



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-1-54-57>
УДК 667.67.08

Поступила 16.01.2025
Received 16.01.2025

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАРГАНЦА ИЗ ОТХОДОВ

С. Т. ПАРМОНОВ, Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета им. И. Каримова, г. Алмалык, Узбекистан

Б. М. НЕМЕНЕНОК, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: nemenenok@bntu.by

Д. М. МИРЗАВАЛИЕВ, Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета им. И. Каримова, г. Алмалык, Узбекистан

Изучены оптимальные условия извлечения марганца из марганецсодержащего шлака методом сернокислотного выщелачивания. Исследования показали, что добавление железного порошка и сульфата железа в реакционную смесь позволяет повысить степень извлечения марганца с 45 до 52%, что делает процесс более эффективным. Проанализировано влияние температуры, концентрации серной кислоты и других факторов на процесс плавления. Предложенные способы переработки металлургических отходов позволяют снизить нагрузку на окружающую среду и повысить экономическую ценность шлаков за счет извлечения марганца. Результаты исследования могут быть использованы в металлургической промышленности и производстве удобрений. Это особенно актуально для регионов с ограниченными запасами марганцевой руды, таких, как Узбекистан.

Ключевые слова. Шлак, отходы, металлургия, капролактан, серная кислота, экстракционная фосфорная кислота, сульфит натрия, щавелевая кислота, марганец.

Для цитирования. Пармонов, С. Т. Разработка технологии получения марганца из отходов / С. Т. Пармонов, Б. М. Неменинок, Д. М. Мирзавалиев // *Литье и металлургия*. 2025. № 1. С. 54–57. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-1-54-57>.

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR OBTAINING MANGANESE FROM WASTE

S. T. PARMONOV, Almalyk branch of Tashkent State Technical University named after I. Karimov, Almalyk city, Uzbekistan

B. M. NEMENENOK, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: nemenenok@bntu.by

D. M. MIRZAVALIYEV, Almalyk branch of Tashkent State Technical University named after I. Karimov, Almalyk city, Uzbekistan.

In this work, the optimal conditions for the extraction of manganese from manganese-containing slags by sulfuric acid leaching were studied. Studies have shown that adding iron powder and iron sulfate to the reaction mixture increases manganese extraction from 45% to 52%, making the process more efficient. The influence of temperature, sulfuric acid concentration, and other factors on the melting process was analyzed. The proposed methods for processing metallurgical waste can serve to reduce the environmental load and increase the economic value of slags due to the extraction of manganese. The results of the research can be used in the metallurgical industry and fertilizer production. This is especially true for regions with limited manganese ore reserves, such as Uzbekistan.

Keywords. Slag waste, metallurgy, caprolactam, sulfuric acid, extraction phosphoric acid, sodium sulfite, oxalic acid, manganese.

For citation. Parmonov S. T., Nemenenok B. M., Mirzavaliyev D. M. Development of a technology for obtaining manganese from waste. *Foundry production and metallurgy*, 2025, no. 1, pp. 54–57. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-1-54-57>.

Введение

В горно-металлургической промышленности более 50% добываемых полезных ископаемых теряется в виде отходов производства. Это ухудшает производственно-экономические показатели и приводит к значительному загрязнению окружающей среды. Особенно сложной задачей является утилизация пыли, шлама и шлаков, образующихся при переработке марганцевой руды [1].

Изучение процессов изменения и переноса марганца под воздействием микроорганизмов направлено на создание эффективной технологии выщелачивания марганца из бедных руд и отходов металлургической промышленности (пыли, шлама, шлака и др.) Тем не менее, проблема переработки сложносоставных марганцевых промышленных отходов до сих пор не решена.

Объектом исследования являются марганецсодержащие производственные отходы, представляющие собой мелкодисперсную пылевидную массу, выделяющуюся при сухой очистке газов, выходящих из рабочего пространства электропечи.

Сталеплавильные шлаки, также известные как LD-, LSD- или SWS-шлаки, могут содержать значительное количество железа из-за особенностей технологии. В шлаке железо присутствует частично в металлической форме, но преимущественно в виде оксидов, которые тесно связаны со шлаковой матрицей. Механическое извлечение железа из шлака невозможно, так как оксиды прочно связаны с матрицей и требуют термохимического восстановления для перевода его в металлическую форму. Шлаковая матрица состоит в основном из оксида кальция, диоксида кремния и оксида алюминия. Кроме того, шлак может содержать марганец, который также присутствует в виде оксидов. В отличие от других шлаков, таких, как доменный шлак, сталеплавильные шлаки не обладают гидравлически активными фазами, содержат значительное количество оксидов железа и поэтому они не пригодны для переработки в цемент. Их используют в большинстве случаев исключительно в виде щебня для дорожного строительства.

Накопление промышленных отходов на предприятиях, где осуществляется сталелитейный процесс, создает опасность загрязнения окружающей среды не только токсичными для флоры и фауны элементами, но и полезными для растений. Продукты переработки таких отходов в небольших количествах могут помочь, например, в производстве соединений, добавляемых при выплавке стали, в производстве импортируемых соединений марганца и, кроме того, в сохранении природы и увеличении импортозамещающих продуктов.

Определение полезных компонентов, вредных примесей и шлакообразующих веществ обычно проводится по групповым образцам, что позволяет установить закономерности их содержания в рудных телах. Марганцевые руды, добываемые на месторождениях Узбекистана, бедны, и их промышленное использование зависит от возможностей обогащения [1].

Сернокислотное выщелачивание является основным процессом многих гидрометаллургических схем для переработки марганцевого сырья. В качестве восстановителей применяют соединения железа и металлическое железо. Для извлечения марганца из растворов, содержащих марганец, в виде осадка используются гидроксидные соединения различных металлов. К факторам, влияющим на выщелачивание, относятся температура, продолжительность процесса, состав исходного шлака и концентрация серной кислоты [2].

Разработаны различные способы выщелачивания марганца, в том числе использование таких реагентов, как серная кислота и сульфит натрия, сернистый ангидрид, ионы металлического железа и сульфида. Один из способов извлечения марганца – обжиг его соединения с гидросульфатом натрия с последующим выщелачиванием водой.

В технической литературе имеется информация о способе получения солей марганца из карбонатных руд с последующим электролизом. В отличие от водорастворимых солей марганца промышленные отходы содержат его в нерастворимой форме.

В Республике Узбекистан отсутствуют предприятия по производству первичного черного металла, а сталь производится только путем переплава стального лома в электропечах. В этом процессе для приведения стали в состояние, соответствующее требованиям ГОСТ, используется большое количество соединений марганца (ферромарганца, марганецсодержащих флюсов). Поэтому часть марганца попадает в состав шлаков из-за активного взаимодействия его с кислородом. Средний состав шлаков, образующихся в процессе выплавки стали, приведен ниже.

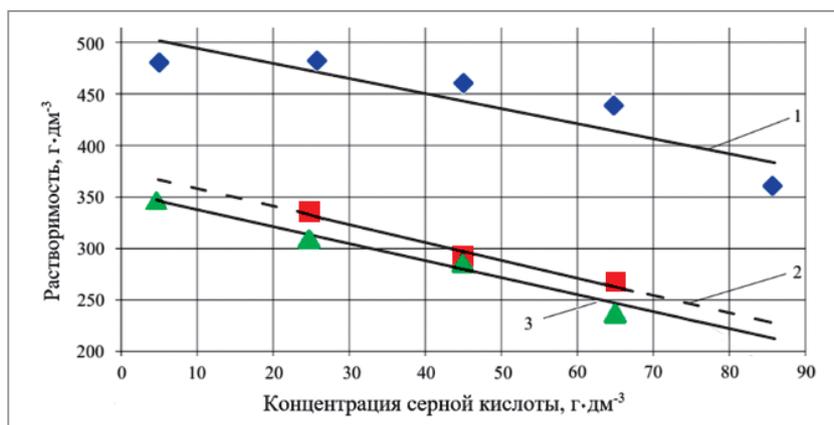
Вещество	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃
Содержание, %	26,07	4,847	30,26	1,288	5,493	20,64	13,70

Как видно, основную часть состава образующегося шлака составляют соединения кремния, марганца и магния. Если учесть, что добываемые марганцевые руды имеют различный состав, но содержат в среднем около 48–52% марганца (Mn) и к основным минералам, содержащим марганец, относятся пиролюзит (MnO₂), псиломелан (MnO·FeO) и гаусманит (Mn₃O₄), то извлечение марганца из шлака, как

и восстановление его из руды, также экономически выгодно. Следует учитывать, что шлаки после прохождения определенной стадии измельчения становятся готовыми к переработке.

Исходя из приведенных выше данных, были выполнены экспериментальные работы по извлечению марганца из состава сталеплавильных шлаков. Принимая во внимание перечисленные факторы и влияние процесса переработки на окружающую среду, для переработки сталеплавильных шлаков считается оптимальным использование гидрометаллургического метода.

При извлечении металлического марганца из шлаков первоочередной задачей было определение условий растворимости соединений марганца. Учитывая, что в качестве растворителя в процессе выщелачивания марганецсодержащих шлаков используются водные растворы серной кислоты, были проведены эксперименты по изучению растворимости соединения марганца с серной кислотой, т.е. растворимости сульфата марганца. В этом процессе за основу были взяты факторы, влияющие на растворимость – температура и pH раствора. Результаты исследований по влиянию концентрации серной кислоты и температуры на растворимость сульфата марганца приведены на рисунке.



Зависимость растворимости сульфата марганца от концентрации серной кислоты при различных температурах: 1 – 25 °C; 2 – 60 °C; 3 – 95 °C

Из рисунка видно, что наибольшая растворимость сульфата марганца 484–500 г·дм⁻³ наблюдается при температуре 25 °C и концентрациях серной кислоты 5 г·дм⁻³. При повышении концентрации серной кислоты до 85 г·дм⁻³ и достижении температуры 95 °C растворимость сульфата марганца значительно снижается. Причиной этого является выделение ионов серной кислоты в растворе, что препятствует растворению сульфата марганца. При этом установлено, что при низких температурах и низких концентрациях серной кислоты можно извлекать марганец из шлака. Анализ подтвердил правильность этих результатов.

Начальные опыты проводили в концентрированной серной кислоте при температуре 25 °C. 98%-ный раствор концентрированной серной кислоты смешивали с 200 и 100 мл дистиллированной воды и добавляли 100 г шлака в однолитровую лабораторную емкость. Серная кислота, смешанная с водой, обладает свойством повышать температуру раствора. Из-за ускоренного повышения температуры серную кислоту смешивали с образцом без ожидания его охлаждения. С помощью механической мешалки процесс продолжали 6 ч без остановки. Через 6 ч раствор оставляли на отстаивание. После 2 ч отстаивания смесь стала густой.

Для отделения раствора от смеси его подвергали фильтрации. Из-за повышения вязкости раствора в процессе фильтрации он становился непригодным к фильтрации и не позволял получить чистый фильтрат. Поэтому для разжижения смеси добавляли дистиллированную воду. После этого раствор пропускали через фильтр для получения чистого раствора и шлама. С целью определения состава полученного шлама его высушивали и анализировали при 100 °C. Состав шлама после обработки серной кислотой приведен ниже.

Вещество	SiO ₂	SO ₃	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃
Содержание, %	11,66	63,80	2,506	11,91	2,826

Как видно, в шламе, полученном при обработке концентрированной серной кислотой, сохраняется основная часть марганца. Большая часть железа перешла в состав раствора. Это означает, что использование концентрированной серной кислоты при извлечении марганца из шлама не способствует повышению эффективности процесса.

Таким образом, проведенные исследования позволили определить оптимальные условия извлечения марганца из марганецсодержащего шлака методом сернокислотного выщелачивания, что дает возможность эффективно использовать данные технологии при переработке металлургических отходов. Эти методы помогают снизить воздействие шлаков сталеплавильного производства на окружающую среду, а также повышают экономическую ценность отходов за счет извлечения марганца для дальнейшего его использования в различных процессах. В условиях ограниченности месторождений марганца, особенно на территории Узбекистана, внедрение эффективных методов переработки марганецсодержащих отходов имеет стратегическое значение для снижения зависимости от импорта и повышения ресурсной эффективности металлургического производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Иванов, А. А.** Технологии переработки марганцевых руд и шлаков / А. А. Иванов // *Металлургия и обогащение полезных ископаемых*. – 2020. – Т. 5. – № 2. – С. 35–42.
2. **Петров, В. В.** Выщелачивание марганца из шлаков с использованием серной кислоты / В. В. Петров, М. И. Сидоров // *Химия и технология редких металлов*. – 2019. – № 3. – С. 78–84.

REFERENCES

1. **Ivanov A. A.** *Tekhnologii pererabotki margantsevykh rud i shlakov* [Technologies for processing manganese ores and slags]. *Metallurgiya i obogashenie poleznykh iskopaemykh = Metallurgy and mineral processing*, 2020, vol. 5, no. 2, pp. 35–42.
2. **Petrov V. V., Sidorov M. I.** *Vyshchelachivanie margantsa iz shlakov s ispolzovaniem sernoy kisloty* [Leaching manganese from slag using sulfuric acid]. *Khimiya i tekhnologiya redkikh metallov = Chemistry and technology of rare metals*, 2019, no. 3, pp. 78–84.