

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI:10.12737/article_5a5dbf08d54d48.73587792

*Барбаныгрэ В.Д., д-р техн. наук, проф.,**Стронин А.А., магистрант**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

ВЛИЯНИЕ НА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛИНКЕРА АССОРТИМЕНТА МЕЛЮЩИХ ТЕЛ И ИНТЕНСИФИКАТОРА ПОМОЛА

aleksandr.stronin@rambler.ru

Усовершенствование технологий возведения зданий и сооружений привело к ускорению темпов строительства, что естественно вызвало рост потребительского спроса на портландцементы. Зачастую строящиеся сооружения имеют очень сложную архитектуру, поэтому возникает необходимость в использовании цемента, который быстро взаимодействует с водой, и в течение всего времени твердения равномерно набирает прочность. Для получения подобных цементов, необходимо, чтобы они имели строго определенный гранулометрический состав. Авторами данной работы вначале было проведено исследование по изучению воздействия на гранулометрический состав портландцементного клинкера разных assortиментов мелющих тел, а затем повторили эксперименты, но уже с вводом интенсификатора помола. В ходе проведения исследований было установлено изменение в продукте измельчения содержания основных фракций при использовании разных assortиментов мелющей загрузки. Ввод интенсификатора помола не во всех опытах приводил к заметным изменениям в гранулометрическом составе.

Ключевые слова: *измельчение клинкера, интенсификатор помола, assortимент мелющих тел, плотная шаровая упаковка, гранулометрический состав.*

Качество, получаемого портландцементного клинкера заключается не только в величине тонкости помола, определяемой по величине удельной поверхности и полным остаткам на стандартных ситах № 02 и № 008, а еще и гранулометрическим составом [1].

Фракционный состав сильно влияет на активность цемента, т.к. скорость гидратации его частиц зависит от их размера, чем она меньше, тем быстрее гидратирует, а, следовательно, с большей скоростью нарастает прочность цементного камня. Но при чрезмерно большом содержании мелкой фракции в продукте помола, цементное тесто обладает повышенной водопотребностью, что в дальнейшем приведет к спаду прочности цементного камня [2]. В результате необходимо стремиться к тому, чтобы в измельченном клинкере в оптимальной количестве содержались бы частицы разного размера.

Некоторые авторы указывают разный диапазон размера частиц для мелкой, средней и крупной фракции, а также оптимальное их количество и время необходимое для полной гидратации данной фракции. Так, например, Классен В. К. [3] указывает, что фракция размером 0–3 мкм полностью гидратирует в первые сутки твердения, 3–30 мкм – в течение 28 суток, фракция более 60 мкм гидратирует лишь после 28 сут. Иван-Городов А.Н. [4] считает, что для обеспечения равно-

мерного твердения цементного камня в естественных условиях и получения высокой механической прочности в ранние сроки твердения, необходимо, чтобы измельченный клинкер имел следующий зерновой состав: 0–5 мкм не более 20 %; 5–20 мкм – 40–45 %; 20–40 мкм – 25–20 %; больше 40 мкм – 15–20 %.

Отсюда видно, что варьируя гранулометрический состав клинкера можно получать цементы различных марок [3]. Так для получения рядовых цементов содержание частиц размером 3–30 мкм должно находиться в интервале 40–50 %, а для получения высокопрочных – 55–65 % [3].

Для получения материала с узким фракционным составом нужно увеличить энергоэффективность процесса измельчения в шаровой мельнице. Этого можно достичь, используя разработанную профессором БГТУ им. В.Г. Шухова Барбаныгрэ В.Д., плотную шаровую упаковку (ПШУ) [5], а также экспериментально определенным assortиментом мелющих тел и интенсификатором помола.

Целью данной работы было исследование влияния на гранулометрический состав портландцементного клинкера разного assortимента мелющих тел. Изучить совместное влияние на фракционный состав клинкера мелющих тел разного assortимента и интенсификатора помола «Литопласт 4И» компании ООО «Полипласт Новомосковск».

В работе использовались мелющие загрузки со следующим ассортиментом шаров:

1) $\varnothing 60/\varnothing 17=1:2$ с массой шаров 55 кг, коэффициентом загрузки 0,2 и энерговооруженностью 13,75;

2) Плотная шаровая упаковка (ПШУ) $\varnothing 40/\varnothing 17=2:1$ с массой мелющих тел 80 кг, коэффициентом загрузки 0,3 и энерговооруженностью 20;

3) Стандартная загрузка $\varnothing 74/\varnothing 54/\varnothing 40/\varnothing 17=1,3:0,4:2,2:1,0$ масса загрузки 55 кг, $\varphi=0,2$, энерговооруженность 13,75.

Клинкер фракции 10–0 мм завода «Осколцемент» измельчался в двухкамерной мельнице ГИРОЦЕМента 0,5×0,28 м без добавления гипса. Количество размалываемого материала в мель-

нице во всех опытах составляло 4 кг. Весь процесс помола проходил в одной камере, поэтому в мельницу, сначала загружалась загрузка, соответствующая первой камере: $\varnothing 74/\varnothing 54=2:1$ с массой мелющих шаров 55 кг и $\varphi = 0,2$, затем после помола на этой загрузке, последняя извлекалась и загружалась исследуемая: $\varnothing 60/\varnothing 17$ или $\varnothing 40/\varnothing 17$. Общее время помола составляло 35 мин.

Стандартная загрузка отличается от вышеуказанных тем, что при ее использовании клинкер измельчается в одной камере в течение 35 мин.

Использование мелющей загрузки с ассортиментом шаров $\varnothing 60/\varnothing 17$ приводит к результатам, указанным в табл. 2. В табл. 1 приведены дисперсные характеристики продукта измельчения.

Таблица 1

Дисперсные характеристики клинкера после 35 мин измельчения

Ассортимент загрузки	Удельная поверхность, м ² /кг	Полный остаток на сите № 02, %	Полный остаток на сите № 008, %
$\varnothing 60/\varnothing 17$ (образец №1)	419,7	-	1,34
$\varnothing 40/\varnothing 17$ (образец №2)	411,3	0,96	3,94
$\varnothing 74/\varnothing 54/\varnothing 40/\varnothing 17$ (образец №3)	329,4	0,5	7,1

Таблица 2

Гранулометрический состав клинкера после 35 мин измельчения

Ассортимент загрузки	Содержание фр. 0–5 мкм, %	Содержание фр. 5–30 мкм, %	Содержание фр. > 30 мкм, %	$\frac{5-30}{0-5}$
$\varnothing 60/\varnothing 17$	14,65	74,15	11,20	5,1
$\varnothing 40/\varnothing 17$	14,73	69,59	15,68	4,7
$\varnothing 74/\varnothing 54/\varnothing 40/\varnothing 17$	15,09	68,92	15,99	4,6

Из табл. 2 видно, что содержание фракции 0–5 мкм у всех трех образцов одинаковое и составляет 14,8 %, образец №1 обладает большим количеством частиц размером 5–30 мкм (74,15 %) и меньшим количеством частиц, имеющих размер более 30 мкм (11,2 %) по сравнению с другими образцами. У клинкеров, измельченных в присутствии стандартной и мелющей за-

грузки $\varnothing 40/\varnothing 17$, наблюдается одинаковое количество частиц 5–30 мкм (69 %) и с размером больше 30 мкм (15 %).

На рис. 1. в одних координатах представлены интегральные кривые трех образцов. Из рисунка видно, что широким диапазоном размеров частиц обладает образец №3. Образцы №1 и №2 имеют почти одинаковый угол наклона кривой, поэтому у них равной ширины диапазон размера частиц.

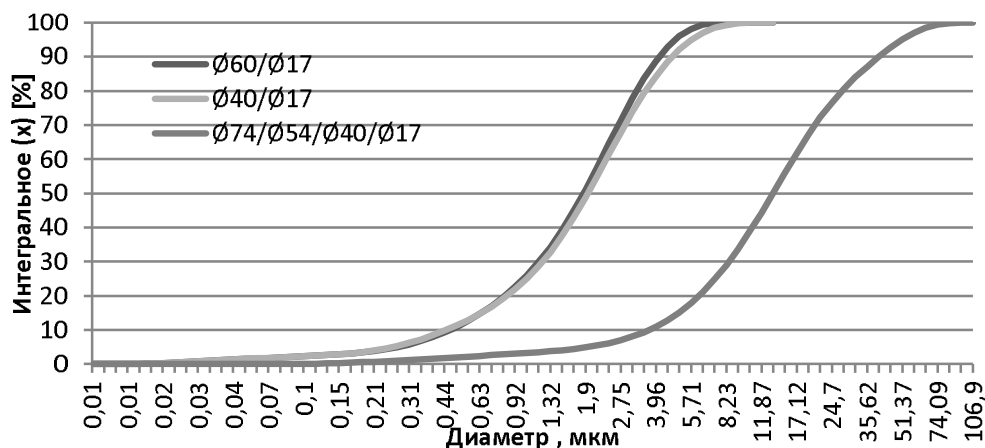


Рис. 1. Интегральные гранулометрические кривые образцов №1, №2, и №3

Исходя из полученных данных на этом этапе исследований, можно сказать, что применение мелющей загрузки с ассортиментом шаров Ø60/Ø17 и Ø40/Ø17 в мельнице открытого типа наиболее рационально, т. к. оба ассортимента позволяют получать клинкер более однородного гранулометрического состава, с малым полным остатком на стандартном сите № 008. Применение ПШУ Ø40/Ø17 приводит к небольшому росту R_{008} по сравнению с загрузкой Ø60/Ø17 примерно на 3 % и появлению около 1 % полного остатка на контрольном сите № 02.

Использование стандартной загрузки приводит к существенному росту R_{008} и снижению удельной поверхности, т. е. наблюдается закругление тонкости помола материала и увеличение его полидисперсности.

Затем перешли к изучению совместного влияния на фракционный состав клинкера интенсификатора помола и вышеисследованных ассортиментов мелющих тел. В следующих экспериментах участвовали: ПШУ Ø40/Ø17 и стандартная загрузка. К ассортименту Ø60/Ø17 добавка не вводилась, т.к. ее применение без интенсификатора помола позволяет получать материал с очень небольшим полным остатком на сите № 008.

Добавка вводилась в количестве 0,1 % (по масс.) во вторую камеру мельницы. Только при исследовании стандартной загрузки добавку вводили через 10 мин помола. Полученные результаты представлены в табл. 3 и 4, а на рис. 2. показан гранулометрический состав исследованных образцов.

Таблица 3

Дисперсные характеристики клинкера после 35 мин измельчения в совокупности с добавкой

Ассортимент загрузки	Удельная поверхность, м ² /кг	Полный остаток на сите № 02, %	Полный остаток на сите № 008, %
Ø40/Ø17 (образец №4)	394,1	0,3	2,4
Ø74/Ø54/Ø40/Ø17 (образец №5)	377,3	-	1,4

Из табл. 3 видно, что ввод добавки привел к заметному снижению R_{02} ; R_{008} у образцов №4 и №5 на 39 % и 80 % соответственно. В случае ПШУ Ø40/Ø17 добавка привела к некоторому

снижению удельной поверхности клинкера, а в случае стандартной загрузки наоборот привела к увеличению на 12 % данного параметра.

Таблица 4

Гранулометрический состав клинкера после 35 мин измельчения в совокупности с добавкой

Ассортимент загрузки	Содержание фр. 0–5 мкм, %	Содержание фр. 5–30 мкм, %	Содержание фр. > 30 мкм, %	$\frac{5-30}{0-5}$
Ø40/Ø17	14,24	77,47	8,29	5,4
Ø74/Ø54/Ø40/Ø17	11,05	73,47	15,48	6,6

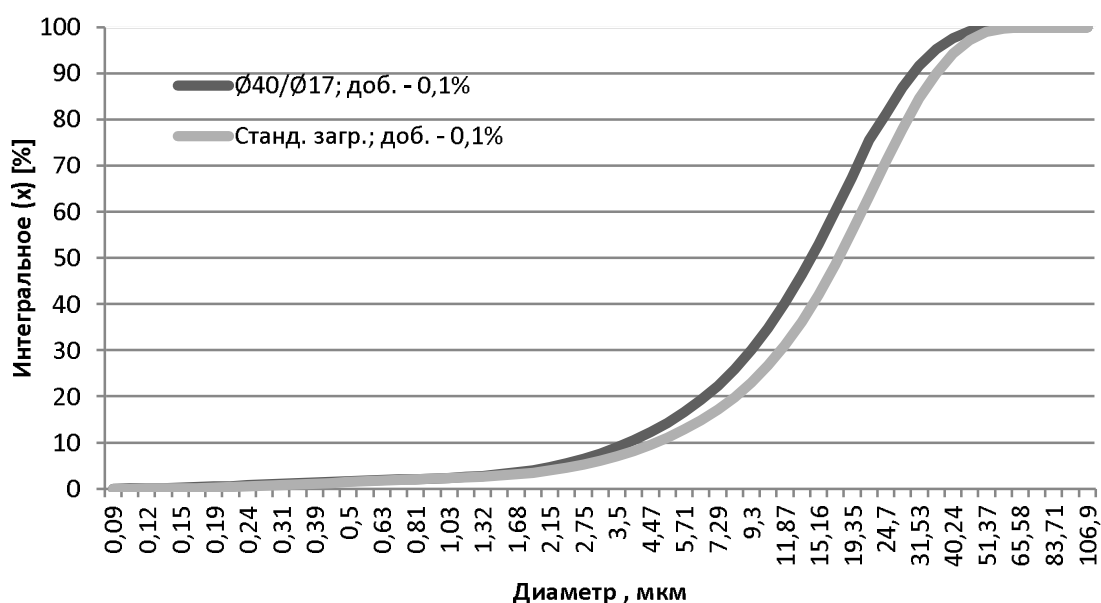


Рис. 2. Интегральные гранулометрические кривые образцов №4 и №5

Образцы №4 и №5 сильно отличаются по содержанию частиц, имеющих размер больше 30 мкм (табл. 4). Так содержание их у клинкера, измельченного в присутствии плотной шаровой загрузки $\varnothing 40/\varnothing 17$ на 46% меньше, чем у клинкера, измельченного при использовании стандартной загрузки. В то же время эти образцы почти не отличаются по содержанию фракций 0–5 мкм и 5–30 мкм (различие оставляет 3–4 %). Гранулометрический состав исследованных образцов показан на рис. 2.

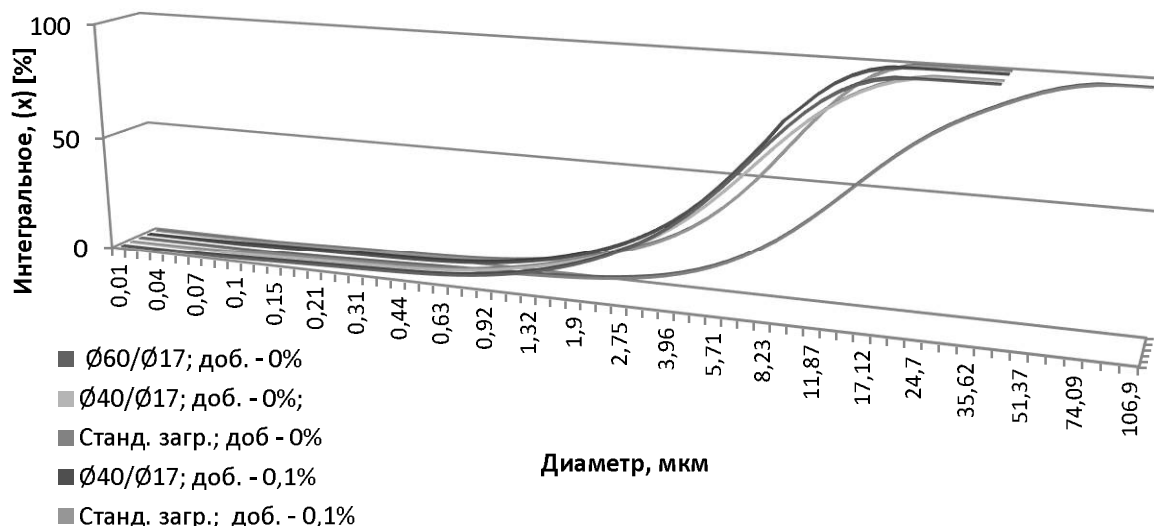


Рис. 3. Сравнение всех интегральных кривых, полученных в ходе проведения исследований

Исходя из вышесказанного следует, что в отсутствие интенсификатора помола действие ассортимента мелющих тел $\varnothing 60/\varnothing 17$ на фракционный состав клинкера почти равноценно действию ПШУ $\varnothing 40/\varnothing 17$ (рис. 3), хотя применение последней приводит к увеличению содержания частиц в измельченном клинкере размером более 30 мкм на 4,5 % и снижению количества фракции 5–30 мкм на 4,5 %, по сравнению с ассортиментом $\varnothing 60/\varnothing 17$. Но в обоих случаях материал на выходе из мельницы имеет узкий гранулометрический интервал. Использование стандартной загрузки приводит к образованию полидисперсного продукта измельчения, это обусловлено небольшим содержанием в загрузке мелких шаров.

Совместное действие ПШУ $\varnothing 40/\varnothing 17$ и интенсификатора помола (0,1 % по масс.) привело к росту содержания фракции 5–30 мкм на 8 %, снижению количества частиц, имеющих размер больше 30 мкм на 7 %, но не вызвало изменений в содержании фр. 0–5 мкм. Ввод добавки к материалу, измельчаемому при использовании стандартной загрузки, привел к заметному сокращению ширины фракционного состава, хотя при этом наблюдаются незначительные изменения в гранулометрическом составе клинкера, по срав-

На рис. 3. представлены гранулометрические кривые всех образцов, исследованных в данной работе. Видно, что ввод 0,1 % интенсификатора помола к клинкеру, измельчаемому в мельнице со стандартной загрузкой, приводит к заметному сокращению диапазона размера частиц, тем самым приближая его к диапазону размера частиц клинкера, измельченного в присутствии как ассортимента $\varnothing 60/\varnothing 17$, так и ПШУ $\varnothing 40/\varnothing 17$.

нению с измельченным клинкером без ввода добавки. Содержание частиц размером 0–5 мкм и 5–30 мкм уменьшилось на 4 % и 4,5 % соответственно, а наличие интенсификатора помола не сказалось на количестве частиц размером больше 30 мкм.

Для получения клинкера с более узким фракционным составом можно использовать ассортимент шаров $\varnothing 60/\varnothing 17$ и плотную шаровую упаковку $\varnothing 40/\varnothing 17$ без использования добавки. При работе мельницы на стандартной загрузке необходим ввод интенсификатора помола.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуда В. Цемент. М.: Стройиздат. 1981. 484 с.
2. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. М.: Высшая школа. 1980. 472 с.
3. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента. Белгород. Изд-во БГТУ. 2012. 308 с.
4. Крыхтин Г.С., Кузнецов Л.Н. Интенсификация работы мельниц. Новосибирск. Изд-во ВО «Наука». 1993. 240 с.
5. Барбаниягрэ В.Д., Матвеев А.Ф., Смаль Д.В., Москвичев Д.С. Интенсификация тонкого

измельчения материалов в шаровых трубных мельницах // Научно-техническая конференция

РФФИ: Сб. докл. регион. конф. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 20–27.

Информация об авторах

Барбаниягрэ Владимир Дмитриевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии цемента и композиционных материалов.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Стронин Александр Анатольевич, магистрант кафедры технологии цемента и композиционных материалов.

E-mail: aleksandr.stronin@rambler.ru.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в ноябре 2017 г.

© Барбаниягрэ В.Д., Стронин А.А., 2018

V.D. Barbanyagre, A.A. Stronin

INFLUENCE ON GRANULOMETRIC COMPOSITION OF CLINKER OF ASSORTMENT OF GRINDING BODIES AND INTENSIFIER OF THE GRINDING

Improvement of technologies for the erection of buildings and structures led to an acceleration in the pace of construction, which naturally caused an increase in consumer demand for Portland cement. Often the constructions under construction have a very complex architecture, so there is a need to use cement, which quickly interacts with water, and during the whole hardening time it steadily increases its strength. To obtain such cement, it is necessary that they have a strictly defined granulometric composition. The authors of this work first carried out a study on the effect on the granulometric composition of Portland cement clinker of various assortments of grinding bodies, and then repeated the experiments, but with the introduction of the grinding intensifier. During the research, a change in the product of the grinding of the content of the main fractions was established using different assortments of grinding load. The introduction of the grinder intensifier did not lead to appreciable changes in the granulometric composition in all the experiments.

Keywords: *crushing of clinker, intensifier of the grinding, assortment of grinding bodies, dense ball packing, granulometric composition.*

Information about the authors

Vladimir D. Barbanyagre, PhD, Professor.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Alexandr A. Stronin, Graduate student.

E-mail: aleksandr.stronin@rambler.ru.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in November 2017