

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ШУНГИТА НА ПРОЧНОСТЬ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

^{1,2}Рубаник В.В., ^{1,2}Шилин А.Д., ¹Рубаник В.В. мл., ³Шилина М.В.,
²Рубаник О.Е., ⁴Волочко А.Т.

¹ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», г. Витебск,

²УО «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск,

³УО «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова», г. Витебск.

⁴ГНУ «Физико – технический институт НАН Беларуси», г. Минск

В данной работе был использован шунгит Зажогинского месторождения (п.Толвуя, Республика Карелия), имеющий следующий химический состав: мас. %: SiO₂-57; TiO₂ - 0,2; Al₂O₃-4; FeO - 2,5; MgO-1,2; CaO-0,3; Na₂O-0,2; K₂O-1,5; S-1,2; C- 30; H₂O. Первый образец шунгита подвергался помолу в вибромельнице в течение 3 ч, второй образец – после помола в вибромельнице в течение 3 ч был подвергнут дополнительной ультразвуковой обработке (УЗО) в течение 10 мин. И тот и другой шунгит вводили в раствор суперпластификатора С3 (ТУ ВУ 190669631.009-2011, ООО Фрэймхаустрэйд, Минск) в воде. Полученные суспензии использовали в дальнейшем в качестве жидкости затворения цементно-песчаных смесей.

Перед затворением бетонов было изучено распределение частиц шунгита в водном растворе С3 и определено время отстаивания полученных суспензий. Однородность частиц в перемешиваемых шунгитовых суспензиях определяли с помощью автоматического фотоседиментометра ФСХ-4 (Россия) (таблица 1).

Таблица 1 - Распределение частиц шунгита (%) в водных растворах С3

Диаметр частиц, мкм	Сразу после смешивания		Через 4 ч после смешивания		Через 7 суток после смешивания	
	без УЗО	с УЗО	без УЗО	с УЗО	без УЗО	с УЗО
3	69,5	68,1	54,5	82,7	24,4	75,8
5	68,3	49,6	48,7	80,3	19,6	69,5
7	67,9	47,2	47,2	80	2,6	67,2
10	67,4	45,9	45,9	79,6	0	64,5
14	66,7	44,7	45,1	78,9	0	61
20	65,6	43	43,9	78	0	58,9
28	64,1	40,5	42,3	76,6	0	56,3
40	61,7	36,6	39,7	74,5	0	54,2
63	56,9	30,4	34,7	70,1	0	50,2
100	48,8	20	26,2	62,4	0	43,2
140	39,7	8,3	16,8	53,4	0	35,2
180	30,1	0	8,5	43,8	0	26,8
250	0	0	0	0	0	0

О кинетической устойчивости судили по времени расслоения суспензий и толщине отстоявшегося слоя. Установлено, что суспензия без УЗО шунгита, сразу после введения в водный раствор С₃ расслаивается, т.е. она седиментационно неустойчива. После УЗО размеры частиц шунгита уменьшаются (таблица1). Однако суспензии, содержащие обработанный ультразвуком шунгит, сразу после введения в воду также характеризуются неустойчивостью и быстрым отстаиванием.

Через 4 часа нахождения в контакте шунгита с водными растворами С3 наблюдается небольшое увеличение размера частиц шунгита, обработанного ультразвуком, то есть УЗО способствует не диспергирующему, а флокулирующему эффекту частиц шунгита в водных растворах С3.

Интересный факт был зафиксирован для суспензий, в которых необработанный шунгит находился в контакте с суперпластификатором в течение 7 суток. Через 7 суток выдерживания шунгита фиксировалось существенное снижение размера его частиц (таблица 1), при этом содержание частиц размером более 3 мкм уменьшалось в 2 раза, до 24 %. Изучение поведения частиц шунгита при длительном контакте с водными растворами нафталинсульфонового суперпластификатора, а также исследование поведения в портландцементных составах суспензий, длительно хранившихся до введения в бетоны, имеет практическое значение ввиду длительности процесса получения бетонов.

Суспензии шунгита в водном растворе С3, сразу после его введения, были использованы в качестве жидкостей затворения цементно-песчаных смесей, полученных при смешивании добавочного портландцемента марки М 500 Д 20, произведенного на Белорусском цементном заводе, г. Костюковичи, РБ (ГОСТ 10178-85) с песком (использован песок, высушенный до постоянной массы и отсеянный до фракций 0,16 – 3 мм 1 класса карьера «Крапужино», Логойского района). Массовое соотношение «цемент/песок» составляло 1:1,5, водоцементное соотношение - 0,36. Цемент характеризовался коэффициентом нормальной густоты – 0,273, плотностью зерен 3200 – 3250 кг/м³, удельной поверхностью – 300 – 330 м²/кг (ГОСТ 310.3). Песок имел модуль крупности 2,2, среднюю плотность 2650 кг/м³, плотность в виброуплотненном состоянии 1746 кг/м³, водопоглощение – 0,66%, удельную поверхность 8,9 м²/кг.

После затворения цементно-песчаных смесей суспензиями шунгита в водных растворах суперпластификатора С3, содержание шунгита в пластифицированном бетоне варьировалось в пределах 0,5-7 % от массы цемента. Для оптимизации шунгитосодержащих составов, с помощью стандартных гостированных методик исследованы некоторые свойства полученных цементно-песчаных растворов и бетонов на их основе.

Сроки схватывания и нормальная густота цементно-песчаных смесей (ЦПС) при температуре 20 °С определены с помощью прибора Вика по ГОСТ 310.3-76. Нормальная густота ЦПС составляла - 27,3%, начало схватывания – 150–170 мин, окончание – 240–250 мин. Присутствие шунгита в портландцементных составах способствовало повышению плотности цементного теста. По этой причине были определены воздухововлечение и плотность ЦПС. Значения воздухововлечения при введении различного количества шунгита варьировались в пределах 6 - 11,6 %.

Для определения плотности и прочности при сжатии мелкозернистых бетонов из ЦПС формовали кубы размером 2 x 2 x 2 см и отверждали их в нормальных температурно-влажностных условиях ($T = 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, относительная влажность - 80–90 %). Далее образцы подвергали испытаниям в соответствии с ГОСТ 12730.1-78 (определение плотности) и ГОСТ 10 180-90 (определение прочности при сжатии). При этом значения $\sigma_{сж}$ определяли как на ранних стадиях твердения бетонов (через 1 и 3 суток), так и через 7 и 28 суток твердения. В обоих методах определялось среднее арифметическое по шести значениям указанных показателей образцов. Коэффициенты вариации плотности и прочности бетонов составляли, соответственно, $\pm 2,5$ % и $\pm 3,5$ %. Величины плотности шунгитосодержащих бетонов изменялись в пределах 1,95-2,17 г/см³, прочность при сжатии в 28 суточном возрасте в интервале 26-52 МПа. Свойства образцов бетонов, полученных при введении в них различного количества шунгита без УЗО и подвергнутого ультразвуковой обработке, приведены на рисунке 1.

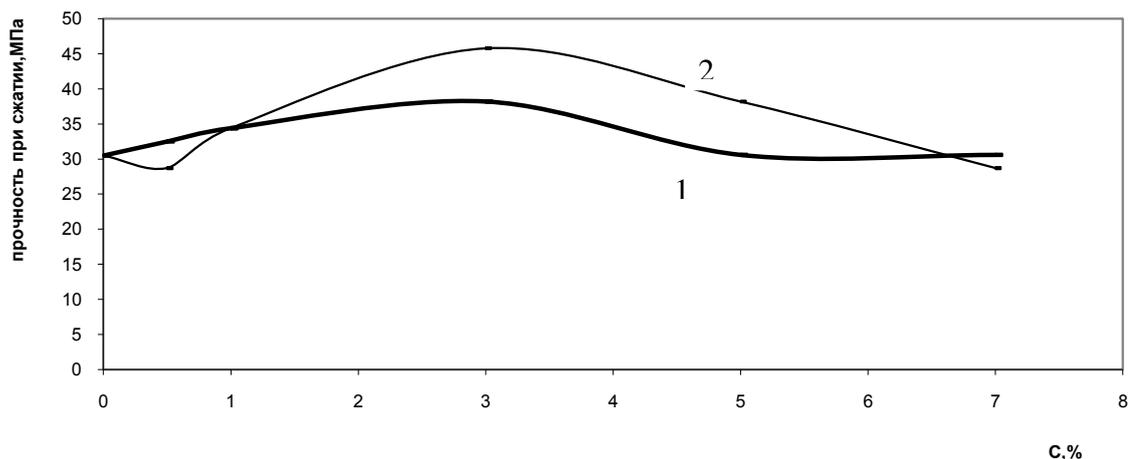


Рисунок 1- Зависимость прочности бетона от содержания шунгита в 7 – суточном возрасте: 1- шунгит без УЗО, 2 - шунгит после УЗО.

На ранней стадии твердения бетонов, модифицированных шунгитом, не было выявлено различий между поведением бетонов, содержащих обработанный и необработанный шунгит. При введении до 1 % шунгита прочность на сжатие ($\sigma_{сж}$) снижалась, в среднем, на 12 %, с увеличением содержания шунгита более 1%, она увеличивалась на ~ 15 %. Более существенные различия наблюдались для образцов, обработанных и необработанных ультразвуком через 7 суток твердения. При использовании шунгита обработанного прочность повышалась по сравнению с ненаполненными бетонами на 50 % (рис. 1, кр. 2) (максимум при содержании шунгита -3%), необработанного шунгита – на 25 % (рис. 1, кр. 1).

Значительное повышение прочности цементного камня с шунгитом можно объяснить с позиций взаимодействия тонкодисперсного шунгита с продуктами гидратации цемента и образованием кристаллов гидрокарбоалюминатов кальция, которые могут служить «зародышами кристаллизации» и эпитаксической подложкой для формирования новых соединений. В результате этого, в портландцементных системах формируются водонерастворимые кристаллогидраты, которые являются частью структуры бетона, уплотняют ее, заполняют поры, капилляры, трещины бетона, а также препятствуют фильтрации воды даже при наличии высокого гидростатического давления.