

Агеева М.С., канд. техн. наук, доц.,  
Лесовик Г.А., канд. техн. наук, доц.,  
Шаповалов С.М., канд. техн. наук, доц.,  
Михайлова О.Н., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ПОМОЛА НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО

ageevams@yandex.ru

В статье сформулированы основные закономерности подбора оптимального гранулометрического состава вяжущих. Установлен характер зависимости морфологии поверхности и размер частиц композиционных вяжущих от времени помола компонентов.

**Ключевые слова:** композиционные вяжущие, закладочные смеси, доменный гранулированный шлак, отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов.

**Введение.** В настоящее время большое количество работ посвящено вопросу использования композиционных вяжущих в строительстве [1-18]. Учитывая то, что кремнеземсодержащие компоненты представлены полиминеральными системами и имеют различную степень размалываемости, необходимо исследовать влияние технологии помола, гранулометрического состава и морфологии зерен компонентов на активность композиционных вяжущих (КВ).

Отходы мокрой магнитной сепарации

(ММС) железистых кварцитов – наиболее крупнотоннажные отходы в регионе Курской магнитной аномалии (КМА) [19-21]. Поэтому их использование крайне целесообразно с экологической и экономической точек зрения.

**Методология.** В работе для получения вяжущих были использованы следующие материалы: портландцемент ЦЕМ I 32,5Н ГОСТ 31108–2003 ЗАО «Белгородский цемент» и отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов с  $M_k=0,6$ , добавка Полипласт СП-1 (табл.1).

Таблица 1

### Химический состав техногенного сырья

Оксид	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	CO <sub>2</sub>
ММС	77,8	0,57	6,58	7,12	1,5	2,26	0,128	-	-	-	3,63

Отходы ММС в количестве 80 % размалывали до различной удельной поверхности (200, 300, 400 м<sup>2</sup>/кг) в вибрационной лабораторной мельнице, а затем указанные подготовленные компоненты домалывали с портландцементом

ЦЕМ I 32,5 Н (20 %) и добавкой СП-1 (0,8%) в течение различного времени -5, 10, 15 мин. (табл. 2). Испытания проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 310.4-81.

Таблица 2

### Удельная поверхность композиционных вяжущих в зависимости от их состава и тонкости помола техногенного наполнителя

№ п/п	Состав, %		Время помола наполнителя /время совместного помола, м <sup>2</sup> /кг	Тонкость помола вяжущего, м <sup>2</sup> /кг
	цемент	наполнитель		
Тонкость помола наполнителя-200 м <sup>2</sup> /кг				
1	100	-	-	310
1а	20	80 (ММС)	1,5/5	390
2а	20	80 (ММС)	1,5/10	520
3а	20	80 (ММС)	1,5/15	730
Тонкость помола наполнителя-300 м <sup>2</sup> /кг				
1б	20	80 (ММС)	4/5	445
2б	20	80 (ММС)	4/10	550
3б	20	80 (ММС)	4/15	760
Тонкость помола наполнителя-400 м <sup>2</sup> /кг				
1в	20	80 (ММС)	6,5/5	500
2в	20	80 (ММС)	6,5/10	605
3в	20	80 (ММС)	6,5/15	850

**Основная часть.** Установлено, что при минимальной тонкости помола наполнителя

происходит максимальный прирост удельной поверхности вяжущего с возрастанием времени

их совместного домола (табл. 2). Так, с увеличением времени помола КВ на отходах ММС 200 от 5 до 10 мин прирост удельной поверхности вяжущего составляет 33 %, а от 10 до 15 мин – 87 %. Тогда как эти же показатели для КВ ММС 300 и КВ ММС 400 сопоставимы между собой и составили 24% и 71 %, и–21 % и 70% соответственно. Это объясняется тем, что при минимальной удельной поверхности наполнителя его разрушение при помоле идет по границам слагающих зерно минералов, поэтому прирост поверхности максимален. Тогда как при более тонком измельчении отходов ММС прирост удельной поверхности вяжущего идет как за

счет помола зерен цемента, так и техногенного песка, представленного в основной массе кварцем различного генезиса.

С увеличением тонкости помола наполнителей от 200 и 300 м<sup>2</sup>/кг прирост удельной поверхности композиционных вяжущих составил 14%–6%–4% для времени домола 5–10–15 мин. Тогда как при удельной поверхности отходов ММС от 300 до 400 м<sup>2</sup>/кг такой прирост практически выравнивается для всех вяжущих и составляет уже 12 %–10%–11%. Полученные закономерности можно объяснить, сравнивая характер поверхности и размер частиц вяжущих (рис. 1).

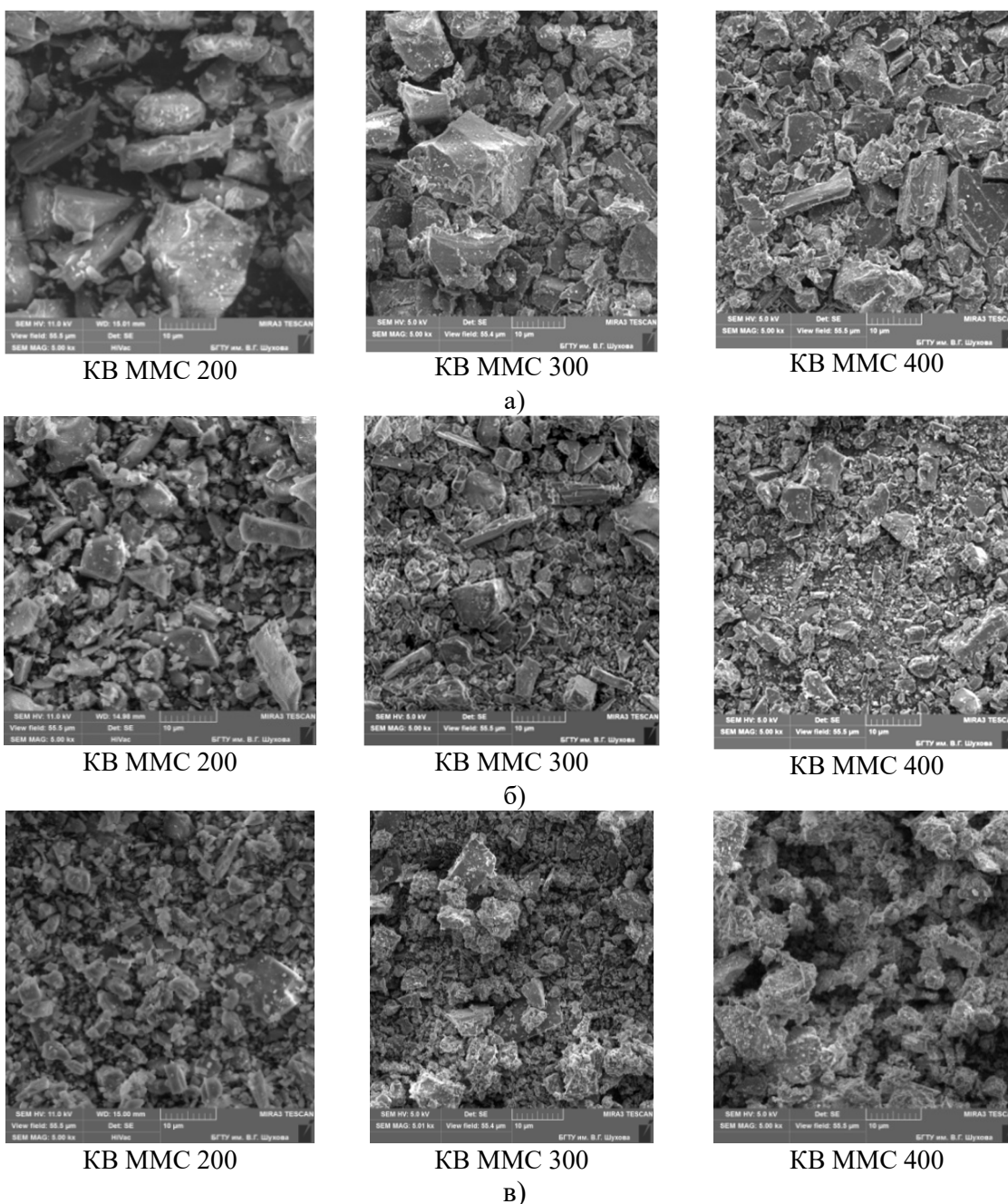


Рис. 1. Морфология поверхности, размер и характер частиц композиционных вяжущих, полученных при домоле компонентов в течение: а-5 мин.; б-10 мин.; в-15 мин

Отходы ММС имеют гетерогенную гранулометрию и развитую шероховатую поверхность частиц. У вяжущих, полученных при помоле в течение 5 мин, заметно повышенное содержание крупных частиц в большей части остроугольной, несколько вытянутой формы, размером 20-30 мкм, представленных контактово-метаморфическим кварцем.

При этом у КВ на основе ММС 400 наблюдается более плотная упаковка зерен за счет уменьшения размеров частиц наполнителя и увеличения их количества. Что связано с разрушением не только агрегатов минералов, но и частично – порообразующих минералов (рис. 1, а).

По характеру частичек и их крупности можно предположить, что быстрее будет размываться халцедоновая разновидность регионально метаморфизованного слабоупорядоченного кварца, далее динамо-метаморфического, затем контактово-метаморфического кварца.

При увеличении времени помола до 10 мин. у всех вяжущих наблюдается уменьшение и некоторое усреднение зерен при незначительном вкраплении более крупных агрегатов (рис. 1, б).

Происходит помол как зерен наполнителя, так и цемента, которые раскалываются, постепенно истираются и измельчаются, становятся более окатанными. Можно предположить, что крупные частицы отходов ММС способствовали

интенсификации помола вяжущего, выступая своеобразными дополнительными мелющими телами. Интенсивное уменьшение размеров самих этих частиц происходит за счет их полиминерального состава. Особенно активно происходит измельчение и окатывание частиц у КВ ММС 400, мельчайшие частицы которого, местами объединяются в более крупные агрегаты (рис. 1, б).

У вяжущих, полученных при помоле в течение 15 мин., вторичное агрегирование частиц становится повсеместным и наиболее выраженным (рис.1, в). Особенно заметно это явление у КВ ММС 400, в котором мельчайшие частички цемента и регионально метаморфизованного кварца отходов ММС полностью покрывают более крупные агрегаты, представленные в основном контактово-метаморфической генерацией, или собираются в отдельные скопления в виде цепочек, агрегатов шарообразной формы и т.п. При этом значительно сокращается количество крупных включений, размер частиц уменьшается от КВ ММС 200 к КВ ММС 400 (рис. 1,в).

С помощью метода математического планирования были получены графики зависимостей прочности вяжущих от удельной поверхности и времени помола (рис. 2). Условия планирования эксперимента представлены в (табл. 3).

Таблица 3

Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	1	
Тонкость помола наполнителя, м <sup>2</sup> /кг	X1	200	300	400	100
Время совместного домолы с цементом, мин.	X2	5	10	15	5

Уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = 12,89 + 1,075 \cdot X_1 + 0,075 \cdot X_2 - 0,042 \cdot X_1^2 - 1,24 X_2^2 - 1,4 \cdot X_1 \cdot X_2$$

Максимальную прочность имеют вяжущие, полученные домолом в течение 10 мин. при тонкости помола наполнителя 300 и 400 м<sup>2</sup>/кг, а также в течение 5 мин. для КВ ММС 400 (рис. 2).

Это объясняется наиболее оптимальным гранулометрическим составом вяжущего, значительно меньшим количеством крупных недомолотых частиц ММС, наибольшей активацией как цементных зерен, так и частиц техногенного песка. При этом физико-механические напряжения, воздействуя на структуру отходов ММС и

частицы цемента активизируют процессы структурообразования при твердении подобных систем, что в целом способствовало получению наиболее прочной матрицы затвердевшего вяжущего.

Таким образом, установлено, что домол в течение 15 мин. не эффективен при любой начальной удельной поверхности наполнителя из-за повышенного количества мельчайших частиц в вяжущем и их вторичного агрегирования, что будет увеличивать энергозатраты и способствовать повышению водопотребности бетонной смеси. Наиболее целесообразным является домол в течение 10 мин. для всех вяжущих и в течение 5 мин. для КВ ММС 400, что согласуется с данными по прочности образцов.

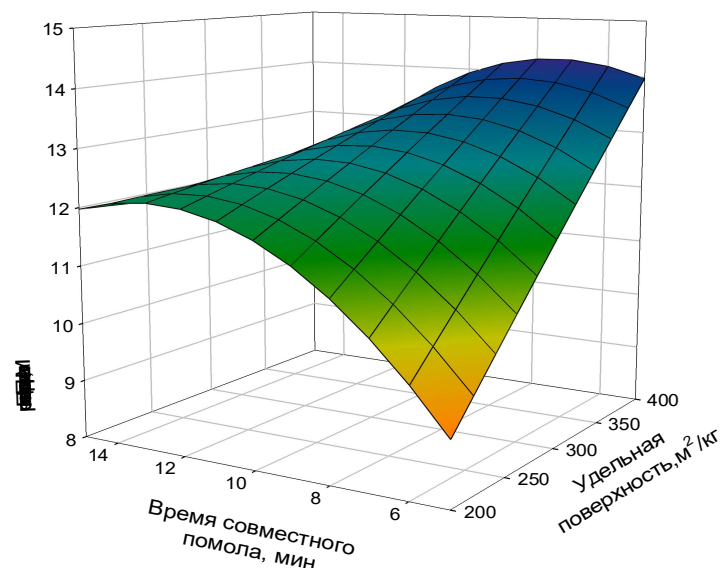


Рис. 2. График зависимостей прочности вяжущих от удельной поверхности и времени помола

**Выводы.** Выявлена наиболее эффективная продолжительность помола, при которой наблюдается усреднение зерен вяжущих при незначительном вкраплении более крупных агрегатов за счет разрушения как зерен наполнителя, так и цемента. При этом крупные частицы техногенного песка, представленные в основном контактово-метаморфическим кварцем, способствуют интенсификации помола вяжущего, выступая своеобразными дополнительными мелющими телами, а сами зерна ММС приобретают окатанную кубовидную форму, повышая плотность упаковки смеси.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик Р.В. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и техногенных песках автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2009
2. Лесовик Р.В., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И. Комплексное использование отходов алмазообогащения // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 30-31.
3. Клюев С.В., Авилова Е.Н. Бетон для строительства оснований автомобильных дорог на основе сланцевого щебня // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 38-41.
4. Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Яковлев Е.А., Шейченко М.С. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. №1. С. 30–33.
5. Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Савин А.В., Шадский Е.Е. Перспективы применения композиционных вяжущих при производстве железобетонных изделий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №5 (88). С 95-99.
6. Alfimova N.I., Sheychenko M.S., Karatsupa S.V., Yakovlev E.A., Kolomatskiy A.S., Shapovalov N.N. Features of application of high-mg technogenic raw materials as a component of composite binders // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2014. № 5(5). P. 1586-1591.
7. Lesovik V.S., Alfimova N.I. Savin A. V., Ginzburg A. V., Shapovalov N. N. Assessment of passivating properties of composite binder relative to reinforcing steel // World Applied Sciences Journal. 2013. 24 (12). 1691–1695.
8. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья: монография. Saarbruken. Изд-во LAP. 2013. 127 с. ISBN 978-3-659-35755-8.
9. Кара К.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства: автореф. ... канд. техн. наук. Белгород, 2011. 25 с.
10. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства. Белгород, 2011. 150 с.
11. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Оптимизация условий твердения композиционных вяжущих : монография. Германия: Изд-во LAP LAMBERT Academic Pub-

lishing GmbH & Co. KG. 2012. 97 с. ISBN 978-3-8484-1919-7.

12. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К. А. Энергоэффективные газобетоны бетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства // Известия вузов. Строительство. 2012. №3. С. 10–20.

13. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И. Степень гидратации композиционных вяжущих как фактор коррозии арматуры в бетоне // Известия вузов. Строительство. 2013. №1. С. 28–33.

14. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И., Гинзбург А.В. Оценка защитных свойств бетонов на композиционных вяжущих по отношению к стальной арматуре // Строительные материалы. 2013. №7. С. 56–58

15. Алфимова Н.И., Трунов П.В. Продукты вулканической деятельности как сырье для производства композиционных вяжущих // Сухие строительные смеси. 2012. №1. С. 37–38.

16. Ageeva M. S., Sopin D. M., Lesovik G. A., Metrohin A. A., Kalashnikov N. V., Bogusevich V. A. The modified composite slag-cement binder // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. August 2014. Vol. 9. № 8. P. 1381. 1385.

17. Лесовик Р.В., Чернышева Н.В., Агеева М.С. Активация мелкозернистого бетона на же-

лезосодержащих техногенных песках магнитным полем // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 24–28.

18. Сулейманова Л. А., Семенов П.Е. Высококачественное композиционное вяжущее с применением техногенного сырья // Актуальные вопросы и строительство: мат-лы V Всероссийской науч.-практ. конф., 2012. Т.1. С. 266-270.

19. Сулейманова Л. А. Композиционное вяжущее с использованием техногенного песка для неавтоклавных газобетонов // Экология: образование, наука, промышленность и здоровье: мат-лы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород, 2011. С. 162–165.

20. Ильинская Г.Г. Сухие отделочные строительные смеси на композиционных вяжущих: автореф. ... канд. техн. наук. Белгород, 2012.

21. Соловьева Л. Н., Чантурия Ю.В., Ткебучава П.Д. Оптимизация состава композиционного вяжущего с использованием метода математического планирования эксперимента // «Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона»: Сборник научных трудов по материалам II Всероссийской научно-практической конференции. Саратов: Изд-во СГТУ, 2012. С. 51–55.

---

**Ageeva M.S., Lesovik G.A., Shapovalov S.M., Mikhailova O.N.**

**EFFECT OF TIME TO PRAY AT THE PROPERTIES OF THE COMPOSITE BINDER**

*The article defines the basic laws of selection of optimal particle size distribution binders. The nature of dependence of surface morphology and particle size of the composite binding time of grinding components.*

**Key words:** *composite binders, filling mixture, granulated blast-furnace slag, a waste of wet magnetic separation of ferrous quartzites.*