

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

---

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ  
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА  
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 1680-9165

№ 4 (2020)

---

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**  
выходит 1 раз в квартал

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ63VPY00028965

выдано  
Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация результатов фундаментальных и прикладных научных исследований  
по широкому спектру проблем в области металлургии, машиностроения, транспорта,  
строительства и естественных наук

**Подписной индекс – 76129**

**Импакт-фактор РИНЦ – 0,344**

---

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);  
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);  
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);  
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

**Члены редакционной коллегии:**

Гумаров Гали Сагингалиевич – д.т.н., профессор (Уральск, Казахстан);  
Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Украинец Виталий Николаевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомоллов Алексей Витальевич - к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Жажибаева Галия Тулеуевна - к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

**Зарубежные члены редакционной коллегии:**

Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Исаева КуралайСметкановна Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Бочкарев Петр Юрьевич – д.т.н., профессор (Саратов, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Чайкин Владимир Андреевич – д.т.н., профессор (Магнитогорск, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

**Б. М. Боранбаева, А. Т. Мырзагулова, Ш. Х. Тажиев, Ж. Г. Майшина**

Карагандинский технический университет,

Республика Казахстан, г. Караганда

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ ИЗ РУДНОГО СЫРЬЯ**

*В данной статье речь идет о получении железосодержащих сплавов безуглеродным способом. Статья посвящена теоретическим, технологическим и экологическим вопросам металлургии, как наиболее значимой отрасли мировой экономики, где одним из главных проблем является загрязнение атмосферы и, соответственно, воздуха. Рассмотрены различные процессы получения металла. Поскольку традиционная технология производства металлов основана на углетермическом восстановлении, экологически вредно отражающемся на окружающей среде. Особое внимание обращается на технологию получения железа безуглеродным способом.*

*Основной проблемой производства железосодержащих сплавов следует считать выделения в колоссальных объемах оксидов углерода в процессе восстановления рудных минералов. Оксиды углерода вместе с другими отходами металлургического производства весьма существенно отражаются на процессах потепления климата Земли со всеми вытекающими отсюда последствиями. В статье рассмотрены процессы получения железа различными способами, а именно доменный процесс, процесс получения железа из оксида с помощью алюминия, процессы прямого восстановления. Далее описана возможность использования водорода для восстановления оксида железа.*

*В статье также отмечены методы получения водорода, такие как паровая конверсия воды и метана, крекинг метана, электролиз воды и пиролиз.*

*Ключевые слова: железо, водород, выбросы, экология, прямое восстановление железа.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Предприятия цветной и черной металлургии при извлечении металлов вынуждены использовать руду с очень низким содержанием полезных компонентов. Таким образом, на обогащение и плавку поступает огромный объем руды, а это, в свою очередь, порождает большие количества отходящих газов из неиспользуемых компонентов. Именно загрязнение атмосферы является главной причиной экологических проблем, возникающих в результате деятельности металлургических гигантов. Выбросы из труб приводят к загрязнениям почв, уничтожению растительности и образованию техногенных пустошей вокруг крупных заводов. К тому же, экологические проблемы отечественной металлургии обостряются из-за высокого износа оборудования и устаревших технологий.

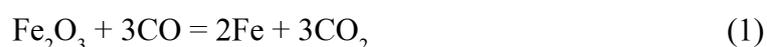
Актуальность данной темы состоит в том, что технология восстановления оксидов железа водородом обеспечит экологическую безопасность.

Целью данной работы является выполнение анализа по альтернативному способу получения железа, исключающей загрязнение окружающей среды.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Получение железа из железной руды производится в две стадии. Оно начинается с подготовки руды – измельчения и нагревания. Руду измельчают на куски диаметром не более 10 см. Затем измельченную руду прокаливают для удаления воды и летучих примесей.

На второй стадии железную руду восстанавливают до железа с помощью оксида углерода в доменной печи. Восстановление проводится при температурах порядка 700 °С:



Для повышения выхода железа этот процесс проводится в условиях избытка диоксида углерода  $\text{CO}_2$  [1].

Моноксид углерода  $\text{CO}$  образуется в доменной печи из кокса и воздуха. Воздух сначала нагревают приблизительно до 600 °С и нагнетают в печь через особую трубу – фурму. Кокс сгорает в горячем сжатом воздухе, образуя диоксид углерода. Железо, образующееся при восстановлении руды, загрязнено примесями песка и глинозема. Для их удаления в печь добавляют известняк. При температурах, существующих в печи, известняк подвергается термическому разложению с образованием оксида кальция и диоксида углерода. Оксид кальция соединяется с примесями, образуя шлак. Шлак содержит силикат кальция и алюминат кальция.

Производительность современных доменных печей повышается увеличением их рабочего объёма. Таковой у средней доменной печи около 5 тыс м<sup>3</sup>. Это обеспечивает выплавку стали до 4 млн т/год. Печь такой производительности расходует свыше 10 железнодорожных эшелонов сырья в сутки. Для хорошей производительности требуется тщательная подготовка руды и топлива к плавке, применении руд с усреднённым составом, самофлюсующегося агломерата. А также использование дутья с повышенной влажностью и температурой, автоматической аппаратуры для контроля и регулирования технологических процессов. При этом производство с использованием доменных печей вносит серьёзное загрязнение в окружающую среду. Металлургическое производство находится на втором месте среди всех других производств промышленности по атмосферным выбросам [2].

Далее рассмотрим процесс получения железа из оксида с помощью алюминия. Аллюминотермия – способ получения металлов, неметаллов (а также сплавов) восстановлением их оксидов металлическим алюминием.

Шихта из порошкообразных материалов засыпается в плавильную шахту или тигель и поджигается с помощью запальной смеси. Если при восстановлении выделяется много теплоты, осуществляется внепечная аллюминотермия, без подвода

тепла извне, развивается высокая температура (1900 – 2400 °С), процесс протекает с большой скоростью, образующиеся металл и шлак хорошо разделяются. Если теплоты выделяется недостаточно, в шихту вводят подогревающую добавку или проводят плавку в дуговых печах (электропечная алюминотермия) [3].

К основным недостаткам можно отнести существенные выбросы исходной шихты и продуктов реакции во время горения. Другим недостатком такого процесса является сложность получения сплошного однородного слитка металла малой массы (несколько десятков граммов) для разных целей, в том числе для проведения исследований [4].

Так, в 70-х годах XX столетия стали появляться промышленные производства железа непосредственно из руды, минуя доменный процесс, который работал с использованием кокса. Одной из первых появились установки прямого восстановления железа или губчатого железа. Процесс прямого восстановления железа водородом в наши дни, как технологический метод, остался без изменения – специально подготовленная, то есть обогащенная руда – концентрат, где содержится основной окисел железа восстанавливается в шахтной печи с помощью твердого топлива, как это было в древности, или для этой цели используется конвертированный газ – природный метан, но преобразованный в смесь водорода и угарного газа (CO) [5].

Железо прямого восстановления в основном производят в виде металлизированных окатышей: холодных CDRI (Cool Direct Reduced Iron) или горячих HDRI (Hot Direct Reduced Iron), а также горячебрикетированного железа HBI (Hot Briquetted Iron).

В настоящее время также можно восстанавливать концентраты руды, которые еще не превращены в окатыши. Более того, оказалось, что концентрат восстанавливается даже с большей скоростью, чем изготовленные из него окатыши. Однако на пути к реализации этого процесса стоят трудности чисто технологического характера.

Наиболее интересным способом восстановления оксида железа, является возможность использования водорода в режиме горения [6]. Сам процесс восстановления пойдет достаточно быстро и при этом не возникает лишних примесей: продукт восстановления – железо и вода. Существует технология среднетемпературного восстановления оксида железа, когда протекает процесс горения и прямого воздействия водорода при температуре 470–810 °С. Восстановитель – водород или в чистом виде, или с примесью окиси углерода. Железо, естественно, находится в твердом состоянии, образуя при восстановлении своеобразную губку. Конечным продуктом везде являются железо, вода и углекислый газ, причем воду можно снова использовать для получения водорода и кислорода. Таким образом, появляются реальные возможности осуществить замкнутый цикл восстановления железа водородом и создать безотходное производство [7].

Существует более 100 различных методов добычи водорода – как теоретических, так и освоенных в промышленных масштабах. В зависимости

от выбранного вами вида получения ресурса, производство водорода потребует различного оборудования, сырья и других ресурсов. Рассмотрим 5 самых распространенных способов производства водорода [8].

Более 50 % всего водорода получается путём паровой конверсии воды и метана. При этом три основных составляющих (природный газ, водяной пар и кислород) смешиваются в определённых пропорциях. Второй метод получения водорода – крекинг метана, простейшего по составу углеводорода. Благодаря специальному процессу сжиженный метан нагревается до температур свыше 1000–1400 °С, после чего газ начинает разлагаться на водород и карбон. Благодаря дешевизне метана, а также простому способу его получения, такой тип добычи водорода проще всего. Ещё один вид добычи водорода – электролиз воды. Это второй по распространённости метод добычи водорода, обеспечивающий достаточно высокую чистоту конечного продукта. Сопутствующим «бонусом» в этом технологическом процессе становится кислород, не менее важный элемент. Для такого способа производства требуются значительные запасы воды. Тем не менее он совсем не требователен к её качеству – для электролиза можно использовать промышленную, дождевую или даже сточную воду.

Последняя из наиболее распространённых методик – пиролиз. Иными словами – разложение органики при помощи термической обработки. «Топливом» для этого могут служить отходы сельского хозяйства и пищевых производств птичий помёт и другие побочные продукты животноводства; отходы рыбных, соко- и мясокомбинатов; некоторые виды технических культур, специально выращенных для получения биомассы.

Использование водорода для нужд черной металлургии – реальность сегодняшнего дня, и это возможно с применением водородных турбогенераторных установок. Впервые в мировой практике при проведении научных и опытно – конструкторских работ при испытании водородной турбогенераторной установки было выявлено уникальное новое явление – восстановление окиси железа водородом [9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По изучению получения водорода в турбогенераторной установке была использована промежуточная горизонтальная газоотводящая труба диаметром 279 мм, толщиной стенки 8 мм и длиной 2500 мм, полностью покрытая окисью железа с наружной и внутренней сторон, находившейся около 10 лет под воздействием окружающей среды (рисунок 1).



Рисунок 1 – Турбогенераторная установка

Задачами, поставленными перед учеными в данный период испытаний, являлись определение температуры горения водорода на выходе газоотводящей трубы при помощи термопара ТП (предел определения температуры до 1500 °С) и анализ газов с применением прибора «Тесто-300». Время проведения эксперимента составило около 35 минут. За этот период времени научными работниками было обнаружено, что воздействие водорода при температуре горения 900 °С на используемую в данном опыте газоотводящую трубу способствовало процессу восстановления окиси железа во внутренней стороне на 100 % по всей толщине и частично с наружной стороны за счет воздействия горючего водорода, который выходил в ограниченном количестве.

Достоверные факты, опытно-экспериментальные исследования – все это даёт полное основание заявить о возможности применения водородных турбогенераторных установок в металлургии для восстановления оксида железа водородом с фантастически низкой себестоимостью, что открывает возможность приступить к переработке отходов на рудниках в виде оксида железа [10].

Будущее развитие металлургии возможно только при совместном сотрудничестве науки и имеющих производств. Основная задача для научного мира в отрасли металлургии состоит в разработке новых технологий производства способных значительно снизить энергозатраты. Для устранения экологических проблем не хватает ресурсов, как финансовых, так и физических, поэтому в настоящий момент они находятся только в стадии разработки. Поиск новых способов продолжается, так как важность проблемы несомненна.

На сегодняшний день в ряде исследовательских коллективов активно обсуждаются вопросы водородной металлургии. Более того имеются опытно-промышленные варианты заводов будущего. В этом отношении в нашем коллективе также предприняты подобные исследования.

## ВЫВОДЫ

В данной статье мы представили перспективный способ производства железосодержащих сплавов из рудного сырья. Прямое водородное восстановление

оксида железа – только начало технологического прогресса в черной металлургии. Но и остальные звенья – будь то конвертеры, электропечи, заводы-автоматы, аппараты малооперационной технологии – требуют хорошего исходного сырья. Им будет восстановленный водородом оксид железа.

Металлургию будущего не без основания часто называют водородной. В настоящее время водород обходится дорого. Его получение, хранение и транспортировка сопряжены с множеством чисто технических проблем. Впрочем, произведенные эксперименты и расчеты показывают, что можно получать водород с такой низкой себестоимостью и «водородная металлургия» обретет надежную экономическую основу, также необходимо учесть полную экологическую безопасность водородных турбогенераторных установок.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Юсфин, Ю. С.** Металлургия железа / Ю. С. Юсфин, Н. Ф. Пашков // Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению Металлургия. – М., 2007. – 320 с.

2 **Заяц, Т. М.** Новые процессы и материалы в металлургии. Пособие для студентов, 2018.

3 **Дорофеев, Г. А.** О проблемах современного производства стали / Г. А. Дорофеев, С. З. Афонин, Л. Н. Щевелев, Е. Щивка // XIII Конгресс сталеплавильщиков. – 2008. – № 1. – С. 401–403.

4 **Юсфин, Ю. С.** Новые процессы получения металла (металлургия железа) : учеб. для вузов / Ю. С. Юсфин, А. А. Гиммельфарб, Н. Ф. Пашков. – М. : Металлургия, 1994. – 320 с.

5 **Шнабель, С.** От железа прямого восстановления до высококачественной стали / С. Шнабель // Черные металлы. – 2004. – № 6. – С. 20–23.

6 **Дигонский, С. В.** Неизвестный водород / С. В. Дигонский, В. В. Тен. – СПб. : Наука, 2006. – 292 с.

7 **Farchmin, F.** Hydrogen generation with SIYLZER PEM electrolyzers: Driving convergence between energy and industrial markets, Vortrag Stahlinstitut VDEh, 12. Okt. 2015.

8 **Йопп, К.** Водород – «элемент надежный». – Черные металлы. – 2014. – № 9. – 59 с.

9 **Емельянов, А. И.** Водородная энергетика. Перспективы использования водородных топливных элементов. Энергосбережение. Практикум. – 2014. – № 5. – 47 с.

10 **Дли, М. И.** Водородная энергетика и перспективы ее развития. Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 22. – 37–41 с.

Материал поступил в редакцию 29.12.20.

**Б. М. Боранбаева, А. Т. Мырзагулова, Ш. Х. Тажиев, Ж. Г. Майшина**

Қарағанды техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.  
Материал 29.12.20 баспаға түсті.

## **КЕН ШИКІЗАТЫНАН ҚҰРАМЫНДА ТЕМІР БАР ҚОРЫТПАЛАРДЫ ӨНДІРУДІҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫҚ ТӘСІЛІ**

*Бұл мақалада құрамында темір бар қорытпаларды көміртексіз алу туралы айтылады. Мақала әлемдік экономиканың аса маңызды саласы ретінде металлургияның теориялық, технологиялық және экологиялық мәселелеріне арналған, мұнда басты проблемалардың бірі атмосфераның және тиісінше ауаның ластануы болып табылады. Металл алудың әртүрлі процестері қарастырылады. Металл өндірудің дәстүрлі технологиясы қоршаған ортаға экологиялық зиянды әсер ететін көмір термиялық қалпына келтіруге негізделген. Темірді көміртексіз тәсілмен алу технологиясына ерекше назар аударылады.*

*Құрамында темір бар қорытпаларды өндірудің негізгі проблемасы кен минералдарын қалпына келтіру процесінде масақты көлемдегі көміртегі оксидтерінің бөлінуін қарастырған жөн. Көміртек оксидтері металлургиялық өндірістің басқа қалдықтарымен бірге Жер климатының жылыну процестеріне айтарлықтай әсер етеді. Мақалада темірді әртүрлі тәсілдермен алу процестері, атап айтқанда Домна процесі, алюминий көмегімен оксидтен темір алу процесі, тікелей қалпына келтіру процестері қарастырылады. Төменде темір оксидін азайту үшін сутекті пайдалану мүмкіндігі сипатталған.*

*Мақалада сонымен қатар су мен метанның бу конверсиясы, метанның крекингі, судың электролизі және пиролиз сияқты сутегі алу әдістері көрсетілген.*

*Кілтті сөздер: темір, сутегі, шығарындылар, экология, темірді тікелей қалпына келтіру.*

**B. M. Boranbaeva, A. T. Myrzagulova, Sh. Kh. Tajiev, J. G. Maishina**

Karaganda Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda.  
Material received on 29.12.20.

## **A PROMISING METHOD FOR PRODUCING IRON-CONTAINING ALLOYS FROM ORE RAW MATERIALS**

*This article deals with the preparation of iron-containing alloys by a carbon-free method. The article is devoted to theoretical, technological and environmental issues of metallurgy, as the most important branch of the world economy, where one of the main problems is air pollution. Various processes of metal production are considered. The traditional technology of metal production is based on carbon-thermal recovery, which is harmful to the environment. Special attention is paid to the technology of obtaining iron by a carbon-free method.*

*The main problem in the production of iron-containing alloys should be*

Теруге 29.12.20. ж. жіберілді. Басуға 10.01.21. ж. қол қойылды.  
Форматы 297\*420/2. Кітап-журнал қағазы.  
Шартты баспа табағы 6,04. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген З. С. Исакова  
Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3721

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған  
Торайғыров университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы  
Торайғыров университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.  
67-36-69

e-mail: [kereku@psu.kz](mailto:kereku@psu.kz)  
[www.vestnik.psu.kz](http://www.vestnik.psu.kz)  
[www.nitk.psu.kz](http://www.nitk.psu.kz)