

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ДИСПЕРСНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА СВОЙСТВА ВЯЖУЩЕЙ ЩЕЛОЧНОЙ СИСТЕМЫ

© Батаев Дена Карим-Султанович (а), Муртазаев Сайд-Альви Юсупович (б), Саламанова Мадина Шахидовна (с), Алиев Саламбек Алимбекович(д)

- (а) Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская Федерация, г. Грозный; директор, kniiran@mail.ru
- (б) Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, г.н.с. лаборатории металлов, сплавов и композиционных материалов, ГГНТУ имени академика М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный; s.murtazaev@mail.ru
- (с) Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская Федерация, с.н.с. лаборатории металлов, сплавов и композиционных материалов, ГГНТУ имени академика М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный; madina_salamanova@mail.ru
- (д) ГГНТУ имени академика М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный; asa-fenix@mail.ru

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследований влияния степени дисперсности минеральных порошков природного и техногенного происхождения на свойства цементного щелочного теста. Изучены зависимости изменения суммарной удельной поверхности от продолжительности измельчения, выявлено оптимально время помола сырьевых материалов. Разработанные рецептуры вяжущих щелочных связок, с использованием минеральных порошков и отходов цементной промышленности, отличаются короткими сроками схватывания и высоким расходом щелочного затворителя для получения теста нормальной густоты, что требует дальнейших исследований. А полученные закономерности влияния степени дисперсности на свойства вяжущей связки «минеральный порошок – Na_2SiO_3 », позволят создавать прочные и долговечные искусственные строительные композиты, конкурирующие с бетонами на портландцементе.

Результаты, представленные в настоящей статье, получены в рамках исследований по реализации научного проекта № 05. 607.21.0320. "Разработка технологии новых строительных композитов на бесклинкерных вяжущих щелочной активации с использованием некондиционного природного и вторичного сырья" получившего поддержку Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы». Уникальный идентификатор соглашения RFMTFI60719X0320.

Ключевые слова: портландцементный клинкер, аспирационная пыль, пыль электрофильтров, жидкое стекло, дисперсность, минеральный порошок, удельная поверхность.

INFLUENCE OF THE DEGREE OF DISPERSION OF MINERAL POWDERS OF NATURAL AND MAN-GENERAL ORIGIN ON THE PROPERTIES OF THE BINDING ALKALINE SYSTEM

© **Bataev Dena Karim-Sultanovich (a), Murtazaev Said-Alvi Yusupovich (c), Salamanova Madina Shahidovna (c), Aliev Salambek Alimbekovich (d)**

(a) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; director, kniiran@mail.ru

(b) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences. Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation, Grozny; mainresearcher laboratory metals, alloys and composite materials, s.murtazaev@mail.ru

(c) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences. Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation, Grozny; senior researcher laboratory metals, alloys and composite materials, madina_salamanova@mail.ru

(d) Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation, Grozny; asa-fenix@mail.ru

Abstract. This paper presents the results of studies of the effect of the degree of dispersion of mineral powders of natural and technogenic origin on the properties of cement alkaline dough. The dependences of the change in the total specific surface area on the duration of grinding have been studied, and the optimum grinding time for raw materials has been revealed. The developed formulations of binding alkaline binders, using mineral powders and waste from the cement industry, are distinguished by short setting times and high consumption of alkaline grout for obtaining a dough of normal density, which requires further research. And the obtained regularities of the influence of the degree of dispersion on the properties of the binding binder "mineral powder - Na_2SiO_3 ", will make it possible to create strong and durable artificial building composites that compete with concretes on Portland cement.

This work was supported by the project No. 05. 607.21.0320. "Development of innovative structural composite materials based on clinkerless binders of alkaline activation using off-grade natural and secondary raw stuff" in the frame of Federal target program "Studies and developments in the prioritized fields of development of R&D complex of Russia for the years 2014-2020". Unique identifier: RFMTFI60719X0320.

Key words: portland cement clinker, aspiration dust, electrostatic precipitator dust, liquid glass, dispersion, mineral powder, specific surface area

Проведенные исследования, направленные на установление закономерностей формирования структуры бесклинкерного цементного камня щелочной активации, подтверждают, мнение многих ученых [1 - 11], что для получения прочного и долговечного композита необходимы компоненты алюмосиликатной и кремнеземистой природы, затворенные щелочным раствором. Степень дисперсности алюмосиликатных и кремнеземистых компонентов является одним из важных факторов в системе

«минеральная составляющая - щелочной затворитель». Исследуя дисперсность материала можно выделить ряд характерных признаков: размер и форма частичек; интенсивность межфазового взаимодействия; возможность адгезии между частицами. Следовательно, дисперсность, в первую очередь, характеризуется размерностью частиц порошкообразного компонента в системе, определяется значением обратно пропорциональным среднему диаметру частиц и является удельной поверхностью $S_{уд}$.

Дисперсность материала на микроуровне характеризуется рядом признаков, а на макроуровне – это степень раздробления материала на мельчайшие частицы. Размер частиц будет уменьшаться в зависимости от продолжительности измельчения. Форма частиц зависит от предыстории получения дисперсного минерального порошка и его последующей обработки. Минеральные дисперсные порошки – это дисперсная смесь шероховатых и неравновесных частиц с размерами от 10^{-9} м до долей миллиметра, которая может быть охарактеризована суммарной удельной поверхностью в единице объема или массы. Суммарная удельная поверхность минеральных порошков является важной характеристикой, так как именно с развитием поверхности твердых тел начинаются химические процессы взаимодействия и активации согласно закону действующих масс [12 -15].

Для изучения влияния удельной поверхности минеральных составляющих на свойства цементного теста щелочного затворения были приготовлены высокодисперсные порошки из горных пород осадочного и магматического происхождения: окремненный мергель Веденского месторождения, барханные пески Шелковского месторождения, вулканический туф из Кабардино-Балкарской Республики. Аспирационная и клинкерная цементные пыли электрофильтров помолу не подлежали, удельная поверхность их составила $S_{уд}$ 210 м²/кг и 280 м²/кг соответственно.

Энергодисперсионный микроанализ исследуемых порошков проводили в Научно-исследовательском центре коллективного пользования (НИЦКП) «Нанотехнологии и наноматериалы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Грозненского нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова, выполненный с помощью растрового электронного микроскопа Quanta 3D 200 i, показал существенное различие в химическом составе минеральных добавок:

– вулканический туф, %: MgO = 0,20; Al₂O₃ = 13,57; SiO₂ = 73,67; K₂O = 6,00; CaO = 1,79; Fe₂O₃ = 1,52; TiO₂ = 2,85; ппп = 0,40.

– окремненный мергель: MgO = 1,10; Al₂O₃ = 5,47; SiO₂ = 28,7; Na₂O = 1,09; CaO = 61,53; Fe₂O₃ = 2,12.

– барханные пески, %: MgO = 2,41; Al₂O₃ = 7,81; SiO₂ = 59,54; K₂O = 1,44; CaO = 17,52; Fe₂O₃ = 2,60; Na₂O = 1,35; SO₃ = 0,21; ппп = 7,12.

– клинкерная пыль, %: MgO = 1,49; Al₂O₃ = 4,11; SiO₂ = 16,89; K₂O = 1,57; CaO = 71,64; Fe₂O₃ = 4,30.

– аспирационная пыль, %: MgO = 0,97; Al₂O₃ = 4,68; SiO₂ = 20,31; K₂O = 6,43; CaO = 64,15; Fe₂O₃ = 3,47.

– песчаник, %: ZnO = 0,03; Al₂O₃ = 1,93; SiO₂ = 66,00; K₂O = 0,42; Na₂O = 1,26; CaO = 29,45; Fe₂O₃ = 0,58; TiO₂ = 0,32.

– известняк, %: MgO = 0,72; Al₂O₃ = 1,55; SiO₂ = 5,05; K₂O = 0,60; CaO = 90,14; Fe₂O₃ = 1,40; SO₃ = 0,49; ппп = 0,05.

– кварцевый песок, %: MgO = 6,32; Al₂O₃ = 14,99; SiO₂ = 73,83; K₂O = 1,83; CaO = 0,60; Fe₂O₃ = 0,97; SO₃ = 0,14; TiO₂ = 1,32.

Для приготовления тонкодисперсных порошков из исследуемых горных пород, крупнокусковые из них предварительно измельчали в щековой дробилке, а затем, как и мелкозернистые были подвергнуты тонкому измельчению в лабораторной роликовой мельнице ЛМР-15. Через определённые промежутки времени из мельницы отбирались пробы для определения удельной поверхности (при помощи прибора ПСХ-12) и выявления зависимости степени дисперсности порошков от продолжительности измельчения (рис. 1).

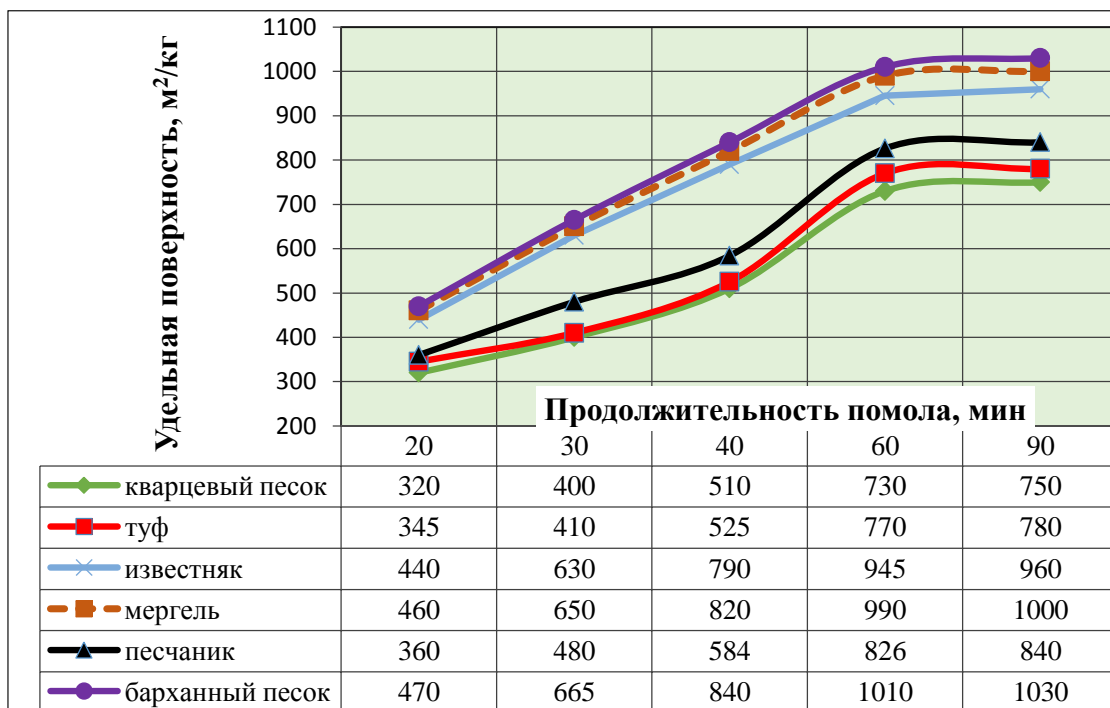


Рис. 1. График зависимости удельной поверхности высокодисперсных порошков от продолжительности измельчения

Полученные зависимости удельной поверхности минеральных порошков от продолжительности тонкого помола позволили нам установить, что процесс измельчения довольно трудоемкий и определяется различными факторами. Конечно можно предполагать, что удельная поверхность будет возрастать в линейной пропорциональности с увеличением времени измельчения, но экспериментальные результаты доказывают, что степень дисперсности определяется природой исходных горных пород, если точнее природой породообразующих минералов, составляющих данные породы. Так минеральные порошки с повышенным содержанием в морфологическом составе кварца труднее подвержены помолу, о чем свидетельствуют сравнительно меньшие показатели удельной поверхности кварцевых песков и вулканического туфа. А более мягкие природные минералы, как кальцит, содержащиеся в известняке, песчанике и мергеле легко поддаются измельчению, соответственно удельная поверхность порошков высокая.

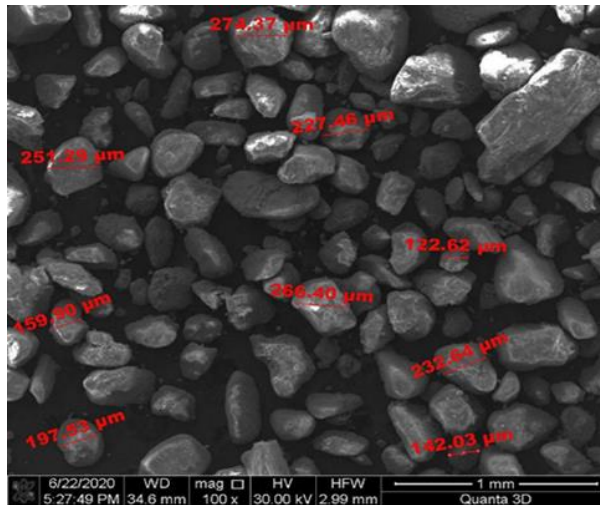
Барханные пески отличаются довольно высоким содержанием пылевидной фракции в виде глинистых примесей, поэтому мягкая алюмосиликатная составляющая способствует более усиленному повышению дисперсности. Также важно отметить, что увеличение продолжительности помола выше 60 минут не имеет явного смысла, так как 90 минутное измельчение, фактически не привело к росту удельной поверхности, а расход электроэнергии и технологического оборудования, безусловно, присутствует.

Особое значение необходимо уделить технологическому фактору, так как вид истирателя также играет свою роль в процессе измельчения, полученные зависимости удельной поверхности от продолжительности истирания в роликовой и шаровой мельницах показали, что более эффективным можно считать вибрационную шаровую мельницу. Удельные поверхности порошков, измельченных в роликовой мельнице, составили $S_{уд}$ от 460 до 1000 м²/кг, что подтверждает эффективность помольного агрегата, в котором тонкое измельчение осуществляется мелющими телами, за счет раздавливающих и истирающих усилий от воздействия стальных роликов, от перетирания материала друг с другом и о футеровку мельницы.

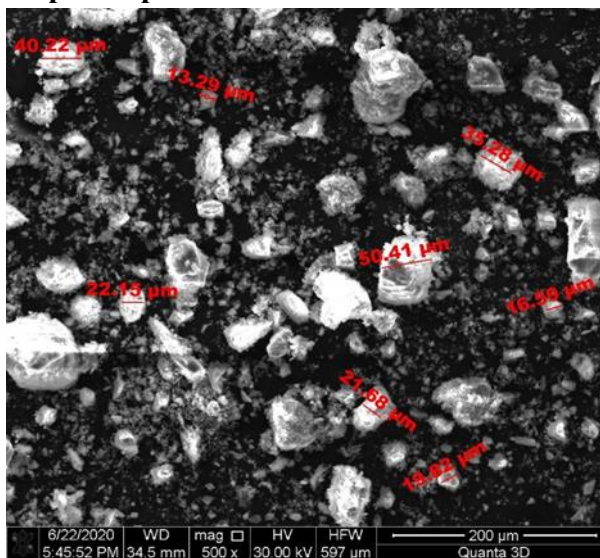
Жидкой фазой в предлагаемых композициях является щелочной активатор, затворяя им исследуемые порошки, мы получаем цементное тесто, затвердевающее со временем, образуя щелочной цементный камень [11-13]. Необходимо отметить, что свойства цементного камня будут зависеть, как от природы минерального порошка, так и от вида затворителя [14]. Для изучения влияния удельной поверхности, полученных минеральной порошков. на свойства цементного теста, были приготовлены формовочные смеси из исследуемых компонентов, при этом активацию их осуществляли щелочным раствором товарного жидкого натриевого стекла – Na_2SiO_3 с силикатным модулем 2,8 и плотностью 1,42 г/см³. Влияние степени дисперсности на свойства цементного щелочного теста изучалось на порошках, приготовленных в помольном агрегате.

Для более наглядного представления эффективности мельницы на микрофотографиях различного увеличения можно увидеть динамику процесса измельчения на примере барханного песка, изначально средний размер частиц составлял 122,62 – 266,40 мкм, а после 20 минут помола составил 21,68 – 40,22 мкм, при этом частицы имеют округло - остроугольную форму (рис. 2).

Отходы цементного производства в виде пыли электрофильтров, которые были собраны двух видов: аспирационная и клинкерная, помолу не подлежали, исследовались в естественном состоянии.



Зерна барханного песка до измельчения



Зерна барханного песка после 20 минут помола (увеличение 500 раз)

Рис. 2. Микрофотографии барханного песка до и после измельчения при различных увеличениях

Далее изучалось влияние удельной поверхности минеральных порошков на нормальную густоту и сроки схватывания щелочного цементного теста. Нормальную густоту щелочного цементного теста определяли по стандартной методике, на приборе Вика, иглу заменив пестиком, результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Нормальная густота щелочного цементного теста, %

№	Наименование минерального порошка	Затворитель Na ₂ SiO ₃		
		Удельная поверхность, S _{уд} , м ² /кг		
		320	520	730
1	Вулканический туф	57,5	58,2	59,4
2	Окремненный мергель	52,5	52,9	53,6
3	Термоактивированный мергель 700 °С	56,0	56,5	57,0

4	Барханный песок	50,0	51,6	52,0
5	Известняк	49,5	50,2	51,0
6	Песчаник	51,4	52,2	53,0
7	Кварцевый песок	41,7	42,5	42,6
8	Аспирационная пыль, $S_{уд} = 210 \text{ м}^2/\text{кг}$	72,5		
9	Клинкерная пыль, $S_{уд} = 280 \text{ м}^2/\text{кг}$	50,0		

Необходимо отметить особенности приготовления щелочного цементного теста, в отличие от теста на традиционном минеральном вяжущем затворимом водой, это смесь отличалась большой трудностью вымешивания, что связано с определенной вязкостью щелочного раствора, к тому же при перемешивании происходил контакт затворителя с углекислотой воздуха и наблюдался эффект ложного схватывания.

Изучая результаты проведенных исследований можно сделать вывод, что удельная поверхность, в большей мере, влияет на нормальную густоту цементного щелочного теста, так как наглядно наблюдается кинетика увеличения в потребности раствора смеси. Эти закономерности присутствуют и при получении цементных смесей на портландцементе, гипсе и др. вяжущих, увеличение тонкости помола составляющих связок приводит к повышению нормальной густоты цементного теста.

Получается эта зависимость характерна для конкретного порошка определенной природы, при увеличении суммарной удельной поверхности потребность в щелочном затворителе будет расти. Но если сравнивать различные полученные минеральные порошки, то можно заметить, что нормальная густота зависит и от природы исходного материала. Все исследуемые порошки в какой-то мере отличаются друг от друга химическим и минералогическим составами.

Кварцевые пески и вулканический туф отличаются преобладанием в своем составе кварца и его разновидностей типа халцедона и опала, как мы знаем это кислотный оксид, не вступающий в реакцию с водой, поэтому и с водным раствором жидкого стекла не особо контактирует при нормальных условиях твердения. Но в кварцевом песке потребность в щелочном растворе невелика 41,7 – 42,6 %, тесто довольно легко вымешивалось. В вулканических породах расход щелочного раствора довольно высок 57,5 – 59,34 %, объяснению этому служит происхождение туфов, происходившее в результате метаморфизма эффузивных горных пород, можно полагать естественно обожженных под толщей пластов земной коры и излившихся в результате извержения магмы, к тому же следует отметить, что в процессе приготовления теста, смесь была тяжелой и липкой.

Барханные пески относятся к категории очень тонких при измельчении дают высокую удельную поверхность, при затворении щелочным раствором способствуют получению довольно пластичного теста, что обосновано наличием глинистых примесей, и именно им свойственна гидрофильность и самодиспергация, следовательно, нормальная густота увеличилась до 50 – 52 %, в сравнении с чистыми кварцевыми песками.

Карбонатные осадочные породы, такие как известняк, используемые в работе отличаются высоким содержанием до 90% кальцита, который легко поддается измельчению и считается недостаточно твердым. Местные известняки славятся чистотой химического и минералогического составов и минимальным наличием примесей, поэтому их применяют в производстве портландцемента в качестве основного сырьевого

компонента. При затворении раствором метасиликата натрия в сравнении с другими порошками известняк дает тесто нормальной густоты при потребности жидкой щелочной фазы 49,5 – 51 %.

Мергель относится также относится к карбонатным осадочным горным породам переходным от известняков к глинам, поэтому присутствие в составе водных алюмосиликатов способствует увеличению потребности в щелочном затворителе для получения теста нормальной густоты до 52,5 – 53,6 %. Песчаник используемый в исследованиях олигомиктовым кварцевым, образовавшимся в результате цементирования песчаных отложений, состав представлен кварцем до 66 %, полевыми шпатами, слюдой и глинистыми минералами. При затворении порошка песчаника щелочным раствором 51,4 – 53 % получилась смесь нормальной густоты.

Аспирационная пыль электрофильтров была собрана с холодного конца вращающейся клинкерообжигательной печи, по составу соответствует химическому готовой сырьевой смеси для получения клинкера, но в ней до 7% щелочей, для получения теста нормальной густоты потребовалось 72,5 % щелочного раствора, сравнительно высокий показатель, не смотря на невысокий показатель удельной поверхности $S_{уд} = 210 \text{ м}^2/\text{кг}$. Высокая потребность в расходе затворителя вызвана, тем что пыль электрофильтров состоит слабообожженных глинистых минералов и не разложившегося кальцита, так как температура в месте сбора отходов 170-320 °С в печи.

Клинкерная пыль, собранная с горячего конца клинкерообжигательной печи, по составу соответствует составу готового портландцементного клинкера, но щелочей в ней присутствует до 2%, из-за вязкости щелочного затворителя для получения цементного теста нормальной густоты необходимо до 50 % раствора.

Анализ проведенных исследований позволит нам создать представление о характере влияния степени дисперсности и природы минеральных порошков на свойства цементного щелочного теста. В целях экономии расхода щелочного затворителя, и улучшения свойств цементного теста и камня в дальнейшем целесообразней использовать в исследованиях минеральные порошки 20-30 минутного измельчения с удельной поверхностью $S_{уд} = 320 - 600 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Для изучения влияния удельной поверхности минеральных составляющих на сроки схватывания вяжущей связки, были приготовлены образцы цементного теста с использованием исследуемых высокодисперсных порошков, затворенных тем расходом метасиликата натрия, соответствующим его нормальной консистенции. Сроки схватывания цементного теста щелочной затворения определяли на приборе, в таблице 2 приводятся результаты испытаний.

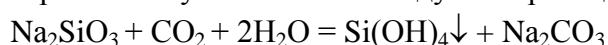
Таблица 2

Сроки схватывания щелочного цементного теста «минеральный порошок – Na_2SiO_3 »

№	Наименование минерального порошка	Начало / конец, час – мин.		
		Удельная поверхность, $S_{уд}$, $\text{м}^2/\text{кг}$		
		320	520	730
1	Вулканический туф	не нормируется		
2	Окремненный мергель	не нормируется		
3	Термоактивированный мергель 700	<u>00-35</u>	<u>00-26</u>	<u>00-22</u>

	°С	00-46	00-32	00-29
4	Барханный песок	не нормируется		
5	Известняк	не нормируется		
6	Песчаник	не нормируется		
7	Кварцевый песок	не нормируется		
8	Аспирационная пыль, $S_{уд} = 210$ $м^2/кг$	<u>00-16</u> 00-31		
9	Клинкерная пыль, $S_{уд} = 280$ $м^2/кг$	<u>00-40</u> 01-20		

Полученные результаты испытаний дают возможность понять сложность процесса твердения вяжущей системы «минеральный порошок – щелочной раствор Na_2SiO_3 ». Во всех предлагаемых системах большей реакционной активностью обладает щелочной затворитель, и именно благодаря ему происходит твердение вяжущей связки за счет контактирования с углекислотой воздуха по реакции:



За счет выпадения в осадок геля кремниевой кислоты и начинается твердение системы, поэтому в вяжущих связках, в которых процесс схватывания не удалось выявить, было обнаружено, что в процессе исследований на цементном тесте в кольце прибора Вика образовывалась плотная прослойка, которая уплотнялась с течением времени, препятствуя исследованиям. Такой характер вяжущей связки свойственен порошкам из известняка, песчаника, вулканического туфа кварцевой муки, окремненного мергеля и кварцевого и барханного песка, получается для ускорения процесса твердения и набора прочности в систему следует ввести катализаторы, иначе при нормальных условиях формирование структуры затягивается на длительный срок, да и вряд ли полученные композиты будут обладать гидравлической способностью.

Но из исследуемых порошков были минеральные порошки, обладающие вяжущей способностью, способные самостоятельно без воздействия катализаторов и температуры схватываться, твердеть и превращаться в камень при нормальных условиях. К ним отнести можно минеральные порошки из термоактивированного при температуре 700 °С мергеля, аспирационной и клинкерной пылей электрофильтров (рисунок 3).





Рис. 3. Фотографии реакционноспособных минеральных порошков: а) окремненный мергель; б) термоактивированный окремненный мергель; в) аспирационная пыль; б) клинкерная пыль

Анализируя полученные данные по реакционно-активным порошкам можно выявить зависимость между показателями удельной поверхности и сроками схватывания. С увеличением удельной поверхности наглядно укорачиваются сроки схватывания, что позволяет нам полагать, что процесс механоактивации способствует раскрытию внутреннего энергетического потенциала на поверхности зерен порошков, что и ускоряет растворимость активных составляющих системы.

Как показали полученные результаты не все из исследуемых минеральных порошков в тонкодисперсном состоянии обладают вяжущими свойствами при активации щелочным раствором, поэтому следует определить сроки схватывания в системе «минеральный порошок – Na_2SiO_3 – Na_2SiF_6 », при дозировке ускорителя твердения – кремнефтористого натрия 6 % от массы метасиликата натрия, с использованием порошков их вулканического туфа, известняка, песчаника, кварцевых и барханных песков. В таблице 3 приводятся результаты исследования по выявлению зависимости сроков схватывания от удельной поверхности порошков.

Таблица 3

Сроки схватывания щелочного цементного теста «минеральный порошок – Na_2SiO_3 – Na_2SiF_6 »

№	Наименование минерального порошка	Начало / конец, час – мин.		
		Удельная поверхность, $S_{уд}$, м ² /кг		
		320	520	730
1	Вулканический туф	<u>02 – 25</u>	<u>02 – 23</u>	<u>02 – 12</u>
		02 – 43	02 – 31	02 – 22
2	Барханный песок	<u>02 – 48</u>	<u>02 – 45</u>	<u>02 – 43</u>
		03 – 18	03 – 12	03 – 00
3	Известняк	<u>02 – 28</u>	<u>02 – 25</u>	<u>02 – 22</u>
		05 – 28	05 – 22	05 – 16
4	Песчаник	<u>02 – 10</u>	<u>02 – 04</u>	<u>01 – 53</u>
		04 – 42	04 – 36	04 – 32

5	Кварцевый песок	$\frac{02-12}{02-42}$	$\frac{02-08}{02-34}$	$\frac{02-04}{02-26}$
6	Аспирационная пыль, $S_{уд} = 210 \text{ м}^2/\text{кг}$	$\frac{00-24}{00-36}$		
7	Клинкерная пыль, $S_{уд} = 280 \text{ м}^2/\text{кг}$	$\frac{00-40}{01-20}$		

Анализируя полученные данные можно констатировать, что удельная поверхность порошков влияет на процесс схватывания, при повышении степени дисперсности сроки схватывания укорачиваются, но не существенно, из этого следует, что основным фактором в данной зависимости будет природа порошков, их химический и минеральный составы.

А если конкретизировать результаты, то необходимо заметить, что в данных системах твердение определяется использованием ускорителя твердения кремнефтористого натрия, и варьируя дозировкой этой добавки можно регулировать сроки схватывания вяжущих связок. В исследуемых системах дозировка Na_2SiF_6 составила 6 % от массы жидкого натриевого стекла. Минеральные порошки из барханных и кварцевых песков, известняков, песчаника, вулканического туфа характеризуются примерно одинаковыми сроками твердения системы «минеральный порошок – Na_2SiO_3 – Na_2SiF_6 », и это необходимо учесть при проектировании рецептур многокомпонентных наполненных систем щелочной активации на основе термоактивированного мергеля или отходов цементного производства.

Полученные результаты исследований позволят создать представление о характере влияния степени дисперсности и природы минеральных порошков на свойства цементного щелочного теста. В целях экономии расхода щелочного затворителя, и улучшения свойств цементного теста и камня в дальнейшем целесообразней использовать в исследованиях минеральные порошки 20-30 минутного измельчения с удельной поверхностью в пределах $S_{уд} = 320 - 600 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Таким образом, полученные закономерности влияния степени дисперсности материала на свойства цементного теста позволяют моделировать рецептуры бесклинкерных вяжущих щелочной активации и с успехом использовать при производстве высокопрочных, быстротвердеющих, низкоэкзотермичных, морозостойких, жаростойких, гидротехнических и коррозионностойких бетонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глуховский В.Д. Комплексное использование доменных и электротермофосфорных шлаков в производстве высокопрочных цементов и бетонов [Текст] / В.Д. Глуховский, И.А. Пашков, В.С. Григорьев // Известия Вузов: Строительство и архитектура, 1980. № 5. С. 62-66.
2. Кочетов В.А. Римский бетон [Текст] / В.А. Кочетов // М: Стройиздат, 1991. 128 с.
3. Кривенко П.В. Эксплуатационные свойства бетона на шлакощелочном цементе [Текст] / П.В. Кривенко // Строительные материалы и конструкции; Киев, 1980. № 4. 23 с.

4. Муртазаев С-А.Ю. Влияние активных центров поверхности на реакционную способность минеральных добавок [Текст] / С-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова, М.С. Сайдумов, З.Х. Исмаилова // Научный журнал «Современная наука и инновации» (Ставрополь – Пятигорск), 2017. №2 (18). С. 168-175.
5. Муртазаев С-А.Ю. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы [Текст] / С-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова // Приволжский научный журнал, 2018. №2 (Т.46). С. 65-70.
6. Рахимова Н.Р. Состояние и перспективные направления развития исследований и производства композиционных шлакощелочных вяжущих, растворов и бетонов [Текст] / Н.Р. Рахимова // Строительные материалы, 2008. №9. С. 77-80.
7. Ростовская Г.С. Сырьевая база шлакощелочных цементов [Текст] / Г.С. Ростовская, И.П. Чернобаев // Цемент, 1985. №11. 20 с.
8. Bataev D.K-S., S- A. Yu. Murtazayev, Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders (Использованиецементнойпылипроизводствебесклинкерныхвяжущихщелочнойактивации) / Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol.1. Pp. 457-460.
9. Davidovits J. GeopolymerChemistry and Properties / J. Davidovits // Proceed. 1st Europ.Conf. onSoftMineralurgy "Geopolymer 88", France (1988). Pp. 25-48.
10. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2008. 592 p.
11. Garcia-Luna A. Microsilextm a new material to improve environmental performance of cement and concrete / A. Garcia-Luna, H. Minard, C. Prieto-Gomez, C. Soare, M. Viviani // Proceed. 3rd InternationalSymposium "Non-traditionalcement&concrete" (Bmo). Pp. 237-244.
12. Hardjito D. On the development of fly ash-based geopolymer concrete / D. Hardjito, S. Wallah, D. Sumajouw, B. Rangan // ACJ Materials Journal. 2004. -vol.101. №6. Pp. 467-472.
13. Mage M. Efficiency Fuetors for Condensed Silica Fume in Concrete Proceedings of Canwet / M. Mage // ACJ Third International Conference. Fly ash, silica fume, slage and Natural Pozzolans in concrete (Trondheim), 1989. №2. Pp.783-798.
14. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M.Sh., Alashanov A., Ismailova Z. Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing (Особенностиполучениямелкозернистыхбетоновнаосновебесклинкерныхвяжущихщелочногозатворения) 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 23–27 September 2019, Belgorod, 2019. Pp.385-388.
15. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M.Sh., MintsaeV.M.Sh., Bisultanov R.G Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging (Мелкозернистые бетоны на основе вяжущих щелочной активации) Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the

85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol.1. Pp. 500-503.

REFERENCES

1. Glukhovskiy V.D. Complex use of blast-furnace and electrothermophosphoric slags in the production of high-strength cements and concretes [Text] / V.D. Glukhovskiy, I.A. Pashkov, B.C. Grigoriev // *Izvestiya Universities: Construction and Architecture*, 1980. No. 5. Pp.62-66.
2. Kochetov V.A. Roman concrete [Text] / V.A. Kochetov // M: Stroyizdat, 1991. 128 p.
3. Krivenko P.V. Operational properties of concrete on slag-alkali cement [Text] / P.V. Krivenko // *Building materials and structures*; Kiev, 1980. № 4. 23 p.
4. Murtazaev S.-A.Yu. Influence of active surface centers on the reactivity of mineral additives [Text] / S-A.Yu. Murtazaev, M. Sh. Salamanova, M.S. Saidumov, Z.Kh. Ismailova // *Scientific journal "Modern Science and Innovations"* (Stavropol - Pyatigorsk), 2017. No. 2 (18). Pp. 168-175.
5. Murtazaev S.-A.Yu. Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature [Text] / S-A.Yu. Murtazaev, M. Sh. Salamanova // *Privolzhsky scientific journal*, 2018. No. 2 (T.46). Pp. 65–70.
6. Rakhimova H.P. State and promising directions of development of research and production of composite slag-alkaline binders, solutions and concretes [Text] / N.R. Rakhimova // *Building materials*, 2008. No. 9. Pp.77-80.
7. Rostovskaya G.S. Raw material base of slag-alkali cements [Text] / GS Rostovskaya, I.P. Chernobaev // *Cement*. 1985. No. 11. 20 p.
8. Bataev D.K-S., S- A. Yu. Murtazayev, Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders // *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research"* dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol.1. Pp. 457-460.
9. Davidovits J. Geopolymer Chemistry and Properties / J. Davidovits // *Proceed. 1st Europ.Conf. on Soft Mineralurgy "Geopolymer 88"*, France (1988). Pp. 25-48.
10. Davidovitz, J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2008. 592 p.
11. Garcia-Luna A. Microsilixtm a new material to improve environmental performance of cement and concrete / A. Garcia-Luna, H. Minard, C. Prieto-Gomez, C. Soare, M. Viviani // *Proceed. 3rd International Symposium "Non-traditional cement&concrete"* (Bmo). Pp. 237-244.
12. Hardjito D. On the development of fly ash-based geopolymer concrete / D. Hardjito, S. Wallah, D. Sumajouw, B. Rangan // *ACJ Materials Journal*, 2004.vol.101. №6. Pp. 467-472.
13. Mage M. Efficiency Fuetors for Condensed Silica Fume in Concrete *Proceedings of Canwet* / M. Mage // *ACJ Third International Conference. Fly ash, silica fume, slage and Natural Pozzolans in concrete (Trondheim)*, 1989. №2. Pp.783-798.

14. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M.Sh., Alashanov A., Ismailova Z. Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 23–27 September 2019, Belgorod, 2019. Pp. 385-388.
15. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M.Sh., MintsaeV.M.Sh., Bisultanov R.G Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol.1. Pp. 500-503.