

# CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED SCIENCES

Volume: 03 Issue: 11 | Nov 2022 ISSN: 2660-5317  
<https://cajotas.centralasianstudies.org>

## Изучение Технологии Прямого Восстановления Железа

**Эшонкулов У. Х**

Старший Преподаватель кафедры «Горное дело», Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан, г.Карши

**Каюмов О. А**

Ассистент кафедры «Горное дело», Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан, г.Карши

**Хакимов К. Ж**

Д-Р Философии по техническим наукам зав, Каф. «Нефть-газ и Горное дело», Термезский инженерно-технологический институт, Узбекистан, г.Термиз

*Received 9<sup>th</sup> Sep 2022, Accepted 8<sup>th</sup> Oct 2022, Online 20<sup>th</sup> Nov 2022*

**Аннотация:** Много лет технологии прямого восстановления железа из руд рассматривались как альтернатива доменному процессу. Учитывалось, что для функционирования доменного производства необходимы: добыча коксующихся углей, коксохимическое производство, обогащение железных руд, агломерационное производство и др. Возможность исключить доменное производство - заманчивая инженерная задача. Сегодня приходится учитывать также, что железосодержащий материал, получаемый непосредственно из железной руды («первородная» шихта), практически не содержит примесей цветных металлов и является «чистой» шихтой. Это обстоятельство дало мощный толчок развитию и внедрению новых технологий. В работе приведена технология прямого восстановления железа.

**Ключевые слова:** железо, агрегат, извлечения, процессы восстановления, магнетит, газификация, оптимальная температура, инженерная задача.

В земной коре железо распространено достаточно широко — на его долю приходится около 4,1% массы земной коры (4-е место среди всех элементов, 2-е среди металлов). В мантии и земной коре железо сосредоточено главным образом в силикатах, при этом его содержание значительно в основных и ультраосновных породах, и мало – в кислых и средних породах.

Известно свыше 300 минералов, из которых слагаются месторождения железных руд. Промышленное значение имеют руды с содержанием Fe свыше 16%. Важнейшие рудные минералы железа: магнетит (магнитный железняк)  $Fe_3O_4$  (содержит 72,4% Fe), гематит (железный блеск, красный железняк)  $Fe_2O_3$  (70% Fe), гётит  $2FeO(OH)$ , или  $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ , лепидокрокит  $3FeO(OH)$  и гидрогётит (лимонит)  $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$  (ок. 62% Fe), сидерит  $FeCO_3$  (48,2% Fe), ильменит

FeTiO<sub>3</sub> (36,8% Fe). Наряду с полезными примесями - Mn, Cr, Ni, Ti, V, Co - железные руды содержат и вредные примеси - S, P и др [1].

Много лет технологии прямого восстановления железа из руд рассматривались как альтернатива доменному процессу. Учитывалось, что для функционирования доменного производства необходимы: добыча коксующихся углей, коксохимическое производство, обогащение железных руд, агломерационное производство и др. Возможность исключить доменное производство - заманчивая инженерная задача. Сегодня приходится учитывать также, что железосодержащий материал, получаемый непосредственно из железной руды («первородная» шихта), практически не содержит примесей цветных металлов и является «чистой» шихтой.

Это обстоятельство дало мощный толчок развитию и внедрению новых технологий.

Основные варианты используемых технологий

Восстановление железа из твердых железорудных материалов

Взаимодействием с твердыми или газообразными восстановителями:



Процесс идет при сравнительно невысоких (не более 1000-1200°C) температурах и сопровождается повышением концентрации металлического железа в продукте. Поскольку получаемый продукт представляет собой куски пористого материала, по внешнему виду напоминающего губку, его называют также губчатым железом. Поскольку процессы идут в твердом материале, без образования жидкой фазы, их называют процессами твердофазного восстановления, сокращенно ПТВ. В зарубежной литературе для обозначения получаемого материала используют аббревиатуру DRI (англ. Direct Reduced-Iron), или DI. [2].

Восстановление железа в кипящем железистом шлаке: (FeO)+C или CO→Fe+CO<sub>2</sub>.

Такой процесс называют процессом жидкофазного восстановления (ПЖВ). Получение из чистых железных руд карбида железа по реакции:



Процесс протекает при температуре около 600°C и давлении около 4 атм (0,4 МПа); продукт-гранулы до 1,0 мм, содержащие более 90% Fe<sub>2</sub>O. Независимо от способа получения все эти материалы содержат очень мало примесей цветных металлов. Стоимость их по мере совершенствования методов производства приближается к стоимости хорошего металлолома.

Сегодня в мире различными способами получают десятки миллионов тонн металлошихты, вырабатываемой непосредственно из железных руд («первородной» шихты). Эти технологии становятся все более элементом металлургического производства. Рассмотрим методы прямого восстановления железа более подробно.

Процесс повышения содержания железа в железорудных материалах получил название процесса металлизации, получаемый продукт Название металлизированного, под степенью металлизации понимают обычно процент железа в продукте [5].

Для восстановления окислов железа используются в качестве восстановителя обычно уголь (твердый восстановитель) или природный газ (газообразный восстановитель). При этом предпочтительно использование не «сырого» природного газа, а горячих восстановительных газов, так как при этом не затрачивается тепло на диссоциацию углеводородов, а приход тепла определяется нагревом восстановительных газов.

Восстановительные газы получают конверсией газообразных углеводородов либо газификацией твердого топлива.

Конверсия может быть:

кислородной (воздушной)  $\text{CH}_4 + 1/2\text{O}_2 = \text{CO} + 2\text{H}_2 + \text{Q}$ ,

паровой  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2 - \text{Q}$  или

углекислотной  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2 - \text{Q}$ .

Паровая и углекислотная конверсии для протекания реакций требуют затрат тепла. Конверсию осуществляют в специальных аппаратах с использованием катализаторов [3].

Газификация твердого топлива осуществляется по следующим реакциям:

$\text{C} + 1/2\text{O}_2 = \text{CO} + \text{Q}$ ,

$\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2 - \text{Q}$ ,

$\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO} - \text{Q}$ ,

Существует несколько десятков типов процессов и установок прямого восстановления железа (рис.1).

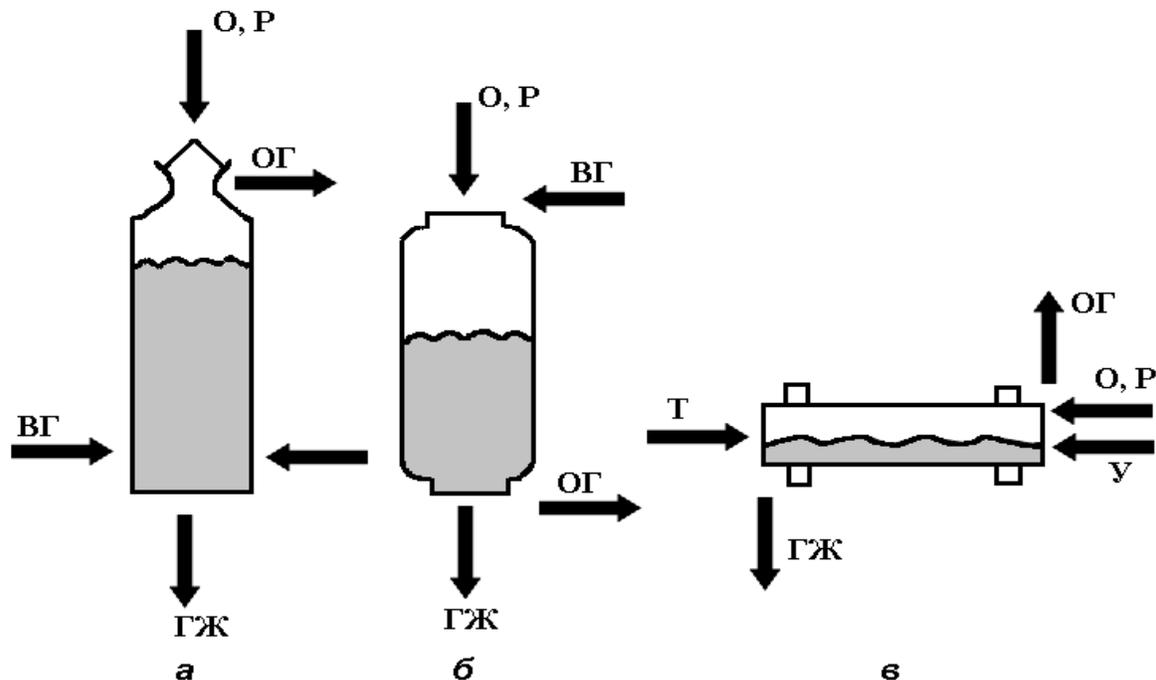


Рис.1. Принципиальные схемы агрегатов прямого восстановления, используемых в различных процессах: *а* - Мидрекс; *б* - ХиЛ; *в* - Круппа:

О - железорудные окатыши; Р - руда; ГЖ - губчатое железо; ВГ - восстановительный газ; Ог - отходящий газ; Т - топливо; У – уголь

Сегодня металлурги располагают рядом предложений и проектов организации технологии прямого восстановления железа. Все предлагаемые технологии основаны на одном принципе:

железную руду восстанавливают до состояния твердого губчатого железа (называемого обычно DRI) со степенью металлизации 85-95% [4].

Содержание циклонной пыли в смеси составляло 80-90%, так как печи КС по обжигу в виде пыли из циклонов. Химический состав, использованного для опытов по восстановлению материала, приведен в таблице 1. Опыты по восстановлению Алтын-Топканского пиритного огарка не проводились из-за отсутствия материала, так как обжиг пирита печах давал нехарактерный продукт.

Таблица 1. Химический состав материала, использованного для опытов по восстановлению

Компоненты	Содержание в %
Fe	52,6
Cu	0,45
Zn	0,46
$S_{общ}$	0,80
$SiO_2$	14,0
CaO	0,45
MgO	0,22
$Al_2O_3$	5,2

Как видно из табл.1 исходное сырье для опытов содержит 52,6% Fe, в то время как использованная в предыдущих опытах гранулированная циклонная пыль содержала 52,5% Fe, содержание серы в исходном сырье составляет 0,8%, по сравнению с 1,64% серы в циклонной пыли предыдущих опытов.

В табл.2 приведен ситовой состав материала для опытов.

Таблица 2. Ситовой состав материала для опытов по восстановлению

Размер сита, меш	Размер зерен, мм	Выход класса в %	
		частный	суммарный
+14	+1	0,9	0,9
-14+35	-1+0,5	2,2	3,1
-35+60	-0,5+0,246	5,65	8,75
-60+90	-0,246+0,16	13,70	22,45
-90+150	-0,16+0,104	18,40	40,85
-150+200	-0,104+0,074	27,35	68,20
-200+250	-0,074+0,052	17,20	85,40
-250	-0,052	14,55	99,95
Итого:		99,5	

Средне – взвешенный диаметр зерен материала для опытов составляет на основе ситового анализа, приведенного в табл.2, 0,14 мм. Для опытов по восстановительному обжигу он был использован без предварительного окатывания.

Известно несколько методов разложения природного газа: 1. термическое разложение метана; 2. паровая конверсия метана; 3. частичное окисление (конверсия) метана; 4. комплексная конверсия метана с получением ацетилена и водорода. Вышеперечисленные методы подробно описаны в отчете Гинцветмета за 1959 г. (1)

В настоящем исследовании по восстановительному обжигу в кипящем слое газ получали за счет частичного окисления (конверсии) метана воздухом, так как данный способ являлся в условиях лаборатории наиболее простым.

На рис.1 даны кривые изменения состава продуктов сжигания метана в зависимости от соотношения воздух: газ. График охватывает область от  $\alpha=1$  до  $\alpha=0,25$ . Из графика видно, что при  $\alpha=1$  содержание водорода и окиси углерода равно нулю, так как имеет место полное сгорание метана с образованием углекислоты и паров воды (8).

Конверсией метана в присутствии никелевого катализатора при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$  равном 0,24-0,4 можно получить газ, который по своим восстановительным свойствам отвечает требованиям процесса восстановления. Из практики завода известно, что по способу частичного окисления восстановительный газ наилучшего состава получается при  $\alpha=25\%$ . В нем содержится водорода 40%; окиси углерода 20%; отсутствуют водяной пар, углекислота и метан.

В настоящей работе конверсия метана осуществлялась при  $\alpha=0,28-0,3$  при температуре 900-950<sup>0</sup>С с получением восстановительного газа следующего состава: водорода -30-38%; окиси углерода 15-19%; углекислоты 0,4-1,2%. кислород отсутствовал и остальное азот.

При меньшей степени металлизации продукт называют предварительно восстановленной рудой, металлизированным продуктом и т.п.

Процессы восстановления в зависимости от типа восстановительного агента подразделяются на газо- и твердофазные. В промышленных масштабах газофазные процессы проводят в шахтных печах, ретортах и в псевдоожиженном (кипящем) слое. Твердофазное восстановление происходит во вращающихся обжиговых печах, печах с вращающимся подом или многоподовых. Во всех случаях процессы восстановления осуществляются без использования кокса.

На основе результатов опытов, проведенных на укрупненно-лабораторной установке непрерывного действия установлена возможность осуществления процесса восстановительного укрупнения весьма тонкого материала, из смеси пиритных огарков и пылей (продуктов обжига пиритного концентрата в печах КС).

Уточнены режим и показатели восстановительного обжига негранулированного материала:

а) крупность кокса для создания ванны кипящего слоя составила минус 1,5-1,0 мм при среднезвешенном диаметре зерен 0,5 мм; восстанавливаемый материал имел средневзвешенный диаметр зерен 0,12-0,15 мм;

б) оптимальная температура в кипящем слое в зависимости от активности и крупности. Получаемого железного порошка составляет 940-980<sup>0</sup>;

в) производительность процесса по активному железному порошку в зависимости от температуры составляет 2,6-3,7т/м<sup>2</sup> в сутки;

г) выход неотмагниченных твердых продуктов обжига составляет: огарка -70-75,5%, пыли из камеры – 21,0 -25%, пыли из мешочного фильтра – 4,42%. Выход магнитной фракции огарка составляет пыли 75%.

В результате опытов в интервале температур 970-980<sup>0</sup> достигнутая степень восстановления составляет 90-92%, при этом содержание активного железа в магнитной фракции огарка составляет 58-60%. Пыль из камеры несколько беднее по содержанию активного железа, однако оно достаточно для использования её в процессе цементации меди. Однако в указанном

температуном интервале железный порошок получается относительно более крупным, чем при температурах 930-940<sup>0</sup>.

### Список литературы.

1. В.А.Кудрин. Технологические процессы производства стали. Ростов –на-Дону., Феникс, 2017
2. Ласкорин Б.Н., Барский Л.А., Персиц В.З. Безотходная технология переработки минерального сырья. Системный анализ. М., Недра, 1984.
3. Исследование технологии извлечения редких и благородных металлов из сбросных растворов шламового поля А.Н Шодиев, Ш.Н Туробов, А.А
4. Саидахмедов, К.Ж Хакимов, У.Х.Эшонкулов, Universum: технические науки, 2020.
5. Complex Processing Of Lead-Containing Technogenic Waste From Mining And Metallurgical Industries In The Urals / K.D. Khakimov, U.K. Eshonqulov, T.S. Amanov, A.A. Umirzoqov // The American Journal of Engineering And Technology «IMPACT FACTOR». – 2020. – № 5. – P.
6. STUDY OF THE MATERIAL COMPOSITION OF TITANIUM-MAGNETIC ORE OF THE TEBINBULAK DEPOSIT/ Uchkun Khudoynazar O'G'Li Eshonkulov, Azamat Yusupovich Shukurov, Oybek Azamat O'G'Li Kayumov, Azamat Abdurashidovich Umirzoqov/ Scientific progress, 2021— № 7— 423-428
7. DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGICAL SCHEME OF SAMPLE ENRICHMENT TITANIUM-MAGNETIC ORE OF THE TEBINBULAK DEPOSIT/Uchqun Khudoynazar O'G'Li Eshonqulov, Azamat Abdurashidovich Umirzoqov, Amirjon Murodovich Khodjakulov, Husniddin Juraevich Quziyev/ Scientific progress, 2021— № 7— 407-413