

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

МРНТИ 01.14.31
УДК: 66.034

М.Е. Сағадид

*Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан
(E-mail: m.sagadi@tttu.edu.kz)*

Зеленая металлургия: Водородные технологии как ключевой фактор декарбонизации металлургической промышленности

Современная металлургическая промышленность сталкивается с необходимостью радикального снижения выбросов углекислого газа, что становится ключевым элементом устойчивого развития и борьбы с изменением климата. Водородные технологии представляют собой инновационное решение для достижения углеродной нейтральности в металлургии, заменяя традиционное использование угля в процессах выплавки стали и других металлов. В статье анализируются перспективы внедрения водородных технологий, их экономическая эффективность, а также экологические и технические преимущества в контексте декарбонизации отрасли. Рассматриваются проекты ведущих мировых металлургических компаний, таких как SSAB, ArcelorMittal и другие, по внедрению водорода в производственные процессы. Особое внимание уделено вызовам, связанным с производством зеленого водорода и его масштабированием, а также перспективам глобального перехода на водородные технологии в металлургии.

Ключевые слова: Водородные технологии, зеленая металлургия, декарбонизация, экологическая устойчивость, углеродная нейтральность, инновации в металлургии, производство стали, водородная экономика, углекислый газ, CO₂, экономическая эффективность.

Введение

В условиях глобальных изменений климата и нарастающей необходимости снижения углеродных выбросов металлургическая промышленность стоит перед серьезными вызовами. Она является одним из крупнейших источников выбросов углекислого газа (CO₂), что делает вопрос декарбонизации неотложным и актуальным. В ответ на эти вызовы зарождается концепция «зеленой металлургии», где внедрение водородных технологий становится ключевым направлением. Водород, как экологически чистый источник энергии, способен заменить традиционные угольные технологии, применяемые в процессах выплавки стали и других металлов.

Использование водорода в металлургии представляет собой не только шаг к снижению углеродного следа, но и возможность создания нового, более устойчивого производственного цикла. Такие технологии уже внедряются ведущими металлургическими компаниями мира, что демонстрирует их практическую значимость и экономическую целесообразность. Однако, наряду с преимуществами, существует множество технических и экономических вызовов, связанных с производством, хранением и транспортировкой зеленого водорода.

В данной статье будет рассмотрен потенциал водородных технологий в контексте декарбонизации металлургической отрасли. Будут проанализированы примеры успешных проектов, их влияние на экологическую устойчивость и экономическую эффективность, а также перспективы и вызовы, стоящие перед металлургической промышленностью в переходный период к углеродной нейтральности [1].

На рисунке 1 представлена принципиальная схема получения электроэнергии из водорода.

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

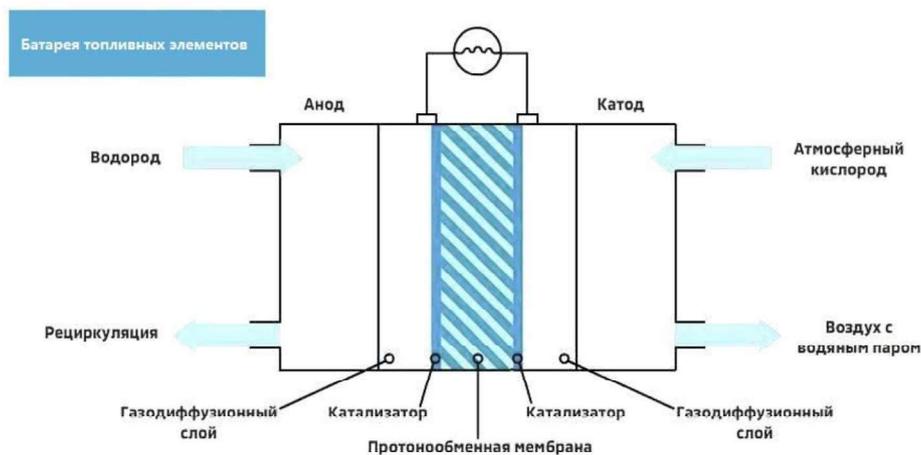


Рисунок 1. Схема получения электроэнергии из водорода
Методы и материалы

Декарбонизация металлургической отрасли является критически важной задачей в свете глобальных усилий по борьбе с изменением климата. Водородные технологии представляют собой одно из самых перспективных решений для достижения углеродной нейтральности в этой сфере. В отличие от традиционных методов, основанных на использовании угля и ископаемых топлив, водород может служить чистым и устойчивым источником энергии, что делает его ключевым элементом в переходе к зеленой металлургии [2].

1. Замена угля водородом в процессе выплавки стали

Традиционно для выплавки стали используется кокс, который производит значительные объемы углекислого газа. Водород может заменить кокс в процессе редукирования железной руды, что ведет к снижению углеродного следа. При сжигании водорода образуется только водяной пар, что делает этот процесс экологически чистым.

Пример: Проект HYBRIT

Проект HYBRIT (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology), инициированный шведскими компаниями SSAB, LKAB и Vattenfall, является одним из первых в мире проектов по внедрению водородных технологий в производстве стали. В рамках проекта водород используется для замены кокса в процессе редукирования железной руды. Результаты испытаний показывают, что использование водорода может привести к снижению выбросов CO_2 на 90% по сравнению с традиционными методами. В 2020 году на заводе HYBRIT был успешно проведен первый эксперимент по производству железа с использованием водорода, что стало важным шагом в реализации концепции устойчивого производства. На рисунке 2 представлен визуальный проект HYBRIT (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology) [3].



Рисунок 2. HYBRIT (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology).

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

2. Производство зеленого водорода [4]

Производство «зеленого» водорода — это процесс получения водорода с использованием возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия, с помощью электролиза воды. Это позволяет значительно снизить углеродный след, связанный с производством водорода.

Пример: Проект «Westküste 100»

Проект «Westküste 100» в Германии направлен на создание водородной экономики в регионе Западного побережья. В рамках этого проекта планируется построить установку по производству зеленого водорода на основе электроэнергии из возобновляемых источников. Этот водород будет использоваться для декарбонизации металлургических процессов в регионе, что позволит существенно снизить выбросы углерода.

3. Переработка отходов с использованием водородных технологий

Водородные технологии также могут быть использованы для переработки отходов металлургической промышленности, таких как шлаки и пыль. Эти материалы могут быть переработаны с использованием водорода, что позволит извлечь из них полезные компоненты и снизить общий объем отходов [5].

Пример: Проект «Iron Ore Company of Canada» (IOCC)

В рамках проекта Iron Ore Company of Canada (IOCC) исследуются возможности использования водорода для переработки отходов, образующихся при производстве железа. Исследования показывают, что использование водорода в процессах, связанных с переработкой отходов, может привести к увеличению выхода полезных материалов и снижению выбросов CO₂.

Водородные технологии обладают огромным потенциалом для декарбонизации металлургической отрасли. Замена традиционных угольных процессов на водородные решения позволяет значительно снизить углеродный след и улучшить экологические показатели. Успешные примеры, такие как проект HYBRIT и «Westküste 100», демонстрируют, что переход на водородные технологии не только возможен, но и экономически целесообразен. Важно продолжать исследования и внедрение этих технологий для достижения устойчивого развития металлургической отрасли и борьбы с глобальным изменением климата [6].

Актуальность проектов, связанных с внедрением водородных технологий в металлургическую отрасль, обусловлена несколькими ключевыми факторами. Во-первых, металлургическая промышленность является одним из крупнейших источников выбросов углекислого газа (CO₂). Проекты, такие как HYBRIT и «Westküste 100», направлены на снижение этих выбросов, что соответствует глобальным усилиям по борьбе с изменением климата. Они помогают реализовать обязательства стран в рамках Парижского соглашения и способствуют переходу к углеродной нейтральности.

Во-вторых, водородные технологии могут привести к значительной экономии затрат в долгосрочной перспективе. Хотя начальные инвестиции в инфраструктуру могут быть высокими, экономия на выбросах углерода и улучшение энергоэффективности могут компенсировать эти затраты. Кроме того, проекты водородной экономики могут создать новые рабочие места и поддержать развитие смежных отраслей, таких как производство возобновляемой энергии [7].

Третьим аспектом является переход на возобновляемые источники энергии. Проекты, использующие зеленый водород, содействуют этому переходу, что становится все более важным в условиях растущих цен на углеводороды и усиливающегося давления на энергетические системы. Водород может храниться и транспортироваться, что делает его идеальным решением для интеграции возобновляемых источников в энергетический баланс.

Также внедрение водородных технологий способствует развитию новых технологий и инноваций в металлургии, создавая дополнительные возможности для исследований и разработок, которые могут быть применены не только в металлургии, но и в других отраслях, таких как химическая и энергетическая [8].

Результаты и обсуждение

Социальная ответственность и имидж компании играют также важную роль. Современные потребители и инвесторы все больше обращают внимание на экологические и социальные аспекты бизнеса. Компании, активно внедряющие устойчивые технологии, такие как водородные, могут

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

улучшить свой имидж, привлечь новых клиентов и инвесторов, а также соответствовать требованиям регулирующих органов.

Наконец, с переходом на водородные технологии страны и компании, ведущие в этом направлении, могут получить конкурентные преимущества на международной арене. Это особенно актуально в свете растущего спроса на экологически чистые продукты и услуги, а также на углеродные кредиты и сертификаты [9].

Таким образом, проекты по внедрению водородных технологий в металлургической отрасли представляют собой важные шаги к созданию более устойчивой и экологически чистой экономики, их актуальность обусловлена необходимостью снижения углеродных выбросов, экономической целесообразностью, поддержкой возобновляемых источников энергии и технологическим развитием.

В условиях нарастающих экологических вызовов и необходимости снижения углеродных выбросов водородные технологии становятся важным инструментом для достижения углеродной нейтральности в металлургической промышленности. Переход от традиционных угольных процессов к использованию водорода не только уменьшает выбросы углекислого газа, но и способствует созданию более устойчивого производственного цикла. Этот переход к зеленой металлургии представляет собой не просто технологическую инновацию, но и важный шаг на пути к экологически безопасному и экономически эффективному будущему.

Проекты, такие как HYBRIT в Швеции и «Westküste 100» в Германии, демонстрируют, что внедрение водородных технологий возможно и приносит значительные результаты. Эти инициативы не только снижают углеродный след, но и открывают новые горизонты для инноваций и технологического развития. Ключевым моментом является то, что с каждым успешным проектом создается основа для масштабирования водородных технологий в металлургической отрасли, что, в свою очередь, способствует формированию новой водородной экономики [10].

Выводы

Экономическая целесообразность водородных технологий также играет важную роль. Несмотря на первоначальные высокие инвестиции, долгосрочные выгоды от снижения затрат на углеродные выбросы и повышение энергоэффективности оправдывают эти вложения. Кроме того, развитие водородной экономики может создать новые рабочие места и поддержать рост смежных отраслей, таких как возобновляемая энергетика.

Не менее важным является социальный аспект внедрения водородных технологий. В условиях растущего интереса со стороны потребителей и инвесторов к экологически чистым продуктам, компании, активно переходящие на водородные технологии, могут значительно улучшить свой имидж. Это не только способствует привлечению новых клиентов, но и позволяет соответствовать требованиям регулирующих органов, что становится важным для долгосрочного успеха бизнеса.

В заключение, водородные технологии представляют собой не только ключевой фактор декарбонизации металлургической отрасли, но и важный шаг к устойчивому развитию и переходу на экологически чистую экономику. Успешное внедрение этих технологий требует активного сотрудничества между государством, промышленностью и научным сообществом для преодоления существующих барьеров и реализации потенциала водорода в металлургии. Только таким образом можно обеспечить устойчивое будущее для металлургической промышленности и всей экономики в целом [11].

Список литературы

- 1 Алексеев, Д. В., & Смирнов, И. П. (2021). «Перспективы применения водородных технологий в металлургии.» Металлургия и материалы, 7(4), 34-41.
- 2 Васильев, С. Н. (2022). «Зеленая металлургия: новые вызовы и возможности.» Журнал горного дела и металлургии, 2, 23-29.
- 3 Глазунов, А. В. (2020). «Водород как основа декарбонизации металлургической отрасли.» Энергетические исследования, 10(3), 45-53.
- 4 Ковалев, Е. В. (2021). «Водородная экономика: роль в устойчивом развитии металлургии.» Научные труды НГТУ, 12(2), 78-86.

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

- 5 IEA (2021). «Hydrogen: A renewable energy perspective» International Energy Agency.
- 6 BNEF (2020). «Hydrogen Economy Outlook» Bloomberg New Energy Finance.
- 7 Hoagland, L., & Frisk, S. (2019). «The HYBRIT project: a breakthrough in steelmaking» Journal of Cleaner Production, 241, 118378.
- 8 Kärki, J., et al. (2021). «Green Hydrogen in the Steel Industry: Opportunities and Challenges» Metallurgical and Materials Transactions B, 52(5), 2208-2220.
- 9 Schmid, J., & Köhler, J. (2020). «Decarbonizing steel: The role of hydrogen in the future of steelmaking» Steel Research International, 91(9), 1900328.
- 10 NREL (2021). «Renewable Hydrogen Production» National Renewable Energy Laboratory.
- 11 Khan, A., & Choudhury, N. (2021). «Role of Hydrogen in Decarbonizing Steelmaking» International Journal of Hydrogen Energy, 46(10), 6501-6515.

М.Е. Сағадиді

Жасыл металлургия: сутегі технологиясы металлургия өнеркәсібінің декарбонизациясының негізгі факторы ретінде

Қазіргі металлургиялық өнеркәсіп көмірқышқыл газының шығарындыларын күрт азайту қажеттілігіне тап болып отыр, бұл тұрақты даму мен климаттың өзгеруіне қарсы күрестің негізгі элементіне айналуға. Сутегі технологиялары көміртегі бейтараптығына қол жеткізу үшін инновациялық шешім болып табылады, болат және басқа да металдарды балқыту процестерінде дәстүрлі көмірді пайдалануды ауыстырады. Мақалада сутегі технологияларын енгізу перспективалары, олардың экономикалық тиімділігі, сондай-ақ саланы декарбонизациялау контексіндегі экологиялық және техникалық артықшылықтары талданады. SSAB, ArcelorMittal және басқа да жетекші әлемдік металлургиялық компаниялардың өндірістік процестерге сутегін енгізу жөніндегі жобалары қарастырылады. Жасыл сутегін өндіруге және оны масштабтауға байланысты проблемаларға, сондай-ақ металлургиядағы сутегі технологияларына жаһандық көшу перспективаларына ерекше назар аударылады.

Түйін сөздер: Сутегі технологиялары, жасыл металлургия, декарбонизация, экологиялық тұрақтылық, көміртекті бейтараптық, металлургиядағы инновациялар, болат өндірісі, сутегі экономикасы, көмірқышқыл газы, CO₂, экономикалық тиімділік.

М.Е. Sagadi

Green metallurgy: Hydrogen technologies as a key driver of decarbonization of the metallurgical industry

The modern steel industry is facing the need to radically reduce carbon dioxide emissions, which is becoming a key element of sustainable development and the fight against climate change. Hydrogen technologies represent an innovative solution to achieve carbon neutrality in metallurgy, replacing the traditional use of coal in the processes of smelting steel and other metals. The article analyses the prospects for the introduction of hydrogen technologies, their economic efficiency, as well as environmental and technical advantages in the context of decarbonisation of the industry. The projects of the world's leading steel companies, such as SSAB, ArcelorMittal and others, to introduce hydrogen into production processes are reviewed. Special attention is paid to the challenges associated with the production of green hydrogen and its scaling, as well as the prospects of global transition to hydrogen technologies in metallurgy.

Key words: Hydrogen technologies, green metallurgy, decarbonisation, environmental sustainability, carbon neutrality, innovations in metallurgy, steel production, hydrogen economy, carbon dioxide, CO₂, economic efficiency.

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

References

- 1 Alekseev, D. V., & Smirnov, I. P. (2021). «Prospects for the application of hydrogen technologies in metallurgy». *Metallurgy and Materials*, 7(4), 34-41.
- 2 Vasiliev, S. N. (2022). «Green Metallurgy: new challenges and opportunities». *Journal of Mining and Metallurgy*, 2, 23-29.
- 3 Glazunov, A.V. (2020). "Hydrogen as the basis for decarburization of the metallurgical industry." *Energy Research*, 10(3), 45-53.
- 4 Kovalev, E. V. (2021). "Hydrogen economy: the role in the sustainable development of metallurgy». *Scientific papers of NSTU*, 12(2), 78-86.
- 5 IEA (2021). International Energy Agency "Hydrogen: prospects for the use of renewable energy sources".
- 6 BNEF (2020). "Prospects for the hydrogen economy" Bloomberg New Energy Finance.
- 7 Høglund L. and Frisk S. (2019). "The HYBRIT Project: A Breakthrough in Steel Production» *Journal of Environmentally Friendly Manufacturing*, 241, 118378.
- 8 Kerky J. and others (2021). «Environmentally friendly hydrogen in the steel industry: Opportunities and challenges» *Proceedings on Metallurgy and Materials*, B, 52(5), 2208-2220.
- 9 Schmidt, J., & Koehler, J. (2020). «Decarburization of steel: the role of hydrogen in the future of steelmaking» *Steel Research International*, 91(9), 1900328.
- April 10 (2021). National Renewable Energy Laboratory «Renewable Hydrogen Production».
- 11 Khan A. and Choudhury N. (2021). «The role of hydrogen in decarburization of steelmaking» *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (10), 6501-6515.