

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ИЗ УГЛЕРОДМИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА СВОЙСТВА БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

С.К. Танирбергенова^{1,3}, Б.К. Динистановна², Д.А. Тугелбаева¹, Н.К. Жылыбаева^{1*}

¹Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

³«Ин-Прометей», ул. Торетай, 20, Алматы, Казахстан

Аннотация

В данной статье представлены результаты исследования физико-химических характеристик золоотходов Алматинской и Кентауской ТЭЦ. Показана возможность получения углеродминеральных композитов (УМК) из золоотходов в газоплазменной установке, определены оптимальные режимы синтеза углеродминеральных композитов. Изучены физико-химические свойства полученных углеродминеральных композитов, влияние УМК на прочность бетона. Установлено, что прочность при сжатии бетонных изделий с добавлением углеродминеральных композитов, изготовленных из золоотходов Алматинской ТЭЦ-2, увеличивается до 160 кН.

Ключевые слова: бетонные изделия, углеродминеральные композиты, золоотходы, легкие бетоны, газоплазменная установка.

1. Введение

В настоящее время известно достаточное количество способов снижения веса строительных конструкций. Одним из эффективных способов является использование легких заполнителей различного состава, в том числе композитов из полых и пористых материалов (ценоферы, микросферы, углеродные нанотрубки, резиновые крошки и т.д.). Применение композитов из легких заполнителей направлено преимущественно для улучшения или модификации механических свойств материалов на основе различных полимеров [1-3] и др.

В последнее время увеличивается использование легких заполнителей строительной отрасли при производстве тампонажных растворов, наливных полов, кладочных растворов и т.д. Использование полых и пористых материалов позволяет обеспечивать требуемые параметры физико-механических свойств за счет высокой прочности материала стенки, близкой к идеальной сфере формы частиц,

однородного фракционного состава и низкой плотности [4-6].

Золоотходы представляют собой сложную смесь антропогенных материалов, образующихся при сжигании пылевидного угля на угольных электростанциях. Они создают экологические проблемы, которые приводят к загрязнению воздуха и воды. В настоящее время предприняты усилия по сокращению производства золоотходов или извлечению потенциально ценных продуктов из угольной летучей золы. Химический и минералогический состав золоотходов прекрасно подходит для производства строительных материалов. В связи с этим, разработка строительных материалов, обладающих комплексным набором эксплуатационных свойств, из золошлаковых отходов актуальна. Одним из таких материалов можно считать облегченный бетон, содержащий в своем составе полые композиционные материалы с улучшенными характеристиками по прочности и теплоизоляции [7-9].

*Ответственный автор

E-mail: icp30@mail.ru (Н.К. Жылыбаева)

Цель данной работы – синтез УМК из золошлаковых отходов на газоплазменной установке и исследование влияние УМК на прочностные характеристики бетонных изделий. Новизной работы является получение полых сферических УМК из золоотходов на газоплазменной установке.

2. Методика эксперимента

В качестве исходного материала были взяты золошлаковые отходы Алматинской теплоэлектроцентрали (далее ТЭЦ) ТЭЦ-2 и Кентауской ТЭЦ.

В данной работе для получения УМК создана и использована газоплазменная установка (рис. 1). Газоплазменная установка представляет собой аппарат для получения полых микросфер из шлаковых отходов, в конструкцию которого входят следующие основные элементы: плазматрон, источник питания плазматрона, питатель, приемный бункер, насос для подачи воды, градильня, газовый баллон (аргон) или компрессор воздуха. В питатель засыпаются шлаковые отходы (продукты сгоревшего угля), которые под воздействием газа из

баллона или компрессора поступают в камеру сгорания плазматрона. В плазме, под воздействием газа, из шлака образуются полые микросферы. Компрессор или баллон с газом служат для подачи газа-носителя через питатель шлакового порошка в плазму. Образовавшиеся в плазме полые микросферы из камеры плазматрона попадают через циклон в приемный бункер, в котором находится вода. Вода нужна для того, чтобы полые микросферы всплывали на поверхность, а непрореагировавшие частички шлака за счет своей массы осели на дно бункера. Источник питания создает плазму в плазматроне. Так как температура плазмы высокая, плазматрон следует охлаждать, для этого предусмотрен насос для подачи воды, которая подается в анодную часть и камеру плазматрона. Но вода, проходящая через плазматрон, также нагревается, для ее охлаждения предусмотрена градильная установка. То есть, насос подает воду в плазматрон, горячая вода через плазматрон попадает в градильню, где охлаждается посредством вентиляции. Далее охлажденная вода насосом подается в плазматрон. Процесс становится циклическим, что делает установку мобильной и экономичной.

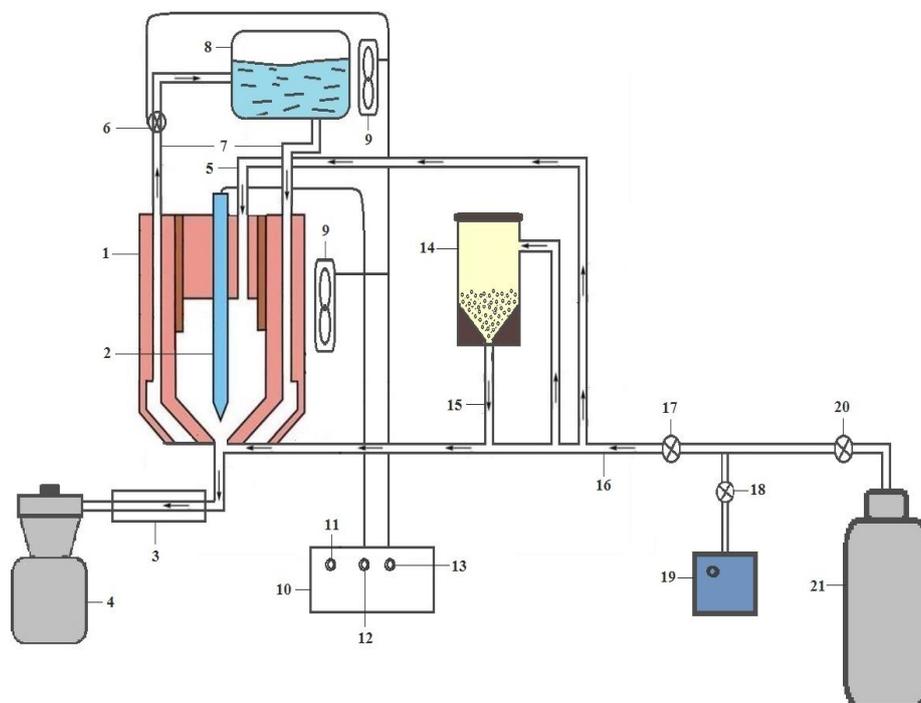


Рис. 1. Газоплазменная установка для получения УМК: 1 – плазматрон; 2 – электрод (анод); 3 – предциклоновая трубка; 4 – сборочный бункер продукта с циклоном; 5 – плазмообразующий газ; 6 – насос; 7 – охлаждающая вода; 8 – градильня для охлаждения воды; 9 – воздушное охлаждение катода и градильня; 10 – источник питания плазматрона; 11 – включатель источников питания; 12 – поджиг плазматрона; 13 – включатель насоса; 14 – питатель (емкость для разгрузки исходного сырья (зола)); 15 – провод для подачи золы; 16 – газопровод; 17 – кран регулировки подачи газа; 18 – клапан отключения компрессора; 19 – компрессор; 20 – редуктор с ротаметром; 21 – баллон с воздухом.

В качестве плазмообразующего газа использован воздух, поэтому технология получения УМК является экологически чистой. Параметры работы плазматрона: рабочее напряжение – 30 В, сила тока – 350-450 А.

Изучение физико-химических свойств образцов сырья и УМК осуществлены с помощью стандартных физико-химических методов. Анализ внешней морфологической структуры полученных образцов проведен с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (*Quantum 3D 200i Dual System, США*). Химический состав золоотходов и УМК определены по ГОСТ 10538 (для золы) и ГОСТ 8269.1. Химический состав золы, шлаков и золошлаковых смесей оценивается по количественному содержанию основных оксидов, сумме соединений серы (сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO_3) и остатков несгоревшего топлива (частиц углерода). Содержание частиц углерода определяют по ГОСТ Р 55661. Удельный вес и насыпная плотность золоотходов определены в соответствии с методиками, приведенными в ГОСТ 8735 и ГОСТ 8269.0, а удельная поверхность золоотходов – по ГОСТ 310.2.

Для изучения влияния УМК на эксплуатационные свойства бетонных изделий были изготовлены опытные образцы – бетонные кубики размером 70x70x70 мм с добавлением УМК и без добавок как контрольные образцы в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012. Бетонные образцы были изготовлены с применением портландцемента марки 400 – Д20 (ЦЕМ II/A-Ш 32,5 Н) и УМК. Твердение бетона – естественное и образцы хранились в лабораторных условиях при комнатной температуре (22 ± 28 °С).

3. Результаты и обсуждение

В данной работе представлены результаты изучения физико-химических свойств и морфологических структур золоотходов и синтезированных УМК, а также влияния добавок УМК на прочностные свойства бетона.

Для получения углеродминеральных композитов были использованы золоотходы из остатков углей Экибастузского бассейна, сожженных в ТЭЦ: Алматинской ТЭЦ-2 и Кентауской ТЭЦ. Исследуемые золоотходы по внешнему виду представляют собой рыхлый и мелкодисперсный материал преимущественно темно-серого цвета.

В таблице 1 представлены результаты исследования химических составов золоотходов, используемых для получения углеродминеральных композитов. Химический состав золоотходов по количественному содержанию основных оксидов определены в соответствии с методиками, приведенными в ГОСТ 10538 и ГОСТ 8269.1.

Как видно из таблицы 1, главными составляющими золоотходов являются оксиды кремния и металлов. Также были определены фазовые составы исходных материалов методом РФА путем идентификации на спектре вторичного рентгеновского излучения. С помощью РФА золоотходов Алматинской ТЭЦ-2 и Кентауской ТЭЦ получены аналогичные результаты.

Температура плавления золоотходов высокая и обладают абразивными свойствами. Исследуемые золоотходы являются низкокальциевыми и кислыми, поэтому могут служить лишь гидравлической добавкой при производстве бетона, а также их можно рекомендовать для использования при строительстве дорог.

С целью выявления оптимальных условий синтеза, для измерения количества влаги, содержащейся в образцах, и для установления кинетических характеристик восстановления использован термогравиметрический анализ (ТГА) в режимах дегидратации и восстановления. Эксперименты проводили на термo-анализаторе *ThermalAnalys-TGA 101* (Китай), скорость нагрева составляла 10 °/мин. На рис. 2 представлены результаты ТГА золоотходов.

Как видно из рис. 2, общая потеря массы составляет 12%, которая наблюдается в диапазоне от 57 до 840 °С. Наблюдаемый пик при 50-75 °С можно охарактеризовать как

Таблица 1. Химический состав золоотходов

ТЭЦ	Содержание оксидов, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅
Алматинская	58,8	21,7	10,2	0,2	1,2	5,6	0,4	1,5	0,1	0,3
Кентауская	55,1	15,2	8,7	0,5	3,6	10,8	1,6	2,4	0,9	1,2

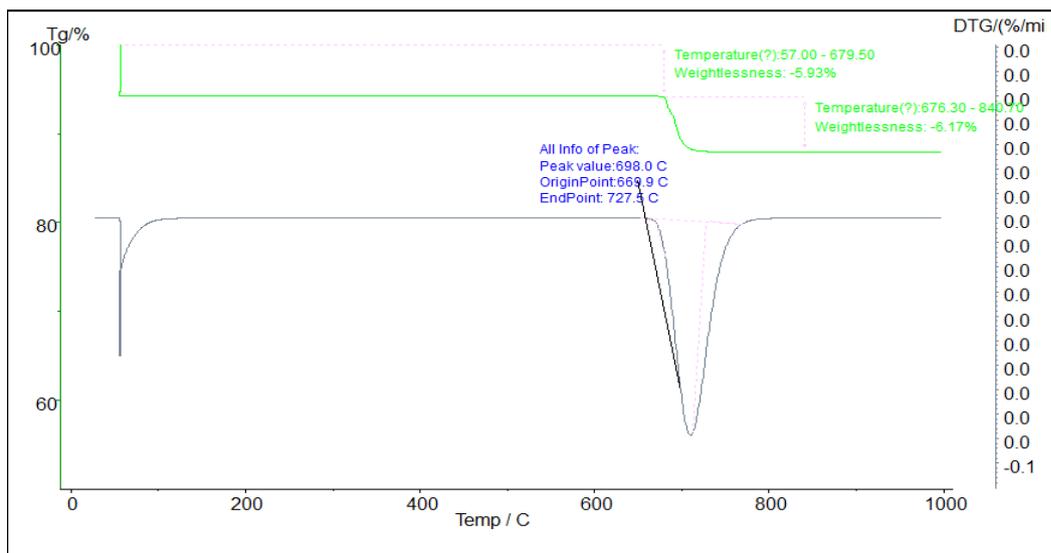


Рис. 2. ТГА анализ золоотходов.

экзотермическую реакцию дегидратации для физически и химически связанной воды. Остальная часть химически связанной воды удаляется при 727 °С. Экзотермический эффект при 727 °С обусловлен процессом взаимодействия оксидов калия, марганца (IV) и железа (III) (K_2O , MnO_2 , Fe_2O_3) с образованием сложного соединения. Следует отметить, что в связи с высокой термической стабильностью алюмосиликата кальция и алюмотитаната магния на дифрактограмме не выявлены процессы деградации данных соединений.

Перед использованием исходные золоотходы поэтапно промывали водой, азотной кислотой и гидроксидом натрия, затем высушивали при температуре 40-50 °С до постоянной массы. На втором этапе производили помол порошковой смеси в планетарной шаровой мельнице со скоростью 400 об/мин в течение 15 мин до фракции 100-180 мкм.

Морфология и строение частиц золоотходов ТЭЦ изучены с помощью сканирующей

электронной микроскопии на микроскопе (СЭМ) *Quanta 200i 3D* с электронным и ионным пучком. На рис. 3 представлены СЭМ снимки исходных золоотходов.

Из СЭМ снимков золоотходов видно, что частицы имеют преимущественно неправильные формы и на их поверхности присутствуют замкнутые поры, которые являются результатом вспучивания расплавленной минеральной массы.

Для определения физических характеристик золоотходы предварительно просушивали образцы в сушильном шкафу при температуре 80-100 °С. В таблице 2 представлены физические характеристики золоотходов.

Проведенные исследования показали, что золоотходы имеют высокую удельную поверхность (2990 и 2830 cm^2/g), характеризуются высокой степенью дисперсности, что подтверждено результатами гранулометрического состава: насыпная плотность – 0,71 и 0,87 $г/см^3$, удельный вес – 2,45 и 2,50 $г/см^3$, соответственно.

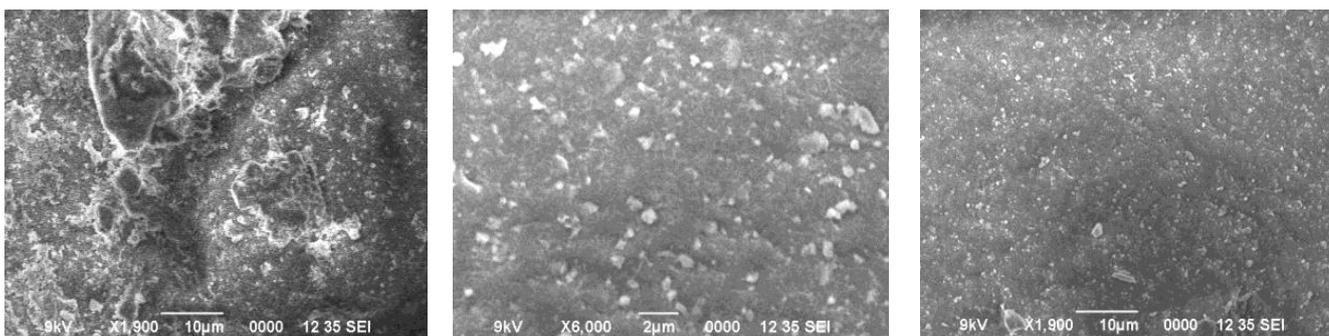


Рис.3. СЭМ снимки золоотходов.

Таблица 2. Физические характеристики золоотходов

Уголь	ТЭЦ	Удельный вес, г/см ³	Насыпная плотность, г/см ³	Удельная поверхность, см ² /г
Экибастузский	Алматинская ТЭЦ – 2	2,45	0,71	2990
	Кентауская ТЭЦ	2,50	0,87	2830

Основным критерием, определяющим способность золоотходов проявлять вяжущие свойства, является наличие кальция в свободном или связанном виде. Сдерживающим фактором применения зольного остатка в качестве исходного сырья для получения микросфер с использованием традиционных источников нагрева являются высокие значения вязкости и температуры плавления [11, 12]. В качестве предварительной оценки произведен расчет модуля вязкости исследуемого зольного остатка, в основу которого заложена сумма компонентов, влияющих на повышение вязкости (в нашем случае SiO₂ и Al₂O₃), деленная на сумму компонентов, понижающих вязкость (Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O и K₂O):

$$M_v = \text{SiO}_2 + 2\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$$

В данном выражении учитывается неоднородное влияние компонентов состава посредством множителей, связанных с величиной ионного радиуса катиона.

При использовании зольного остатка важным является их классификация, в основу которой заложены наиболее характерные критерии качества материала: силикатный (кремнеземистый) модуль; коэффициент качества (гидравлическая активность); модуль основности (гидравлический модуль) [13]. Критические качества состава золоотходов представлены в таблице 3.

Модуль кислотности (МК) используется для предварительной оценки химического состава.

Однако для обеспечения нормальной работы плавильных агрегатов наряду с МК следует учитывать и вязкостные свойства расплава, которые характеризуются модулем вязкости МВ. С ростом модуля вязкости снижается выход УМК, так как существенно повышаются температура плавления и энергозатраты.

УМК синтезированы в газоплазменном реакторе при температуре 1000-1600 °С. В качестве плазмообразующего газа был использован воздух. Расход плазмообразующего газа (воздух) G_г = 40 мл/с; расход сырья G_{сыр} = 0,3-0,8 г/с.

Получение полых УМК на основе золоотходов является сложным многостадийным процессом. Полые структуры, как микросферы, превращаются из минеральных частиц, способных при температурах выше 1200 °С образовывать эвтектические смеси и стеклофазу. К таким частицам относятся алюмосиликатные глинистые минералы и гидрослюды в совокупности с минералами с повышенным содержанием SiO₂: кварц и полевые шпаты. На это указывает совпадение плотности этих минералов и плотности вещества стенки полученных композитов. Такие частицы содержат в своем составе на примесном уровне приблизительно 1-3% веществ, способных к газовой выделению, например, соединения Fe или Ca, а также кристаллизационную воду, что в условиях высокотемпературного воздействия при достижении частицами вязкотекучего состояния приводит к образованию полых моноячеистых сферических частиц [1, 10].

Таблица 3. Критерии оценки состава золоотходов

Критерии качества	Исследуемые золоотходы (Экибастуз)
Mo – модуль основности (гидравлический модуль) Mo = (CaO+MgO+K ₂ O+Na ₂ O)/(SiO ₂ +Al ₂ O ₃)	0,10
Mc – силикатный (кремнеземистый) модуль Mc = SiO ₂ / (Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃)	1,84
K – коэффициент качества (гидравлическая активность) K = (CaO+Al ₂ O ₃ +MgO) / (SiO ₂ +TiO ₂)	0,48
M _v – модуль вязкости	5,40

Для дальнейшего изучения полученные УМК были разделены на разные фракции с помощью набора сит 5-200 мкм. Средняя эффективная плотность фракции вычислена путем измерения массы и объема порции порошка с помощью погружения его в жидкость.

Химический состав полых стеклянных и алюмосиликатных УМК представлены в таблице 4. Были изучены морфологические характеристики синтезированных УМК из золотходов (рис. 4).

Из снимков видно, что частицы порошка SiO_2 , обработанные в потоке термической плазмы, оптически прозрачны, имеют форму, близкую к сферической, и гладкую внешнюю поверхность без отверстий. Внутри формы находится газовая полость, состоящая в основном из кислорода, азота и оксида углерода. Размер частиц находится в диапазоне $25 \div 150$ мкм. Морфология частиц представлена совокупностью гетеродисперсных частиц сферической и неправильной формы, присутствует развитая система микропор.

Благодаря своим свойствам УМК имеют разнообразное применение в различных сферах промышленности. Они используются как наполнитель в неорганических строительных материалах, легких и сверхлегких бетонах, для изготовления стеновых блоков, сухих строительных смесей, известковых растворов, модифицированных цементов, штукатурок, износостойких покрытий для полов промышленных помещений, в красках, изоляционных

кровельных, звукозащитных и декоративных материалах, а также для мастик при герметизации трещин и швов, шпатлевок, герметиков и т.д. Кроме того, УМК применяются в автомобилестроении, химической, аэрокосмической и нефтяной промышленности, керамике и других отраслях [14-15].

Результатами проведенных экспериментальных исследований установлено, что золотходы являются перспективной сырьевой базой для получения УМК в потоке термической плазмы. Из анализа полученных данных следует, что внешний диаметр полученных УМК соответствует гранулометрическому составу и диаметр полученных УМК на основе зольного остатка составляет 100-175 мкм, УМК с добавкой кварцевого песка – 80-140 мкм, УМК с добавкой полимерных отходов – 90-125 мкм. Насыпная плотность всех образцов варьируется в диапазоне от 0,05 до 1,3 г/см³.

В составе в малых количествах присутствует технический углерод сферической формы, черного цвета, диаметр которых менее 50 нм. Частицы образуют более или менее разветвленные цепочки. Свойства технического углерода определяются, главным образом, двумя характеристиками: удельной поверхностью, которая зависит от размера дисперсных частиц, и степенью структурированности дисперсных частиц углерода в цепочки. Оба этих параметра зависят от технологических параметров процесса плазмохимической переработки золошлаковых отходов.

Таблица 4. Химический состав углеродминеральных композитов

Компонент	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	C	MnO	MgO	SO_3	P_2O_5
Мас. %	61,5	24,3	5,5	3,5	0,3	0,9	2,4	0,2	1,1	0,1	0,2

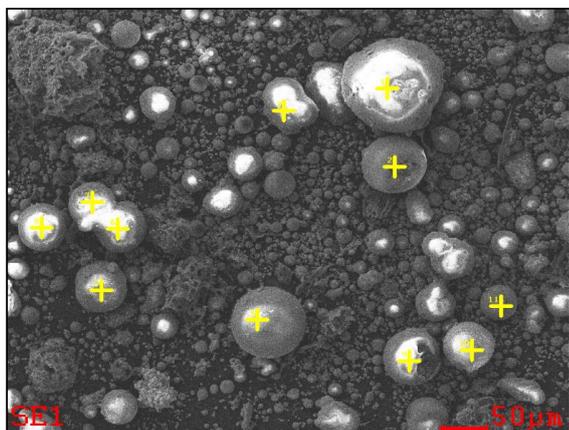


Рис. 4. Микрофотография синтезированных углеродминеральных композитов.

Таблица 5. Свойства цементного камня с добавленным УМК

Образец	100% цемент, без добавок	Цемент с 1% УМК	Цемент с 3% УМК	Цемент с 5% УМК	Цемент с 7% УМК	Цемент с 10% УМК
Предел прочности при сжатии, кН	120,0	149,1	150,4	152,8	158,2	160,0

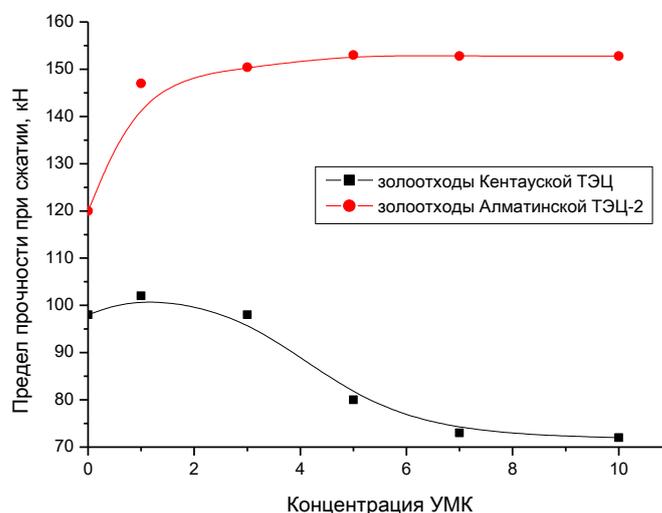


Рис. 5. Влияние добавок УМК на прочность при сжатии бетонных изделий.

Влияние добавок УМК на прочность при сжатии бетонных изделий исследовано на образцах с содержанием модификаторов 5 и 10% массы цемента с помощью пресса УЕС-2000 с электронным дисплеем. Состав бетонной смеси и результаты испытаний на прочность приведены в таблице 5.

Результаты экспериментов показали, что прочность при сжатии бетонных изделий с добавлением УМК, полученных с использованием золы Алматинской ТЭЦ-2 в сравнении с контрольным образцом возрастает (рис. 5). Добавление УМК значительно увеличивает плотность бетона, тем самым одновременно повышая текучесть и прочность изделия.

Сферическая структура УМК при добавлении в бетон не меняется, так как она прошла максимальную тепловую обработку в процессе плазмохимической обработки. По контактной зоне «цементная матрица – УМК» отмечается заметное уплотнение структуры цементного камня, что обуславливает высокую адгезию цементного камня к заполнителю. Это позволяет получать высококачественные легкие бетоны с заданными физико-химическими свойствами, которые могут сочетать плотноупакованную структуру с низкой средней плотностью и высокими прочностными характеристиками.

Таким образом, установлено, что прочность бетонных изделий, модифицированных УМК из золотеходов Алматинской ТЭЦ-2, оказалась в большинстве случаев выше, чем у изделий, модифицированных УМК из золотеходов Кентауской ТЭЦ, с увеличением содержания добавок УМК прочность бетонных изделий существенно увеличивается (с 140 до 160 кН).

4. Заключение

Исследованы физико-химические характеристики золотеходов Алматинской ТЭЦ-2 и Кентауской ТЭЦ. Разработана мобильная газоплазменная установка для получения углерод-минеральных композитов. Экспериментально установлены рабочие режимы газоплазменной установки для получения УМК на основе золошлаковых отходов. Исследованы фазовые составы и морфологические структуры полученных УМК на основе золошлаковых отходов. Установлено, что прочность при сжатии бетонных изделий с добавлением УМК, изготовленных из золотеходов Алматинской ТЭЦ-2, увеличивается.

Благодарность

Данная работа финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН АР09260977).

Литература

- [1]. Самороков В.Э., Зелинская Е.В. Использование ценосфер в композиционных материалах // Вестник ИрГТУ. – 2012. – №9(68). – С.201-205.
- [2]. Иноземцев А.С. Поиск эффективных методов повышения конструкционных свойств высокопрочных легких бетонов // Молодой ученый. – 2015. – №17(97). – С.133-137.
- [3]. Drozhzhin V.S., Shpirt M.Ya., Danilin L.D., Kuvaev M.D., Pikulin I.V., Potemkin G.A., Redyushev S.A. Formation processes and main properties of hollow aluminosilicate microspheres in fly ash from thermal power stations // Solid Fuel Chemistry. – 2008. – Vol.2. – С.107-119.
- [4]. Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Аньшаков А.С., Кузьмин В.И. Влияние термической плазмы на образование керамических ценосфер. Часть 1. Характер нагрева и испарения. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – №5. – С.143-150.
- [5]. Solonenko O.P. Criterion conditions for the formation of hollow microspheres from plasma-treated agglomerated particles // Thermophysics and Aeromechanics. – 2014. – Vol.21. – №6. – P.735-746.
- [6]. Кизильштейн Л. Следы угольной энергетики // Наука и жизнь. – 2008. – №5. – С.42-45.
- [7]. Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Гафаров Р.Е., Семеновых М.А. Получение ценосфер на основе материалов алюмосиликатной группы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – Т.21, №6. – С.134-139.
- [8]. Bondarenko D.O., Strokova V.V., Timoshenko T.I., Rozdol'skaya I.V. Plasma-Chemical Modification of Facing Composite Material on the Basis of Hollow Glass Microspheres with Decorative Protective Coating // Inorganic Materials. – 2019. – Vol.10(2). – P.445-450.
- [9]. Самороков В.Э., Зелинская Е.В. Композиционные материалы на основе алюмосиликатных микросфер в машиностроении // Материалы VII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения». – Томск, 2013. – С.128-131.

- [10]. Шеховцов В.В., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г. Плазменная сфероидизация алюмосиликатных частиц // Материалы 12-й Международной конференции «Процессы взаимодействия излучений и плазмы с твердым телом». – Минск, 2017. – С.487-88.
- [11]. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Kondratyuk A.A., Vitske R.E. Fly ash particles spheroidization using low temperature plasma energy // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol.156, №1. – P.012043.
- [12]. Shahidan Shahiron, Aminuddin Eeydzah, Mohd Noor Khairiyah, Ramzi hannan Nurul Izzati Raihan, Saiful Bahari, Nur Amira. Potential of Hollow Glass Microsphere as Cement Replacement for Lightweight Foam Concrete on Thermal Insulation Performance // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol.103. – P.01014.
- [13]. Верещагина Т.А., Аншиц Н.Н., Зыкова И.Д. Получение ценосфер из энергетических зол стабилизированного состава и их свойства // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – Т.9, №3. – С.379-391.
- [14]. Масанин О.О., Нелюбова В.В. Исследование влияния стеклянных ценосфер на свойства белого цемента // Материалы международного научно-практической конференции «Инновации и строительство – 2018». – Брянск, 2018. – С.291-295.
- [15]. Калашников В.И. Через рациональную реологию в будущее бетонов. Ч. 1: Виды реологических матриц в бетонной смеси и стратегия повышения прочности бетона и экономии его в конструкциях // Технологии бетонов. – 2007. – №5. – С.8-10.

References

- [1]. Samorokov VE, Zelinskaya EV (2012) Bulletin of IrSTU [Vestnik IrGTU] 9:201-205 (in Russian).
- [2]. Inozemtsev AS (2015) Young Scientist [Molodoi uchenyi] 17:133-137 (in Russian).
- [3]. Drozhzhin VS, Shpirt MYa, Danilin LD, Kuvaev MD, Pikulin IV, Potemkin GA, Redyushev SA (2008) Solid Fuel Chemistry 2:107-119.
- [4]. Shekhovtsov VV, Volokitin OG, Volokitin GG, Skripnikova NK, Anshakov AS, Kuzmin VI (2017) Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering [Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta]. 19:143-150 (in Russian).
- [5]. Solonenko OP (2014) Thermophysics and Aeromechanics 21:735-746.
- [6]. Kizilstein L (2008) Science and Life [Nauka i jizn] 5:42-45 (in Russian).
- [7]. Shekhovtsov VV, Volokitin OG, Gafarov RE,

- Semenov MA (2019) Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering [Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta]. 21:134-139 (in Russian).
- [8]. Bondarenko DO, Strokova VV, Timoshenko TI, Rozdol'skaya IV (2019) Inorganic Materials 10:445-450. <https://doi.org/10.1134/S2075113319020072>
- [9]. Samorokov VE, Zelinskaya EV (2013) Composite materials based on aluminosilicate microspheres in mechanical engineering [Kompozitsionnye materialy na osnove aliyosilikatnykh mikrosfer v mašinstroenii]. Materials of the 7th International Scientific and Technical Conference «Modern problems of mechanical engineering», Tomsk, Russia. P.128-131 (in Russian).
- [10]. Shekhovtsov VV, Volokitin GG, Skripnikova NK, Volokitin OG (2017) Plasma spheroidization of aluminosilicate particles [Kompozitsionnye materialy na osnove aliyosilikatnykh mikrosfer v mašinstroenii]. Materials of the 12th International Conference «Processes of interaction of radiation and plasma with a solid», Minsk, Belarus. P.487-488 (in Russian).
- [11]. Shekhovtsov VV, Volokitin OG, Kondratyuk AA, Vitske RE (2016) Fly ash particles spheroidization using low temperature plasma energy. IOP Conf. Series Materials Science and Engineering. 156(1):012043.
- [12]. Shahidan Shahiron, Aminuddin Eeydzah, Mohd Noor Khairiyah, Ramzi hannan Nurul Izzati Raihan, Saiful Bahari, Nur Amira (2017) Potential of Hollow Glass Microsphere as Cement Replacement for Lightweight Foam Concrete on Thermal Insulation Performance. MATEC Web of Conferences. 103(5):01014
- [13]. Vereshchagina TA, Anshits NN, Zykova ID (2001) Chemistry in the interests of sustainable development [Himiia v interesah ustoichivogo razvitiia] 9:379-391 (in Russian).
- [14]. Masanin OO, Nelyubova VV (2018) Investigation of the influence of glass cenospheres on the properties of white cement. Materials of the International scientific and practical conference «Innovation and Construction - 2018», Bryansk, Russia. P.291-295 (in Russian).
- [15]. Kalashnikov VI (2007) Technologies of concrete [Tehnologii betonov] 5:8-10 (in Russian).

Investigation of the effect of carbon mineral composites additives on the properties of concrete products

S.K. Tanirbergenova^{1,3}, B.K. Dinistanova², D.A. Tugelbayeva¹, N.K. Zhylybayeva¹

¹Institute of Combustion Problems, 172, Bogenbay Batyr str., Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, 71, Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan

³«In-Prometheus», 20, Toretai str., Almaty, Kazakhstan

Abstract

This article presents the results of a study of the physico-chemical characteristics of ash waste from the Almaty and Kentau thermal power plants. The possibility of obtaining carbon mineral composites (UMC) from ash waste in a gas-plasma installation has been established, optimal modes of synthesis of carbon mineral composites have been determined. The physicochemical properties of the obtained carbon mineral composites have been studied. The influence of UMC on the strength of concrete has been studied. It has been established that the compressive strength of concrete products with the addition of carbon mineral composites made from ash wastes of Almaty CHP-2 increases to 160 kN.

Keywords: concrete products, carbon mineral composites, ash waste, lightweight concrete, gas plasma plant.

Көміртеқминералды композициялық қоспалардың бетон өнімдерінің қасиеттеріне әсерін зерттеу

С.К. Танирбергенова^{1,3}, Б.К. Динистанова², Д.А. Тугелбаева¹, Н.К. Жылыбаева^{1*}

¹Жану проблемаларының институты, Бөгенбай батыр к-сі, 172, Алматы, Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, әл-Фараби даңғ. 71, Алматы, Қазақстан

³Ин-Прометей, Торетай к-сі, 20, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа

Бұл мақалада Алматы және Кентау ЖЭО күл қалдықтарының физика-химиялық сипаттамаларын зерттеу нәтижелері келтірілген. Газ-плазмалық қондырғыдағы күл қалдықтарынан көміртекті минералды композиттерді

(ОЭК) алу мүмкіндігі анықталды, көміртекті минералды композиттерді синтездеудің оңтайлы режимдері анықталды. Алынған көміртекті минералды Композиттердің физика-химиялық қасиеттері зерттелді. ОЭК-нің бетонның беріктігіне әсері зерттелді. Алматы ЖЭО-2 күл қалдықтарынан дайындалған

көміртекті минералды композиттер қосылған бетон бұйымдарын сығу кезінде беріктігі 160 кН дейін артатыны анықталды.

Кілт сөздер: бетон өнімдері, көміртеқминералды композиттер, күл қалдықтары, жеңіл бетондар, газ-плазмалы қондырғы.