

Таблица 1. Исходные порошковые составы материалов

Образец	Состав, масс. %				
	HfB ₂	La ₂ O ₃	Al _{необлуч}	Al _{облуч}	W
1	98	2	–	–	–
2	50	–	30	–	20
3	50	–	–	30	20

Таблица 2. Характеристики полученных керметов и керамики HfB₂

Характеристика	Образец №		
	1	2	3
Масса, гр.	4,53	4,67	4,61
Диаметр, мм	15,38	15,35	15,24
Высота, мм	2,57	5,5	5,22
Объем, см ³	0,48	1,02	0,95
Плотность, гр/см ³	9,51	4,59	4,83
Модуль упругости E _{ИГ} , МПа	796915	–	173440
Твердость по Мартенсу НМ, МПа	21334	–	2907
Температура ГП, °С	2000	750	750

который снизил начальную температуру спекания и увеличил скорость протекания процесса спекания. Плотность образца 3 на 5% выше плотности образца 2, что может обуславливать усадкой образца во время спекания.

Образец 1 обладает наибольшим значением модуля упругости и твердости, что говорит о низкой пластичности материала и высокой хрупкости. Образец 3 в 4,6 раз более пластичен и в 7,3 раза менее твердый, в сравнении с образцом 1, что в целом характерно для керметов.

Список литературы

1. Беспалов В. И. *Лекции по радиационной защите: учебное пособие.* – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 695 с.

Также стоит отметить, что несмотря на существенную потерю твердости и снижения модуля упругости получаемые металлокерамики все еще намного прочнее обычных металлов.

Таким образом, применение СВЧ-активированного нанопорошка алюминия позволяет повысить пластичность получаемого материала, относительно керамических материалов схожего состава, а также снизить температуру и время спекания.

СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Д. Т. Толегенов, М. А. Елубай, А. В. Богомолов, Д. Ж. Толегенова
 Научный руководитель – д.т.н., профессор ТПУ Т. В. Вакалова

Томский политехнический университет
 634050, tolegenov@tpu.ru

В настоящее время на предприятиях горнодобывающей, металлургической, химической, деревообрабатывающей, энергетической, строительных материалов и других отраслей про-

мышленности Казахстана накопилось порядка 22 млрд. тонн отходов. Ежегодно образуется до 400 млн. тонн промышленных отходов и до 20 млн. м³ бытовых, из которых лишь 5 процентов

Таблица 1. Оптимальные технологические параметры и физико-механические свойства образцов пластичного формования из исследуемых композиций

Добавка	Оптимальное содержание добавки, %	Оптимальная температура обжига, °C	Водопоглощение, %	Прочность на сжатие, МПа
исходная глина	0	1100	14,4	30,2
красный шлам	10	1100	14,1	44,7
зола-унос	10	1100	15,0	45,3
смесь золы и шлама	5/5	1100	14,8	53,8
металлургический шлак	15	1000	18,5	38,4

идет на переработку от общего объема. В связи с этим в отвалах и шламохранилищах страны накоплено 5,9 млрд. тонн только твердых отходов [1]. Наиболее рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их использование как техногенного сырья при получении различного вида продукции и, прежде всего, строительного назначения.

Целью данной работы явилось исследование отходов химико-металлургического (красного шлама и металлургического шлака) и топливно-энергетического (золы-уноса) комплексов Республики Казахстан как сырьевой добавки в технологии строительной керамики.

В качестве основного сырья использовалась глинистая порода Кемертузского месторождения.

Исследуемая зола-унос является низкокальциевой разновидностью кислых зол с повышенным содержанием оксида алюминия (до 26 %) со значительным содержанием стеклофазы и с кристаллической частью, сложенной муллитом, кварцем и железистым минералом в виде гематита.

Вторичный металлургический шлак с АКП «KSP Steel» представляет собой тонкодисперсный порошок серого цвета с повышенным содержанием оксида кальция, представленным портландитом $\text{Ca}(\text{OH})_2$, тоберморитом $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и двухкальциевым гидросиликатом $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Железистая составляющая представлена двухкальциевым ферритом $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Красный шлам по химическому составу представлен преимущественно оксида-

ми кремния, алюминия, железа и кальция, на долю которых приходится более 80 % массы материала, кристаллическая часть которого сложена кальцитом CaCO_3 , двухкальциевым гидросиликатом- ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и шестикальциевым трехкарбонатным гидроалюминатом $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaCO}_3 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$. Железистая составляющая представлена гематитом Fe_2O_3 и магнетитом Fe_3O_4 .

Красный шлам, металлургический шлак и зола-унос использовались как добавки в количестве от 10 до 30 %, а также комбинация золы и красного шлама от 10 до 30 % (в равных соотношениях).

Добавки и глина использовались с размером частиц менее 1 мм. Образцы формовались пластичным методом. Высушенные образцы обжигались при 1000–1100 °C с шагом 50 °C с выдержкой при конечной температуре 2 часа.

На обожженных образцах определялись основные физико-механические свойства – усадка, объемная масса, водопоглощение и прочность на сжатие.

Полученные результаты позволили определить с оптимальными составами керамических масс и параметрами процесса обжига (таблица 1).

Таким образом, использование анализируемых вторичных ресурсов позволило снизить температуру обжига образцов на 100 °C (в случае использования металлургического шлака) и повысить механическую прочность керамических образцов в 1,5–1,8 раза (в случае добавок золы и красного шлама).

Список литературы

1. Касенов А. Ж., Тлеулесов А. К., Ахметбек А. Н., «Производство бетонов из отходов производства АО «Алюминий Казахстана»», *Наука и техника Казахстана*, № 1, 61–75 стр., 2018 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОВШОВОГО ШЛАКА В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ В ЦЕМЕНТ

Е. В. Турушева

Научный руководитель – к.т.н., профессор С. П. Сивков

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева
125047, Россия, г. Москва, пл. Миусская д. 9, katka1988@mail.ru

На саммите ООН по климату 23 сентября 2019 года был подписан документ, согласно которому 66 стран мира взяли обязательство достичь к 2050 году углеродной нейтральности.

Для долгосрочного развития России в области экологии сокращение выбросов в атмосферу CO_2 также стало одной из основных стратегических целей [1].

Производство портландцемента является тем производством, в процессе работы которого происходит выброс в атмосферу CO_2 . В масштабах мировых выбросов это составляет около 5 % [2].

В цементной промышленности снижение выбросов CO_2 в атмосферу можно доточить путем уменьшения доли клинкера в составе цементов. В данной научно-исследовательской работе в качестве материала, замещающего долю клинкера, рассматривается металлургический ковшовый шлак (материал, который не включен в нормативную документацию на производство цемента).

В работе рассматривались два вида металлургического ковшового шлака производства ОАО «Выксунский металлургический завод» и цемент со шлаком ЦЕМ П/В-Ш 42,5Н ГОСТ 31108–2020 (клинкер – 69,6 %, доменный гранулированный шлак – 21,0 %, гипсовый камень – 5,9 %, известняк – 3,5 %).

Металлургический ковшовый шлак – это продукт, который образуется в процессе внепечной обработки стали в ковш-печи (откуда и произошло название «ковшовый шлак») [3]. Материал имеет рыхлую и хрупкую структуру и образуется в виде двух фракций:

1. Пыль, размер фракции которого от 0 до 5 мм. Минералогический состав представлен преимущественно кубической модификацией C_3A (25 %), $\beta\text{-C}_2\text{S}$ (20 %) и $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ (10 %), а химический состав – CaO (46 %), Al_2O_3 (21 %) и SiO_2 (10 %).

2. Молотый, размер фракции которого от 5 до 20 мм (получен в результате резкого охлаждения). Минералогический состав представлен

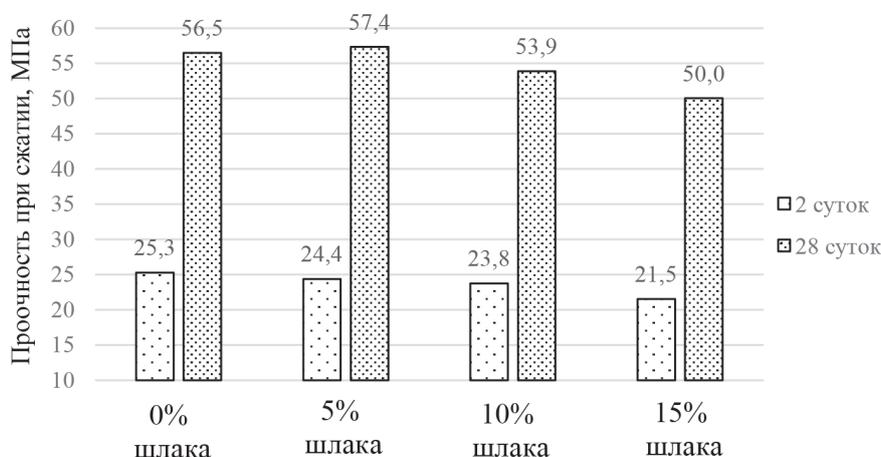


Рис. 1. Прочность при сжатии ЦЕМ П/В-Ш 42,5Н с добавлением металлургического ковшового шлака (г. Выкса); соотношение двух видов металлургического ковшового шлака: пыль – 80 %, молотый – 20 %