

УДК 691.33

Морозов Н.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: nikola_535@mail.ru

Боровских И.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: borigor83@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Влияние метакаолина на свойства цементных систем

Аннотация

Применение наполнителей в мелкозернистом бетоне (МЗБ) является одним из путей повышения его физико-механических характеристик и экономической эффективности. В работе предложено использование метакаолина, как активной минеральной добавки, для повышения прочности мелкозернистого бетона. Установлено, метакаолин увеличивает водопотребность цементного теста и поэтому его необходимо применять совместно с эффективными пластифицирующими добавками. В цементном камне с этой минеральной добавкой увеличивается количество химически связанной воды, что говорит о росте новообразований. Совместное использование метакаолина и суперпластификатора позволяет увеличить прочность на сжатие мелкозернистого бетона в 1,5 раза.

Ключевые слова: метакаолин, цементное тесто, мелкозернистый бетон, суперпластификатор, прочность.

Ввиду того, что мелкозернистый, или песчаный бетон имеет практически неисчерпаемые запасы природного сырья, масштабы его применения объективно растут. МЗБ позволяет создавать однородную высококачественную структуру материала и формировать из него конструкции и изделия различными методами. Свойства МЗБ зависят от тех же факторов, что и у крупнозернистого бетона, но, особенностью песчаного является большая удельная поверхность заполнителя, в связи с чем растет расход цемента и воды [1, 2].

Для снижения расхода цемента и улучшения свойств МЗБ применяются минеральные наполняющие добавки. К наполнителям для бетонов относятся твердые природные и техногенные вещества в дисперсном состоянии, преимущественно неорганического состава, не растворимые в воде и характеризующиеся крупностью зерен менее 0,16 мм [3, 4].

Часто в качестве наполнителей используют отходы и побочные продукты различных промышленных производств. К таким производствам, в которых объем побочных продуктов достигает миллионов тонн в год, относятся тепловые электростанции, использующие в качестве топлива уголь или горючие сланцы, а также металлургические печи, выпускающие чугун, сталь, ферросплавы [2, 5, 6].

В настоящее время одним из эффективных наполнителей для цементных систем признан метакаолин – высокодисперсный алюмосиликат, обладающий пуццолановой активностью, образующийся в результате обжига каолиновых глин в температурном диапазоне 650-750 °С [7]. Добавление метакаолина способствует увеличению прочности цементного камня при сжатии, адгезии цементного геля к частицам заполнителя, снижению пористости и уменьшению проницаемости, повышению устойчивости материала к циклическому замораживанию и оттаиванию, а также к коррозионным воздействиям. Влияние метакаолина на гидратацию цемента и формирование структуры цементного камня обусловлено высокой дисперсностью частиц метакаолина и его пуццолановыми свойствами [8, 9]. Однако, данная минеральная добавка отличается высокой дисперсностью, что приводит к возрастанию водопотребности цементных систем. Для снижения этого негативного фактора необходимо использовать суперпластификаторы, отличающиеся высоким водоредуцирующим эффектом [10, 11]. Поэтому целью работы стало исследование влияния метакаолина на свойства пластифицированных цементных систем.

В качестве вяжущего использовали Мордовский цемент ЦЕМ I 42,5Б. Для снижения водопотребности цементных систем использовали суперпластификатор Melflux 2651 F – порошок продукт, полученный методом распылительной сушки модифицированного полиэфиркарбоксилата. Для изготовления мелкозернистого бетона использовали кварцевые пески Камского месторождения с модулем крупности 2,5.

В качестве наполнителя был взят метакаолин МКЖЛ – аморфный силикат алюминия, полученный при термической обработке обогащенного каолина месторождения «Журавлиный Лог». Минералогический состав метакаолина МКЖЛ представлен полностью аморфизованным каолинитом (90-93 %), кристаллическая фаза представлена реликтовыми слюдой (2,5-3,0 %) и кварцем (4-5 %), кристаллические новообразования (муллит, кристаболит) практически отсутствуют.

Таблица 1

Химический состав метакаолина МКЖЛ

Состав	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	ППП
Содержание, %	42-43	53-54	0,4-0,8	0,3-0,5	0,8-1,1	0,05	0,15	до 1,5

Минеральные добавки при введении в цементное тесто меняют многие его свойства. В связи с этим, нами было оценено влияние метакаолина на водопотребность цементного теста, сроки его схватывания и количество химически связанной воды в затвердевшем цементном камне. Составы цементного теста представлены в табл. 2.

Таблица 2

Составы цементного теста

№	Цемент, г	Метакаолин, г	Melflux 2651F, г	Вода, г
1	400	-	-	118
2	400	20	-	140
3	400	30	-	169
4	400	40	-	180
5	400	-	2	73
6	400	20	2	86
7	400	30	2	92
8	400	40	2	100

Влияние метакаолина на водотвердое отношение показано на рис. 1. Видно, что с увеличением дозировки наполнителя оно растет: на 37 % при 10 масс. % метакаолина в составах без суперпластификатора и на 28 % в его присутствии.

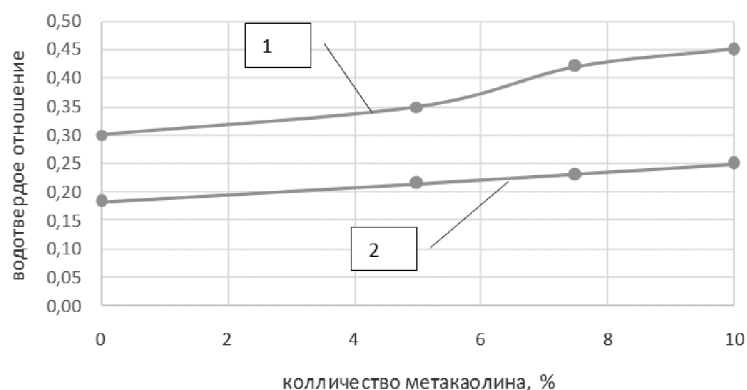


Рис. 1. Зависимость водотвердого отношения цементного теста от количества метакаолина:
1 – контрольный состав, 2 – состав с добавкой Melflux

На рис. 2 и 3 показана зависимость начала и конца сроков схватывания цементного камня от содержания метакаолина. Видно, что в составах без пластификатора с увеличением количества метакаолина начало схватывания замедляется, что вызвано увеличением водосодержания цементного теста.

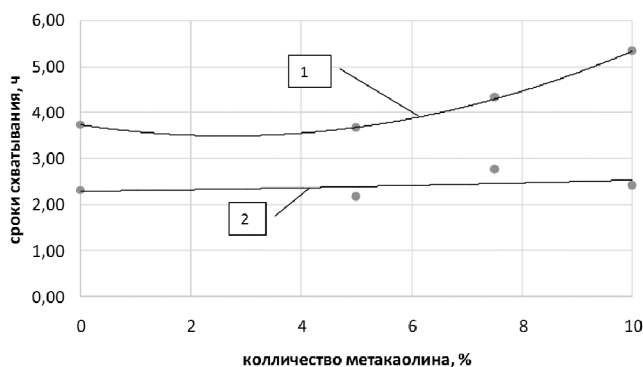


Рис. 2. Зависимость начала схватывания цементного теста от количества метакаолина:
1 – контрольный состав, 2 – состав с добавкой Melflux

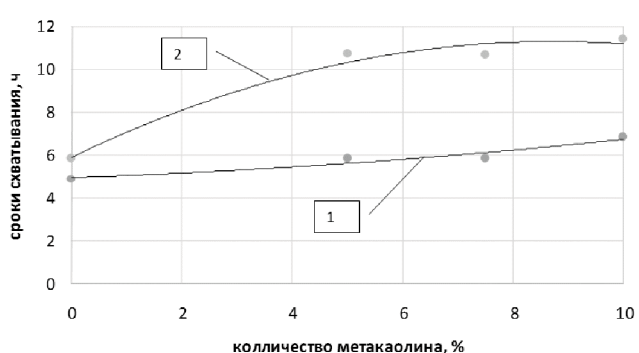


Рис. 3. Зависимость конца сроков схватывания цементного теста от количества метакаолина:
1 – контрольный состав, 2 – состав с добавкой Melflux

В присутствии суперпластификатора наполнитель на начало схватывания влияет незначительно. При введении метакаолина замедляется конец схватывания, причем, в пластифицированных системах это происходит в большей степени.

Так как метакаолин является активной минеральной добавкой, то должна изменяться степень гидратации цемента. Для ее оценки было определено количество химически связанной воды в цементном камне. Суть этой методики заключалась в предварительной сушке и последующем обжиге цементного камня при температуре 950⁰С и по разности масс находили количество связанной воды.

На рис. 4 приведена зависимость количества химически связанной воды в цементном камне от количества метакаолина. Как видно из кривых использование метакаолина приводит к увеличению степени гидратации цемента, причем в пластифицированных образцах оно существенно выше.

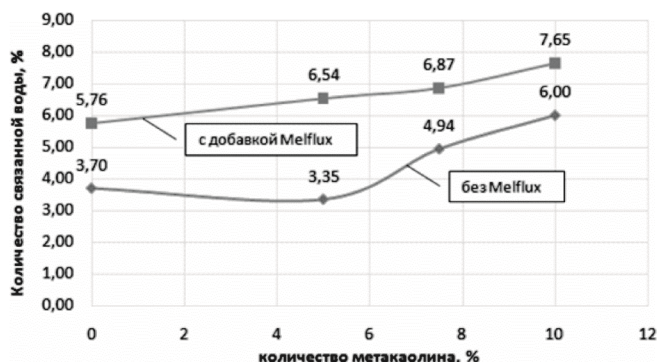


Рис. 4. Зависимость количества химически связанной воды в цементном камне на 7-е сутки твердения от количества метакаолина

Увеличение степени гидратации цемента с добавкой метаксаолина предполагает большую прочность цементных систем. В связи с этим было исследовано влияние метаксаолина на прочность мелкозернистого бетона. Состав бетона был выбран 1:3 (цемент: песок) и были использованы пески с разным модулем крупности. Подвижность смеси принималась равной (расплыв конуса 120 мм). Результаты представлены на рис. 5, 6.

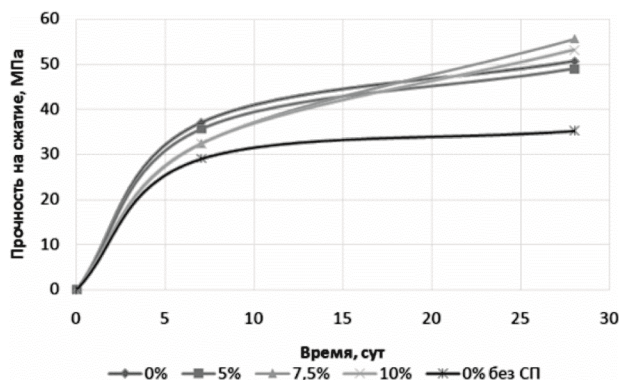


Рис. 5. Кинетика прочности МЗБ с добавкой метаксаолина с суперпластификатором Melflux и песком с $M_k=1,5$

Как видно на рис. 5, совместное использование метаксаолина с суперпластификатором позволило значительно увеличить прочность во все сроки твердения, однако максимальное увеличение достигается в возрасте 28 суток. Не высокий рост прочности в первые сутки твердения связан со значительным увеличением расхода воды для достижения одинаковой подвижности бетонной смеси. Прирост прочности относительно бездобавочного состава в 28-е сутки составил 57 %.

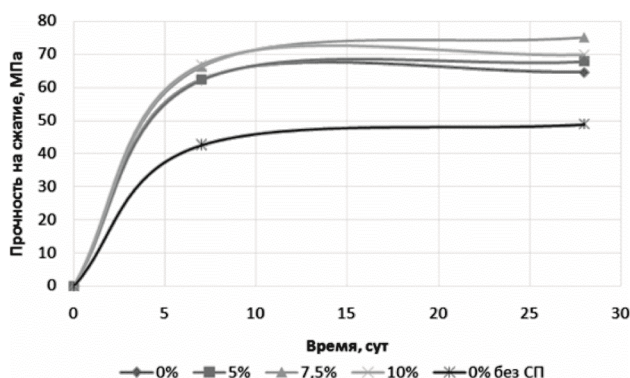


Рис. 6. Кинетика прочности МЗБ с добавкой метаксаолина с суперпластификатором Melflux и песком с $M_k=2,5$

Как видно на рис. 6, совместное использование метаксаолина с суперпластификатором в мелкозернистом бетоне на песке с $M_k=2,5$ позволило также увеличить прочность во все сроки твердения. В этом случае прирост прочности характерен как в ранние сроки твердения так и в более поздние. Максимальное увеличение прочности бетона с 7,5 % метаксаолина в 28-е сутки составило 53 %.

Таким образом, по результатам исследования установлены зависимости свойств цементного теста и бетона от количества метаксаолина. Показано, что метаксаолин увеличивает водопотребность цементного теста и мелкозернистого бетона, причем на бетонных смесях это увеличение значительно меньше. Введение метаксаолина увеличивает количество химически связанной воды, что косвенно подтверждает рост новообразований в цементном камне. Установлено, что оптимальной дозировкой метаксаолина в мелкозернистом бетоне является 7,5 % от массы цемента. При совместном использовании метаксаолина и суперпластификатора прирост прочности составил более 50 %.

Список использованных источников

1. Львович К.И. Песчаный бетон и его применение в строительстве. – СПб.: Стройбетон, 2007. – 320 с.
2. Баженов Ю.М. Многокомпонентные мелкозернистые бетоны // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2001, № 10. – С. 24-26.
3. Высоцкий С.А. Минеральные добавки для бетонов // Бетон и железобетон, 1994, № 2. – С. 7-10.
4. Авксентьев В.И., Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г. Влияние шлама химической водоочистки в комплексе с суперпластификатором на физико-механические свойства цементного камня // Известия КГАСУ, 2015, № 1. – С. 119-126.
5. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. Строительство и минеральные вяжущие прошлого, настоящего, будущего // Строительные материалы, 2013, № 5. – С. 57-59.
6. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Сибгатуллин И.Р., Гиззатуллин А.Р., Харченко И.Я. Карбонатные цементы низкой водопотребности – зеленая альтернатива цементной индустрии России // Строительные материалы, 2014, № 5. – С. 76-82.
7. Кузнецова Т.В., Нефедьев А.П., Коссов Д.Ю. Кинетика гидратации и свойства цемента с добавкой метакАОлина // Строительные материалы, 2015, № 7. – С. 3-9.
8. Дворкин Л.И., Лушникова Н.В. Высокопрочные бетоны на основе литых бетонных смесей с использованием полифункционального модификатора, содержащего метакАОлин // Бетон и железобетон, 2007, № 1. – С. 2-7.
9. Якупов М.И., Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г. Модифицированный мелкозернистый бетон для возведения монолитных покрытий взлетно-посадочных полос аэродромов // Известия КГАСУ, 2013, № 4 (26). – С. 257-261.
10. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Особенности процесса гидратации цемента с комплексной добавкой // Известия КГАСУ, 2010, № 2 (14). – С. 229-233.
11. Кашапов Р.Р., Красникова Н.М., Морозов Н.М., Хозин В.Г. Влияние комплексной добавки на твердение цементного камня // Строительные материалы, 2015, № 5. – С. 27-30.

Morozov N.M. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: nikola_535@mail.ru

Borovskikh I.V. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: borigor83@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The influence of metakaolin on the properties of cement systems**Resume**

Fine-grained concrete is a popular material due to a wide source of raw materials for its production. One of its drawbacks is the high consumption of cement and low strength in comparison with conventional concrete. To reduce these negative factors use different variants of mineral additives, one of which is metakaolin. Metakaolin has high pozzolanic activity and a high dispersion. Due to its high dispersibility increases the water requirement of the cement paste, which was shown in this work. Therefore, the proposed use of superplasticizer on the basis of the ether polycarboxylates, which significantly reduced the water requirement of cement systems. The use of metakaolin increases the setting time of cement paste with addition of superplasticizer and without it. Owing to their high activity metakaolin is possible to increase the amount of chemically bound water in the cement stone. The joint use of metakaolin and superplasticizer resulted in a significant increase in compressive strength fine-grained concrete in all stages of hardening.

Keywords: metakaolin, cement paste, fine-grained concrete, superplasticizer, strength.

Reference list

1. Lvovich K.I. Sand concrete and its use in construction. – SPb.: Stroy-Beton, 2007. – 320 p.
2. Bazhenov U.M. Multi-component fine-grained concrete // Building materials, equipment, technologies of XXI century, 2001, № 10. – P. 24-26.
3. Vysotskiy S.A. Mineral additives for concrete. Concrete and reinforced concrete, 1994, № 2. – P. 7-10.
4. Avksentiev V.I., Morozov N.M., Borovskikh I.V., Khozin V.G. The effect of sludge of chemical water treatment in combination with superplasticizer on the physico-mechanical properties of cement paste. // Bulletin of KSUAE, 2015, № 1. – P. 119-126.
5. Rahimov R.Z., Rahimova N.R. Construction and mineral binders of the past, present, future. // Building materials, 2013, № 5. – P. 57-59.
6. Khozin V.G., Khokhriakov O.V., Sibgatullin I.R., Gizatullin A.R., Kharchenko I.Ya. Carbonate cements with low water demand – the green alternative to cement industry in Russia. // Building materials, 2014, № 5. – P. 76-82.
7. Kuznetsova T.V., Nefedev A.P., Kossov D.Y. Hydration kinetics and properties of the cement with metakaolin addition. // Building materials, 2015, № 7. – P. 3-9.
8. Dvorkin L.I., Lushnikova N.V. High-strength concrete on the basis of cast concrete mixtures with multifunctional modifier, containing metakaolin. // Concrete and reinforced concrete, 2007, № 1. – P. 2-7.
9. Yakupov M.I., Morozov N.M., Borovskikh I.V., Khozin V.G.. Modified fine-grained concrete for the construction of monolithic coatings runways of airfields. // Bulletin of KSUAE, 2013, № 4 (26). – P. 257-261 .
10. Izotov V.S., Ibragimov R.A. Peculiarities of the process of hydration of cement with complex additives. // Bulletin of KSUAE, 2010, № 2 (14). – P. 229-233.
11. Kashapov R.R., Krasnikova N.M., Morozov N.M., Khozin V.G. Influence of complex additives on hardening of cement stone. // Building materials, 2015, № 5. – P. 27-30.