

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВОЛОКОН В ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМЗИТА

*д-р техн. наук Г.Н. Шабанова<sup>1</sup>,  
д-р техн. наук А.Н. Корогодская<sup>1</sup>,  
д-р техн. наук Е.Ю. Федоренко<sup>1</sup>,  
канд. техн. наук Е.В. Христинч<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт” (г. Харьков),*

*<sup>2</sup>Национальный университет гражданской защиты Украины (г. Харьков)*

Керамзит – недорогой, экологичный материал с отличными показателями звуко- и теплоизоляции и малым весом. Он используется не только в качестве утеплителя стен и перекрытий зданий и наполнителя для легких бетонов, но и при строительстве дорог, мелиоративных работах на водонасыщенных грунтах, а также в ландшафтном дизайне. В состав керамзита входит глина или глиняные сланцы, изготавливается путем обжига исходного сырья в специальных печах-барабанах, где при нагреве до 1000-1300 °С происходит вспучивание глины и переход в пиропластическое состояние. В зависимости от качества глины, температуры и продолжительности обжига и других технологических особенностей производства получают различные технические характеристики керамзита. Качество керамзита определяет размер зерен и объемный насыпной вес. Керамзит подразделяют на керамзитовый гравий, который имеет овальную форму; керамзитовый щебень, отличающийся тем, что его зёрна имеют, в основном, кубическую форму с острыми гранями и углами и керамзитовый песок [1 - 3].

В данной работе представлены результаты исследований по получению качественного керамзитового гравия, армированного органическими и неорганическими волокнами, с использованием в качестве сырьевых материалов отходов углеобогащения.

С целью использования в технологии керамических строительных материалов были исследованы отходы углеобогащения: 1) горелые породы (смесь агломератов разной дисперсности и цвета); 2) алевролиты из отвалов (камнеподобный материал черного цвета); 3) отходы текущего выхода после флотации (влажная пластичная масса темно-серого, почти черного цвета); 4а) отходы текущего выхода после гравитации (камнеподобный материал черного цвета); 4б) аргиллиты из отвалов (камнеподобный материал черного цвета); 5) углистые сланцы (камнеподобный материал черного цвета).

При этом исследовались согласно стандартным методикам [4]: химический состав материалов; содержание углерода; качественный минералогический состав материалов с применением рентгенофазового анализа; процессы, происходящие при термообработке материалов; керамико-технологические свойства (гранулометрический состав; содержание крупнозернистых включений; пластичность; чувствительность; воздушная, огневая и общая усадка; характеристики спекания); определение прочности на сжатие и водопоглощение продуктов термообработки; условия измельчения материалов; способы формования; исследование эксплуатационных характеристик (прочность на сжатие и водопоглощение) образцов, полученных на основе комбинированных шихт.

Обобщенная характеристика керамико-технологических свойств исследуемых отходов углеобогащения, позволяющая провести сравнительный анализ керамических свойств исследуемого сырья, приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Керамико-технологические свойства отходов углеобогащения

Свойства материалов	Номера проб					
	1	2	3	4а	4б	5
Содержание углерода, %	2,95	6,88	21,7	3,23	0,97	7,77
Дисперсность после помола (остаток на сите 0063), %	-	1,25	-	1,25	0,95	1,25

Дообжиговые свойства						
Число пластичности	-	11,62*	5,22	9,85*	-	-
Коэффициент чувствительности к сушке	-	0,33	0,73	0,37	0,63	0,60
Воздушная усадка, %	-	1,5	1,0	0,5	1,0	1,0
Количество крупнозернистых включений, %	82,7	-	49,66	-	-	-
Обжиговые свойства						
Огневая усадка, %	-	2,0	4,5	5,0	0,5	3,5
Общая усадка, %	-	3,4	5,5	5,3	1,5	4,4
Водопоглощение при 1000 °С, %	-	11,3	41,18	10,5	14,21	11,13
Кажущаяся плотность при 1000 °С, г/см <sup>2</sup>	-	2,04	1,56	2,07	1,92	2,03
Общая пористость плотность при 1000 °С, %	-	24,26	67,0	21,93	29,8	23,2
Прочность на сжатие при 1000 °С, МПа	-	96,0	8,5	73,7	51,8	30,0
Температура начала спекания, °С	-	950	1100	950	950	950
Температура полного спекания, °С	-	1100	-	1100	1100	1100
Интервал спекания, °С	-	75	-	50	75	50
Интервал обжига, °С	-	100	-	75	150	75
Цвет обожженных при 1000 °С изделий	-	Светло-розовый	Грязно-розовый	Светло-розовый	Розовый	Бежево-розовый

\* Звездочкой отмечена пластичность тонкоизмельченных материалов

Для получения качественного керамзитового гравия в качестве вспучиваемого сырья были выбраны углистые сланцы – камнеподобный материал черного цвета, шахтная вскрышная порода, полученный при добыче каменного угля.

Химический анализ сланца, масс. %: SiO<sub>2</sub> – 51,2; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 19,5; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 5,32; CaO – 0,54; MgO – 1,26; Na<sub>2</sub>O – 0,7; K<sub>2</sub>O – 2,3; SO<sub>3</sub> – 0,19; п.п.п. – 17,4. Представленный химический анализ показал, что выбранные отходы углеобогащения соответствуют требованиям, предъявляемым к сырьевым материалам, применяемым при производстве керамзита [5, 6]. Содержание

углерода в составе материалов определялось сжиганием в струе кислорода – 7,77 масс. %, что показывает дополнительную возможность вспучивания материала при заданных температурах обжига.

Качественный минералогический состав отходов углеобогащения определялся с помощью рентгенофазового и дифференциально-термического анализов. В результате рентгенофазового анализа было установлено, что основными пороодообразующими компонентами являются глинистые минералы – гидрослюда и каолинит. Неглинистая часть представлена полевошпатовыми минералами (альбитом и микроклином), а также карбонатными минералами – сидеритом, доломитом и кальцитом. Такое сырье каолинито – гидрослюдистого типа отличается достаточной пластичностью, нечувствительностью к сушке, сравнительно малой усадкой, пониженными температурами спекания. В результате дифференциально-термического анализа на кривой ДТА выявлены: эндотермический эффект при температуре 210 °С, отвечающий удалению свободной влаги; экзотермические эффекты при температурах 380 °С и 540 °С, отвечающие окислению (выгоранию) углистого остатка; эндотермический эффект при температуре 615 °С, отвечающий выделению конституционной воды и разрушению кристаллической решетки гидрослюды. Анализ кривой изменения веса показал, что в интервале температур 420-620 °С удаляется около 80 % общего веса материала. Таким образом, для обеспечения своевременного выгорания углистого остатка в процессе формирования керамзитовой гранулы необходимо резкое повышение температуры обжига свыше 420 °С для повышения пористости образующейся гранулы.

Помол углистого сланца производился в металлической мельнице до полного прохода сквозь сито № 02, что соответствует требованиям стандарта.

Исследованы технологические свойства полученного молотого материала. Установлено, что коэффициент чувствительности материала к сушке составляет 0,63, то есть материал является малочувствительным к сушке; воздушная усадка, образцы для исследования которой формовались при влажности массы 12 %, составляет 1 %; огневая усадка пластически

отформованных образцов при температуре 1100 °С составляет 3,5 %. Установлено, что даже в режиме медленного подъема при температуре 1050 – 1100 °С в образцах наблюдается процесс вспучивания. Кажущаяся плотность образцов, спеченных при температуре 1100 °С, составила 2,03 г/см<sup>3</sup>; предел прочности при сжатии – 85,2 МПа.

Для получения армированного керамзитового гравия использовались следующие виды волокон:

– ПАН-фибра (белое волокно, волнистое, длина волокон составляет 24,9 – 25,2 мм);

– ПАН-фибра окисленная (черное волокно, прямое, длина волокон составляет 12,7 – 12,8 мм);

– базальтовое волокно (коричневое волокно, стекловидное, прямое, длина волокон составляет 25,7 – 25,8 мм).

По требованиям к волокнистым изделиям длина волокна должна составлять не более 6 – 12 мм.

Введение базальтового волокна и ПАН-фибры в состав молотого углеотхода показало, что невозможно равномерно распределить волокно в матрице материала. Поэтому для введения в состав керамзитовых гранул данные волокна были разрезаны вручную на 2 части.

По требованиям к волокнистым материалам количество волокна должно составлять 0,06 – 0,1 масс. %.

Таким образом, для формования образцов смешивали 300 г углеотхода и 0,4 г волокна. Смешивание производилось сухим способом. Волокна предварительно распушивали в струе воздуха, а затем порционно по 50 г вводили углеотход. Формование производилось полусухим формованием из смеси с влажностью 6 %. Отпрессованные образцы-цилиндры диаметром и высотой 25 мм сушились в сушильном шкафу при 60 °С до постоянного веса.

Обжиг полученных керамических гранул производился по следующему режиму: гранулы подогревали до температуры 500 °С со скоростью 120 °С в час и выдерживали при данной температуре в течение 2 часов. Затем образцы

переносили в печь, нагретую до температуры оплавления углеотхода – 1100 °С и выдерживали при данной температуре в течение 7 минут для вспучивания гранул. Фотографии вспученных гранул представлены на рисунках.

Установлено, что вспучивание образца без волокна происходит равномерно по всему объему образца. То же самое происходит с образцом, в который добавлена окисленная ПАН-фибра, что объясняется малой длиной волокна и его равномерным распределением внутри образца. Добавление ПАН-фибры и базальтового волокна приводит к неравномерному вспучиванию образца, начиная с его середины, что связано, по-видимому, с неравномерной длиной волокон.

Прочность образцов после обжига составила: без добавления волокна – 1,9 МПа; с окисленной ПАН-фиброй – 2,9 МПа; с ПАН-фиброй – 3,8 МПа; с базальтом – 4,8 МПа.

Поры в образце без волокна крупные, расположены равномерно по всему объему, таким же строением отличается образец с обугленной ПАН-фиброй. В образце с ПАН-фиброй поры различного размера расположены в объеме неравномерно. В образце с базальтовым волокном поры мелкие, расположены по объему равномерно, что объясняет его повышенную прочность.

В ходе исследований по получению качественного керамзитового гравия, армированного органическими и неорганическими волокнами, с использованием в качестве сырьевых материалов отходов углеобогащения (углистых сланцев) выяснено, что для равномерного вспучивания образца длина волокна должна составлять 10 мм и ниже; для повышения прочности необходимо добавление окисленного волокна, сохраняя при этом равномерную вспучиваемость гранулы; а также для равномерного вспучивания гранулы с базальтовым волокном могут быть использованы отходы производства теплоизоляционных материалов.

Таким образом, рассмотрена возможность ресурсосберегающей технологии получения экологичных керамических строительных материалов, с

высокими эксплуатационными характеристиками, на основе частичной замены дорогостоящего сырья промышленными отходами (отходы углеобогащения), армированными разными видами волокон.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Петров В.П. Пористые заполнители из отходов промышленности / В.П. Петров, С.А. Токарева // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 46-50.
2. Полифункциональные легкие бетоны для ресурсоэнергосберегающего индустриального домостроения / В.В. Родевич, П.Н. Семенюк, И.В. Юдин, В.Н. Ярмаковский / Строительные материалы. – 2012. – № 4. – С. 4-11.
3. Янов Н.К. Использование промышленных отходов в строительстве / Н.К. Янов. – К.: Будівельник, 1982. – 60 с.
4. ДСТУ Б В.2.7-264:2011 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ»
5. Звягинцев Г.Л. Промышленная экология и технология утилизации отходов / Г.Л. Звягинцев. – Харьков: Вища школа, 1986. – 232с.
6. Технологічні параметри отримання легкого керамзиту методом екструзії / Л.П. Щукіна, М.І. Рищенко, Л.О. Міхеєнко [та ін.] // Вісник НТУ «ХП». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Харків: НТУ «ХП». – 2015. – № 50 (1159). – С. 127-133.