменных шлаков (рис. 5.).

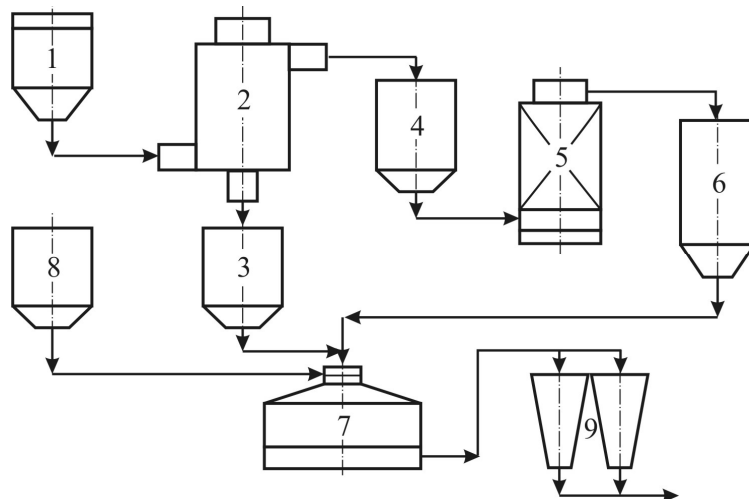


Рис. 5 - Схема селективной активации доменных граншлаков

В ней в качестве исходного для активации материала рекомендуется использовать ТГШ, содержащего уже 45 % (табл. 1) частиц менее 20 мкм активного размерного ряда высокой реакционной способности. С учетом этого, в разработанной схеме селективной активации шлаков предусматривается первичная классификация фракции < 20 мкм, а остальную часть – «грубая» фракция > 20 мкм, доизмельчать в струйной установке.

Согласно схеме (рис. 5) селективная активация шлака производится следующим образом. Из бункера 1 ТГШ подается на воздушно-центробежный классификатор 2, где из общей массы ТГШ отделяется фракция 0-20 мкм – продукт первичной классификации, который передается в бункер 3.

Согласно гранулометрическому анализу (см. табл. 1) эта фракция в общей массе ТГШ составляет – 45 %. ТГШ, не прошедшее классификацию, передается в бункер 4. Размер зерен этой фракции $\delta > 20$ мкм – грубая фракция. Из бункера 4 грубая фракция попадает на домол в струйную мельницу 5 или агрегат измельчения ударного действия другого типа.

В результате измельчения в струйной установке 5 получаем на выходе ПСМ-шлак, удельная поверхность которого более $0,6 \text{ м}^2/\text{г}$. Гранулометрический анализ ПСМ-шлака представлен в табл. 2.

После струйного измельчения ПСМ-шлак передается в бункер 6. Заключительным этапом активации доменного граншлака является смешивание продукта первичной классификации из бункера 3 и ПСМ-шлака из бункера 6 в смесителе 7.

Схема предусматривает на заключительном этапе введение активирующих добавок из бункера 8, например, ПЦ в смеситель 7. В бункер 9 передается активированный доменный граншлак, который имеет, как было установлено в исследовании, активность $\sigma = 422 \text{ кг}/\text{см}^2$ [1]. Так как при первичной классификации было выделено из общей массы почти половина (45 %) активного ряда зерен, то дальнейшему доизмельчению подвергается всего 55 % от общей массы активируемого шлака.

Предлагаемая схема активации доменного граншлака с первичной классификацией исходного шлака (ТГШ) в два раза снижает потребный объем доизмельчаемого шлака. Регулируя работу классификаторов первичной классификации 2 и струйного измельчителя 5, можно получить грансостав с оптимальным размерным рядом зерен, обеспечивающий вяжущему материалу высокие показатели активности.

Выводы

1. Гранулометрическими исследованиями установлено, что ТГШ обладают разнообразным зерновым составом, ПСМ-шлаки – монодисперсны и состоят в основном из фракции с активным зерновым рядом частиц менее 20 мкм. ТГШ содержит таких частиц 45 %.
2. В разработанной схеме селективной активации доменного граншлака использование в качестве исходного для активации материала ТГШ – продукта шарового помола, в два раза снижает потребный объем доизмельчаемого шлака, что делает эту схему экономически целесообразной.
3. Выбор струйного метода активации позволяет путем регулировки работы классификатора первичной классификации, получать грансостав с оптимальным размерным рядом зерен высокой реакционной способности, обеспечивающий получение вяжущих материалов из доменных шлаков с показателями активности, равными активности цемента М 400.

Список использованных источников:

1. Кравченко В. П. Активация доменных шлаков / В.П. Кравченко // Вісник ПДТУ, – 2010. – № 21. – С. 17-20.
2. Бутт Ю. М. Быстротвердеющий портландцемент. Сборник трудов по химии и технологии силикатов / Ю. М. Бутт. – М. – 1957. – 199 с.
3. Волжанский А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волжанский, Л.Н. Попов // М.: Стройиздат, 1986. – 464 с..
4. Липилин А. Б. Селективная дезинтегральная активация портландцемента (СДАП) / А. Б. Липилин, Н. В. Коренюгина, М. В. Векслер // Строительные материалы. – 2007. – Июль. – С. 2-4.

Bibliography:

1. Kravchenko V.P. Activating of domain slags / V.P. Kravchenko // Visnik PDTU. - 2010. - № 21. -

P. 17-20. (Rus.)

2. Butt Yu.M. High-early-strength cement. Collection of labours on chemistry and technology of silicates / Yu.M. Butt // М. - 1957. - 199 p. (Rus.)

3. Volzhanskiy A.V. Mineral astringent substances // A.V. Volzhanskiy, L.N. Popov // М.: Stroyizdat, 1986. – 464 p. (Rus.)

4. Lipilin A.B. The selective not integral activating of cement (CDAP) / A.B. Lipilin, N.V. Korneyugina, M.V. Veksler // Stroitelnyie materialyi. – 2007. – Iyul. – P. 2-4. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов

д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 05.09.2011