

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

И. З. ВОЛЧЕК

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ  
ШЛАКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ФАЗОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

(Представлено академиком Д. С. Белянкиным 25 III 1953)

Гидравлические свойства закристаллизованных высокоглиноземистых шлаков изучались до настоящего времени довольно подробно (<sup>1, 2</sup>). Вместе с тем быстро охлажденным застеклованным шлакам уделялось значительно меньше внимания в силу представления, что уменьшение количественного содержания кристаллической фазы в пользу стекловидной приводит к снижению гидравлически активных свойств высокоглиноземистых шлаков (<sup>1, 3</sup>). Наряду с этим в литературе встречаются данные, указывающие на положительное влияние быстрого охлаждения и грануляции на физико-механические свойства этих шлаков (<sup>4-6</sup>).

Нами изучались гидравлические свойства высокоглиноземистых шлаков, обладающих различной фазовой характеристикой. Последняя создавалась путем различной скорости охлаждения расплава.

В качестве объектов исследования были приняты искусственные смеси, расположенные в полях устойчивости пятикальциевого трехалюмината  $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и однокальциевого алюмината  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  тройной системы  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ .

Компонентами для составления искусственных сырьевых смесей служили:

- а) окись алюминия (ч. д. а.) с содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99,97%;
- б) известняк веневский состава (в %):  $\text{SiO}_2$  следы,  $\text{R}_2\text{O}_3$  0,54,  $\text{CaO}$  55,66,  $\text{MgO}$  следы, п. п. п. 43,55; сумма 99,76;
- в) кристаллический кремнезем (вольский песок) с содержанием  $\text{SiO}_2$  98,8%.

Компоненты измельчались до полного прохождения через сито 900 отв/см<sup>2</sup>, а затем в течение 4 час. тщательно смешивались. Составленная таким образом сырьевая смесь подвергалась обжигу в тигельной печи до полного удаления  $\text{CO}_2$ , а затем загружалась в графитовый тигель, в котором и вводилась в криптоловую печь. Контроль температуры до 1300° осуществлялся термопарой, расположенной в непосредственной близости от расплава, а при более высокой температуре оптическим пирометром. Сырьевая смесь в течение 20—25 мин. доводилась до полного расплавления, после чего подвергалась различным режимам охлаждения.

Фактический химический состав исследуемых шлаков оказался следующим (см. табл. 1).

Точка состава 1 находится в поле устойчивости  $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ , а состава 2 — в поле устойчивости  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ .

Расчетная минералогическая характеристика медленно охлажденных шлаков, исходя из предположения их равновесной кристаллизации, приведена в табл. 2.

Для получения различной фазовой характеристики расплавы подвергались двум режимам охлаждения: 1) медленное охлаждение путем помещения тигля с расплавом в ящик с песком; 2) быстрое охлаждение расплава путем раздува расплава струей воздуха давлением в 6 атм.

Таблица 1  
Химический состав шлаков  
(в %)

№№ состава	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Σ
1	47,10	46,46	6,93	100,49
2	43,11	50,65	6,68	100,44

В результате раздува шлак получался двух видов. Значительное количество его получалось в виде весьма тонких волокон с диаметром в 3—10 м. Некоторая часть получалась в виде шариков (кольцов) диаметром 0,5—2,0 мм. Петрографический анализ показал\*, что медленно охлажденный шлак состава № 1 (поле устойчивости 5CaO·3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) являлся почти полностью закристаллизованным и содержал не более 10% стекла. Основное количество кристаллической фазы было представлено в виде 5CaO·3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, наряду с которым наблюдалось некоторое количество CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и β-2CaO·SiO<sub>2</sub>. Быстро охлажденные шарики содержали примерно 50% кристаллической фазы, остальная же часть представляла стекло. Волокно оказалось почти полностью застеклованным и содержало в своем составе не более 5—10% кристаллической фазы. Показатель светопреломления стекла этого состава  $N = 1,660 \pm 0,002$ .

Следует указать, что, несмотря на чрезвычайно быстрое охлаждение из расплавленного состояния все же не удалось получить полностью застеклованного шлака, что объясняется высокой кристаллизационной способностью рассмотренных составов.

Медленно охлажденный шлак состава № 2 (поле устойчивости CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) содержал более 90% кристаллической фазы, представленной в своей главной массе кристаллами CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Кроме того, наблюдались редкие кристаллы геленита (2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>) и β-CaO·SiO<sub>2</sub>. Шарики этого состава также состояли примерно на 50% из стекла и на 50% из кристаллов. Волокно этого состава представляло собой на 90—95% стекло с показателем светопреломления, равным  $N = 1,662 \pm 0,003$ .

Исследованию, таким образом, было подвергнуто по три объекта каждого состава, обладающих резко отличной фазовой характеристикой.

Гидравлическая активность принятых к исследованию составов определялась по следующей методике. Испытуемые составы измельчались в яшмовой ступке до полного прохождения через сито 10000 отв/см<sup>2</sup>. Порошок затворялся водой в количестве, отвечающем водовязущему отношению, равному 0,3, и укладывался в два слоя в формы размером 1,41 × 1,41 × 1,41 см. Каждый слой трамбовался 10 раз стеклянной палочкой диаметром 5 мм. Через сутки после изготовления образцы расформовывались и помещались в эксикатор над водой, где они хранились до наступления срока испытания. По наступлении последнего образцы

В результате раздува шлак получался двух видов.

Значительное количество его получалось в виде весьма тонких волокон с диаметром в 3—10 м. Некоторая часть получалась в виде шариков (кольцов) диаметром 0,5—2,0 мм.

Петрографический анализ показал\*, что медленно охлажденный шлак состава № 1 (поле устойчивости

Таблица 2

Расчетная минералогическая характеристика шлаков (в %)

№№ состава	2CaO·SiO <sub>2</sub>	CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5CaO·3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Σ
1	19,40	32,40	48,20	100
2	19,00	66,40	14,60	100

\* Петрограф О. М. Астреева.

извлекались из эксикатора, высушивались при температуре 105—110° до постоянного веса, а затем подвергались испытанию на предел прочности при сжатии. Испытания производились в сроки 14, 28 и 90 дней.

Средние данные по механической прочности из трех близнецов для составов №№ 1 и 2 приведены, соответственно, в табл. 3 и 4 (в процентах к прочности медленно охлажденного шлака в возрасте 14 дней для состава, расположенного в поле устойчивости  $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Таблица 3

Показатели прочности образцов состава № 1, расположенного в поле устойчивости  $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$

Фазовая характеристика состава	Предел прочности при сжатии в %		
	14 дней	28 дней	90 дней
Медленно охлажденный шлак			
кристаллов 90% } стекла 10% }	100	107	112
Шарики			
кристаллов 50% } стекла 50% }	112	142	150
Волокно			
кристаллов 10% } стекла 90% }	55	67	75

Таблица 4

Показатели прочности образцов состава № 2, расположенного в поле устойчивости  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$

Фазовая характеристика состава	Предел прочности при сжатии в %		
	14 дней	28 дней	90 дней
Медленно охлажденный шлак			
кристаллов 90% } стекла 10% }	215	242	250
Шарики			
кристаллов 50% } стекла 50% }	143	175	220
Волокно			
кристаллов 10% } стекла 90% }	50	107	110

Анализ полученных данных позволил установить, что застеклованные шлаки, расположенные как в поле устойчивости  $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ , так и в поле устойчивости  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , проявляют относительно высокую гидравлическую активность.

Для обоих рассмотренных составов гидравлическая активность застеклованных шлаков ниже гидравлической активности шлаков закристаллизованных.

Застеклованный шлак, расположенный в поле устойчивости  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , обладает более высокой гидравлической активностью по сравнению с застеклованным шлаком, расположенным в поле устойчивости  $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Для состава, расположенного в поле устойчивости  $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ , существует, повидимому, оптимум фазовой характеристики, отвечающий определенному соотношению между кристаллической и стеклообразной фазами, при котором гидравлическая активность шлака выше, чем у полностью закристаллизованного шлака.

Для состава, расположенного в поле устойчивости  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  наибольшая гидравлическая активность отвечает медленно охлажденному шлаку, содержащему подавляющее количество кристаллической фазы.

Петрографический анализ гидратированного в течение 28 дней застеклованного шлака, расположенного по составу в поле устойчивости  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , показал, что основная масса продуктов гидратации состоит из мельчайших пластинок в виде сферолитов с показателями светопреломления:  $N_g = 1,520 \pm 0,002$ ;  $N_p = 1,505 \pm 0,003$ .

Характер этих кристаллов, а также их оптические константы указывают, что это гидрат двухкальциевого алюмината  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7-9\text{H}_2\text{O}$ . Наряду с ним в препаратах наблюдалось непрореагировавшее стекло и небольшое количество кристаллов карбоната кальция.

Полученные результаты показывают, во-первых, что стеклообразные высокоглиноземистые шлаки обладают сравнительно высокой гидравлической активностью и, во-вторых, что, применяя для некоторых видов высокоглиноземистых шлаков соответствующие режимы процесса кристаллизации, возможно значительно увеличить их гидравлическую активность.

Выражаю искреннюю благодарность проф. В. Н. Юнгу и К. Э. Горянову за помощь в работе.

Поступило  
23 III 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> М. Ф. Чебукон, Глиноземистый цемент с-м, 1938. <sup>2</sup> В. Н. Юнг, Строит. материалы, № 9 (1934). <sup>3</sup> Н. А. Торопов, Б. В. Волконский, ДАН, 66, № 1 (1949). <sup>4</sup> А. Н. Иванов, В. Н. Федорович, Глиноземистый цемент, его производство, свойства и примененне, Строительные материалы, сборн. 13 (1931). <sup>5</sup> В. П. Тарарин, Гидравлические вяжущие вещества и их производство, М.—Л., 1934. <sup>6</sup> 25 лет Гипроцемента, 1947.