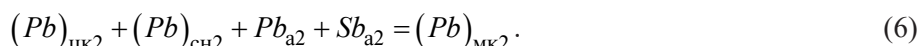


Затем образуются центры кристаллизации $(Pb)_{\text{ц}k2}$:

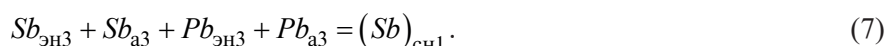


Заканчивается процесс кристаллизации $(Pb)_{\text{м}k2}$ по реакции:



Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в условиях промышленной плавки СССР, $(Sb)_{\text{м}k1}$ распадаются на элементарные нанокристаллы сурьмы $(Sb_{\text{э}n3})$ и свинца $(Pb_{\text{э}n3})$, свободные атомы сурьмы (Sb_{a3}) и свинца (Pb_{a3}) [2].

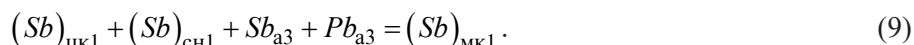
Согласно теории наноструктурной кристаллизации металлических расплавов, процесс кристаллизации $(Sb)_{\text{м}k1}$ происходит следующим образом [3, 4]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы $(Sb)_{\text{ч}n1}$ по следующей реакции:



Затем образуются центры кристаллизации $(Sb)_{\text{ц}k1}$:

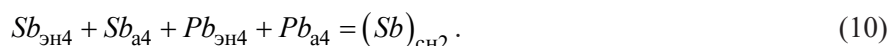


Заканчивается процесс кристаллизации $(Sb)_{\text{м}k1}$ по реакции:



Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в условиях промышленной плавки СССР, $(Sb)_{\text{м}k2}$ распадаются на элементарные нанокристаллы сурьмы $(Sb_{\text{э}n4})$ и свинца $(Pb_{\text{э}n4})$, свободные атомы сурьмы (Sb_{a4}) и свинца (Pb_{a4}) [2].

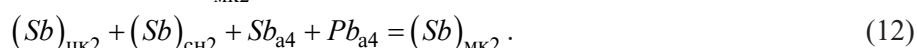
Согласно теории наноструктурной кристаллизации металлических расплавов, процесс кристаллизации $(Sb)_{\text{м}k2}$ происходит следующим образом [3, 4]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы $(Sb)_{\text{ч}n2}$ по следующей реакции:



Затем образуются центры кристаллизации $(Sb)_{\text{ц}k2}$:



Заканчивается процесс кристаллизации $(Sb)_{\text{м}k2}$ по реакции:



ЛИТЕРАТУРА

1. Производство отливок из сплавов цветных металлов: учебник / А. В. Курдюмов, В. Д. Белов, М. В. Пикунов [и др.]. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2011. – 615 с.
2. **Марукович, Е. И.** Наноструктурная теория металлических расплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // Литье и металлургия. – 2020. – № 3. – С. 7–9.
3. **Марукович, Е. И.** О теории кристаллизации металлических расплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко, А. В. Стеценко // Литейное производство. – 2025. – № 6. – С. 6–11.
4. Кристаллизация металлов и сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стецко, К. В. Никитин [и др.]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2025. – 192 с.

REFERENCES

1. **Kurdyumov A. V., Belov V. D., Pikunov M. V. et al.** *Proizvodstvo otlivok iz splavov cvetnykh metallov: uchebnik* [Production of castings from non-ferrous metal alloys: Textbook]. Moscow, Izd. Dom MISiS Publ., 2011, 615 p.
2. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu.** Nanostrukturnaya teoriya metallicheskih rasplavov [Nanostructural theory of metallic melts]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 3, pp. 7–9.
3. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu., Stetsenko A. V.** O teorii kristallizacii metallicheskih rasplavov [On the theory of crystallization of metal melts]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry. Technologies and Equipment*, 2025, no. 6, pp. 6–11.
4. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu., Nikitin K. V., Stetsenko A. V.** *Kristallizaciya metallov i splavov* [Crystallization of metals and alloys]. Samara: Samar. State Technical Un-ty Publ., 2025, 192 p.



УДК 669:621.74

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ ВАУШСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН В МЕТАЛЛУРГИИ

Б. Т. САБИРОВ, Джизакский политехнический институт Республики Узбекистан, г. Джизак, пр. Ислама Каримова, 6А. E-mail: sabirovbahtiyor1970@gmail.com

Т. А. МАДАТОВ, Навоийское отделение АН Республики Узбекистан, г. Навои, Узбекистан, ул. Галаба, 170

PROSPECTS FOR THE PROCESSING AND APPLICATION OF BENTONITE CLAY FROM THE VAUSH DEPOSIT IN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN IN METALLURGY

B. T. SABIROV, Jizzakh Polytechnic Institute of the Republic of Uzbekistan, Jizzakh, 6A, Islam Karimov Ave. E-mail: sabirovbahtiyor1970@gmail.com

T. A. MADATOV, Navoi Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Navoi, Uzbekistan, 170, Galaba Str.

В металлургии при изготовлении формовочных смесей на литейных участках предприятий традиционно используются кварцевые пески, другие инертные жаропрочные компоненты и пластичные связующие. В качестве связующих частиц кварцевого песка широко применяются бентонитовые глинопорошки [1]. Кварцевый песок, являясь основным компонентом при изготовлении литейных форм, образует ее структурный каркас, а бентонит связывает (удерживает) частицы кварцевого песка между собой и обеспечивает форме требуемую степень механической прочности. При этом следует подчеркнуть особенность бентонита, которая заключается в восстановлении своих основных свойств после дополнительного увлажнения, что позволяет многократно применять формовочную смесь после заливки форм металлом и выбивки полученных отливок. Данное преимущество бентонита дает возможность существенно сократить материальные затраты, образование техногенных отходов и их утилизацию.

Бентонит применяется как связующая добавка при подготовке сырья к металлургическому переделу – окискованию руд (концентратов), а также для брикетирования полиметаллических руд и отходов горно-металлургических производств. Наибольшее распространение бентонит получил для окомкования железорудных концентратов при изготовлении окатышей для доменного процесса и металлзации. Расход бентонита на изготовление 1 т отливок из чугуна в настоящее время составляет 60–90 кг, а из стали – 90–120 кг. В общем объеме выпуска литья промышленно развитых стран 65–70% стальных и чугунных отливок мелкого и среднего развеса производится в формах из песчано-глинистых смесей [2].

В настоящее время основным регулирующим нормативно-техническим документом для применения бентонита в литейном производстве является ГОСТ 28177-89 «Глинопорошки бентонитовые для формовочных смесей», где основными показателями являются три свойства песчано-бентонитовой смеси, состоящей из 95% кварцевого песка определенного гранулометрического состава и 5% порошкообразного бентопорошка, а именно: предел прочности при сжатии в сыром состоянии; предел прочности при разрыве в зоне конденсации влаги и термическая устойчивость. На основании ГОСТ 28177 бентонит в виде глинопорошков различной марки применяется в качестве связующего компонента при составлении формовочных смесей, изготовлении литейных форм, в том числе и на современных механизированных и автоматических технологических конвейерных линиях для получения отливок из черных и цветных сплавов. Высокие связующие и противопопригарные свойства, обеспечение качественного распределения компонентов в формовочной смеси, легкость и простота процесса выбивки отливок из форм, исключение самовозгорания углеродосодержащих противопопригарных добавок, прочность для изготовления

бездефектных и качественных отливок и другие показатели являются преимущественными факторами в пользу выбора бентонита в литейном производстве.

Совместное использование каолиновых и бентонитовых формовочных глин, сочетание их свойств может служить инструментом для наиболее рационального использования ресурсов в процессах формообразования. В Республике Беларусь имеется ряд разрабатываемых месторождений каолина, но нет ни одного месторождения, из которого в промышленных масштабах добывался бы бентонит. При этом насыщение литейного производства страны автоматическими формовочными комплексами велико, как и потребление бентонита [3].

Геологами на территории Узбекистана установлены почти 200 месторождений и проявлений бентонитовых и бентонитоподобных глин, общий объем запасов которых превышает 2 млрд т. В настоящее время осуществляются добыча и переработка бентонитового глинистого сырья из более десятков месторождений в Ферганской, Самаркандской, Навоийской, Кашкадарьинской, Сурхандарьинской областях, а также в Республике Каракалпакстан. В промышленных масштабах разрабатываются месторождения Каттакурганское, Азкамарское, Навбахорское, Шорсуйское, Джаркурганское и др. [4]. Среди них особо выделяется Ваушское месторождение, расположенное в Навоийской области Узбекистана (рис. 1). Однако результаты предварительных исследований показывают, что природные свойства бентонита Ваушского месторождения не полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к литейным глинам: наблюдается недостаточная степень набухания, низкое содержание монтмориллонита, а также повышенная примесь карбонатов и кварца.

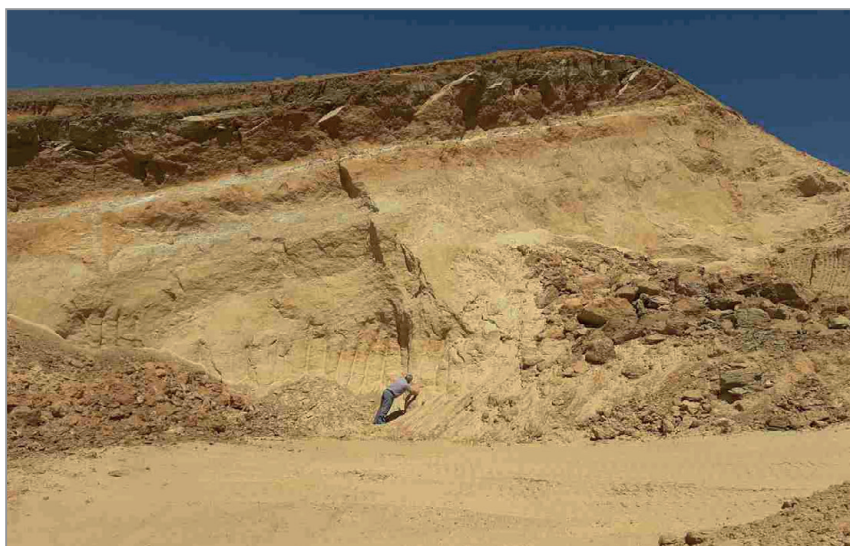


Рис. 1. Ваушское месторождение бентонитовых глин

Для приведения свойств данного бентонита в соответствии с литейными стандартами требуется его активация – процесс модификации глины с целью улучшения ее технологических показателей. В мировой практике применяются различные методы активации: физические (механическая обработка, сушка, измельчение), химические (обработка растворами соды, солей, кислот), термические (прокаливание, нагрев до определенных температур), а также комбинированные методы, сочетающие несколько подходов.

Выбор метода активации зависит от исходного состава глины, поставленных задач, доступных технических средств и экономической целесообразности. Наиболее распространенным и эффективным методом считается натрий-активация (или сода-активация), при которой ионы кальция в структуре монтмориллонита замещаются ионами натрия, что приводит к резкому увеличению степени набухания и улучшению других характеристик.

В Узбекистане исследования по активации местного бентонита (в том числе Ваушского месторождения) проводили в основном в рамках технологических разработок предприятий, однако систематических научных исследований с целью оптимизации технологических параметров активации для литейных смесей немного.

Несмотря на наличие отдельных работ, комплексный научно-технологический подход к активации именно Ваушского бентонита с учетом его минерального состава, специфики применения в литейных смесях и требований к литейному производству до сих пор недостаточно разработан. Поэтому данный

проект восполняет существующий научно-практический пробел и предлагает новые решения в сфере применения природных ресурсов Республики Узбекистан.

В табл. 1 приведен химический состав бентонитовой глины Ваушского месторождения.

Т а б л и ц а 1. Химический состав Ваушского бентонита, мас. %

Наименование	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	ППП, %
Бентонитовая глина	55,4	0,35	13,7	5,10	1,84	0,68	1,93	1,75	0,53	0,75	16,71

На рис. 2 показана технологическая схема механохимической активации бентонитовой глины Ваушского месторождения.

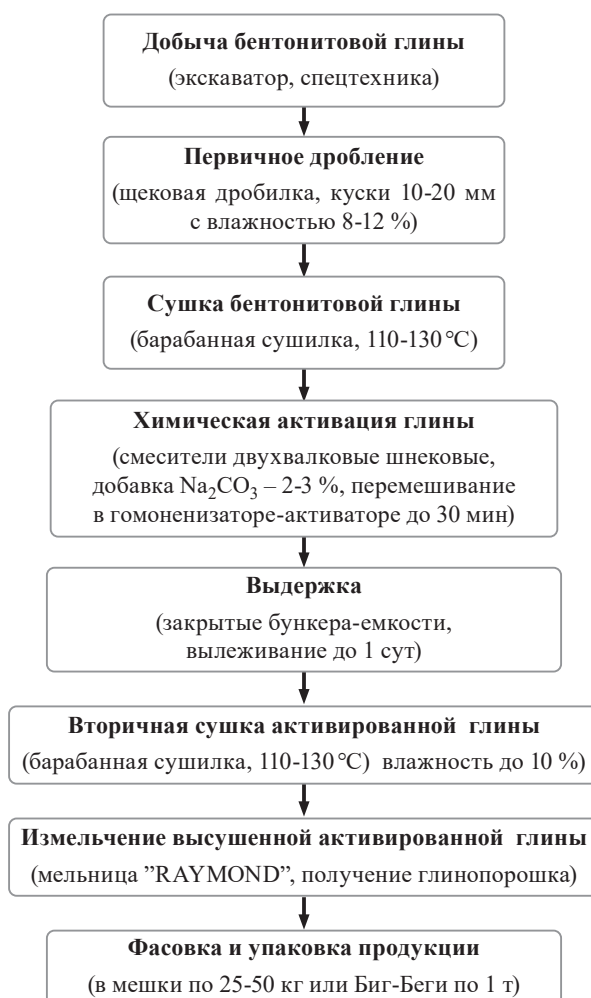


Рис. 2. Технологическая схема механохимической активации бентонитовой глины Ваушского месторождения

Выводы

Ваушское месторождение бентонитовых глин обладает уникальными геологическими и физико-химическими особенностями, что требует разработки специфического технологического регламента для его переработки в механоактивированные глинопорошки. Этот процесс включает несколько ключевых этапов, начиная с добычи сырого бентонита и заканчивая упаковкой готового продукта. В условиях, когда запасы качественных натриевых бентонитов во всем мире весьма ограничены, а спрос на бентонитовое сырье с каждым годом возрастает, для практического применения бентонита данного месторождения необходимы механохимическая активация исходного сырья для их применения в металлургической отрасли, выявление технологических особенностей их применения в современных условиях автоматизированного и конвейерного металлургического производства, где предъявляются жесткие требования по качественным характеристикам бентонитовых глинопорошков.