

при температуре 1100-1150 °С. В качестве связующего принимают гашёную известь в количестве 15-17 % или жидкое стекло в количестве 0,5-1,0 % в сухой массе. Оптимальная влажность шихты – 12,5 %.

2. Дальнейшие исследования следует вести в направлении поиска эффективных связующих, повышения прочности сырых брикетов, получения новых материалов типа железобетонных, а также использования меловой крошки в качестве заменителя известняка при производстве агломерата.

Список использованных источников:

1. Буторина И.В. Основы устойчивого развития металлургического производства / И.В. Буторина. – Донецк: Каштан, 2005. – 332 с.
2. Эйдельман Л.П. Состояние брикетирования шихтовых материалов в зарубежной чёрной металлургии // Чёрная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». – 1982. – № 1. – С. 28-37.
3. Равич Б.М. Комплексное использование сырья и отходов / Б.М. Равич, В.П. Окладников, В.Н. Лыгач, М.А. Менковский – М.: Химия, 1988. – 288 с.
4. Товарный словарь (В 9 томах) / Гл. ред. И.А. Пугачёв. – М.: Госторгиздат, 1956 // Т. 5. Лента – Мячи спортивные, 1958. – 1094 с.
5. Табунщиков Н.П. Производство извести / Н.П. Табунщиков. – М.: Химия, 1974. – 240 с.
6. Большая Советская Энциклопедия. (В 51 томе). / Гл. ред. С.И. Вавилов, Б.А. Введенский. Изд. 2-е. – М.: Советская Энциклопедия, 1949 // Т. 27. Медузы – Многоножка, 1954. – 664 с.
7. Монастырёв А.В. Печи для производства извести: Справочник / А.В. Монастырёв, А.В. Александров. – М.: Металлургия, 1979. – 232 с.
8. Монастырёв А.В. Производство извести. – 3-е изд. – М.: Высшая школа, 1978. – 216 с.
9. Ожогин В.В. Основы теории и технологии брикетирования измельчённых металлургических материалов: Монография / В.В. Ожогин. – Мариуполь, ПГТУ, 2010. – 442 с.

Рецензент Н.Ю. Назюта
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 14.02.2011

УДК 669.162.21

Кравченко В.П.*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПОЛУЧЕНИЯ КЛИНКЕРА ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Путем обжига при разных температурных режимах 2-х компонентной сырьевой смеси, состоящей из отходов металлургического производства: отвальные доменные шлаки + «хвосты» известняка, взятых в соотношении 2:3 соответственно, получены пробы клинкера, химанализ которых показал соответствие их химсостава химсоставу стандартного клинкера. Лабораторными испытаниями установлены высокие прочностные показатели всех проб опытного клинкера.

Ключевые слова: Доменные граншлаки, клинкер, известняк, химсостав, прочность.

Кравченко В.П. Результати експериментів виготовлення клінкера з відходів металургійного виробництва. Шляхом обжигу при різних температурних умовах 2-х компонентної сировинної суміші складеної з відходів металургійного виробництва: відвальні доменні шлаки + «хвости» вапняка, взяті у співвідношенні 2:3 відповідно, отримані проби клінкера, хіманаліз яких показав відповідність їх хімсоставу хімсоставу стандартного клінкера. Лабораторними випробуваннями встановлені високі показники міцності усіх проб експериментального клінкера.

Ключові слова: Доменні граншлаки, клінкер, вапняк, хімсостав, міцність.

* інженер, ПАО «ММК Ільича», г. Мариуполь

V.P. Kravchenko. Results of experiments on receiving clinker from iron and steel production wasters. By means of burning at different temperature modes two-component raw mix consisting of iron and steel production wastes: waste blast-furnace slags + limestone «final tailings» taken in 2:3 ratio, correspondingly, clinker samples were obtained, chemical analysis of which showed correspondence of their chemical composition to chemical composition of standard clinker. Laboratory testing proved high strength values for all prototype clinker samples.

Key words: blast-furnace slag, limestone, chemical analysis, strength.

Постановка проблеми. Доменные шлаки используются в цементной промышленности при получении шлакопортландцементов – ШПЦ, куда они входят как добавки к портландцементу клинкеру. В данной работе была поставлена задача использовать доменные отвальные шлаки и «хвосты» известняка, являющиеся отходами металлургического производства, в качестве исходного и дешевого сырья для получения непосредственно клинкера.

Анализ последних исследований и публикаций. Целесообразность изготовления клинкера из отходов металлургического производства: отвальные шлаки + «хвосты» известняка аналитически обоснована в источниках [1, 2].

Цель работы. С целью проверки обоснований источников [1, 2] в ПГТУ в лаборатории кафедры ТМП автором была проведена экспериментальная работа по получению клинкера из отходов металлургического производства.

Изложение основного материала. Тонко измельченная сырьевая смесь, состоящая из 2-х весовых частей отвального доменного шлака металлургического комбината «Ильича» и 3-х весовых частей «хвостов» известняка Комсомольского рудоуправления, подвергалась обжигу в электрической печи Таммана. Обжиг проводился при 3-х температурных режимах с плавлением смеси до тестообразного состояния. Графики температурных режимов обжига экспериментальной сырьевой смеси приведены на рис. 1.

Все пробы сырьевой двухкомпонентной смеси обжигались при следующих температурах (рис. 1): клинкер А – нагрев до 1540 °С, охлаждение в воздушно-капельной среде; клинкер Б – нагрев до 1740 °С, охлаждение с печью; клинкер В – нагрев до 1650 °С, выдержка при $t = 1650$ °С в течение 20 мин., и последующее охлаждение на воздухе.

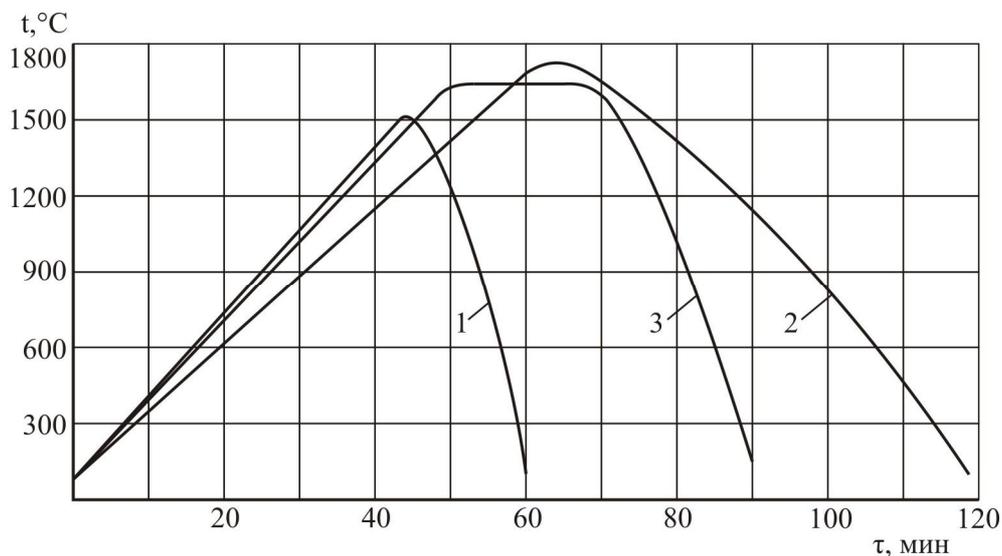


Рис. 1 – Температурные режимы обжига сырьевой клинкерной смеси:
1 – клинкер А, 2 – клинкер Б, 3 – клинкер В.

После измельчения в лабораторной планетарной мельнице FRITSCН был проведен анализ химсостава всех 3-х проб полученного экспериментального клинкера в хим. лаборатории комбината «Ильича». Результаты химанализов приведены в табл. 1.

Таблиця 1

Химсоставы клинкера расчетного, экспериментального (А, Б, В) и стандартного

№ п/п	Наименование клинкера	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Прочие	
1	Расчетный	64,74	22,32	4,15	0,68	6,47	
2	Экспериментальный	А	64,0	27,0	4,0	0,66	4,34
3		Б	65,6	26,3	5,2	0,41	2,49
4		В	67,0	26,6	4,0	0,72	1,69
5	Стандартный	63-67	21-24	4-7	2-4	–	

При сравнении химических составов клинкера, полученного путем расчета [1,2] и клинкера, полученного в проведенном эксперименте, видно их соответствие химсоставу стандартного клинкера. Например, содержание основного в клинкере минералообразующего оксида CaO в расчетном и опытном (А, Б, В) клинкерах находится в пределах, установленных для стандартного клинкера: 63-67 % [3].

Для установления степени дисперсности, измельченного в планетарной лабораторной мельнице FRITSCН порошка опытного клинкера был проведен гранулометрический анализ на лазерном приборе Multisizer 3 в лаборатории Запорожского абразивного комбината. Полученное при этом распределение микронизированных частиц по размерам в измельченной пробе опытного клинкера отображается гистограммой, приведенной на рис. 2.

Содержание фракций в порошке опытного клинкера приведено в табл. 2.

Как видно из рис. 2, весь порошок опытного клинкера находится в области мелких частиц, что подтверждается табл. 2, согласно которой измельченная проба опытного клинкера содержит 50 % зерен более 5,44 мкм и 0,1 % зерен более 26 мкм. Это свидетельствует о высокой степени дисперсности измельченного порошка опытного клинкера. На гистограмме рис. 2 видно, что в основном вся масса порошка опытного клинкера состоит из частиц размером менее 25 мкм. Гранулометрический анализ показал, что зерновой ряд измельченного опытного клинкера находится в активном размерном диапазоне частиц.

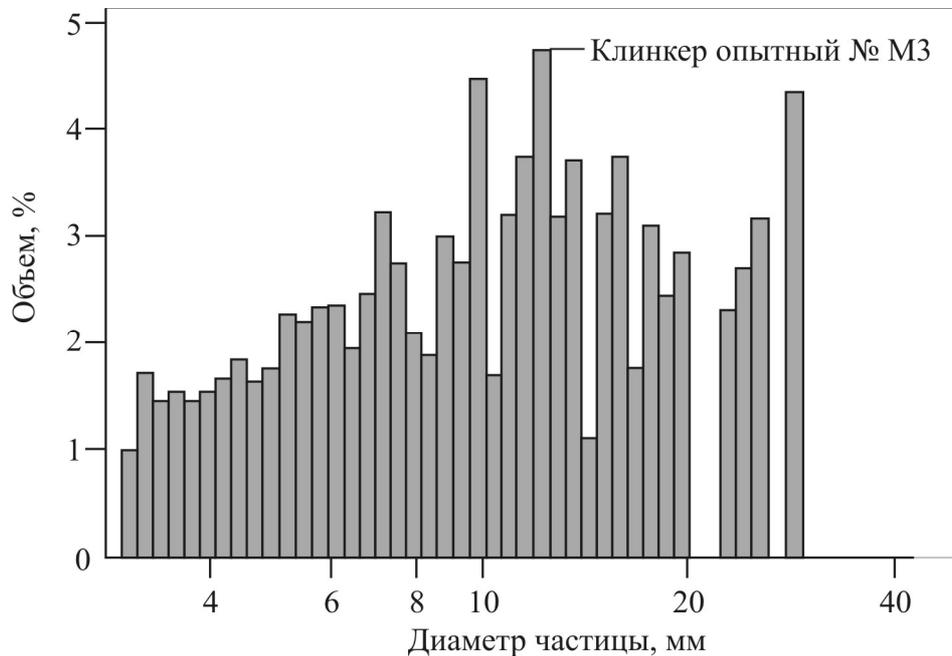


Рис. 2 – Гистограмма распределения частиц по размерам в порошке опытного клинкера

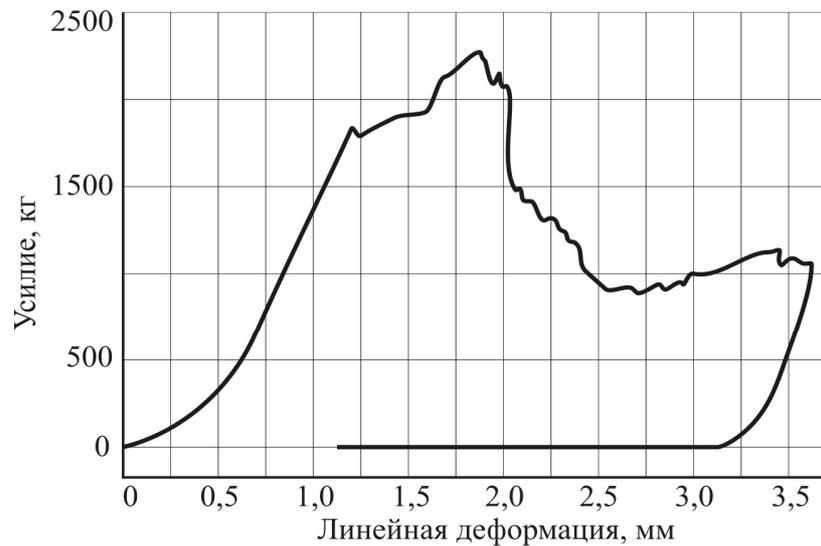
Таблиця 2

Содержание фракций в порошке опытного клинкера

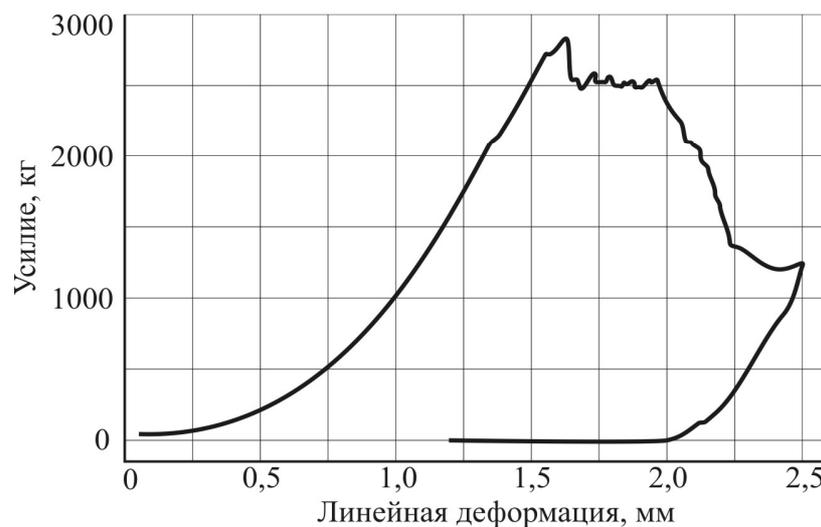
Наименование материала	Уд. м ² /г	Содержание фракции, %, мкм					
		> 0,1	> 3	> 25	> 50	> 75	> 95
Клинкер опытный	0,58	26,06	13,28	7,06	5,44	4,59	4,16



а



б



в

Рис. 2 – Диаграммы сжатия опытных образцов клинкера
а – клинкер А; б – клинкер Б; в – клинкер В

Исходя из гранулометрического анализа был вычислен средний диаметр частиц порошка опытного клинкера, который составил $\bar{d} = 11,4$ мкм. Величина удельной поверхности $S = 0,58$ м²/г (прибор Т-3) и величина среднего диаметра частиц $\bar{d} = 11,4$ мкм свидетельствует о высокой степени дисперсности измельченного порошка опытного клинкера. Можно предполо-

жить, что прочностные показатели измельченных проб опытного клинкера будут высокими, как у механоактивированных цементов – порядка 600 кг/см^2 [4, 5].

Прочностные испытания образцов опытного клинкера (А, Б, В) были проведены в лаборатории Донецкого «ПромстройНИИпроекта». Диаграммы сжатия из трех проб (А, Б, В) опытного клинкера приведены на рис. 3. Результаты прочностных испытаний образцов из проб опытного клинкера представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты прочностных испытаний образцов из опытного клинкера

№ п/п	Наименование пробы	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	Водоцементное отношение	Прочность после 28 суток, кг/см^2
1	Клинкер А	0,58	0,4	500
2	Клинкер Б	0,58	0,4	572
3	Клинкер В	0,58	0,4	651

Из табл. 3 видно, что образцы (А, Б, В) опытного клинкера, полученного из отходов металлургического производства: отвальные шлаки + «хвосты» известняка, взятые в соотношении 2:3 соответственно, обладают высокими прочностными характеристиками: 500-651 кг/см^2 .

Высокие прочностные характеристики всех проб опытного клинкера можно объяснить высокой степенью дисперсности ($S=0,58 \text{ м}^2/\text{г}$), измельченных перед затворением проб клинкера в мельнице FRITSCHE.

Это увеличило реакционную способность опытного клинкера. Разницу в прочностных показателях проб опытного клинкера можно объяснить разными температурными режимами обжига сырьевой клинкерной смеси. Клинкер В, показавший наибольшую прочность (651 кг/см , табл. 2) после нагрева до $t = 1650 \text{ }^\circ\text{C}$ в отличие от проб А и Б, подвергался выдержке при этой температуре в течение 20 минут.

Это способствовало более полному протеканию реакций минералообразования, что вполне коррелирует с химанализами проб опытного клинкера (табл. 1). В клинкере В самое высокое содержание основного минералообразующего оксида СаО – 67 % (табл. 1), который определяет в основном прочность клинкера.

Выводы

1. Экспериментом установлена целесообразность производства клинкера из отходов металлургического производства: отвальные доменные шлаки + «хвосты» известняка, взятые в соответствии 2:3 соответственно.
2. Установлено соответствие химсостава опытного клинкера химсоставу стандартного клинкера.
3. Образцы опытного клинкера имеют высокие прочностные характеристики.
4. Установлено влияние температурного режима обжига проб сырьевой смеси опытного клинкера на его прочностные показатели.
5. Установлено положительное влияние активации (высокой дисперсности) на гидравлическую активность образцов опытного клинкера.

Список использованных источников:

1. Рациональный вариант получения клинкера (цемента) из доменных шлаков / В.П. Кравченко, П.И. Пилов, Л.Ж. Горобец, Н.С. Прядко. – Днепропетровск: Научно-техн. сборник НТУ «Збагачення корисних копалин», 2010. – № 4. – С. 23-27.
2. Патент 35038, Украина, СО4В 7/00. Способ изготовления клинкера / В.П. Кравченко, В.С. Бойко, В.А. Струтинский, В.И. Трубников, А.В. Савощенко. Опублик. 2008, Бюл. № 16.
3. Колокольников В.С. Производство цемента / В.С. Колокольников. – М.: Высшая школа, 1970. – 287 с.
4. Липилин А.Б. Селективная дезинтеграторная активация портландцемента (СДАП) / А.Б. Липилин, Н.В. Коренюгина, М.В. Векслер // Строительные материалы. – 2007. – С. 2-4.
5. Кравченко В.П. Активация доменных шлаков / В.П. Кравченко // Вісник ПДТУ. – Мариуполь.: ПГТУ. – 2010. – № 21. – С. 17-20.

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

Статья поступила 14.02.2011