

*д.т.н. Должиков П.Н.,  
к.т.н Семирягин С.В.,  
Фурдей П.Г.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ ГРАНУЛИРОВАННОГО ДОМЕННОГО ШЛАКА НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТА**

*В роботі встановлена закономірність кінетики твердіння цементів в залежності від питомої поверхні доменних шлаків Алчевського металургійного комбінату. Визначено показники активності меленого шлаку і найбільш ефективна тонкість помелу.*

**Ключові слова:** доменний шлак, помел, питома поверхня, активність шлаку, міцність цементу.

*В работе установлена закономерность кинетики твердения цементов в зависимости от удельной поверхности доменных шлаков Алчевского металлургического комбината. Определены показатели активности молотого шлака и наиболее эффективная тонкость помола.*

**Ключевые слова:** доменный шлак, помол, удельная поверхность, активность шлака, прочность цемента.

Энергетические затраты составляют большую часть затрат на изготовление цемента, поэтому промышленность Украины сейчас, как никогда, заинтересована в снижении расхода топлива на тонну производимого цемента. Технологический потенциал снижения энергоемкости клинкера практически исчерпан. Доказательством этому могут служить приведенные в 2003 году данные об изменении удельного расхода топлива на тонну клинкера. В период 1991-1992 г.г. этот показатель был достигнут на уровне около 3500 кДж и до сегодняшнего дня не изменялся [1].

Чтобы достичь дальнейшего снижения энергозатрат и в то же время повысить экологическую безопасность изготовления цемента (снизить выбросы CO<sub>2</sub>), цементная промышленность сконцентрировалась на увеличении производства многокомпонентных цементов с использованием шлаков.

Одним из наиболее эффективных заменителей клинкера является гранулированный доменный шлак Алчевского металлургического комбината. Ценность шлака для цементной промышленности определяется рядом показателей, а именно, основностью, содержанием алюминатов, низким содержанием серы, количеством

стекловидной фазы. Среди производителей гранулированного доменного шлака можно выделить ПАО «АМК», т.к. доменному переделу подвергаются офлюсованные железосодержащие шихтовые материалы, а также кокс с низким содержанием золы и серы.

Известно, что шлак – активный компонент долговечных цементов: его гидравлические свойства, а в некоторых случаях и экономические преимущества, позволили производить цементы, в которых содержание шлака может варьироваться от очень низкого до такого уровня, когда содержание шлака значительно превосходит содержание клинкера [1, 2].

Технологически шлак совместно измельчают с клинкером в шаровой мельнице. Такой процесс обладает большим преимуществом благодаря своей простоте, поскольку мельница наряду со своей основной ролью играет также роль гомогенизатора. В то же время этот процесс не свободен и от недостатков, связанных с проблемами гидратации. Таким образом, зачастую при помолу клинкера и шлака, получают конечный продукт, в котором большая часть шлака относится к крупному классу и большая часть клинкера, соот-

ветственно, к мелкому классу. Однако, клинкеру присуща большая активность, чем шлаку, вследствие этого именно шлак должен подвергаться более тонкому помолу, для большего проявления своих гидравлических свойств. Совместный помол клинкера и шлака приводит к обратному результату и, соответственно, к потере гидравлического потенциала шлака. Чтобы избежать подобных потерь, необходимо применять раздельный помол компонентов в соответствии с их реакционной способностью, иначе говоря, получать тем более крупный продукт, чем выше его реакционная способность [3].

Таким образом, тонкость помола шлака является его основным параметром, который определяет строительно-технические свойства цементных растворов и бетонов.

**Цель работы:** исследовать влияние дисперсности молотого гранулированного доменного шлака (далее - шлак) на прочность цемента.

Основной задачей данной работы предусматривается определить оптимальную тонкость помола шлака с точки зрения достижения высокой прочности шлакового цемента при минимальной затрате энергии на его измельчение.

В работе применялись следующие методы исследований:

- химические исследования проводили согласно ДСТУ Б.В. 2.7. – 202:2009. Будівельні матеріали. Цементи та матеріали цементного виробництва. Методи хімічного аналізу;

- определение хлорид-иона выполнено согласно ДСТУ Б EN 196-2:2008. Методи випробування цементу. Частина 2. Хімічне аналізування цементу (EN 196-2:2005, IDT);

- насыпную массу – по СТУ МВВ 23908222.016-10. Методика виконання ви-

мірювань об'ємної насипної маси сировинної суміші, клинкеру, карбонатних і глинистих матеріалів, коригуючих добавок, гіпсу, шлаку доменного гранульованого;

- физические свойства определяли:

- а) тонкость помола – по ДСТУ Б В. 2.7-188:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення тонкості помелу;

- б) сроки схватывания, нормальную густоту твердения (НГТ) – по ДСТУ Б В. 2.7-185:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму;

- механические свойства определяли:

- а) прочность при сжатии – по ДТСУ Б В. 2.7-187:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск.

Для исследований были отобраны шлаки Алчевского меткомбината. Химический состав шлака приведен в таблице 1.

Отношение масс %  $(CaO + MgO)/(SiO_2)$  составляет 1,28.

Усредненную пробу шлака измельчали в лабораторной шаровой мельнице периодического действия до заданной удельной поверхности с определением удельного веса и остатка на сите №008, при этом фиксировали время помола шлака.

Насыпную плотность шлака  $\gamma_H$  в г/см<sup>3</sup> рассчитывали по формуле:

$$\gamma_H = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса мерного сосуда, г;

$m_1$  – масса мерного сосуда с материалом, г;

$V$  - объем мерного сосуда, см<sup>3</sup>.

В нашем случае насыпная плотность немолотого шлака составляет 1,3 г/см<sup>3</sup>.

Таблица 1 – Химический состав шлака

Наименование материала	Содержание, %								
	п.п.п.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Сульфид	Сульфат	Хлорид ион (Cl)
Шлак	0,85	38,2	7,09	1,23	44,95	4,05	1,05	0,43	0,029

Испытания проводились для трех проб шлака. Вид исходного состояния и шлако-цементной смеси приведен на рисунке 1.

Параметры помола и характеристики молотого шлака приведены в таблице 2.

На рисунке 2 представлена зависимость удельной поверхности от времени помола шлака.



а)



б)

Рисунок 1 – Доменный гранулированный шлак в насыпном состоянии (а) и приготовленная цементно-шлаковая смесь №3 (б)

Таблица 2 – Параметры помола и характеристики молотого шлака

№ пробы	Масса шлака, г	Время помола, мин	Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	Остаток на сите № 008, %
1	6000	51	2,94	3138	1,7
2	6000	87	2,94	4047	1,6
3	6000	126	2,94	4930	1,5

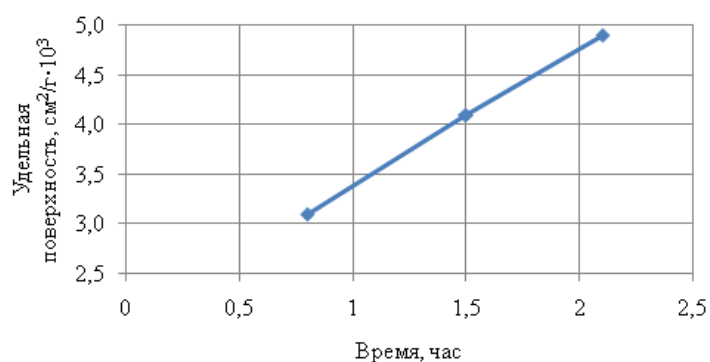


Рисунок 2 – Зависимость удельной поверхности шлака от времени помола

На рисунке 3 показаны свежеприготовленные балочки из цементно-шлаковой смеси.

Показатель активности шлака определяли как отношение (в %) прочности при сжатии смеси (по массе) 50% молотого шлака и 50% эталонного цемента и прочности при сжатии эталонного цемента. Эталонный цемент соответствовал ДСТУ

Б В.2.7-46 и относится к ПЦІ-500. Время начала схватывания определяли в смеси (по массе) 50% молотого шлака и 50% эталонного цемента.

В таблице 3 приведены результаты физико-механических исследований эталонного цемента и его смеси с молотым шлаком.



Рисунок 3 – Свежеприготовленные образцы цементно-шлаковой смеси в опалубке

Таблица 3 – Результаты физико-механических испытаний цемента

№ пробы смеси	Состав растворной смеси	Сроки схватывания		Прочность при изгибе, МПа				Прочность при сжатии, МПа			
		начало, ч/мин	конец, ч/мин	2 сут.	7 сут.	15 сут.	28 сут.	2 сут.	7 сут.	15 сут.	28 сут.
0	Ц-500 П-1500 В-195	3/10	4/10	5,0	6,8	6,9	7,0	29,0	42,4	47,0	50,2
1	Ц-250 Ш-250 П-1500 В-195	3/15	4/25	2,8	4,9	6,1	6,8	11,1	21,2	31,1	42,5
2	Ц-250 Ш-250 П-1500 В-195	2/50	3/40	2,8	5,4	6,1	7,6	11,8	25,0	39,5	50,9
3	Ц-250 Ш-250 П-1500 В-195	2/35	3/25	3,3	5,8	6,5	7,7	12,9	27,7	41,0	53,7

В таблице обозначены: Ц – эталонный цемент ПЦІ-500; Ш – шлак молотый Алчевского металлургического комбината; П – песок стандартный для испытаний цемента по ДСТУ Б В. 2.7-189:2009; В – вода питьевая.

На рисунке 4 представлена зависимость прочности при сжатии шлаковых цементов от удельной поверхности шлака.

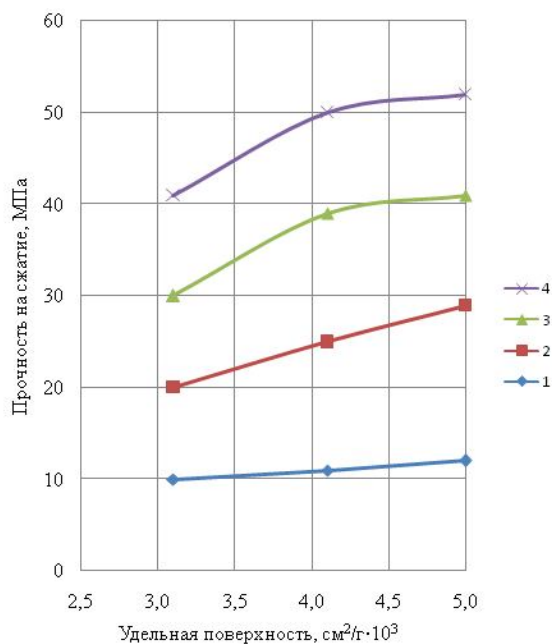


Рисунок 4 – Зависимость прочности шлаковых цементов от тонкости помола при времени твердения: 1 – 2 сут; 2 – 7 сут; 3 – 15 сут; 4 – 28 сут

По результатам исследований был рассчитан показатель активности молотого шлака, который составляет:

- при тонкости помола шлака  $3138 \text{ см}^2/\text{г}$  в возрасте 2 суток – 38%, 7 суток – 50%, 28 суток – 85%;

### Библиографический список

1. Бабич М.В. Шлак в композитном цементе / М.В. Бабич, А.Г. Холодный // Будівництво і стандартизація. – 2008. - №3. – С.2-6.
2. Хоботова Э.Б. Отвальный доменный шлак как сырьевой компонент производства вяжущих веществ / Э.Б. Хоботова, Ю.С. Калмыкова // Экология и промышленность. -2011. – №1. - С. 35-40.
3. Тейлор К. Химия цемента / К. Тейлор. – М.: Мир, 1996. – 559 с.

- при тонкости помола шлака  $4047 \text{ см}^2/\text{г}$  в возрасте 2 суток – 41%, 7 суток – 59%, 28 суток – 101%;

- при тонкости помола шлака  $4930 \text{ см}^2/\text{г}$  в возрасте 2 суток – 44%, 7 суток – 65%, 28 суток – 107%.

Время начала схватывания цементов практически не изменилось, даже для цементов со шлаком с удельной поверхностью  $4047 \text{ см}^2/\text{г}$  и  $4930 \text{ см}^2/\text{г}$  это время уменьшилось на 20 и 35 минут соответственно.

### Выводы

1. По химическому составу, а именно содержанию оксида магния, сульфида, сульфата, потерь при прокаливании, хлорид-иона (СІ), доменный шлак соответствует строительным нормам и требованиям.

2. Время начала схватывания цементов со шлаком практически не изменяется по сравнению с аналогичным параметром эталонного цемента.

3. Дисперсность доменного шлака положительно воздействует только на конечную прочность цемента, при этом кинетика твердения цементов не изменяется. Показатель активности цементов со шлаком в возрасте: 2 суток составляет 38 – 44%, 7 суток – 50 – 65%, 28 суток – 85 – 107%.

4. Оптимальной удельной поверхностью шлака является  $(4000 \pm 100) \text{ см}^2/\text{г}$ . Такая тонкость помола является наиболее рациональной с точки зрения затрат энергии на измельчение. Время помола шлака в шаровой мельнице до удельной поверхности  $4930 \text{ см}^2/\text{г}$  увеличивается по сравнению с временем на помол шлака до удельной поверхности  $4047 \text{ см}^2/\text{г}$  на 58%, а показатель прочности для шлаковых цементов увеличивается всего лишь на 6%.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Дроздом Г.Я.