

УДК 669.162.21

Кравченко В.П.*

ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ

Проведены экспериментальные исследования прочности (активности) доменных граншлаков ОАО «ММК им. Ильича» различных сроков хранения. С помощью способа статистической обработки данных с использованием метода наименьших квадратов установлено влияние временного фактора (сроков хранения) на гидравлическую активность доменных шлаков и получена аналитическая зависимость характеристик прочности шлаков от сроков хранения.

Ключевые слова: Гидравлическая активность, доменный граншлак.

Кравченко В.П. Оцінка гідрравлічної активності доменних шлаків. Проведені експериментальні дослідження міцності (активності) доменних граншлаків ВАТ «ММК ім. Ілліча» з різними термінами зберігання. За допомогою способу статистичної обробки даних з використанням методу найменших квадратів встановлено вплив тимчасового фактору (термінів зберігання) на гідрравлічну активність доменних шлаків і виведена аналітична залежність характеристик міцності граншлаків від термінів їх зберігання.

Ключові слова: Гідрравлічна активність, доменний гран шлак.

V.P. Kravchenko. Evaluation of hydraulic activity of blast furnace granulated slags. Experimental research of strength (activity) of blast furnace granulated slags, manufactures at "Ilyich Iron and Steel Works" PJSC, of various storage terms was performed. By means of the way of statistical data manipulation technique using least-squares method, the influence of time factor (storage time) on the hydraulic activity of blast furnace slags was established and analytical dependence of granulated slags strength performance on their storage time was deduced.

Keywords: Granulated slags, hydraulic activity, furnace.

Постановка проблемы. Доменные шлаки по степени своей гидравлической активности (способности схватываться, т.е твердеть, в присутствии воды) являются скрытно-гидравлическими веществами, которые повышают свою активность в присутствии активатора, например, портландцементного клинкера [1]. Это свойство доменных шлаков используется при производстве шлакопортландцементов (ШПЦ).

Гидравлическая активность доменных шлаков может характеризоваться его гидравлическим модулем m , учитывающим только их химический состав. Гидравлическая активность определяется также фазовым состоянием: кристаллическим или аморфным (стекловидным), которая зависит от скорости охлаждения огненно-жидкого шлака.

Более высокой гидравлической активностью обладают свежие гранулированные доменные шлаки, которая объясняется тем, что в следствие технологического процесса грануляции шлаки приобретают стекловидную структуру. Она обусловлена быстрым охлаждением, в процессе которого в шлаке аккумулируется теплота и, следовательно, определенное количество скрытой энергии, которая высвобождается под воздействием активатора [2] при производстве ШПЦ.

Анализ последних исследований и публикаций. Молотый гранулированный шлак с размером частиц менее 1 мм (т.н. Ground Granulated Blast-Furnace Slag) в настоящее время в качестве исходного сырья для получения вяжущих материалов широко используется также на Западе Европы и в Японии; об этом свидетельствуют авторы Kikuchi, Ikegami и Yamazaki [3].

Цель статьи – Провести экспериментальные исследования прочности (активности) доменных граншлаков ОАО «ММК им. Ильича» различных сроков хранения. С помощью способа статистической обработки данных с использованием метода наименьших квадратов

* инженер, ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича»,

установить влияние временного фактора (сроков хранения) на гидравлическую активность доменных шлаков и получить аналитическую зависимость характеристик прочности шлаков от сроков хранения

Изложение основного материала. Так как наряду со свежими гран - шлакам широко используются в переработке и старые (лежалые) шлаки, сохраняющиеся в отвалах годами, актуальным становится вопрос влияния сроков хранения на изменение их гидравлической активности.

Как видно на микрошлифе свежего гранулированного доменного шлака (рис. 1), он в свежем состоянии имеет стекловидную структуру, обуславливающую высокую его реакционную способность и только порядка 10-15 % – непрозрачных частиц являются расстекло-ванными, то есть не имеющими аморфной структуры.

На граншлаки, аморфно структурированные в процессе грануляции, при хранении на открытом воздухе под воздействием атмосферы (вода, углекислый газ, и т.д.) подвергаются реструктуризации, распаду. Это заметно на микрошлифе старого отвального шлака (рис. 2), где значительно выросло число частиц темных, расстеклованных, то есть не имеющих аморфной структуры. Поэтому активность старых отвальных граншлаков будет ниже, чем свежих. Автором были проведены экспериментальные исследования влияния на гидравлическую активность (прочность) доменных граншлаков – степени измельчения [4, 5, 6] что подтвердило возможность получения таким путем вяжущих материалов. Важным также является установление влияния сроков хранения измельченных шлаков на их активность. Автором исследована эта зависимость на тонкогранулированных шлаках (ТГШ) – продукт помола в шаровой мельнице.



Рис. 1 – Свежий гранулированный шлак (x52) [1]

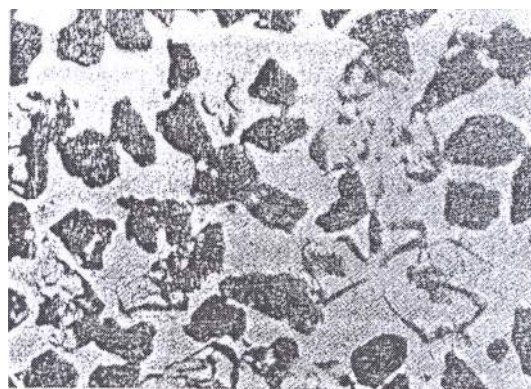


Рис. 2 – Старый гранулированный шлак (x52) [1]

Таблица 1

Результаты прочностных испытаний граншлаков в зависимости от сроков их хранения

№ п/п	Лаб. вход. №	Наименование материала	Срок хранения (месяцы)	Предел прочности МПа
1	1614	ТГШ	6	10,5
2	2035	----	5	14,3
3	893	----	3	14,7
4	2520	----	18	6,2
5	2526	отвальн. шлак	24	4,5
6	1801	ТГШ	0,5	27,1

Результаты прочностных испытаний граншлаков в зависимости от сроков их хранения представлены в таблице 1.

Характер изменения гидравлической активности (прочности) доменных граншлаков (ТГШ) при различных сроках хранения представлен на рис. 3.

Как следует из рис. 3 и табл. 1 свежие граншлаки по истечению 5-6 месяцев хранения снижают свою гидравлическую активность почти вдвое (с 27,1 МПа до 14,3-10,5 МПа соответственно), что объясняется деаморфизацией структуры шлаков и карбонизацией основного минералообразующего оксида кальция.

Автором проведено статистический анализ полученных экспериментальных характеристик зависимости активности σ от сроков хранения τ . Расчет функциональной зависимости $\sigma=f(\tau)$ провели по способу наименьших квадратов [7].

Для расчета в качестве исходных взяты величины, полученные при прочностных испытаниях доменных граншлаков в зависимости от сроков их хранения (0-24 месяца), представленные в табл. 1.

Произвели подбор эмпирической формулы зависимости предела прочности шлаков от сроков их хранения методом спрямления.

Спрявление (график рис. 4) выполнено заменой переменных: $x = \ln \tau$; $y = \ln \sigma$. Согласно проведенным расчетам коэффициент регрессии, коэффициент b и коэффициент корреляции составят:

$$\rho = -0,451, \quad b = 5,433, \quad r = -0,971.$$

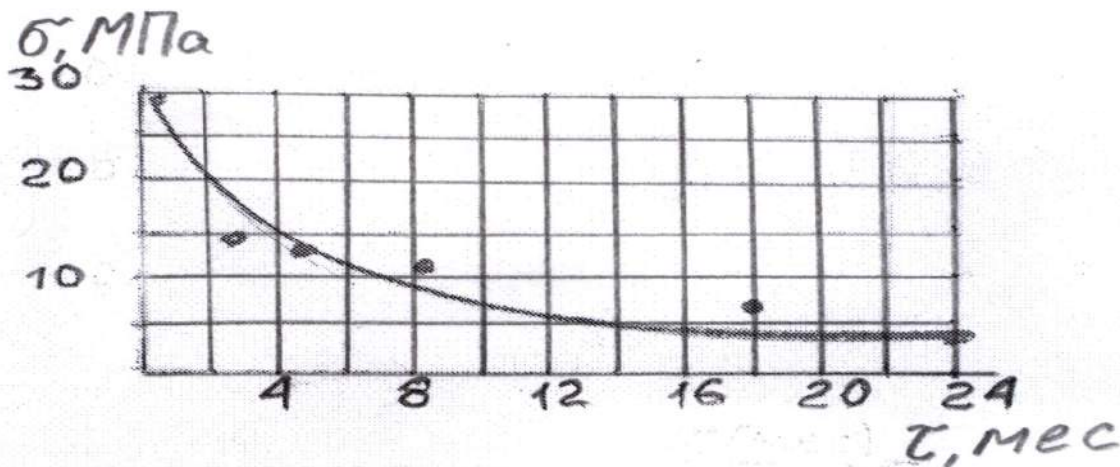


Рис. 3 – Изменение активности доменных граншлаков в зависимости от сроков

Таблица 2

Исходные и расчетные параметры зависимости соотношения: прочность – сроки хранения доменных граншлаков при замене переменных: $x = \ln \tau$ и $y = \ln \sigma$

№ п/п	τ мес	σ кг/см ²	$x = \ln \tau$	$y = \ln \sigma$	x^2	y^2	$x \cdot y$	$\bar{\sigma}$	$\delta = \sigma - \bar{\sigma}$	δ^2
1	0,5	271	-0,693	5,602	0,48	31,384	-3,883	312,63	-41,63	1733,057
2	3	147	1,099	4,99	1,207	24,904	5,483	139,343	7,657	58,63
3	5	143	1,609	4,963	2,59	24,63	7,987	110,67	32,33	1045,229
4	6	105	1,792	4,654	3,21	21,659	8,339	101,934	3,066	9,4
5	18	62	2,89	4,127	8,354	17,033	11,929	62,107	-0,107	0,011
6	24	45	3,178	3,807	10,1	14,491	12,098	54,55	-9,55	91,202
Σ			9,875	28,143	25,942	134,101	41,952	1		2937,528
Среднее			1,646	4,691	4,324	22,35	6,992			489,588

Уравнение линии регрессии в условных координатах:

$$\hat{y}_i = \rho \cdot x_i + b = -0,451 \cdot x_i + 5,433, \text{ т.е. } \sigma = -0,451\tau + 5,433. \quad (1)$$

Уравнение линии регрессии в координатах исходных переменных:

$$\bar{\sigma}_i = 228,7 \cdot e^{-0,45/\tau_i}. \quad (2)$$

Дополним исходную таблицу 2 расчетными значениями $\hat{\sigma}_i$, абсолютными погрешностями формулы $\delta = \sigma - \hat{\sigma}$, и квадратами абсолютной погрешности. Среднее значение δ^2 представляет собой остаточную дисперсию формулы, а квадратный корень представляет собой среднеквадратическую погрешность.

Среднеквадратичная погрешность формулы составляет:

$$S_{ост} = \sqrt{\delta^2} = \sqrt{489,6} = 22,1 \text{ кг} / \text{см}^2. \quad (3)$$

Характер изменения соотношения прочность – сроки хранения доменных граншлаков, выраженный уравнением линии регрессии в различных координатах, представлен на рис. 4.

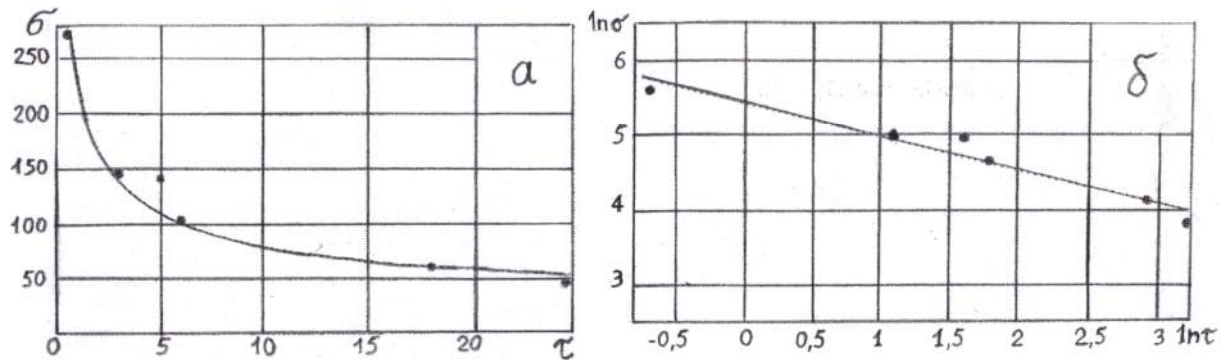


Рис. 4 – График уравнения линии регрессии:
 а) в координатах исходных переменных ($x = \tau$; $y = \sigma$);
 б) в условных координатах ($x = \ln \tau$; $y = \ln \sigma$).

Выводы

1. Экспериментально установлено, что характеристики активности шлаков в течении полугодового хранения снижаются в два раза.
2. Полученные формулы зависимости прочности доменных шлаков от сроков хранения τ конкретного доменного шлака вычислить ожидаемую активность σ этого шлака, что имеет практическое значение при производстве вяжущих и строительных материалов из доменных шлаков.

Список использованных источников:

1. Гуттман А. Применение доменных шлаков / А. Гуттман. – М., 1935. – 646 с.
2. Горчаков Г.И. Строительные материалы / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. - М.: Стройиздат, 1986. – 687 с.
3. 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 (IS-Osaka 2004) Japanese Geotechnical Society, 2004.
4. Кравченко В.П. / Гидравлическая активность доменных шлаков / В.П. Кравченко, В.А. Струтинский // Сталь. – 2007. – № 1. – С 94-95.
5. Струтинский В.А. Актуальные проблемы рециклинга и утилизации шлаков металлургического производства / В.А. Струтинский, А.В. Савощенко, В.П. Кравченко // Металл и литье Украины. – 2007. – № 1-2. – С. 14-16.
6. Патент № 18575 Украина, кл. С04В 7/147. Способ подготовки гранулированного доменного шлака / В.П. Кравченко [и др.]. Оpubл. 15.11.2006. – Бюл. № 11.
7. Батунер Л.М. Математические методы в химической технике / Л.М. Батунер, М.Е. Позин. – М.: Госхимиздат, 1953. – 448 с.

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

Статья поступила 18.12.2009