

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 669.181

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХСТАДИЙНОГО СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ПЫЛЕЙ И ШЛАМОВ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Бигеев В.А., Черняев А.А., Пантелеев А.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. Борьба с экологическим загрязнением и стремление к бережному использованию ресурсов определяют актуальность проблемы переработки железосодержащих шламов. Целью исследований, описанных в данной статье, являлась оценка перспективности использования комбинированной двухстадийной технологии переработки мелкодисперсных цинксодержащих металлургических отходов. На основе анализа основных существующих процессов переработки цинксодержащих пылей и шламов предложен новый комбинированный двухстадийный способ, преимущества которого доказываются результатами лабораторных экспериментов и расчетов, произведенных с помощью разработанных математических моделей. С помощью физического моделирования была доказана возможность применения процессов твердофазного восстановления для переработки цинксодержащих металлургических отходов. При этом удалось получить металлизированный продукт со степенью металлизации до 100% и цинковый концентрат, который может быть использован в качестве сырья для предприятий цветной металлургии. С помощью математических моделей было показано, что применение предварительной твердофазной металлизации позволяет существенно снизить расход угля на жидкофазное восстановление, которое происходит на второй стадии комбинированной технологии. В результате использования двухстадийной технологии получается чугун с более низким содержанием серы и фосфора. Кроме того, образуется меньшее количество газа, что снижает экологическую нагрузку.

Ключевые слова: шламы, пыль ЭСПЦ, моделирование, твердофазное восстановление, жидкофазное восстановление, металлизированный продукт, чугун.

Введение

Актуальность проблемы переработки доменных и сталеплавильных шламов и пылей обусловлена экологическими и экономическими причинами: под шламохранилища занимают большие земельные площади, происходит выветривание почв и загрязнение грунтовых вод; не используются железо и цинк, содержащиеся в шламах; за размещение шламов в шламохранилища выплачиваются большие штрафы [1]. При этом мелкодисперсные отходы металлургического производства можно рассматривать, как заменители железной руды – содержание железа в некоторых видах шламов превышает 50%. А наличие в шламах цинка (в некоторых – более 20%) [4] делает возможным получать в процессе переработки цинковые концентраты, которые могут быть проданы в качестве сырья для предприятий цветной металлургии.

Существует несколько способов переработки цинксодержащих шламов и пылей, но все они имеют недостатки, затрудняющие их активное

внедрение на российских металлургических предприятиях. Так, к недостаткам гидromеталлургических способов [2, 3] можно отнести высокие эксплуатационные расходы, вызванные дефицитом кислот и щелочей, а также вредность и тяжелые условия труда. С помощью механического и гравитационного обесцинкования невозможно перерабатывать сталеплавильные шламы, кроме того, гравитационные методы уступают пирометаллургическим по технологическим показателям. Существенными недостатками процессов твердофазного восстановления являются: невозможность удаления фосфора, мышьяка, меди, ограниченные возможности по удалению серы, небольшая производительность, большие капитальные затраты, необходимость принятия дополнительных мер по предотвращению вторичного окисления губчатого железа [4 – 6]. При использовании жидкофазного восстановления возникает проблема улавливания цинка из-за большого объема отходящих газов, которые к тому же обладают высокой тепловой и химической энер-

гией, не используемой в процессе [4 – 6].

Особый интерес могут представлять технологии переработки шламов, основанные на совместном использовании процессов твердофазного и жидкофазного восстановления, т.к. это позволяет сочетать в себе преимущества твердофазных и одностадийных жидкофазных методов [7 – 9]. На первой стадии происходит твердофазное восстановление железа с удалением и последующем улавливанием цинка. На следующей стадии разогретый и частично металлизированный продукт подвергается жидкофазному восстановлению, причем тепло образующихся газов может быть использовано на первой стадии (рис. 1).

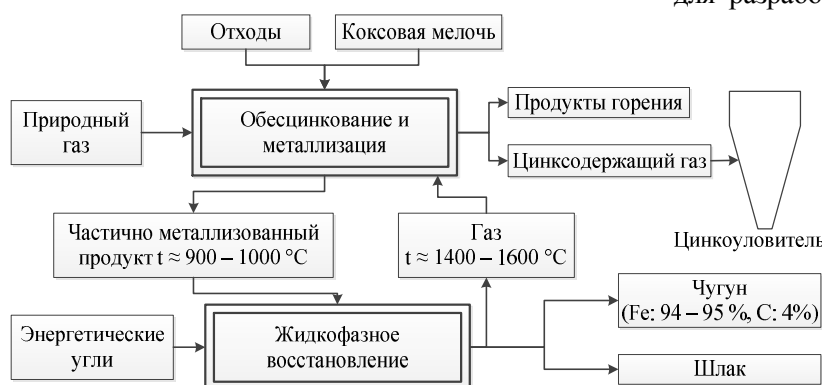


Рис. 1. Схема технологии переработки металлургических отходов

Главным недостатком такого способа переработки шламов является сложность и размеры подобных комплексов, а также более высокие капитальные затраты на их строительство.

Лабораторные эксперименты.

В лаборатории кафедры металлургии черных металлов МГТУ им Г.И. Носова были проведены эксперименты по низкотемпературному бескоксовому восстановлению пыли ЭСПЦ для исследования возможности применения двухстадийного процесса переработки шламов. Суть этих экспериментов сводилась к следующему: используя возможности печи Таммана, смоделировать процесс низкотемпературной металлизации шламов с параллельным удалением из сырья цинка. В графитовые тигли загружалось примерно 300 г шламов, затем тигли помещались в рабочее пространство печи, нагревались до температуры 800–1200 °C и выдерживались при заданной температуре от 1 до 3 ч. Химический состав исходных продуктов: FeO – 0,8–2,5%; Fe₂O₃ – 50–68%; SiO₂ – 3–5%; Al₂O₃ – 0,3–1,5%; CaO – 4–7%; MgO – 0,91–3%; P – 0,022%; MnO – 1,3–2,75%; S – 0,4–0,8%; TiO₂ – 0,27%; Zn – 9–25%; C – 1–2%; Cr – 0,07%.

В результате экспериментов были получены следующие результаты:

- степень металлизации составила 78–100%;
- зафиксировано снижение содержания цинка с 14,8% до 1,21% для шламов ДСП и с 0,9 до 0,25% для доменных шламов;
- получены цинковые концентраты с содержанием ZnO – 42,6–58%, что является приемлемым сырьем для цинковой промышленности;
- шламы перед металлизацией необходимо укусовать.

Математическое моделирование

Данные экспериментов были использованы для разработки математических моделей твердофазного и жидкофазного восстановления шламов [10, 11]. В качестве исходных данных для модели твердофазного восстановления выступают: химический состав и количество шламов, химический состав коксовой пыли, параметры процесса восстановления, параметры трубчатой печи и т.д. Эти данные используются для расчета металлизированного продукта и образующихся газов; тепловых затрат, а также количества природного газа для их покрытия. В результате моделирования получают материальный и тепловой балансы. С помощью полученной модели было произведено несколько расчетов – в качестве исходных данных рассматривалось три вида окатышей, сделанных из пыли ЭСПЦ (варианты 1 и 2) и шламов конвертерного производства ОАО «ММК» (вариант 3). Химический состав шламовых окатышей указан в таблице 1.

Таблица 1

Варианты химического состава шламовых окатышей, %

Компонент	Содержание в окатышах		
	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
FeO	1,731	1,609	29,99
Fe ₂ O ₃	49,648	53,185	37,29
SiO ₂	3,797	3,53	5,7
Al ₂ O ₃	0,561	0,522	1,13
CaO	5,611	5,217	7,09
MgO	1,215	1,13	2,06
MnO	2,544	2,365	0,39
ZnO	14,468	13,452	1,04
C	14,964	13,913	11,012
S	0,678	0,63	0,18
P ₂ O ₅	0,106	0,099	0,088
H ₂ O	4,677	4,348	4,03
Итого	100	100	100

Результаты моделирования указаны на **рис. 2** и **3**.

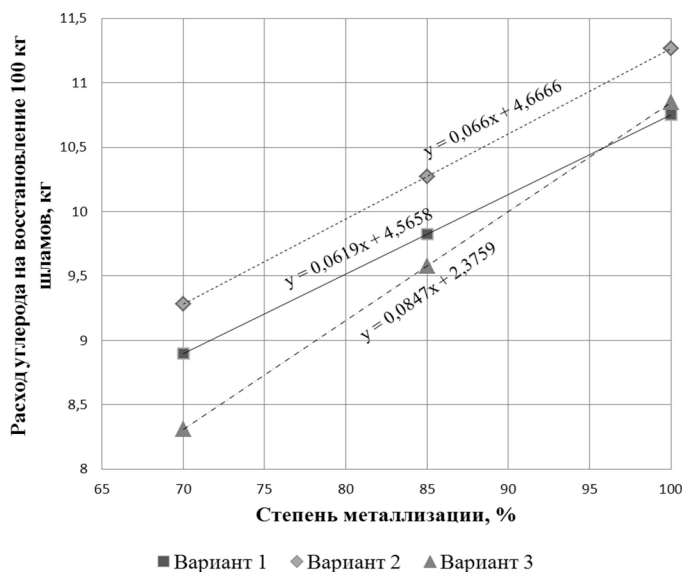


Рис. 2. Зависимость расхода углерода на восстановление шламов от требуемой степени металлизации

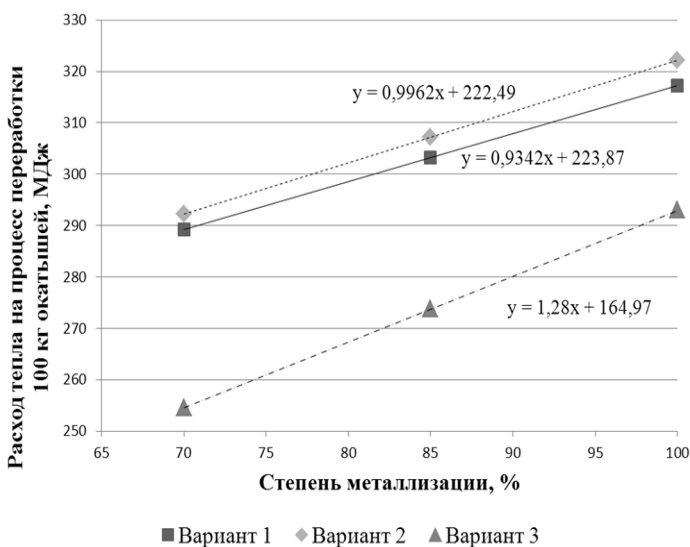


Рис. 3. Зависимость расхода тепла от требуемой степени металлизации

Для оценки технико-экономических параметров процесса жидкофазного восстановления была разработана новая математическая модель этого процесса. Блок-схема модели приведена на **рис. 4**.

Из приведенных зависимостей видно, что результаты моделирования сильно отличаются для шламовых окатышей различного химического состава. Это значит, невозможно вывести простую универсальную модель, которая бы позволила рас-

считать с необходимой точностью основные технико-экономические параметры процесса твердофазного восстановления шламов, состав которых варьируется в широких пределах.

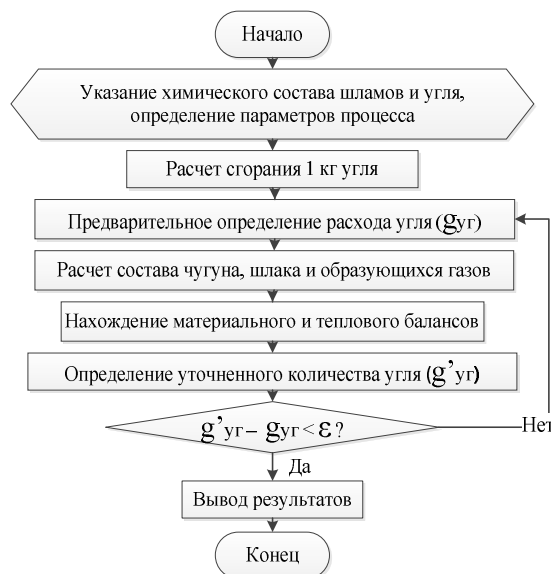


Рис. 4. Блок-схема модели процесса жидкофазного восстановления шламов

С помощью разработанной модели были произведены расчеты, целью которых была проверка влияния предварительной твердофазной металлизации на технико-экономические параметры процесса жидкофазного восстановления. В качестве исходных данных были взяты химический состав шламов ЭСПЦ ОАО «ММК». Всего было сделано 5 вариантов расчета, отличающихся степенью предварительно твердофазной металлизации (**табл. 2**). Расчеты велись на 100 кг исходного шлама.

Таблица 2

Степень предварительной металлизации для вариантов расчета, %

Номер варианта	Степень предварительной металлизации
1	0
2	50
3	60
4	70
5	80

На **рис. 5** показано изменение содержания серы и фосфора в чугуне при различных вариантах расчета.

На **рис. 6** показано изменение количества угля, выходов чугуна и шлака при различных вариантах расчета.

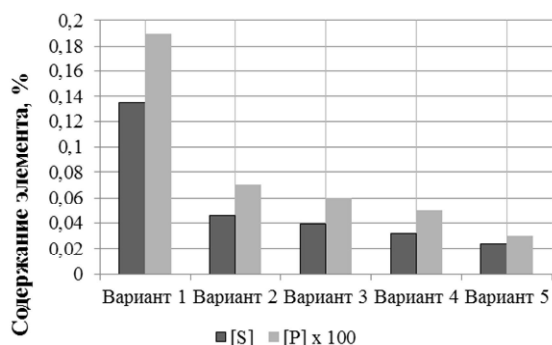


Рис. 5. Содержание серы и фосфора в чугуна

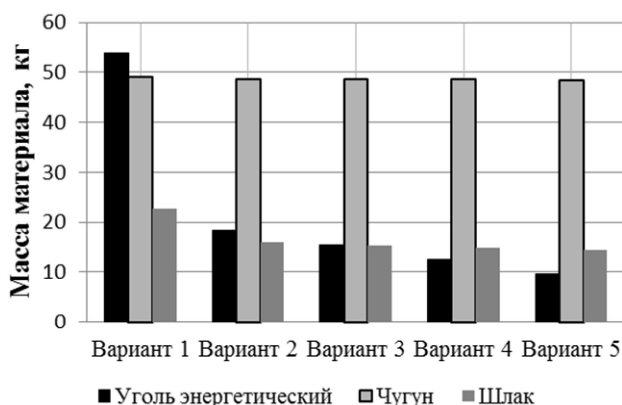


Рис. 6. Масса угля, чугуна и шлака

На рис. 7 показаны изменения объемов газа, образующегося на стадии жидкофазного восстановления.

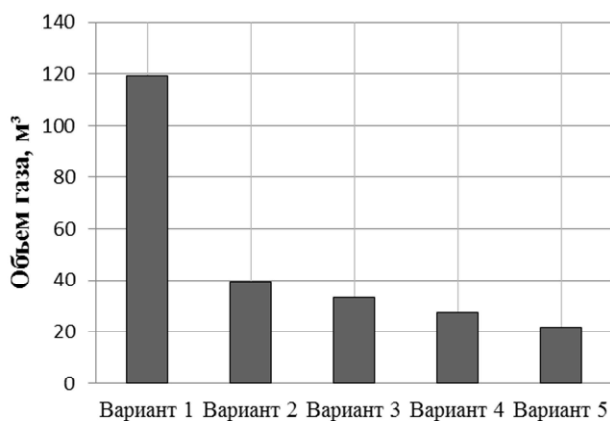


Рис. 7. Объем газа, образующегося при жидкофазном восстановлении

Из приведенных диаграмм видно, что применение двухстадийного процесса позволяет снизить на 80% потребление угля по сравнению с одностадийным жидкофазным (53,86 против 9,61 кг). А это не только экономическая выгода, но и меньшее

количество вредных примесей, а также меньшее количество шлака (22,64 против 14,29 кг).

При двухстадийном процессе чугун получается более чистым по сере и фосфору, главным образом это объясняется меньшим расходом энергетического угля.

При двухстадийном процессе суммарное количество образующихся газов до 60% меньше, чем при одностадийном жидкофазном, что позитивно отразится на возможности улавливания цинка, а также снизит объемы выбросов CO₂ в атмосферу.

Заключение

В итоге следует признать, что предлагаемый двухстадийный процесс может применяться для переработки железосодержащих пылей и шламов, при этом результаты расчетов свидетельствуют о наличии ряда преимуществ этого процесса относительно конкурентов.

Список литературы

- Лисин В.С., Юсфин Ю.С. Ресурсо-экологические проблемы XXI века в металлургии. М.: Высш. шк., 1998. 446 с.
- Аммиачно-карбонатная технология извлечения цинка из доменных шламов / Михнев А.Д., Пашков Г.Л., Дроздов С.В. и др. // Цветные металлы. 2002. № 5. С. 34–38.
- Блинкова Е. В., Елисеев Е. И. Обесцинкование шламов доменных печей // Цветная металлургия. 2004. № 8. С. 2–6.
- Курунов И.Ф., Савчук Н.А. Состояние и перспективы бездоменной металлургии железа. М.: Черметинформация, 2002. 198 с.
- Юсфин Ю.С., Гиммельфарб А.А., Пашков Н.Ф. Новые процессы получения металла (металлургия железа): учебник для вузов. М.: Металлургия. 1994. 320 с.
- Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф. Металлургия железа: учебник для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 464 с.
- Перспективы вовлечения в переработку новых видов железосодержащего сырья / Никифоров Б.А., Бигеев В.А., Бигеев А.М. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2004. №2. С. 7–10.
- Металлизация доменных шламов / Никифоров Б.А., Бигеев В.А., Сибатулин С.К. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. №3. С. 23–25.
- Расширение шихтовой базы плавки стали в дуговых электропечах / Никифоров Б.А., Бигеев В.А., Пантелеев А.В. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. №1. С. 38–41.
- Бигеев В.А., Пантелеев А.В., Черняев А.А. Математическое моделирование твердофазного восстановления пылей и шламов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Ч. II. С. 151–155.
- Девятов Д.Х., Черняев А.А. Моделирование двухстадийного жидкофазного восстановления доменных шламов // Материалы 67-й научно-технической конференции: сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Т.2. С. 121–123.

MATHEMATICAL MODELLING OF THE TWO-STAGE METHOD FOR SLUDGE AND DUST RECYCLING

Bigeev Vakhit Abdrashitovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Institute of Metallurgy, Mechanical Engineering and Materials Processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru.

Chernyaev Alexander Alexandrovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: alexch_study@mail.ru

Panteleev Anton Vladimirovich – Senior Lecturer, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: anpanteleev2010@mail.ru.

Abstract. Ecological and resource-saving problems determine the relevance of iron-bearing sludge recycling. The main goal of the researches was to estimate prospects for the two-stage combined recycling process for fine-grained zinc-bearing metallurgical wastes. This article provides a survey of main current recycling processes and a suggestion of a new combined two-stage zinc-bearing sludge and dust recycling method. The method's advantages are proved by the results of laboratory experiments and calculations that were made by means of developed mathematical models. By means of physical modeling we proved the possibility of using solid-phase reduction for zinc-bearing metallurgical wastes recycling. In the experiments we have managed to obtain metallized products with a metallization degree of up to 100 % and a zinc concentrate that may be used as a raw material for non-ferrous metallurgy. By means of mathematical models it was shown that preliminary solid-phase metallization led to a substantial decrease in coal consumption for liquid-phase reduction on the second stage of the combined technology. By using the two-stage technology it is possible to obtain iron with less sulphur and phosphorus content. Besides, it is possible to decrease gas emissions and reduce environmental impacts.

Keywords: sludge, electric arc furnace dust, modelling, solid-phase reduction, liquid-phase reduction, metallized product, iron.

References

1. Lisin V.S., Yusfin Yu.S. *Resurso-ekologicheskie problemy XXI veka v metallurgii* [Metallurgical resource and ecology problems of the 21st century]. Moscow: Vysshaya shkola, 1998. 446 p.
2. Mikhnev A.D., Pashkov G.L., Drozdov S.V. et al. The ammoniacarbonate technology for zinc extraction from blast furnace sludge. *Tsvetnye Metally* [Non-ferrous metals]. 2002, no. 5, pp. 34–38.
3. Blinkova E. V., Eliseev E. I. Zinc extraction from blast furnace sludge. *Tsvetnaya metallurgiya* [Nonferrous metallurgy]. 2004, no. 8, pp. 2–6.
4. Kurunov I.F., Savchuk N.A. The current state and prospects for the direct ore-reduction process. Moscow: Chermetinformaciya, 2002, 198 p.
5. Yusfin Yu.S., Gimmelfarb A.A., Pashkov N.F. *Novye protsessy polucheniya metalla (metallurgiya zheleza)* [New processes of metal production (ferrous metallurgy)]. Moscow: Metallurgiya, 1994, 320 p.
6. Yusfin Yu.S., Pashkov N.F. *Metallurgiya zheleza* [Ferrous metallurgy]. Moscow: Akademkniga, 2007, 464 p.
7. Nikiforov B.A., Bigeev V.A., Bigeev A.M. et al. Prospects for new kinds of iron-bearing charging feed. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2004, no. 2, pp. 7–10.
8. Nikiforov B.A., Bigeev V.A., Sibagatulin S.K. et al. Blast furnace sludge metallization. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2005, no. 3, pp. 23–25.
9. Nikiforov B.A., Bigeev V.A., Panteleev A.V. et al. The expansion of charge feed base for electric steelmaking. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2007, no. 1, pp. 38–41.
10. Bigeev V.A., Panteleev A.V., Chernyaev A.A. Mathematical modelling of solid-phase reduction of dust and sludge. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie sistem v promyshlennoj i sotsial'noj sferakh* [Mathematical models and software for industry and social sphere systems]. Magnitogorsk: Publishing house of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011, vol. II, pp. 151–155.
11. Devyatov D. Kh., Chernyaev A.A. Modelling of two-stage liquid-phase reduction of blast furnace sludge. *Materialy 67-j nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Materials of the 67th scientific-technical conference]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2009, vol. 2, pp. 121–123.