

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2024.i6.01>

Investigation of the composition of industrial products of vanadium production and its use for the production of heat-resistant building mixes

A.T. Khabiyev^{1,2*}, S.B. Yulussov^{1,2*}, A.K. Tuleshov¹, O.S. Baigenzhenov¹, Y.S. Merkiybayev¹, T.E. Baltabay¹

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: s1981b@mail.ru

Abstract. The presented scientific article deals with the actual problem of complex processing and disposal of industrial waste from metallurgical and chemical industries in order to obtain building materials, in particular to create heat-resistant building mixtures from them. Special attention is paid to the technological processes of manufacturing heat-resistant construction mixtures from overburden, enrichment tailings, slurries and slags. A critical analysis of the current state of the processing of these types of waste and the production of heat-resistant building mixtures from them is carried out. The article provides an overview of modern technologies and their practical examples in the field of creating environmentally friendly heat-resistant construction mixtures based on recycled materials. In addition, the results of an experimental study on the development of building mixtures for the production of heat-resistant building mixtures from industrial products of vanadium production are described. The industrial product of vanadium production was investigated by chemical and X-ray spectral analysis methods. The data obtained provides an overview of the material that can be used as a component of a mixture for the production of heat-resistant construction material, applicable in obtaining various types of construction mixtures and heat-resistant blocks. To obtain heat-resistant building mixes, cement M 400, liquid glass and chamotte were mixed in various proportions, and then dried at a temperature of 100°C for 24 hours. Further, the dried materials were kept at 1000°C for 10 hours, which, to assess heat resistance, were heated in the temperature range of 800-1800°C for 30 minutes, followed by abrupt cooling with water. The resulting building heat-resistant mixtures had high strength characteristics (compressive strength from 32 to 45 MPa) and good heat resistance/heat resistance.

Keywords: waste disposal, metallurgical production, chemical production, building materials, heat-resistant construction mixtures, industrial products of vanadium production, secondary raw materials, waste recycling, environmental safety.

1. Введение

На современном этапе развития промышленности, урбанизации и роста численности населения планеты вопросы рационального использования природных ресурсов, минимизации негативного антропогенного воздействия на окружающую среду и переработки отходов производства и потребления приобретают первостепенное значение и глобальный масштаб. В условиях ужесточения экологических требований, концепции устойчивого развития и циркулярной экономики проблема комплексной, ресурсоэффективной и экологически безопасной утилизации промышленных отходов становится одной из наиболее актуальных и приоритетных задач современности [1].

В настоящее время в мире объем техногенных отходов горно-металлургического комплекса (ГМК) с каждым годом растет. В Африке они уже превышают 174 млрд тонн, 500 млн тонн металлургических шлаков накоплено в России. В Узбекистане только на предприятии «АГМК» собралось более 1 млрд тонн техногенных отходов, в Казахстане - накоплено около 20 млрд тонн [2-4].

Известно, что только около 20% этих отходов перерабатывается, остальная часть представляет серьезную угрозу для экологии [5].

Металлургическая, горнодобывающая и химическая отрасли по праву относятся к числу крупнейших источников образования колоссальных объемов различных видов отходов производства и потребления, таких как вскрышные породы, хвосты обогащения полезных ископаемых, шламы, шлаки, золошлаковые отходы, кубовые остатки и другие многотоннажные техногенные отходы [6]. Несмотря на непрерывные научно-технические усилия по разработке и внедрению ресурсосберегающих, малоотходных и безотходных технологий, подавляющее большинство образующихся промышленных отходов по-прежнему не находят должного применения и подлежат длительному складированию на специализированных полигонах, занимая обширные территории и создавая серьезную техногенную нагрузку на окружающую природную среду [7].

В этой связи одним из наиболее перспективных и экономически целесообразных направлений комплексной переработки и утилизации накопленных промышленных отходов является их применение в качестве вторичного

сырья для производства строительных материалов различного назначения, в частности для изготовления строительных жаропрочных смесей и композиций [8]. Данный подход позволяет не только эффективно решить актуальную проблему накопления, хранения и утилизации многотоннажных отходов, но и обеспечить строительную отрасль необходимыми высококачественными материалами с уникальным комплексом ценных свойств и характеристик, таких как повышенная прочность [9], термостойкость [10], жаропрочность [11], стойкость к воздействию агрессивных сред [12], негорючесть [13], стабильность структуры и размеров при циклических тепловых нагрузках и другими специфическими качествами [14-15].

В рамках представленной научной статьи исследуется возможность применения промышленных продуктов ванадиевого производства в качестве основы для получения строительных жаропрочных смесей нового поколения. Промпродукты ванадиевого производства, образующиеся в больших объемах в качестве побочного продукта переработки ванадиевых руд, представляют собой сложную многокомпонентную смесь различных соединений железа, кремния, алюминия, кальция, а также целого ряда других элементов. Благодаря своему уникальному химическому и минералогическому составу, а также специфической внутренней структуре, данные техногенные отходы могут выступать в качестве эффективного сырьевого материала для создания строительных композиций с улучшенными прочностными, термическими и другими эксплуатационными характеристиками.

В работе проводится критический анализ современного состояния проблемы переработки и утилизации промышленных отходов с получением на их основе строительных жаропрочных смесей и композиций для различных областей применения. Представлен обзор передовых технологий, перспективных материалов и практических примеров в данной сфере. Особое внимание уделяется инновационным технологическим процессам изготовления строительных жаропрочных смесей из твердых отходов горнодобывающей, металлургической, химической и других отраслей промышленности, таких как вскрышные породы, хвосты обогащения руд, шламы, шлаки, золошлаковые отходы и другие. Кроме того, подробно описаны результаты комплексных экспериментальных исследований, посвященных разработке оптимальных составов строительных жаропрочных смесей на основе промышленных продуктов ванадиевого производства, обладающих высокими прочностными характеристиками, термостойкостью, жаропрочностью и стойкостью к воздействию агрессивных сред.

Более того, существует ряд технологических решений, позволяющих перерабатывать отходы металлургического и химического производств в строительные жаропрочные смеси. Одним из наиболее распространенных методов является использование вяжущих веществ, таких как цемент или известь, для связывания отходов в строительные жаропрочные смеси [16]. Другим примером является использование хвостов обогащения горнодобывающей промышленности для изготовления строительных жаропрочных смесей [17]. Хвосты обогащения представляют собой мелкодисперсные отходы, образующиеся при обогащении руд. Они могут быть использованы в качестве заполнителя для бетонных смесей или для производства керамических строительных блоков [18]. Более того, перспективным направлением в области переработки промышленных отходов явля-

ется создание жаропрочных строительных блоков, предназначенных для использования в условиях высоких температур [19]. Такие блоки могут быть использованы для облицовки печей, котлов и других объектов, подвергающихся воздействию высоких температур [20].

Цель исследования заключается в комплексном изучении физико-химических, минералогических и технологических свойств промпродуктов ванадиевого производства, а также в разработке на их основе эффективных составов строительных жаропрочных смесей нового поколения, обладающих улучшенными эксплуатационными характеристиками, такими как высокая прочность на сжатие и изгиб, термостойкость, жаропрочность, стойкость к воздействию агрессивных сред, термоциклическая стабильность и другими ценными свойствами. Успешное достижение поставленной цели позволит не только утилизировать накопленные объемы техногенных отходов ванадиевого производства в экологически безопасной форме, но и получить новые высокоэффективные строительные материалы с улучшенными качествами для широкого применения в различных областях промышленного, гражданского, специального и высотного строительства, в том числе для возведения зданий и сооружений, эксплуатируемых в сложных климатических условиях.

2. Материалы и методы

2.1. Исходное сырье для получения строительных жаропрочных смесей

В составах использовались тонкомолотые фракции промпродукта ванадиевого производства (промпродукт) крупностью -0.2 мм на основе техногенных отходов гидromеталлургического завода ТОО «Фирма «Балауса». В качестве вяжущих, обеспечивающих формирование и первичное затвердевание использовали портландцемент марки М-400 и жидкое стекло ГОСТ 13078-81. В качестве наполнителя применяли молотый шамот из отработанного шамотного кирпича.

2.2. Методика изучения состава промпродукта для получения строительных жаропрочных смесей

Промпродукт ванадиевого производства исследовали физико-химическими методами и использовали следующие методы анализа: рентгенофлуорисцентный, рентгеноспектральный и химический.

2.3. Методика получения жаропрочных строительных смесей

Для получения жаропрочных строительных смесей промпродукт, цемент М 400, жидкое стекло и шамот были смешаны согласно таблице 1.

Таблица 1. Состав исходного сырья для получения жаропрочных строительных смесей

Расходный материал	Состав, %		
	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Промпродукт	30	35	40
Цемент М 400	20	15	10
Жидкое стекло	10	10	10
Шамот	40	40	40

Для этого цемент марки М400, промпродукт, мелко-раздробленный шамот и жидкое стекло, были перемешаны в таре и после просушены при температуре 100°C в

сушильном шкафу в течении 24 часов. Высушенный материал был отправлен на прокалку при 1000°C в течении 10 часов. После прокалки полученный материал остужали до температуры 25°C.

2.4 Методики проведения исследований

Полученные жаропрочные строительные смеси согласно методике в части 2.3 подвергали испытанию на прочность и жаростойкость, а также анализировали на влагосодержание. Оценка жаростойкости полученных жаропрочных смесей проводилась путем их нагрева в интервале температур 800-1800°C в течении 30 минут и последующим резким охлаждением водой. Нагрев образцов вели резаком пропановый марки РЗП-300, контроль температуры вели инфракрасный термометром марки COBRA-982.

3. Результаты и обсуждение

3.1 Исследование состава промпродукта ванадиевого производства

Основа промпродукта ванадиевого производства, полученного по проекту ИРН АР19676107 «Разработка технологии комплексной переработки техногенных отходов ванадиевого производства», составляет алюминий в виде корунда (Al_2O_3) – 83.77% (рисунок 1).



Рисунок 1. Промпродукта ванадиевого производства

Далее в таблицах 2 и 3 представлены химический состав промпродукта ванадиевого производства (таблица 2) и его рентгенофазовый анализ (таблица 3) с рентгенограммой (рисунок 2).

Таблица 2. Химический состав промпродукта ванадиевого производства

Наименование продукта	Содержание элементов, %											
	Na	Al	Si	P	S	K	Ca	V	Fe	Ni	Mo	O ₂
Проба	2.15	44.34	1.45	0.25	0.87	0.01	0.20	0.29	0.24	0.5	0.01	50.19

В таблице 3 представлены результаты рентгенофазового анализа состава промпродукта ванадиевого производства.

Таблица 3. Рентгенофазовый анализ состава промпродукта ванадиевого производства

Название компонента	Формула	Содержание, %
Corundum, syn	Al_2O_3	47.66%
Nickel Aluminum Oxide	$Ni_{0.941}Al_2O_{3.94}$	20.3%
η -(Al_2O_3) _{5.3333} / Aluminum Oxide	$(Al_2O_3)_{5.3333}$	23.1%
Nickel Oxide	NiO	0.84%
Sodium Sulfate	$Na_2(SO_4)$	8.1%

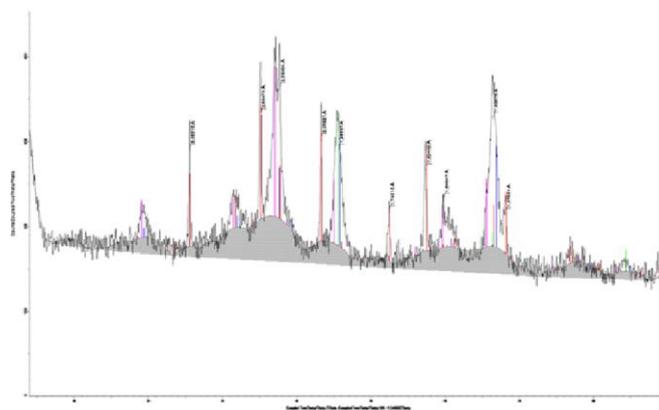


Рисунок 2. Рентгенограмма промпродуктов ванадиевого производства

По результатам рентгенофазового анализа в составе промпродуктов ванадиевого производства входят такие фазовые составляющие, как: корунд Al_2O_3 – 47.66%, сложные соединения оксидов никеля и алюминия $Ni_{0.941}Al_2O_{3.94}$ – 20.3%; оксид алюминия в η – модификации – 23.1%; оксид никеля NiO – 0.84%; сульфат натрия $Na_2(SO_4)$ – 8.1%.

Таким образом, в ходе физико-химических исследований были получены объективные данные о составе промпродукта ванадиевого производства. Эти данные дают представление о материале, который можно использовать в качестве компонента смеси для изготовления строительного жаропрочного материала, применимого в получении различных видов строительных смесей и жаропрочных блоков.

3.2 Исследование жаропрочных строительных смесей на жаростойкость, прочность, а также анализ влагосодержания

Для получения жаропрочных строительных смесей использовались промпродукт ванадиевого производства, жидкое стекло и измельченный шамот, смешанные в пропорциях согласно таблице 1 (рисунок 3).



Рисунок 3. Исходное сырье для получения жаропрочных смесей: 1 – промпродукт ванадиевого производства; 2 – жидкое стекло; 3 – измельченный шамот

Полученные по методике, представленные в в части 2.3, образцы жаропрочных строительных смесей 1-3 были испытаны на жаростойкость в интервале температур 800-1800°C (рисунки 4-6).

На рисунке 4 представлены фотографии нагрева образца - 1 (а) и после (б) проведения теста на жаропрочность, при котором строительные смеси нагревались при 1000°C в течении 15 минут.

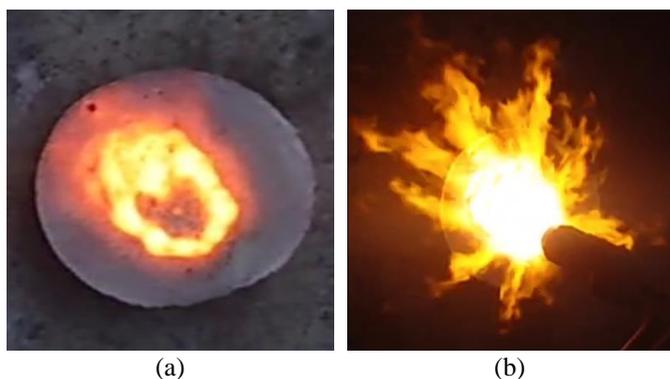


Рисунок 4. Нагрев образца – 1: (а) и после (б) при температуре от 800-1800°C

Далее на рисунке 5 представлено испытание образца 2 на жаропрочность при температуре от 800 до 1800°C в течении 30 минут.

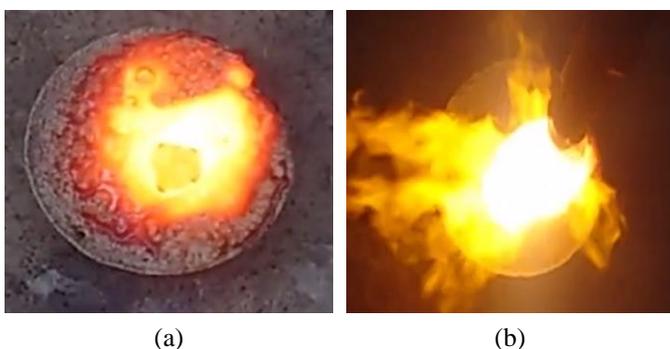


Рисунок 5. Нагрев образца – 2: (а) и после (б) при температуре от 800-1800°C

Для испытания образца 3 на жаропрочность, его также нагревали в интервале температур от 800 до 1800°C в течении 30 минут (рисунок 6).

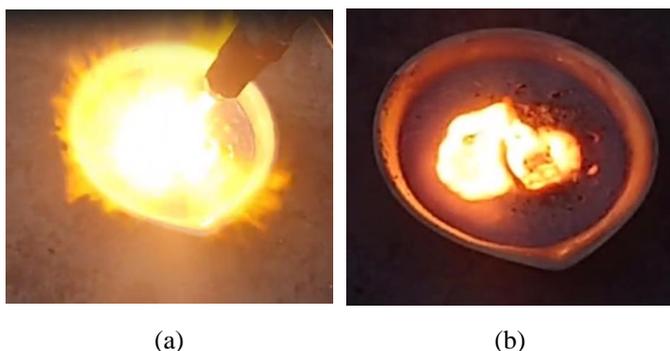


Рисунок 6. Нагрев образца – 3: (а) и после (б) при температуре от 800-1800°C

Исследования, представленные на рисунках 4-6 показали, что образцы 1-3 в течении 30 минут выдерживают термическую обработку в диапазоне температур от 800°C до 1800°C и на поверхности образцов образуется клинкер, который позволяет получить материалы с малым поглощением воды - до 5 % по влаге. Данные образцы также подвергали испытанию на прочность на сжатие, которая составила 32, 38,5 и 45 МПа соответственно для образцов 1,2 и 3.

Для более детального анализа прочностных характеристик и влагосодержания были проведены дополнительные испытания. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты испытаний образцов на прочность при сжатии и влагосодержание

Образец	Прочность при сжатии, МПа	Влагосодержание, %
1	32.0 ± 0.5	4.8 ± 0.2
2	38.5 ± 0.7	4.2 ± 0.1
3	45.0 ± 0.6	3.7 ± 0.1

Как видно из таблицы 4, прочность при сжатии увеличивается с увеличением содержания промпродукта ванадиевого производства в составе смеси. Образец 3, содержащий 40% промпродукта, показал наивысшую прочность при сжатии – 45.0 МПа. Это можно объяснить формированием более плотной структуры материала за счет взаимодействия компонентов смеси при высокотемпературной обработке.

Влагосодержание всех образцов находится в пределах 5%, что соответствует требованиям к жаропрочным строительным материалам. Наименьшее влагосодержание (3.7%) наблюдается у образца 3, что коррелирует с его наивысшей прочностью. Это указывает на формирование более закрытой пористой структуры, препятствующей проникновению влаги.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что увеличение содержания промпродукта ванадиевого производства в составе смеси приводит к улучшению как прочностных характеристик, так и влагостойкости материала. Это может быть связано с образованием при высокотемпературной обработке новых фаз, обладающих высокой прочностью и низкой гигроскопичностью.

4. Выводы

В ходе проведенного исследования по результатам химического анализа определено содержание элементов, а по результатам рентгенофазового анализа в составе промпродуктов ванадиевого производства установлен следующий фазовый состав: корунд Al_2O_3 – 47.66%, сложные соединения оксидов никеля и алюминия $Ni_{0.941}Al_2O_{3.94}$ – 20.3%; оксид алюминия в η – модификации – 23.1%; оксид никеля NiO – 0.84%; сульфат натрия $Na_2(SO_4)$ – 8.1%. Согласно полученным результатам, была предложена возможность использования промпродуктов ванадиевого производства для изготовления строительного жаропрочного материала. Для получения строительного жаропрочного материала были подготовлены образцы различного состава, включающие в себя промпродукты ванадиевого производства, цемент и жидкое стекло, а также наполнитель в виде раздробленного отработанного шамотного кирпича. Полученные образцы подвергались термической обработке в интервале температур 800-1800°C с последующим резким охлаждением водой, а далее тестировались на прочность при сжатии от 32 до 45 МПа, при этом наивысшую прочность (45 МПа) показал образец с максимальным содержанием промпродукта ванадиевого производства (40%).

Анализ влагосодержания выявил, что все образцы имеют низкое водопоглощение - до 5%, что соответствует требованиям к жаропрочным строительным материа-

лам. Наименьшее влагосодержание (3.7%) наблюдалось у образца с наивысшей прочностью, что указывает на формирование оптимальной структуры материала.

Результаты испытаний показали, что разработанные образцы могут быть использованы для изготовления строительного жаропрочного материала, применимого в получении различных видов строительных смесей и жаропрочных блоков.

Финансирование

Данное исследование было профинансировано Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант ПЦФ с ИРН - BR20280990-ОТ-23 КН МНВО РК).

References / Литература

- [1] Dong, Q., Wang, G., Chen, X., Tan, J. & Gu, X. (2021). Recycling of steel slag aggregate in portland cement concrete: An overview. *Journal of Cleaner Production*, (282), 124447. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124447>
- [2] Ilieva, D., Angelova, L., Radoykova, T., Surleva, A., Chernev, G., Vizureanu, P., Burduhos-Nergis, D.D. & Sandu, A.V. (2024). Characterization of Bulgarian Copper Mine Tailing as a Precursor for Obtaining Geopolymers. *Materials*, 17(3), 542. <https://doi.org/10.3390/ma17030542>
- [3] Mirmezami, S., Hassani, A. & Bayat, A. (2023). Evaluation of the effect of metallurgical aggregates (steel and copper slag) on the thermal conductivity and mechanical properties of concrete in jointed plain concrete pavements (JPCP). *Construction and Building Materials*, (367), 129532. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129532>
- [4] Tsaousi, G.-M., Sakkas, K.-M., Panias, D. (2022). Development of advanced materials from industrial waste, with high thermal performance. *Construction and Building Materials*, (315), 125779. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125779>
- [5] Mi, H., Yi, L., Wu, Q., Xia, J. & Zhang, B. (2022). A review of comprehensive utilization of red mud. *Waste Management & Research*, 40(11), 1594-1607. <https://doi.org/10.1177/0734242X221107987>
- [6] Edwin, R.S., Gruyaert, E. & De Belie, N. (2022). Valorization of secondary copper slag as aggregate and cement replacement in ultra-high-performance concrete. *Journal of Building Engineering*, (54), 104567. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104567>
- [7] Yang, S., Zhu, H., Pang, S., Ruan, Z., Lin, S., Ding, Y., Cao, P. & Shen, Z. (2023). Preparation a High-Performance of Ganguer-Based Geopolymer Backfill Material: Recipes Optimization Using the Taguchi Method. *Materials*, (16), 5360. <https://doi.org/10.3390/ma16155360>
- [8] Rêgo, J.H.S., Nepomuceno, A.A., Figueiredo, E.P. & Hasparyk, N.P. (2015). Microstructure of cement pastes with residual rice husk ash of low amorphous silica content. *Construction and Building Materials*, (80), 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.059>
- [9] Huang, Q., Yang, G., Li, C., Guo, M., Wang, T. & Jiang, L. (2023). Use of Alkali-Activated Slag as an Environment-Friendly Agent for High-Performance Stabilized Soil. *Materials*, (16), 4803. <https://doi.org/10.3390/ma16134803>
- [10] Lin, T.H., Siao, H.J., Gau, S.H., Kuo, J.H., Li, M.G. & Sun, C.J. (2023). Life-Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Incineration Fly Ash Recycling as a Feedstock for Brick Manufacturing. *Sustainability*, (15), 10284. <https://doi.org/10.3390/su151310284>
- [11] Shan, Y., Zhuang, Sh., Zhou, Y. (2023). Value-added utilization of ultrafine ferronickel slag as a novel type of high-quality mineral admixture: A feasibility study. *Journal of Building Engineering*, (79), 107925. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107925>
- [12] Siddique, R., Kaur, D. (2012). Properties of concrete containing ground granulated blast furnace slag (GGBFS) at elevated temperatures. *Journal of Advanced Research*, 3(1), 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.03.004>
- [13] Ram, Sh., Ralegaonkar, R.V. (2018). Development of low thermal conductivity walling material using industrial by-product. *Journal of Cleaner Production*, (204), 767-777. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.338>
- [14] Song, Q., Guo, M.-Zh., Wang, L., Ling, T.-Ch. (2021). Use of steel slag as sustainable construction materials: A review of accelerated carbonation treatment. *Resources, Conservation and Recycling*, (173), 105740. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105740>
- [15] Bawab, J., Khatib, J., El-Hassan, H., Assi, L. & Kirgiz, M.S. (2021). Properties of Cement-Based Materials Containing Cathode-Ray Tube (CRT) Glass Waste as Fine Aggregates - A Review. *Sustainability*, 13(20), 11529. <https://doi.org/10.3390/su132011529>
- [16] Liew, Y.-M., Heah, Ch.-Y., Li, L.-y., Jaya, N.A., Al Bakri Abdullah, M.M., Tan, S.J. & Hussin, K. (2017). Formation of one-part-mixing geopolymers and geopolymer ceramics from geopolymer powder. *Construction and Building Materials*, (156), 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.110>
- [17] Xu, X., Song, J., Li, Y., Wu, J., Liu, X. & Zhang, Ch. (2019). The microstructure and properties of ceramic tiles from solid wastes of Bayer red muds. *Construction and Building Materials*, (212), 266-274. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.280>
- [18] Diao, Y., Chen, L. & Huang, Y. (2023). Experimental Study on Mechanical Properties of Concrete Containing Waste Glass and Its Application on Concrete-Filled Steel Tubular Columns. *Processes*, (11), 975. <https://doi.org/10.3390/pr11040975>
- [19] Mas, B., Cladera, A., Bestard, J., Muntaner, D., Elena López, C., Piña, S. & Prades, J. (2012). Concrete with mixed recycled aggregates: Influence of the type of cement. *Construction and Building Materials*, (34), 430-441. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.092>
- [20] Majdoubi, H., Makhlof, R., Haddaji, Y., Nadi, M., Mansouri, S., Semllal, N., Oumam, M., Manoun, B., Alami, J., Hannache, H. & Tamraoui, Y. (2023). Valorization of phosphogypsum waste through acid geopolymer technology: synthesis, characterization, and environmental assessment. *Construction and Building Materials*, (371), 130710. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130710>

Ванадий өндірісінің өнеркәсіптік өнімдерінің құрамын зерттеу және оны ыстыққа төзімді құрылыс қоспаларын алу үшін пайдалану

А.Т. Хабиев^{1,2}, С.Б. Юлусов^{1,2*}, А.К. Тулешов¹, О.С. Байгенженов¹, Е.С. Меркибаев¹, Т.Е. Балтабай¹

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²Ө.А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинотану институты, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: s1981b@mail.ru

Андатпа. Ұсынылған ғылыми мақалада құрылыс материалдарын алу мақсатында, атап айтқанда, олардан ыстыққа төзімді құрылыс қоспаларын жасау үшін Металлургиялық және Химиялық өндірістердің өнеркәсіптік қалдықтарын кешенді қайта өңдеу мен кәдеге жаратудың өзекті мәселесі қарастырылады. Аршылған жыныстардан, байыту қалдықтарынан, шламдар мен шлактардан ыстыққа төзімді құрылыс қоспаларын жасаудың технологиялық процестеріне ерекше назар аударылады. Қалдықтардың аталған түрлерін қайта өңдеудің және олардан ыстыққа төзімді құрылыс қоспаларын өндірудің қазіргі жай-күйіне сыни талдау жүргізіледі. Мақалада қайталама шикізат негізінде экологиялық таза, ыстыққа төзімді құрылыс қоспаларын жасау саласындағы заманауи технологияларға және олардың практикалық мысалдарына шолу берілген. Сонымен қатар, ванадий өндірісінің өнеркәсіптік өнімдерінен ыстыққа төзімді құрылыс қоспаларын алу үшін құрылыс қоспаларының құрамын эзірлеу бойынша эксперименттік зерттеу нәтижелері сипатталған. Ванадий өндірісінің өнеркәсіптік өнімі химиялық және рентген-спектрлік талдау әдістері арқылы зерттелді. Алынған деректер құрылыс қоспаларын және жылуға төзімді блоктарды алу үшін қолданылатын құрылыстық жылуға төзімді материалдарының қоспасы ретінде пайдаланылады. Ыстыққа төзімді құрылыс қоспаларын алу үшін цемент М 400, сұйық шыны және шамот әртүрлі пропорцияларда араластырылып, содан кейін 100 °С температурада 24 сағат бойы кептірілді. Әрі қарай, кептірілген материалдар 1000°С температурада 10 сағат бойы сақталды, олар ыстыққа төзімділікті бағалау үшін 800-1800°С температура аралығында 30 минут бойы қыздырылды, содан кейін сумен күрт салқындатылды. Алынған ыстыққа төзімді құрылыс қоспалары жоғары беріктік сипаттамаларына ие болды (қысу күші 32-ден 45 МПа-ға дейін) және жақсы ыстыққа/ыстыққа төзімді.

Негізгі сөздер: қалдықтарды кәдеге жарату, металлургиялық өндіріс, Химиялық өндіріс, құрылыс материалдары, ыстыққа төзімді құрылыс қоспалары, ванадий өндірісінің өнеркәсіптік өнімдері, қайталама шикізат, қалдықтарды қайта өңдеу, экологиялық қауіпсіздік.

Исследование состава промпродукта ванадиевого производства и использование его для получения жаропрочных строительных смесей

А.Т. Хабиев^{1,2}, С.Б. Юлусов^{1,2*}, А.К. Тулешов¹, О.С. Байгенженов¹, Е.С. Меркибаев¹, Т.Е. Балтабай¹

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: s1981b@mail.ru

Аннотация. В представленной научной статье рассматривается актуальная проблема комплексной переработки и утилизации промышленных отходов металлургического и химического производств с целью получения строительных материалов, в частности для создания из них строительных жаропрочных смесей. Особое внимание уделяется технологическим процессам изготовления строительных жаропрочных смесей из вскрышных пород, хвостов обогащения, шламов и шлаков. Проводится критический анализ современного состояния переработки указанных видов отходов и производства из них строительных жаропрочных смесей. В статье представлен обзор современных технологий и их практических примеров в области создания экологически безопасных строительных жаропрочных смесей на основе вторичного сырья. Кроме того, описаны результаты экспериментального исследования по разработке составов строительных смесей для получения строительных жаропрочных смесей из промпродуктов ванадиевого производства. Промпродукт ванадиевого производства был исследован химическими и рентгеноспектральными методами анализа. Полученные данные дают представление о материале, который можно использовать в качестве компонента смеси для изготовления строительного жаропрочного материала, применимого в получении различных видов строительных смесей и жаропрочных блоков. Для получения жаропрочных строительных смесей цемент М 400, жидкое стекло и шамот были смешаны в различных пропорциях, а далее просушены при температуре 100 °С в течении 24 часов. Далее высушенные материалы выдерживали при 1000°С в течении 10 часов, которые для оценки жаростойкости нагревались

в интервале температур 800-1800°C в течении 30 минут с последующим резким охлаждением водой. Полученные строительные жаропрочные смеси обладали высокими прочностными характеристиками (прочность на сжатие от 32 до 45 МПа) и хорошей термостойкостью/жаростойкостью.

Ключевые слова: утилизация отходов, металлургическое производство, химическое производство, строительные материалы, строительные жаропрочные смеси, промпродукты ванадиевого производства, вторичное сырье, переработка отходов, экологическая безопасность.

Received: 03 May 2024

Accepted: 16 December 2024

Available online: 31 December 2024