

Ведищев Кирилл Алексеевич
студент
4 курса, направление «Проектирование
технологических машин и комплексов»
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Россия, г. Белгород

Полторан Ярослав Евгеньевич
студент
4 курса, направление «Проектирование
технологических машин и комплексов»
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Россия, г. Белгород

РАСЧЕТ БОУГА

Аннотация: В статье рассматриваются основные минеральные составляющие клинкера и принципы их расчета по Боугу. Также в статье затронуты дополнительные аспекты, касающиеся этого расчета.

Ключевые слова: клинкер, минералы клинкера, фаза, состав, расчет Боуга.

Annotation: The article discusses the main mineral components of clinker and the principles of their calculation according to Boog. The article also covers additional aspects related to this calculation.

Key words: clinker, clinker minerals, phase, composition, calculation of Bogue.

Роберт Герман Боуг (Robert Herman Bogue) американский физик и химик. Он был первым директором стипендии Портлендской ассоциации

цемента в Национальном бюро стандартов за доклад на симпозиуме по химии цемента в Стокгольме [1].

Формулы, которые он разработал используются для расчета приблизительных пропорций четырех основных минералов в портландцементном клинкере.

Стандартный расчет Боуга относится к цементному клинкеру, а не к цементу, но его можно отрегулировать для использования с цементом. Хотя результат только приблизительный, расчет является чрезвычайно полезным и широко используемым в цементной промышленности.

Расчет предполагает, что четыре основных минерала клинкера являются чистыми минералами:

1. Алит: C_3S – трехкальциевый силикат
2. Белит: C_2S – двухкальциевый силикат
3. Алуминатная фаза: C_3A – трехкальциевый алюминат
4. Ферритовая фаза: C_4AF – тетракальциевый алюмоферрит

Важно помнить, что эти составы являются лишь приблизительными значениями к фактическим составам минералов.

Клинкер производится путем объединения извести (CaO) и кремнезема (SiO_2), а также извести с глиноземом (Al_2O_3) и железом. Если часть извести остается несвязанной (что почти наверняка будет), нам необходимо вычесть это из общего содержания извести перед тем, как выполнить расчет, чтобы получить наилучшую оценку пропорций четырех основных присутствующих минералов клинкера. По этой причине анализ клинкера обычно дает показатель для несвязанной свободной извести [2].

Примечание: если требуется рассчитать только потенциальные пропорции минералов в клинкере, поправку на несвязанную свободную известь можно игнорировать, тогда при расчете будут даны пропорции минералов клинкера в предположении, что вся известь в связанном состоянии.

Расчет заключается в следующем:

Во-первых, согласно предполагаемым минеральным составам, ферритовая фаза является единственным минералом, содержащим железо. Поэтому содержание железа в клинкере фиксирует содержание феррита.

Во-вторых, содержание алюмината фиксируется общим содержанием глинозема в клинкере за вычетом глинозема в фазе феррита. Теперь это можно рассчитать, так как количество фазы феррита было рассчитано.

В-третьих, предполагается, что весь кремнезем присутствует в виде белита, и следующий расчет определяет, сколько извести необходимо для образования белита из общего содержания кремнезема в клинкере. Там будет избыток извести.

В-четвертых, избыток извести распределяется между белитом, превращая часть его в алит.

На практике вышеуказанный процесс выделения оксидов может быть сведен к следующим уравнениям, в которых оксиды представляют массовые проценты оксидов в клинкере:

Расчет Боуга:

$$C_3S = 4,0710 \cdot CaO - 7,6024 \cdot SiO_2 - 1,4297 \cdot Fe_2O_3 - 6,7187 \cdot Al_2O_3$$

$$C_2S = 8,6024 \cdot SiO_2 + 1,0785 \cdot Fe_2O_3 + 5,0683 \cdot Al_2O_3 - 3,0710 \cdot CaO$$

$$C_3A = 2,6504 \cdot Al_2O_3 - 1,6920 \cdot Fe_2O_3$$

$$C_4AF = 3,0432 \cdot Fe_2O_3$$

Таблица 1.

Анализ клинкера.

Состав, %										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Потери при прокаливании	Потери при инфракрасной спектроскопии	Всего
+21,5	5,2	2,8	66,6	1,0	0,6	0,2	1,0	1,5	0,5	98,9
Свободная известь = 1,0 % CaO										

Следует подчеркнуть, что расчет Боуга не дает «истинного» количества четырех основных фаз клинкера, так как об этом иногда забывают. Результаты расчета Боуга отличаются от «истинных» количеств (часто называемых фазовыми пропорциями) главным образом потому, что фактические минеральные составы отличаются - часто лишь незначительно, но иногда в большей степени и особенно в случае ферритовой фазы, от чистых фазовых составов, принятых при расчете.

Чтобы скорректировать расчет для использования с портландцементом, необходимо сначала рассмотреть, какие другие материалы могут присутствовать в цементе. Если цемент представляет собой смесь только клинкера и гипса, то кальций, связанный с гипсом, может быть учтен приблизительно путем вычета ($0,7 \times \text{SO}_3$) из общего CaO. Обратите внимание, что это не допускает присутствия какого-либо сульфата клинкера в виде сульфата калия или натрия, и поэтому будет внесена небольшая ошибка [3].

Аналогичная корректировка может быть выполнена для известняка; содержание известняка можно оценить, определив содержание CO_2 в цементе и рассчитав содержание остаточного CaO. Если присутствует либо шлак, либо летучая зола, то формула может быть скорректирована с ее учетом, но состав шлака или золы должен быть известен точно, и на практике это обычно не делается.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ:

1. Stutzman P. Contributions of NIST/NBS Researchers to the Crystallography of Construction Materials // Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. 2001. Vol. 106 (6). P. 1051 – 1061. DOI: 10.6028/jres.106.056
2. Stutzman P., Heckert A., Tebbe A., Leigh S. Uncertainty in Bogue-Calculated Phase Composition of Hydraulic Cements // Journal of ASTM International. 2010. DOI: 10.1520/JAI102697

3. Stutzman P., Leigh S. Statistical Calibration of ASTM C150 Bogue-Derived Phase Limits to Directly Determined Phases by Quantitative X-Ray Powder Diffraction. // Journal of ASTM International. 2010. DOI: 10.1520/JAI103046