

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»FTAMP 53.37.91
ӘОЖ: 669.041.3DOI [10.53002/003](https://doi.org/10.53002/003)

А.Х. Нурумғалиев, А.Т. Пушанова

*Қарағанды индустриалық университеті, Теміртау, Қазақстан
(E-mail: a.pushanova@ttu.edu.kz)***Сутегі металлургиясы: жоғары фосфорлы темір кенін өңдеудің болашағы**

Заманауи металлургия өнеркәсібі темір рудасы шикізатының сапасына және көміртегі ізін азайту қажеттілігіне байланысты қиындықтарға тап болады. Күрделі мәселелердің бірі Лисаковский кен орнының рудалары сияқты фосфоры жоғары темір рудаларын өңдеу болып табылады. Дәстүрлі байыту әдістері әрқашан тиімді емес, ал фосфорды жою қосымша шығындарды талап етеді. Бұл тұрғыда сутегі металлургиясы фосфордың құрамын азайтып қана қоймай, сутегі газын қалпына келтіруші ретінде пайдалану арқылы көмірқышқыл газының (CO₂) шығарындыларын азайта алатын перспективалы технология ретінде қарастырылады.

Түйін сөздер: селективті қалпына келтіру, жоғары фосфорлы кендер, оолит кендері, сутегі металлургиясы, тотықсыздандыру, экологиялық әсер, Лисаков кен орны, дефосфорация.

Kipicne

Темір мен фосфорды тиімді бөлудің күрделілігіне байланысты жоғары фосфорлы темір кеніне көп көңіл бөлінеді. Жоғары фосфорлы темір кендерінің үлесіне Қазақстан Республикасының барлық темір кені кен орындарының қорларының 60% - дан астамы келеді [1,2]. Осылайша, жақын арада біз фосфоры жоғары темір кендерін игеруге және өңдеуге мәжбүр боламыз. Лисаковское кен орны Қазақстандағы темір рудасының ең ірі көздерінің бірі болып табылады, бірақ оны өңдеу фосфордың жоғары болуына байланысты күрделі. Фосфор болатты сынғыш етеді, сондықтан оның темір рудасында болуы елеулі кемшілік болып табылады. Күйдіру немесе химиялық шаймалау сияқты дәстүрлі әдістер айтарлықтай энергия мен реагент шығындарын талап етеді, бұл олардың экономикалық тиімділігін төмендетеді.

Зерттеу әдістемесі

Тотықсыздандырғыш ретінде сутегі газын пайдалану бұл мәселенің жаңа шешімін ұсына алады. Сутегі темірді рудадан тиімді қалпына келтіруге мүмкіндік беріп қана қоймайды, сонымен қатар фосфорды оңай бөлінетін қалыпқа шығаруға көмектеседі.

Құрамында көміртегі бар тотықсыздандырғыштарды (кокс, табиғи газ) қолдануға негізделген темір рудасын қалпына келтірудің дәстүрлі әдістері айтарлықтай CO₂ шығарындыларымен бірге жүреді. Халықаралық энергетикалық агенттіктің (ХЭА) мәліметтері бойынша, болат өнеркәсібі парниктік газдардың ең үлкен эмиссияларының бірі болып табылады, оның үлесіне жаһандық CO₂ газының шамамен 7-8% келеді [3].

Темір кендерінің сутектік тотықсыздануы реакцияның жалғыз жанама өнімі су (H₂O) болатын балама нұсқа болып табылады. Zhao L.D. және т.б. (2025) зерттеуі сутегі бар газдарды пайдалану көміртегі шығарындыларын азайтып қана қоймай, сонымен қатар суық температурада химиялық реакцияларды жеделдету арқылы темірді қалпына келтіру тиімділігін арттыратынын көрсетті [4]. Металлургиялық процеске сутегі технологиясын енгізу саланың көміртегі ізін айтарлықтай төмендетіп, «жасыл» металлургияға көшуге ықпал етуі мүмкін.

Б. Сүлеймен өз жұмысында [5] қазіргі заманғы қара металлургия оңай қол жетімді темір кендерінің сарқылу проблемасына тап болып отырғанын, бұл күрделі және кедей кендерді өңдеу әдістерін зерттеуді өзекті ететінін атап өтті. Мұндай кендердің ең көп таралған және перспективалы

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

сорттарының бірі-жоғары фосфорлы темір кендері, бірақ оларды өңдеу фосфордың көп мөлшерімен қиындайды.

Мұндай кендердің ірі қорлары Қазақстанда (Лисаков – 1,6 млрд т, Аят– 10 млрд т астам), Ресейде (Бакчар кен орны – 28,7 млрд т), сондай-ақ Қытайда оолит кендері елдің жалпы темір кені қорларының шамамен 10% құрайды. Дегенмен, фосфордың жоғары концентрациясы дәстүрлі байыту әдістерін тиімсіз етеді: фосфат қосылыстары бос тау жыныстарымен тығыз байланысты, бұл оларды жоюды қиындатады. Мұндай кендерді домендік процесте қолданған кезде барлық дерлік фосфор шойынға өтеді, бұл оны одан әрі өңдеуді қиындатады, қож көлемін арттырады және энергия шығындарын арттырады. Гидрометаллургиялық және пирометаллургиялық фосфорсыздандыру әдістері реагенттерге айтарлықтай шығындарды талап етеді, бұл оларды экономикалық тұрғыдан тиімсіз етеді.

Осыған байланысты жоғары фосфорлы темір кендерін өңдеудің жаңа тәсілдерін әзірлеу қажеттілігі туындайды. Перспективалы бағыттардың бірі-құрамында сутегі бар газдарды тотықсыздандырғыш ретінде пайдалану. Бұл көміртегі шығарындыларын азайтудың әлемдік тенденцияларына сәйкес келеді және қоршаған ортаға теріс әсерді азайта отырып, темірді тиімдірек алу үшін жаңа мүмкіндіктер ашады. Фосфорды оксид фазасында сақтай отырып, шамамен 1000°C температурада көміртегі тотығымен немесе 900°C температурада сутегімен әлсіз тотықсызданатын атмосферада жоғары фосфорлы оолит кенін темірді селективті тотықсыздандырудың принципті мүмкіндігі эксперименталды түрде расталды. Дәл осындай жағдайларда қатты көміртекті тотықсыздандырғыш ретінде пайдалану фосфордың металл бөлігіне өтуіне әкеледі.

Зерттеу нәтижелерін талдау

Зерттеуге сәйкес [6], құрамында сутегі бар газдарды қолдана отырып, жоғары фосфорлы оолит кендерінен Темірдің селективті тотықсыздануы соңғы металл өніміндегі фосфордың айтарлықтай төмендеуіне қол жеткізуге мүмкіндік береді. Авторлар 800-900 °C температурада және газ қоспасының оңтайлы құрамында темір негізінен жұмсақ темірге, ал фосфор шлакта шоғырланғанын көрсетті. Бұған тотықсызданған фазалардың химиялық белсенділігінің айырмашылығы және құрамында фосфор бар қосылыстардың қож фазасына селективті бөлінуі арқылы қол жеткізіледі. Зерттеу нәтижелері Лисаков кен орнының кендерін өңдеу үшін сутегі тотықсыздануын қолдану перспективасын растайды. Бұл технологияны қолдану күрделі кендерді өңдеудің тиімділігін арттырып қана қоймай, сонымен қатар металлургияның қазіргі даму тенденцияларына сәйкес келетін көміртегі шығарындыларын азайту арқылы экологиялық жүктемені азайтуға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Қатты фазалық тотықсыздандыруды газ тәрізді тотықсыздандырғышпен жақсы орнатылған күйдіру қондырғылары арқылы жүзеге асыруға болады. Бұл жағдайда көміртегі тотығының орнына балама ретінде табиғи газ, сутегімен байытылған табиғи газ немесе таза сутегі болуы мүмкін. Қатты көміртегі мен көміртегі тотығының орнына сутекті қолдану парниктік газдар шығарындыларын едәуір азайтады, өйткені су буы тотықсызданған кезде жанама өнімге айналады. Болашақта, мысалы, атом энергетикасын дамыту арқылы электр энергиясының құнын төмендету арқылы көміртекті тотықсыздандырғыш ретінде пайдаланудан толығымен бас тартуға болады, оны сутегімен, соның ішінде су электролизінен алынған сутегімен алмастыруға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Mirko, V.A.; Kabanov Yu Naydenov, V. The Current State of Development of Brown Ironstone Deposits in Kazakhstan; Industry of Kazakhstan: Astana, Republic of Kazakhstan, 2002; Volume 1, pp. 79–82.
2. Smirnov, L.A.; Babenko, A.A. Involvement in the production of Lisakovsky concentrate is one of the directions for expanding the iron ore base of the Urals and Siberia. In Proceedings of the Materials of the International Congresses “300 Years of Ural metallurgy” б Ekaterinburg, Yekaterinburg, Russia, 4–5 October 2001; pp. 48–49.
3. International Energy Agency (IEA). Global CO₂ Emissions from Industry. 2023.

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

4. Zhao L.-D., Wu D.-Y., You X.-M. Dephosphorization of High-Phosphorus Iron Ore by Direct Reduction of Hydrogen-Rich Gases and Melting Separation // Journal of Central South University. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11771-024-5796-z> .

5. Сулеймен Б. Селективное восстановление железа в высокофосфористых оолитовых рудах с получением мягкого железа и фосфористого шлака : дис. канд. техн. наук. — Челябинск : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет», 2024. — 110 с.

6. Suleimen B., Kosdauletov N., Adilov G., et al. Selective Reduction of Iron in High-Phosphorus Oolitic Ore from the Lisakovsk Deposit // Materials. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma17215271> .

А.Х.Нурумгалиев, А.Т.Пушанова

Водородная металлургия: будущее переработки высокофосфористых железных руд

Современная металлургическая промышленность сталкивается с вызовами, связанными с качеством железорудного сырья и необходимостью снижения углеродного следа. Одной из сложных проблем является переработка высокофосфористых железных руд, таких как руды Лисаковского месторождения. Традиционные методы обогащения не всегда эффективны, а удаление фосфора требует дополнительных затрат. В этом контексте водородная металлургия рассматривается как перспективная технология, способная не только снизить содержание фосфора, но и уменьшить выбросы углекислого газа (CO_2) за счёт использования водородного газа в качестве восстановителя.

Ключевые слова: селективное восстановление, высокофосфористые руды, оолитовые руды, водородная металлургия, фосфористый шлак, Лисаковское месторождение, дефосфорация.

А.Н. Nurumgaliev, А.Т. Pushanova

Hydrogen Metallurgy: the Future of Processing of Highly Phosphoric Iron Ores

Modern metallurgical industry faces challenges related to the quality of iron ore raw materials and the need to reduce carbon footprint. One of the complex problems is the processing of highly phosphorous iron ores, such as ores of Lisakovskoye deposit. Conventional beneficiation methods are not always effective, and phosphorus removal requires additional costs. In this context, hydrogen metallurgy is considered as a promising technology that can not only reduce phosphorus content, but also reduce carbon dioxide (CO_2) emissions by using hydrogen gas as a reducing agent.

Keywords: selective reduction, high-phosphorus ores, oolitic ores, hydrogen metallurgy, phosphorus slag, Lisakovskoe deposit, dephosphorisation.

References

1. Mirko, V.A.; Kabanov Yu Naydenov, V. The Current State of Development of Brown Ironstone Deposits in Kazakhstan; Industry of Kazakhstan: Astana, Republic of Kazakhstan, 2002; Volume 1, pp. 79–82.

2. Smirnov, L.A.; Babenko, A.A. Involvement in the production of Lisakovsky concentrate is one of the directions for expanding the iron ore base of the Urals and Siberia. In Proceedings of the Materials of the International Congresses “300 Years of Ural metallurgy” 6 Ekaterinburg, Yekaterinburg, Russia, 4–5 October 2001; pp. 48–49.

3. International Energy Agency (IEA). Global CO_2 Emissions from Industry. 2023.

4. Zhao L.-D., Wu D.-Y., You X.-M. Dephosphorization of High-Phosphorus Iron Ore by Direct Reduction of Hydrogen-Rich Gases and Melting Separation // Journal of Central South University. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11771-024-5796-z> .

FTAMP 53.29.21