

Об авторах:

УТКИНА Алена Владимировна – магистрант, Тверской государственной технической университет, Тверь. E-mail: alena.svet.00@yandex.ru

ОЖИМКОВА Елена Владимировна – кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, Тверской государственной технической университет, Тверь. E-mail: eozhimkova@mail.ru

ГРИГОРЬЕВ Максим Евгеньевич – кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, Тверской государственной технической университет, Тверь. E-mail: GE.Max2015@yandex.ru

About the authors:

UTKINA Alyona Vladimirovna – Master's Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: alena.svet.00@yandex.ru

OZHIMKOVA Elena Vladimirovna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, Tver. E-mail: eozhimkova@mail.ru

GRIGORIEV Maxim Evgenievich – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, Tver. E-mail: GE.Max2015@yandex.ru

**УДК 553.97: 662.641**

## **ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ЖЕЛЕЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОРФА**

**Т.Б. Яконовская**

**© Яконовская Т.Б., 2024**

***Аннотация.** Установлено, что множество предприятий металлургической промышленности в России для выплавки стали преимущественно используют дорогой коксующийся уголь или природный газ, однако почти все регионы России обладают большими запасами торфа, способного заменить дорогостоящее углеводородное сырье и материалы в металлургических процессах. Отмечено, что по этой причине использование торфяного сырья в металлургии представляет научный и практический интерес. Приведены результаты исследования влияния вида*

*и качественных свойств торфа на технологический процесс восстановления железа. На основе экспериментальных данных показано, что для торфянорудных композиций пригоден малозольный торф. Подчеркнуто, что использование торфорудных составов позволяет решить проблему возврата рудной пыли и некондиционной руды в процессах доменной плавки.*

**Ключевые слова:** пористое железо, руда, торф, «моношихта», доменная плавка, восстановление железа.

Одной из главных проблем металлургического производства является рост потребности в коксующемся угле, стоимость которого увеличивается из года в год. К тому же запасы качественных коксующихся углей постепенно истощаются, а сам процесс добычи угля имеет высокую стоимость. Балансовые запасы коксующихся углей в России оцениваются в 42,3 млрд тонн, из них 77 % расположены в Кузнецком угольном бассейне, при этом прогнозные ресурсы составляют около 390 млрд. Годовая потребность самых крупных металлургических комбинатов России в коксующемся угле составляет 20,8 млн тонн. Однако разработка новых месторождений требует значительных инвестиций. Кроме того, в сырьевой составляющей себестоимости чугуна 40–50 % приходится на кокс. В этой связи весьма актуальной задачей является поиск альтернативного коксующимся углям сырья для производства кокса. Оно позволит заменить дорогой уголь и повысить качество продукции сталелитейных производств. Поскольку для производства кокса используется природное топливо, торф можно применить в этих целях. В отличие от каменного угля торф обладает низким содержанием фосфора и серы, относится к общераспространенным и возобновляемым ресурсам, причем до 90 % торфяных запасов сосредоточено в Северо-Западном федеральном округе и Западной Сибири. В этом отношении торф обладает рядом преимуществ. При высоком выходе химических продуктов пиролиза доменный процесс с использованием торфа может дать чугун высокого качества, такой, например, как на угле, который применяется для выплавки качественной стали [1–3].

Данный вопрос особенно актуален для Томской области, на территории которой расположен Васюган – комплекс широкого спектра природных ресурсов торфа, железной руды, нефти и газа. Торф может найти разнообразное применение в металлургии. Торфяной полукокс и кокс пригодны при использовании в качестве отошающего компонента шихты и для агломерации железных руд. Кокс из торфа, кусковой торф и фрезерный могут служить доменным топливом для литейных целей. Вследствие высокой реакционной способности торф является хорошим восстановителем железа. Это отвечает одному из главных направлений прогресса в черной металлургии – интенсификации доменного процесса

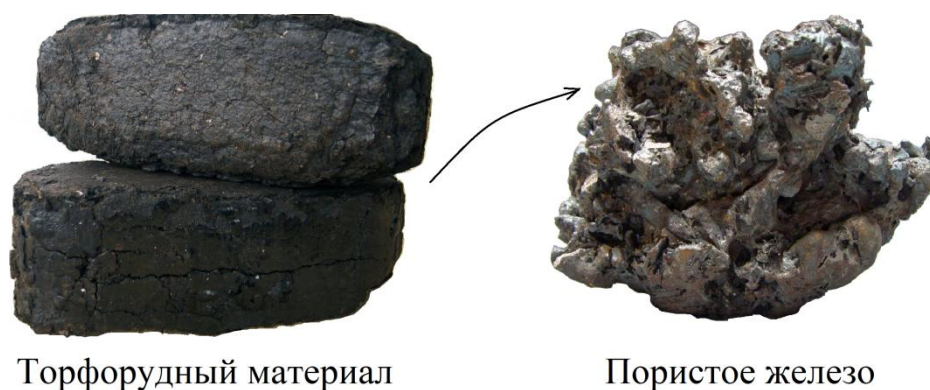
через улучшение аэродинамических свойств шихтовых материалов путем создания «моношихты» на основе порошка тонкоизмельченного концентрата – продукта обогащения железных руд. Кроме того, на территории предприятий по добыче железной руды накопилось довольно много отвалов некондиционной, «пустой» породы, которая характеризуется пониженным содержанием железной руды и формирует искусственные техногенные месторождения. Такую «пустую» породу также можно использовать как сырье для «моношихты», из которой извлекается сталь [4–6].

В проблемной лаборатории автором настоящей статьи было исследовано влияние исходной влажности торфа, типа торфа, интенсивности его переработки, давления формования, степени измельчения руды и флюсов и их количества, режима коксования и других факторов на прочность торфорудных брикетов и окатышей. Методика получения торфорудных брикетов и окатышей основана на теории структурообразовательных процессов в торфяных коллоидных системах согласно принципам физико-химической механики дисперсных материалов. Эту теорию разработали ученые – основатели «Торфяной школы» Тверского государственного технического университета: Афанасьев А.Ф., Гамаюнов Н.И., Воларович М.П., Чураев Н.В., Лыков А.В. Исследования данного вопроса продолжаются и в настоящее время. По ряду свойств торф представляет собой модель капиллярно-пористых тел, и эти свойства оказывают значимое влияние на формирование прочностной структуры торфорудных брикетов и окатышей. Торф – это дисперсная многофазная система. Наличие в нем гидрофильных и гидрофобных органоминеральных коллоидов, растворов и дисперсий низко- и высокомолекулярных соединений приводит к образованию различных ассоциатов твердой фазы. Чем выше плотность и прочность торфяных брикетов и окатышей, тем лучше происходит процесс восстановления железа [7–9].

Гранулы изготавливались из фрезерного торфа, прошедшего через дробилку и формовочную машину. Гранулы, высушенные до влажности 40 %, загружались в коксовую шахту. Торфяной кокс, по технологическим характеристикам близкий к древесному углю, но обладающий прочностью угольного кокса, практически не вносит нежелательных примесей в чугуны. Одновременно из 6 тонн торфа можно получить 1 тонну кокса. Объектом исследования данной работы являлся торфяной материал, восстановленный при температуре 500–1 100 °С. Торф использовался для извлечения железа из руды. Верховые торфы рассматриваются как сырье для производства торфянорудных материалов (ТРМ). Торфянорудный материал включает из 70 % руды и 30 % верхового торфа. Руда представляет собой рыхлую массу коричневого цвета, состоящую из гетита и гидрогетита.

В эксперименте рудную крошку раскладывали на торфяную массу ровным слоем в 1–2 см. Полученную торфянорудную массу дважды пропускали через шнек и формировали из нее цилиндрические образцы диаметром 34–35 мм методом экструзии в специальной матрице. Образцы ТРМ высушивались в лабораторном помещении до постоянного веса. Периодически измеряли размер и массу полученных образцов для расчета коэффициента усадки. Полученные брикеты ТРМ испытывали на их металлизацию при нагреве с постоянной скоростью 5 град/мин. Брикеты ТРМ помещали в реторту из жаропрочной стали емкостью 300 мл и нагревали в тигельной электропечи ТЭП-1 до температуры 500–1 000 °С с интервалом 100 °С. Комбинированный газ и продукты разложения ТРМ были сброшены через штуцер в крышке реторты в конденсационное оборудование. После достижения конечной температуры нагрева реторту вынимали из печи и охлаждали до комнатной температуры. Для нагрева ТРМ до температуры 1 100 °С необходимо использовать температурную трубчатую печь. В состав железной руды входили железо – 38 %; оксид кремния – 24 %; оксид кальция – 0,64 %; оксид алюминия – 5 %; окись фосфора – 1,17 %.

Полученный чугуи содержал 1,1 % кремния; 0,06 % ванадия; 0,5 % фосфора; 0,21 % марганца. В шлаке находился оксид кремния – 43,82 %; оксид кальция – 30,36 %; оксид алюминия – 15 %; оксид железа – 3 %; окись фосфора – 0,1 %; оксид магния – 2 %. Тесный контакт с восстановителем в виде ТРМ, а также высокая летучесть торфа благоприятно влияют на извлечение пористого железа (рисунок). Скорость восстановления магнетита и бурого железняка в присутствии торфа выше, чем у других твердых восстановителей. Это обстоятельство позволяет существенно сократить время протекания процесса и снизить его температуру.



Результат превращения торфорудного брикета в пористое железо

Сложный химико-металлургический (доменный) процесс основан на использовании:

1) торфа, угля и «моношихты», не прошедших предварительное коксование;

2) термобрикетов в качестве печного топлива. В этом случае в доменной печи процесс выплавки чугуна совмещается с процессом коксования торфа и наряду с чугуном из торфа производятся высококалорийный газ и другие химические продукты пиролиза (торфяная смола, газовый бензин).

Широкий спектр углеводородов и кислородорганических соединений можно получить на основе угарного газа, который является преобладающим компонентом доменного газа и водяного пара, когда эти компоненты пропускают через катализатор при температуре 220–280 °С. Газ можно использовать для выработки электроэнергии или синтеза аммиака [10].

В результате степень восстановления железа из ТРМ составила 92 %, степень металлизации после обжига – 94 %. Экспериментальная плавка пористого железа дала металл с содержанием углерода 0,05 %, серы и фосфора – менее 0,05 %. Кроме того, более прочные и плотные ТРМ получаются при использовании торфа. Высокая термическая прочность брикетов из ТРМ связана с появлением металлокаркаса. Торф для выплавки чугуна может быть как верховым, так и низинным при условии, что зольность не должна превышать 10 %, а влажность – 30 %. Полученный прессованный кусок торфа, из которого получают кокс, должен иметь механическую прочность не менее 2 МПа с низким содержанием мелочи и серы. Однако ТРМ с различными видами торфа имели хорошие физико-механические характеристики и в холодном, и в нагретом состояниях. Вместо железной руды также можно использовать ее пыль и получать брикеты и окатыши.

В заключение следует отметить, что использование торфа в металлургии показывает хорошие перспективы. Формование отходов металлургических процессов с торфом позволяет получать брикеты ТРМ с заданными качественными характеристиками по золе, влаге, сере и фосфору. Проблема может возникнуть только при отсутствии базы торфяных месторождений с заданными геологическими характеристиками торфяного сырья для производства торфяного кокса.

### **Библиографический список**

1. Яконовская Т.Б. Цифровизация в реальном секторе экономики РФ: горнодобывающий комплекс // Цифровая экономика и общество: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Тверь, 29 января 2021 года. Тверь: ТвГТУ, 2021. С. 47–54.

2. Макаренко Г.Л., Тимофеев А.Е., Яконовская Т.Б. Перспективы комплексного освоения торфяных месторождений (экологический, технологический и экономический аспекты) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 10. С. 265–272.

3. Яконовская Т.Б. Проблемы информатизации анализа геологических данных предприятий по добыче торфа // Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес (ИНФОС-2020): материалы одиннадцатой заочной международной научно-технической конференции, Вологда, 29–30 июня 2020 года. Вологда: ВоГУ, 2020. С. 89–93.

4. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Моделирование физико-химических процессов // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды: сборник материалов VIII Всероссийской конференции, посвященной 60-летию ПАО «Химпром», Чебоксары, 16–17 апреля 2020 года. Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2020. С. 285–286.

5. Yakonovskaya T.B., Zhigulskaya A.I. Prospects for the Use of Peat in Metallurgy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Nizhny Tagil. 2020. P. 012025.

6. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Яконовский П.А. Оценка использования геофизического метода VLF для определения мощности торфяного месторождения // Горные науки и технологии. 2020. Т. 5. № 3. С. 224–234.

7. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Горнопромышленный комплекс Тверского региона Российской Федерации: анализ развития // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования: материалы Международной научной конференции, посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко, Минск, 31 июля 2017 года. Минск: Институт природопользования НАН Беларуси, 2017. С. 148–151.

8. Комплексное использование торфяных и древесных ресурсов / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская [и др.] // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сборник докладов Международной научной конференции, Минск, 14–17 сентября 2016 года: в 2 т. Минск: Беларуская навука, 2016. Т. 2. С. 152–156.

9. Оборудование и технологии для производства биотоплива на основе сырьевых ресурсов торфяных месторождений (биоэнергетический кластер) / Б.Ф. Зюзин [и др.]. 2-е изд., перераб. Тверь: ТвГТУ, 2015. 184 с.

10. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Комплексная механизация добычи и переработки торфо-древесных ресурсов торфяных место-

рождений. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 4. С. 21.

## EVALUATION OF THE RESULTS OF AN EXPERIMENT ON IRON RESTORATION USING PEAT

**T.B. Yakonovskaya**

**Abstract.** *It was found that many metallurgical enterprises in Russia for steelmaking mainly use expensive coking coal or natural gas, but almost all regions of Russia have large reserves of peat, which can replace expensive hydrocarbon raw materials and materials in metallurgical processes. It is noted that for this reason the use of peat raw materials in metallurgy is of scientific and practical interest. The results of research of influence of type and qualitative properties of peat on technological process of iron reduction are given. On the basis of experimental data it is shown that low ash peat is suitable for peat-ore compositions. It is emphasised that the use of peat-ore compositions makes it possible to solve the problem of ore dust and substandard ore return in blast furnace smelting processes.*

**Keywords:** *porous iron, ore, peat, “monocharge”, blast furnace smelting, iron reduction.*

Об авторе:

ЯКОНОВСКАЯ Татьяна Борисовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления производством, Тверской государственной технической университет, ревизор Тверского регионального отделения МОО «Лига Преподавателей Высшей Школы», эксперт-аналитик технологического центра TGT Oil and Gas Services, Тверь. E-mail: tby81@yandex.ru

About the author:

YAKONOVSKAYA Tatyana Borisovna – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics and Production Management, Tver State Technical University, Auditor of the Tver Regional Branch of the IPO «League of Higher School Teachers», Technology Center Expert Analyst at TGT Oil and Gas Services, Tver. E-mail: tby81@yandex.ru