

УДК 669.1

## ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИИ – ТЕХНОЛОГИЯ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

**И.А. Хатиб**, студент Шуменского университета им. Епископа Константина Преславского

Научный руководитель **Д.Р. Денев**, гл. ассистент, д-р, инж. Шуменского университета им. Епископа Константина Преславского, Факультет технических наук, кафедра Коммуникационной и компьютерной техники, г. Шумен, Болгария

**Аннотация:** В статье представлены добыча руды, использование топлива, а также схема и процесс доменной печи, и физико-химические процессы, которые в ней происходят. Указаны виды руд, подготовка — дробление, промывка, сушка и обогащение — металлические и скальные компоненты, из которых они состоят или содержатся, и их значение. Тщательно изучены примеси магнетита, гематита, лимонита и сидерита. Топлива описаны путем прослеживания развития и формирования процесса замещения древесного угля коксом. Доменная печь рассматривается как техническая система для комплексного восстановления и индукции железной руды; она используется для получения чугуна вместе со шлаком. Печь с температурными условиями внутри и восстановительными реакциями. Система также представляет карбонизацию и металлургию в металлах.

**Ключевые слова:** доменная печь, древесный уголь, руда

**Abstract:** The paper presents ore extraction, fuel uses, and the scheme and process of the blast furnace and physical-chemical processes that take place in it. It indicates the ores' kinds, preparation—crushing, washing, drying, and enrichment—metallic and rocky components they consist of or contain, and their importance. The impurities of magnetite, hematite, limonite, and siderite are carefully examined. The fuels are described by tracing the development and forming the process of substitution of charcoal by coke. The blast furnace is considered as a technical system for the integrated reduction and induction of iron ore; it is used for the preparation of cast iron together with slag. Furnace with temperature conditions inside and reducing reactions. The system also presents carbonization and metallurgy in metals.

**Keywords:** blast furnace, charcoal, ore

### ВВЕДЕНИЕ

Добыча металлических руд образует подсектор в более широкой горнодобывающей промышленности, в которой добываются руды. Этот подсектор включает как открытые, так и подземные рудники. Процессу добычи предшествует первичная обработка добываемого материала, и он включает следующие этапы:

- Дробление: измельчение руды для дальнейшей обработки.
- Промывка: обработка с использованием воды или любого подходящего растворителя, который отделяет металл от примесей и горной массы.
- Сушка: процесс удаления влаги из обработанной руды. Спекание и прокаливание — это методы, применяемые для преобразования руды в форму, пригодную для обработки.
- Разделение и флотация: процессы, которые отделяют металлы от других соединений, присутствующих в руде.
- Существует два основных типа руд:
  - Эндогенные руды: они образуются в результате деятельности, связанной с магматическим происхождением или даже метаморфизующимися породами.
  - Экзогенные руды: они образуются в результате процессов выветривания и седиментации.

Следует также отметить, что не все соединения металлов являются рудами. Существуют металлы, которые довольно распространены в природе, но в виде очень устойчивых соединений, из которых нет технологических возможностей извлечения. Но человеку наиболее остро нужны те металлы, которые находятся в самородном состоянии или в легко извлекаемых соединениях, таких как золото, серебро, медь, свинец и другие.

Руда состоит из двух частей: металлической части, которая является химическим соединением основного извлекаемого металла — оксида, карбоната, сульфида или комплексного соединения; химических соединений других примесных металлов; и пустой породы, состоящей из минералов, смешанных в разных пропорциях с песком, глиной и другими примесями (не содержащими ценных металлов).

Обогащение руды сводится к концентрированию металла минерала и частичному избавлению от примесей, связанных с породой, из которой извлекается минерал, а также к подготовке руды к виду, в котором она может быть подвергнута дальнейшей переработке.



А) Лимонит



Б) Сидерит



В) Магнетит



Г) Гематит

Рисунок 1 - Виды железных руд

### ДОБЫЧА ТОПЛИВА

Тепло для большинства доменных печей древности и современных шахтных печей малого объема вырабатывалось древесным углем. Его теплотворная способность высока, и он не содержит вредных примесей, которые могут отрицательно влиять на свойства железа при восстановлении углеро-

дом. Рост потребности в чугуне, а также уничтожение в Европе лесов, используемых для производства древесного угля, особенно в Англии для ее быстрорастущей железной промышленности, привели к острому дефициту древесины в конце XVII века. Древесный уголь также имеет низкую механическую прочность: даже при выгрузке из печи при относительно низком давлении он рассыпается в коксовую мелочь (мелкие частицы) — в доменном газе появляется сажа — или измельчается в пыль, заполняя пространство между кусками в шихте, легко пронизываемое под высоким давлением газообразными продуктами восстановления.

Каменный уголь в чистом виде в металлургии использовать нельзя. Он не обладает необходимой прочностью, а главное, содержит много вредных для металла примесей (особенно серу). Поэтому каменный уголь коксуют. Коксование угля производится в специальных печах — шамотных камерах длиной 13—18 м и шириной около 4—5 м, герметично закрытых и обогреваемых снаружи газом. Несколько десятков таких камер образуют коксовую батарею — высокое (до половины!) и длинное помещение, разделенное сплошными стенами на отдельные помещения.

Перед заполнением камеры углем его необходимо предварительно измельчить в порошок фракций менее 3 мм. Экспериментально установлено, что в таких условиях газовыделение из него протекает наилучшим образом: отсутствует опасность самовозгорания пыли или растрескивания верхних слоев из-за перегрева (стенки ячеек нагреваются довольно сильно), все частицы подвергаются интенсивному нагреву в течение одного цикла... При заполнении угольных камер на нее набрасывают гантели, сложенные мешками, наполненными сухим песком или водой.

После загрузки камеры угольной пылью с помощью специальных затворов — профилактических мер по опасному пылению через специально оставленные в верхней части камеры коксовой печи отверстия.

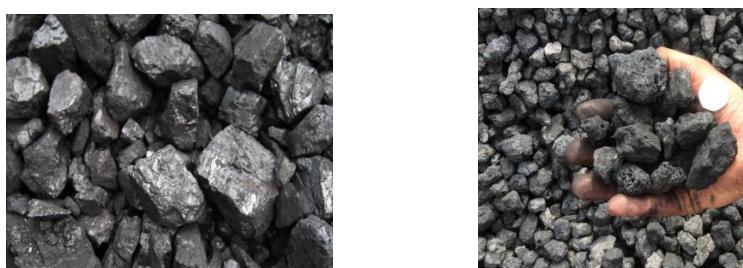


Рисунок 2 - Сравнение нефтяного кокса и угольного кокса

### УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Чугун производится в доменной печи. Доменная печь — это машина непрерывного действия, используемая для производства чугуна из железной руды. Генератор работает по принципу противотока, то есть сырье (руды, кокс, флюс) движется сверху вниз под собственным весом, а для его нагрева выдувается горячий воздух. Горячий воздух необходим для дальнейшего нагрева шахты перед плавкой. Это снижает расход дорогостоящего кокса и увеличивает производительность печи.

вает потребление энергии. В печь также добавляется окись углерода в качестве источника тепла для дальнейшего снижения затрат на кокс. Перед подачей горячий воздух нагревается в высокой кирпичной башне, называемой воздухонагревателем. Печь выложена огнеупорным кирпичом. Постоянно охлаждается водой в нижней части печи. Рис. 3 показывает полный вид доменной печи. Печь накрывается большой и малой емкостью, а затем сверху вниз располагаются пять ее основных элементов: горловина, шахта, перегородка, заплечик (опора) и подина (тигель). Доменный газ выводится из горловины через выпускное отверстие. Газ пылевидный и используется в энергетических целях. Часть его сжигается в подогревателе (уголь), который нагревает воздух, поступающий в доменную печь через сопла. Кокс (и природный газ или нефть) сжигается в доменной печи. Достигается высокая температура (более 2000 °C), при которой руда полностью расплывается. Шлак собирается в шлаковые ковши, установленные на тележках. Отправляется на грануляцию. Гранулированный шлак используется как строительный материал

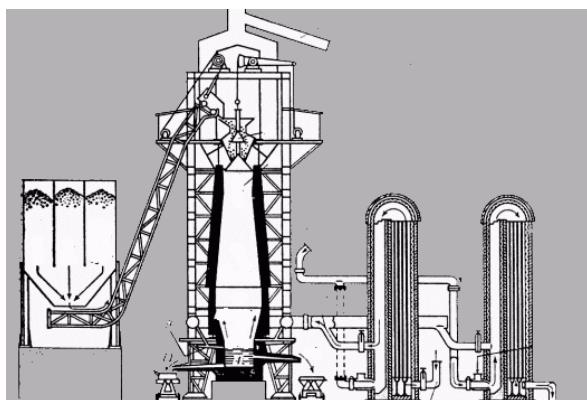


Рисунок 3 - Общий вид доменной печи и работающего с ней оборудования

### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

В доменной печи материалы засыпаются последовательно: кокс, руда и добавки (флюс). Это действие не фиксируется при предварительной перекладке. Материал перераспределяется и проходит через разные части печи. Они имеют разные температурные и составные условия. Здесь происходит множество физико-химических процессов и получается расплавленный металл. В печи создаются два потока воздуха. Первый — нисходящий поток руды и кокса, второй — восходящий поток газа. Второй называется доменным газом и богат пылью, углекислым газом и цианистым водородом. Из отверстия, где они очищаются, они поступают в циклонный пылеуловитель и электрофильтр. Затем газ рециркулируется и сжигается для получения тепла. В зависимости от температуры в каждой зоне печи происходят следующие процессы:

- Испарение гигроскопической воды;
- Разложение гидратации воды;
- Разложение карбонатов;
- Восстановление железа;

- Науглероживание восстановленного железа;
- Плавка железа и образование шлака

### **ОЦЕНКА КИСЛОРОДНОЙ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ С РЕДУЦИРУЮЩИМ ВПРЫСКОМ ГАЗА ЧЕРЕЗ ШАХТНЫЙ ГАЗОВЫЙ ИНЖЕКТОР**

Уменьшение впрыска газа имеет ряд преимуществ. Однако восстановительный газ, нагнетаемый в шахту, должен быть эффективен при восстановлении железной руды. Проникновение газа в поперечное сечение печи (радиальное направление) связано со снижением эффективности вдувания газа. Снижение проникновения газа ограничивается периферийной областью вблизи стенки печи. В частности, эта тенденция заметна на крупных доменных печах. Зона воздействия шахтного газа ограничена районом вспомогательных печей. На уровне закачки шахтного газа изобарическая плоскость искривляется вблизи точки закачки. Восходящий газовый поток подталкивается к центру печи впрыскиваемым газом. Однако в области выше уровня инжекции изобарная плоскость становится плоской. Это означает, что распределение скорости газа, по существу, равномерно по радиусу печи. Эти результаты являются хорошими, и можно повысить эффективность впрыска шахтного газа, но необходимо учитывать профиль доменной печи, точку впрыска и объем впрыскиваемого газа, поскольку эти факторы влияют на эффект проникновения впрыскиваемого газа. Кроме того, в процессе нагрева восстановительного газа для нагнетания газа в шахту может произойти отложение углерода. Отложение углерода вызывает проблемы с металлической пылью на поверхности оборудования. Железные порошки, включенные в восстановительный газ, ускоряют осаждение углерода в качестве катализаторов. Откальвание металла – это тип коррозии, возникающий в углеродистой атмосфере, и являющийся основной причиной серьезных повреждений высокотемпературных компонентов установок восстановительного газа.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Металлургия является основным двигателем промышленного прогресса, обеспечивая ключевые материалы для различных отраслей. Благодаря передовым технологиям и современному оборудованию достигается эффективное преобразование сырья в металлы для различных применений. Делая упор на устойчивое развитие и инновации, металлургия сочетает традиционные методы с инновационными решениями, что делает ее незаменимой для развития современной экономики.

### **Список литературы**

1. Tatsuro A., Michitaka S., Taihei N., Evolution of Blast Furnace Process toward Reductant Flexibility and Carbon Dioxide Mitigation in Steel Works, 2016, ISIJ International Vol. 56 DOI:10.2355/isijinternational.ISIJINT-2016-253, pp. 1681–1696
2. Xiao D., Tuan L., Thai H., Iron Ore Identification Method using Reflectance Spectrometer and a Deep Neural Network Framework, 2021, Spectro-

chimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.  
DOI:10.1016/j.saa.2020.119168

3. Kumar U., Mohapatra S., Iron ore image classification using deep learning, 2023, 10th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), DOI: 10.1109/SPIN57001.2023.10116816, pp. 698-703.