



Производство черных и цветных металлов

Лекция 7

Способы внедоменного получения железа

доц. Костина Л.Л.

БЕЗДОМЕННОЕ
ПРОИЗВОДСТВО



РУДА



ОКАТЫШИ



ЭЛЕКТРОПЕЧЬ



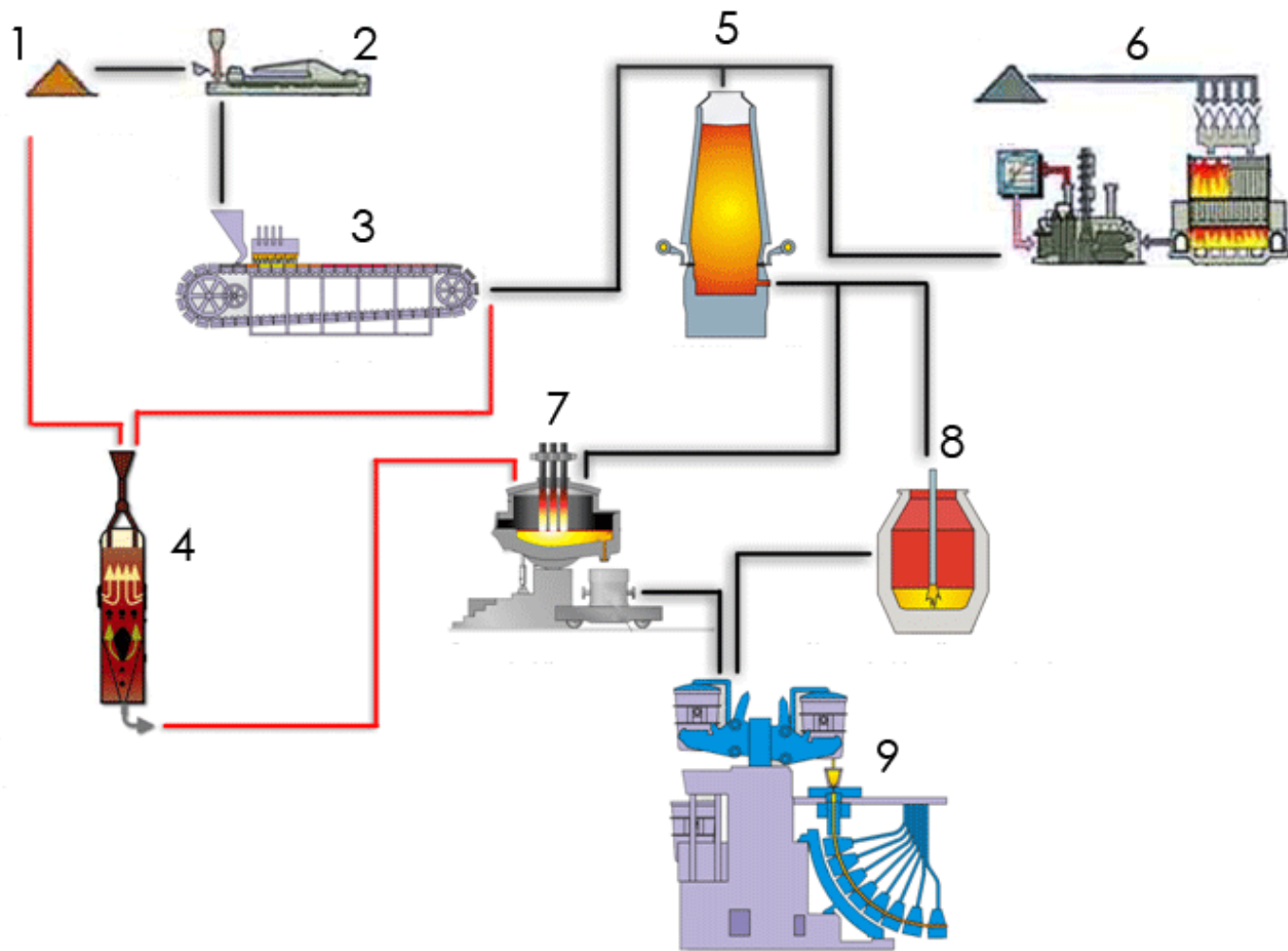
РОЛЬ И НАЗНАЧЕНИЕ ПРЯМОГО ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

Под процессами **прямого получения железа** понимают такие процессы, которые дают возможность получать непосредственно из руды металлическое железо, минуя доменную печь.

Способы прямого получения железа позволяют вести процесс **не расходуя металлургический кокс**, заменяя его другими видами топлива.

Эти способы позволяют получать чистый металл благодаря развитию способов глубокого обогащения руд, обеспечивающих не только получение высокого содержания железа в концентратах (до 72%), но и **полное освобождение от фосфора, серы и других примесей**.

Прямые способы целесообразно применять для получения губчатого железа, используемого при выплавке стали, а также производства железного порошка.



**Технологическая схема производства стали различными методами:
 1 – шихта; 2 – обогащение; 3 – окускование; 4 – агрегат прямого
 восстановления железа; 5 – доменная печь; 6 – коксохимическое
 производство; 7 – ЭСП; 8 – кислородный конвертер; 9 – МНЛЗ**

ПРИЧИНЫ РАЗВИТИЯ СПОСОБОВ ПРЯМОГО ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

Причины развития способов прямого получения железа

```
graph TD; A[Причины развития способов прямого получения железа] --> B[уменьшение запасов богатых железных руд]; A --> C[уменьшение запасов коксующихся углей]; A --> D[экономическая целесообразность маломасштабного производства металла без использования кокса]; A --> E[возможность повышения качества металла благодаря уменьшению количества примесей, которые попадают из кокса]; A --> F[необходимость создания технологий для более полного извлечения полезных компонентов из комплексных руд];
```

уменьшение запасов богатых железных руд

уменьшение запасов коксующихся углей

экономическая целесообразность маломасштабного производства металла без использования кокса

возможность повышения качества металла благодаря уменьшению количества примесей, которые попадают из кокса

необходимость создания технологий для более полного извлечения полезных компонентов из комплексных руд

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПРЯМОГО ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

В настоящее время предложено большое количество способов прямого получения железа. Многообразие их объясняется различием характеристик перерабатываемого сырья и топлива.

Прямое получение железа

```
graph TD; A[Прямое получение железа] --> B[В шахтных печах и ретортах]; A --> C[На движущейся колосниковой решетке]; A --> D[Во вращающихся трубчатых печах]; A --> E[Химико-термический способ получения железа]; A --> F[В реакторах кипящего слоя];
```

В шахтных печах и ретортах

На движущейся колосниковой решетке

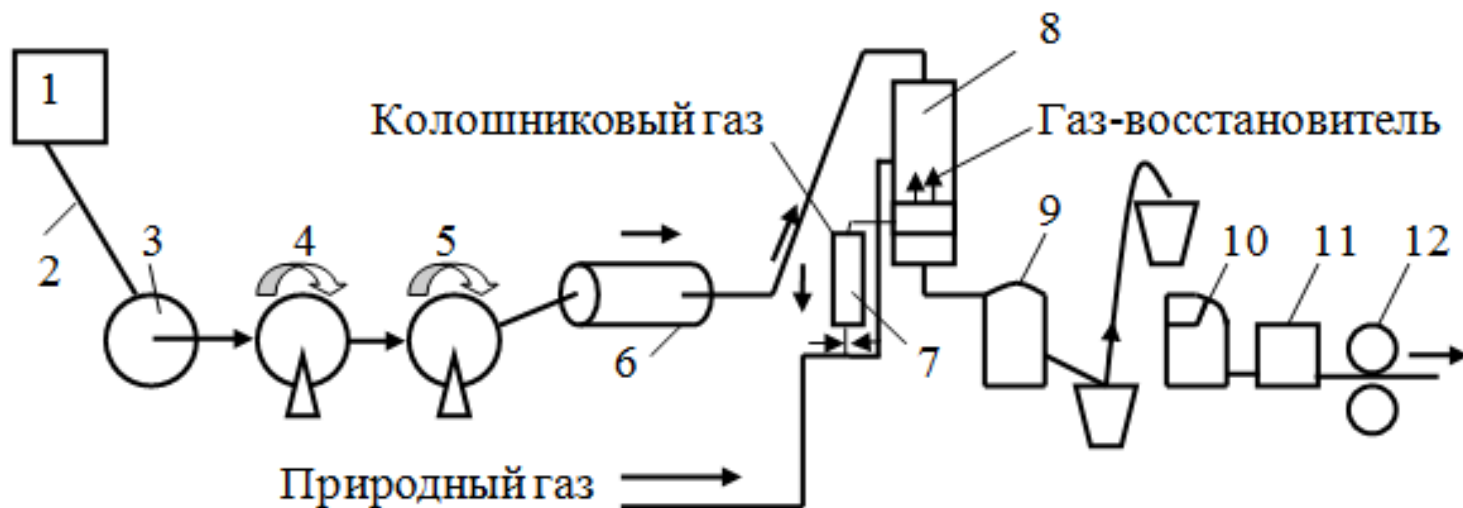
Во вращающихся трубчатых печах

Химико-термический способ получения железа

В реакторах кипящего слоя

СХЕМА ПРОЦЕССА БЕЗДОМЕННОГО ПОЛУЧЕНИЯ СТАЛИ В ШАХТНЫХ ПЕЧАХ

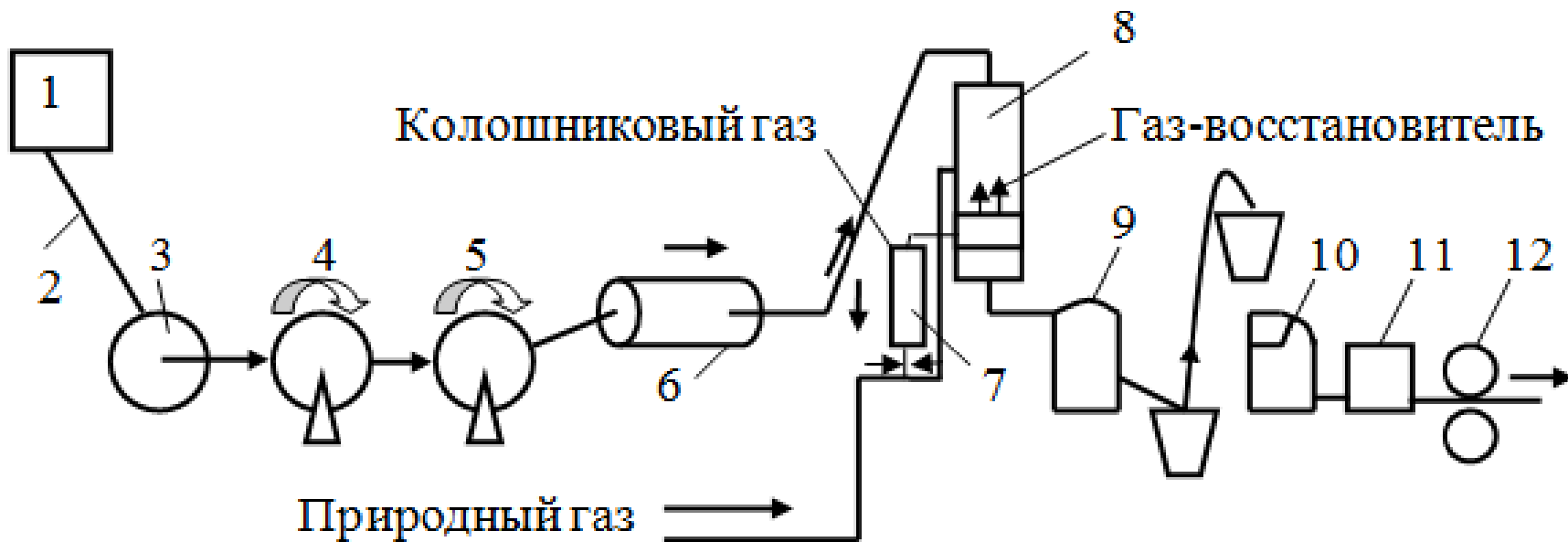
После отстаивания пульпы осадок концентрата обезвоживается с помощью дисковых вакуум-фильтров 3, смешивается в барабанных смесителях 4 со связкой (бентонитом) и подаётся в установку 5, в которой получают окатыши.



Полученные окатыши обжигают в печи 6 и подают конвейером в шахтную печь 8 прямого восстановления железа. Снизу в печь подаётся газ-восстановитель при температуре 1000 °С, который образуется в камере 7 в результате взаимодействия природного и колошниковых газов: $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$.

СХЕМА ПРОЦЕССА БЕЗДОМЕННОГО ПОЛУЧЕНИЯ СТАЛИ В ШАХТНЫХ ПЕЧАХ

В результате реакции восстановления окатышей массовая доля железа увеличивается до 95 %. Затем окатыши поступают в электропечь 9, плавятся, металл очищается от примесей.

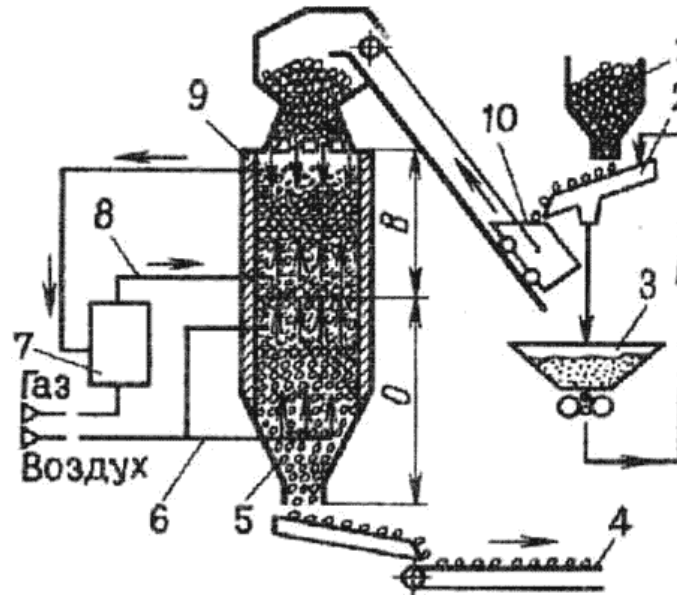


Для получения легированной стали добавляют легирующие элементы. Затем производят разливку на установках непрерывного литья 10. Слитки подогревают в печи 11 и прокатывают на прокатном стане 12.

ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗА В ШАХТНЫХ ПЕЧАХ

В шахтных печах и ретортах получают губчатое железо газообразными восстановителями в толстом слое железосодержащих окатышей. В качестве восстановителей применяют конвертированный природный газ, состоящий в основном из водорода (H_2) и оксида углерода (CO).

При получении губчатого железа добытую руду обогащают и получают окатыши.



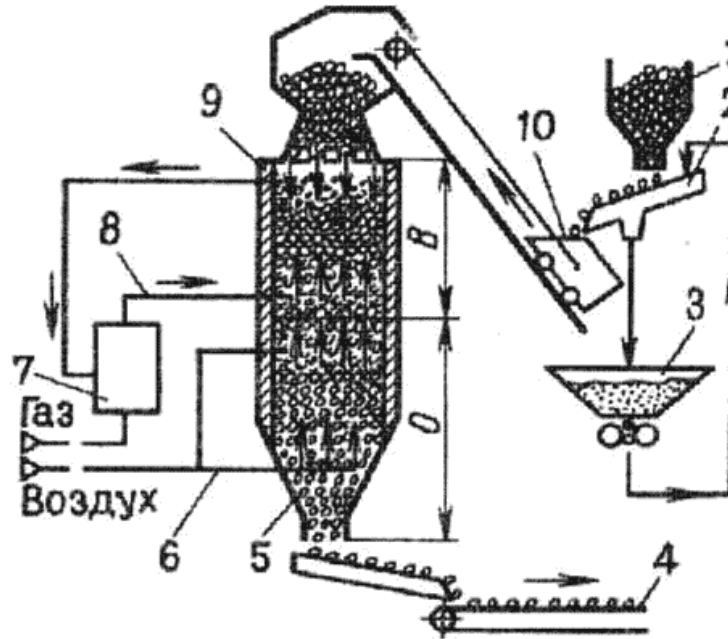
Окатыши из бункера 1 по грохоту 2 поступают в короб 10 шихтозавалочной машины и

оттуда в шахтную печь 9, работающую по принципу противотока. Просыпь от окатышей попадает в бункер 3 с брикетировочным прессом и в виде окатышей вновь поступает на грохот 2.

ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗА В ШАХТНЫХ ПЕЧАХ

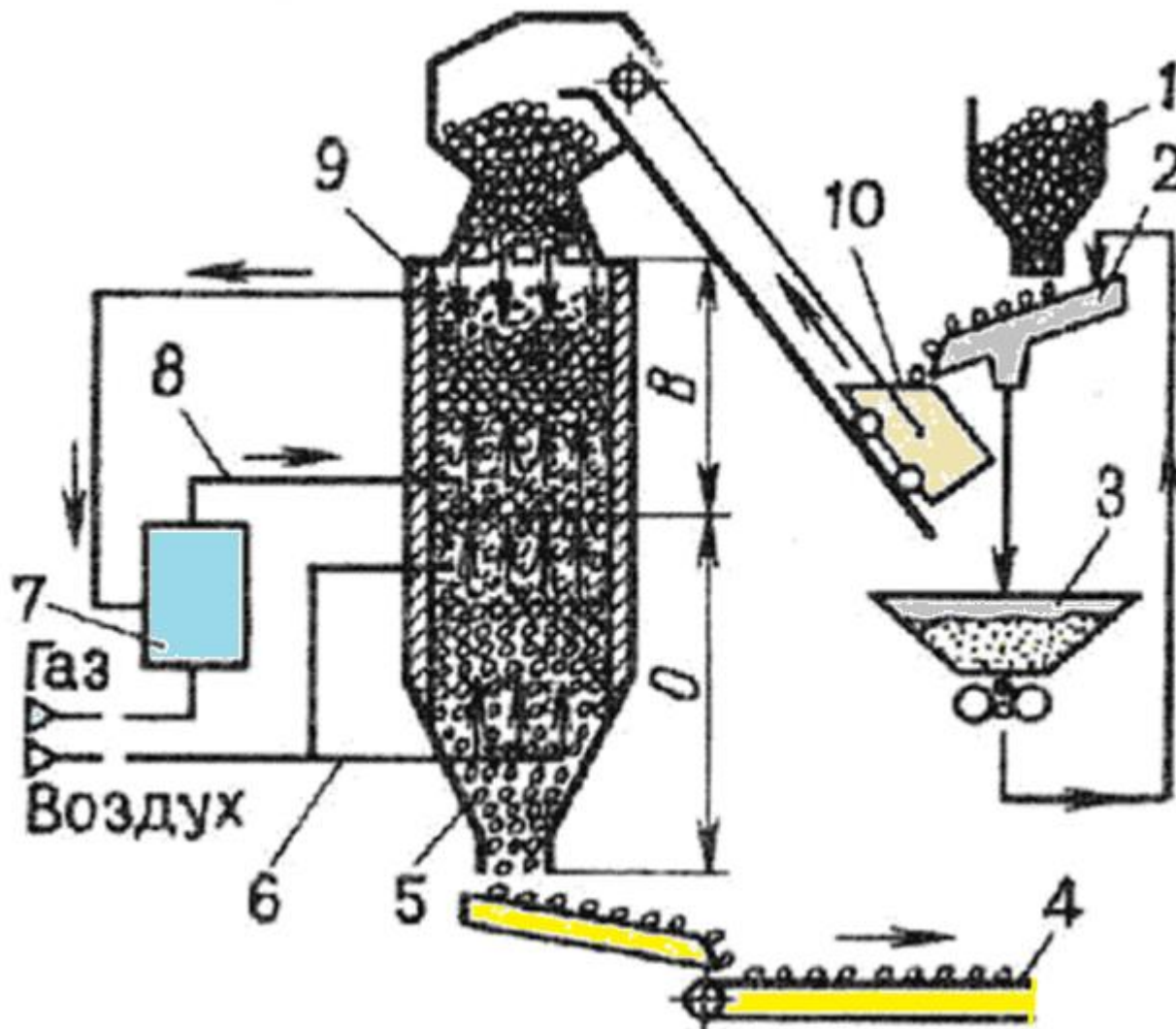
Для восстановления железа из окатышей в печь по трубопроводу 8 подают смесь природного и доменного газов, подвергнутую в установке 7 конверсии, в результате которой смесь разлагается на водород и оксид углерода (зона восстановления В).

Содержание железа в окатышах достигает 90...95%. Для охлаждения железных окатышей по трубопроводу 6 в зону охлаждения 0 печи подают воздух.



Охлаждённые окатыши 5 выдаются на конвейер 4 и поступают на выплавку стали в электропечах.

Работа агрегата в противотоке дает возможность достигать высокой производительности при хорошем использовании газа.



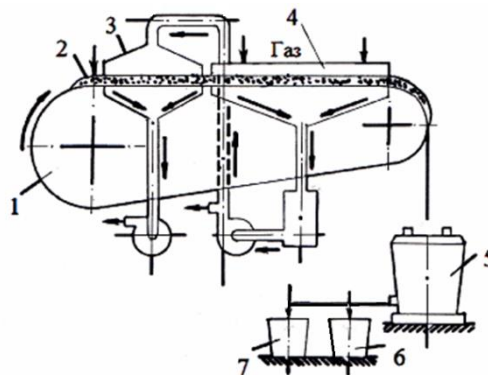
- 1 – бункер
- 2 – грохот
- 3 – бункер с брикетировочным прессом
- 4 – конвейер
- 5 – восстановленные окатыши
- 6, 8 – трубопровод
- 7 – установка для конверсии газа
- 9 – шахтная печь
- 10 – короб шихтозавалочной машины

Схема установки для прямого восстановления железа из руд и получения металлизированных окатышей (шахтная печь)

ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗА НА ДВИЖУЩЕЙСЯ КОЛОСНИКОВОЙ РЕШЕТКЕ

Процесс получения железа на **движущейся колосниковой решетке** несколько напоминает работу агломерационной машины. В этом случае используют твердый восстановитель (каменный уголь, кокс и т.д.).

Сырые окатыши в головной части установки сушат рециркулируемыми газами, после чего окатыши поступают в зону обжига, где в результате просасывания горячих газов происходит нагрев и восстановление оксидов железа.



Металлизированные окатыши в нагретом виде поступают в электродную печь для выплавки чугуна или полупродукта, используемого в сталеплавильном производстве.

Недостатком этого процесса является загрязнение губчатого железа пустой породой, серой и фосфором твердого топлива.

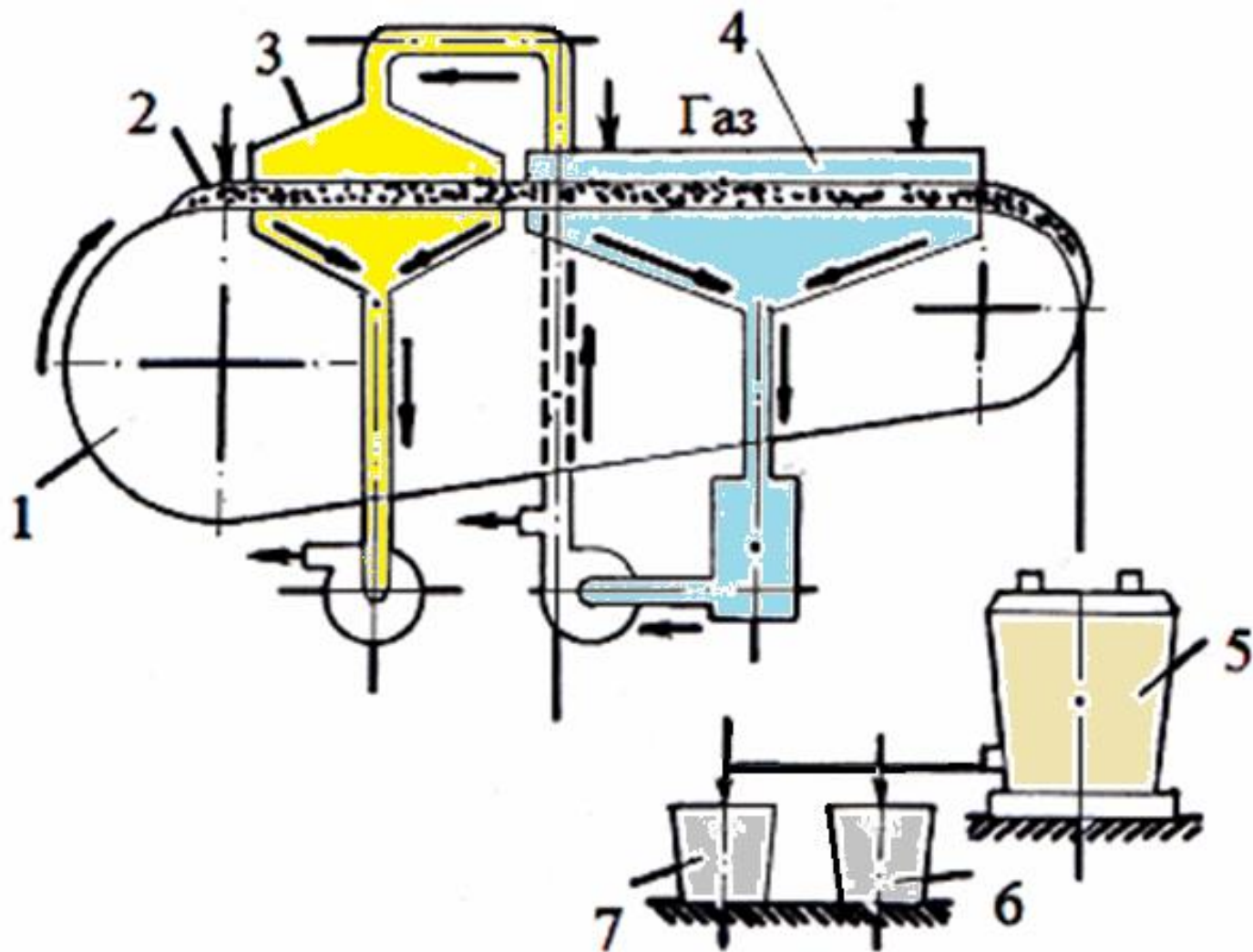


Схема процесса получения железа на движущейся колосниковой решётке: 1 – обжиговая конвейерная машина, 2 – шихта, 3 – зона сушки, 4 – зона обжига и восстановления, 5 – электропечь, 6 – ковш для жидкого металла, 7 – ковш для шлака

ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗА ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧАХ

Разновидностью процесса с использованием твердого восстановителя является способ получения железа во вращающихся трубчатых печах.

По этому способу во вращающуюся трубчатую печь, установленную под небольшим углом к горизонту, загружается шихта, твердое топливо и известняк.

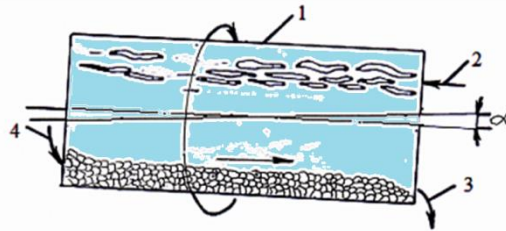


Схема процесса получения железа во вращающейся трубчатой печи: 1 – трубчатая вращающаяся печь, 2 – топливо, 3 – металлизированные окатыши

Известняк используется для десульфурации. Печь отапливается газообразным или жидким топливом при помощи горелок, установленных на разгрузочном конце печи.

По мере продвижения шихты от загрузочного конца печи к разгрузочному, навстречу газообразным продуктам горения, происходит восстановление оксидов железа. Восстановление протекает в основном через газовую фазу при участии твердого углерода.

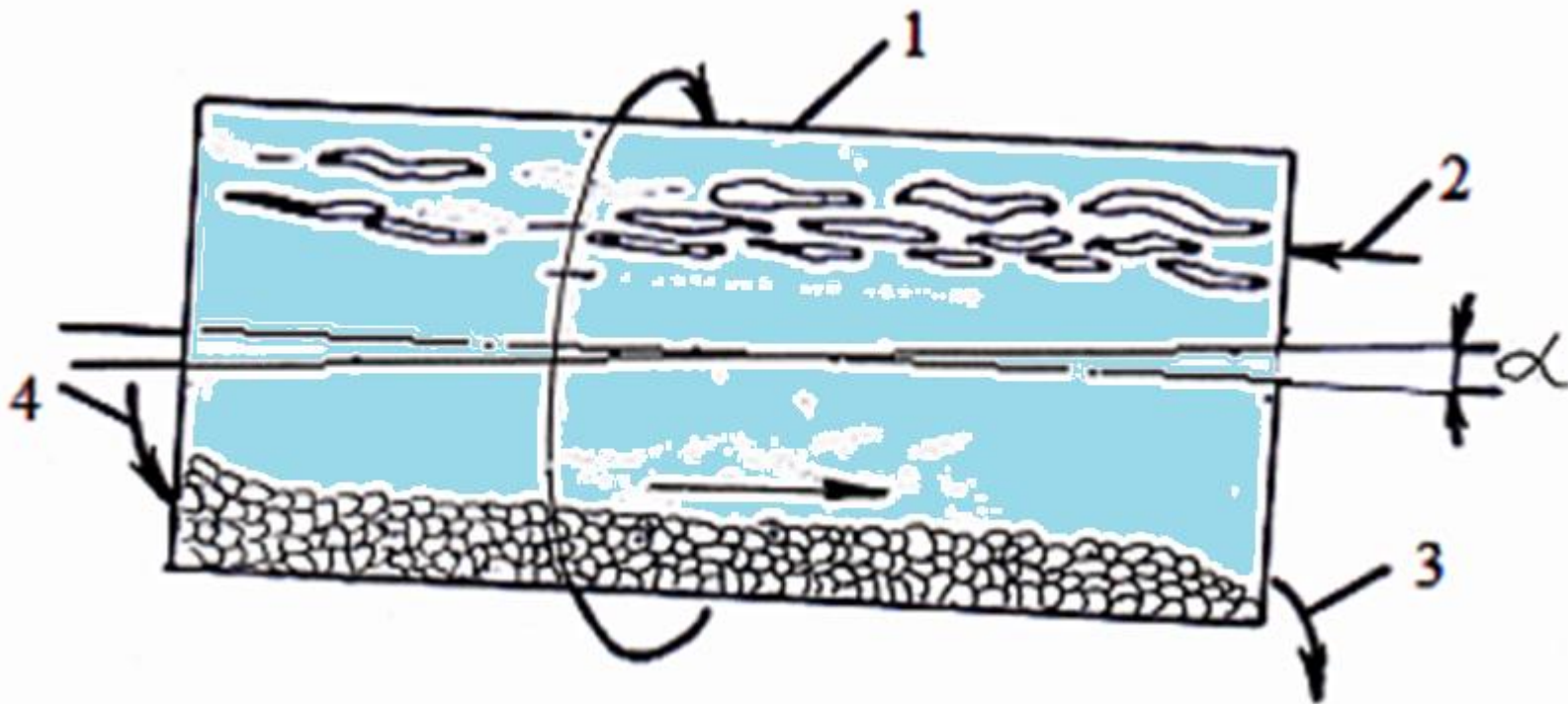


Схема процесса получения железа во вращающейся трубчатой печи: 1 – трубчатая вращающаяся печь, 2 – топливо, 3 – металлизированные окатыши

ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗА ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧАХ

На разгрузочном конце печи восстановленный материал для предупреждения окисления охлаждается в специальном вращающемся охладителе и после дробления и последующего магнитного обогащения используется в сталеплавильном производстве.

К **недостатком** метода получения железа во вращающихся трубчатых печах следует отнести усложнение восстановительного процесса из-за неравномерного смешивания компонентов шихты,

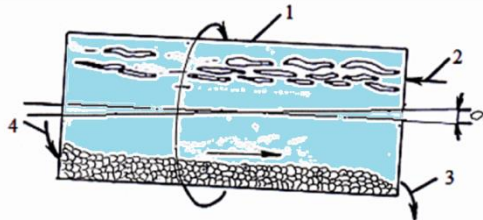


Схема процесса получения железа во вращающейся трубчатой печи: 1 – трубчатая вращающаяся печь, 2 – топливо, 3 – металлизированные окатыши

изменения поверхности контакта вследствие сегрегации компонентов, а также из-за колебаний температуры шихты по длине печи,

в результате чего возможен перегрев шихты на отдельных участках печи. Губчатое железо, полученное этим способом, содержит значительное количество примесей. Поэтому оно может быть использовано в сталеплавильных агрегатах после магнитного обогащения.

ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗА В РЕАКТОРАХ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

В основу этого способа положен эффект так называемого кипящего слоя, при котором создаются условия для хорошего контакта мелких железорудных материалов с газообразным восстановителем.

Если через слой зернистого материала пропускать восходящий поток газа, то при небольших скоростях газа твердые частицы будут оставаться неподвижными. Слой будет выполнять роль фильтрующего пористого элемента

По мере увеличения скорости газового потока и по достижении критической величины, частички начнут свободно перемещаться. Слой увеличивается в объеме и становится похожим на кипящую жидкость, наступает псевдооживление частиц.

Если превысить эту скорость, то слой из псевдооживленного состояния перейдет в состояние пневмотранспорта и будет уноситься газами

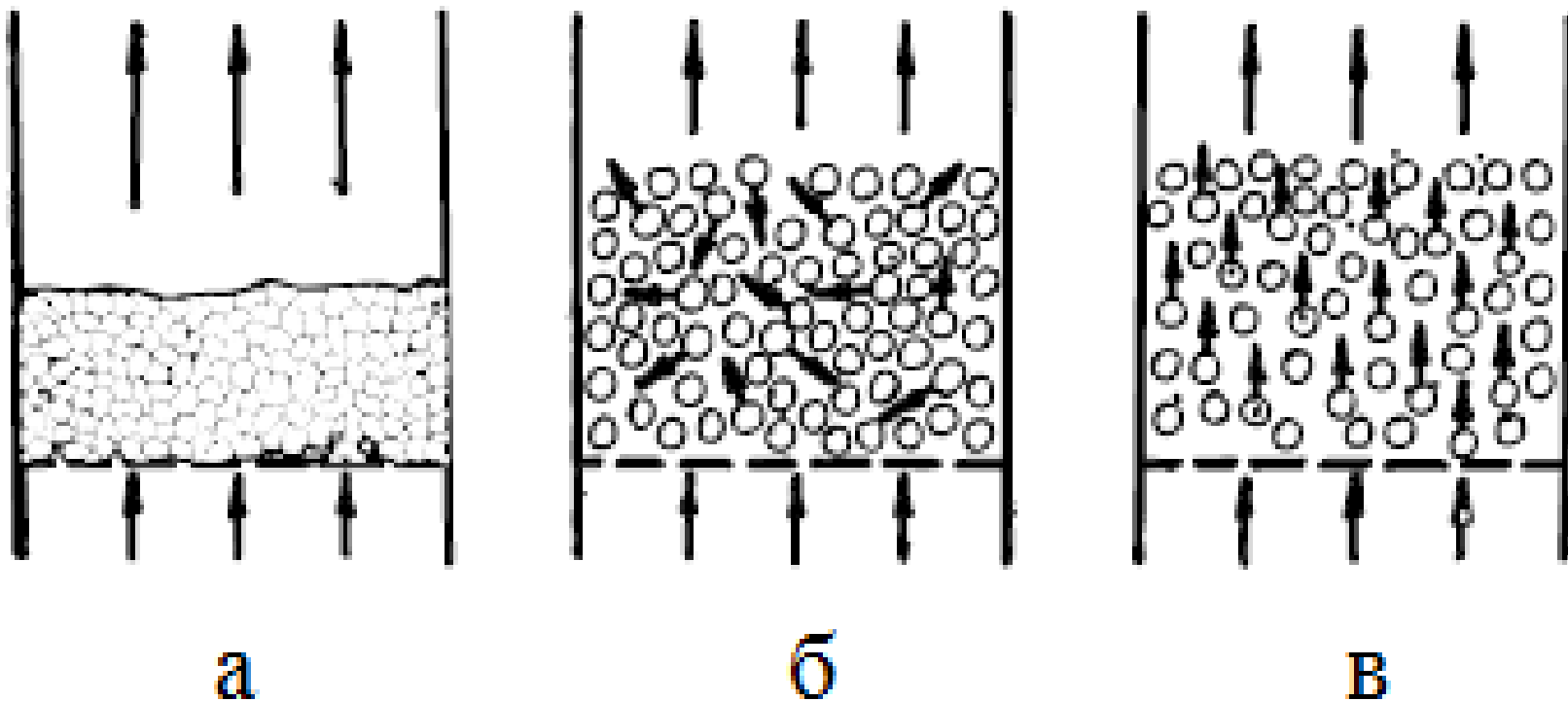


Схема слоя зернистого материала при прохождении через него газового потока: а – неподвижный слой, б – кипящий слой, в – состояние пневмотранспортного слоя (унос частиц газом)

ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗА В РЕАКТОРАХ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Для создания кипящего слоя под горизонтальную решетку реактора, на которую загружают исходный железорудный материал, подается горячий восстановительный газ с определенной скоростью.

Эта скорость зависит от диаметра и плотности частиц и в первом приближении пропорциональна квадратному корню из произведения диаметра частицы на её плотность.



Недостатки метода:
спекание частиц,
нарушающее стабильность псевдооживления и очень низкая степень использования газа.

В результате восстановительный процесс сопровождается большим расходом газа и тепла. Железо, полученное этим методом, обладает повышенной самовозгораемостью на воздухе.

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

Метод представляет интерес для получения **очень чистого железа** из **труднообогатимого рудного сырья**, содержащего **большое количество вредных примесей**. Он может быть использован также для получения легированной железной губки из комплексных руд.

Железорудный материал подвергается восстановительному обжигу. Полученный продукт обрабатывают технической соляной кислотой,



В результате чего железо переходит в раствор в виде хлорида, а пустая порода и другие нерастворимые компоненты остаются в осадке.

Раствор отделяют от осадка фильтрацией и подвергают кристаллизации. Полученные кристаллы направляются на восстановление газообразным восстановителем.

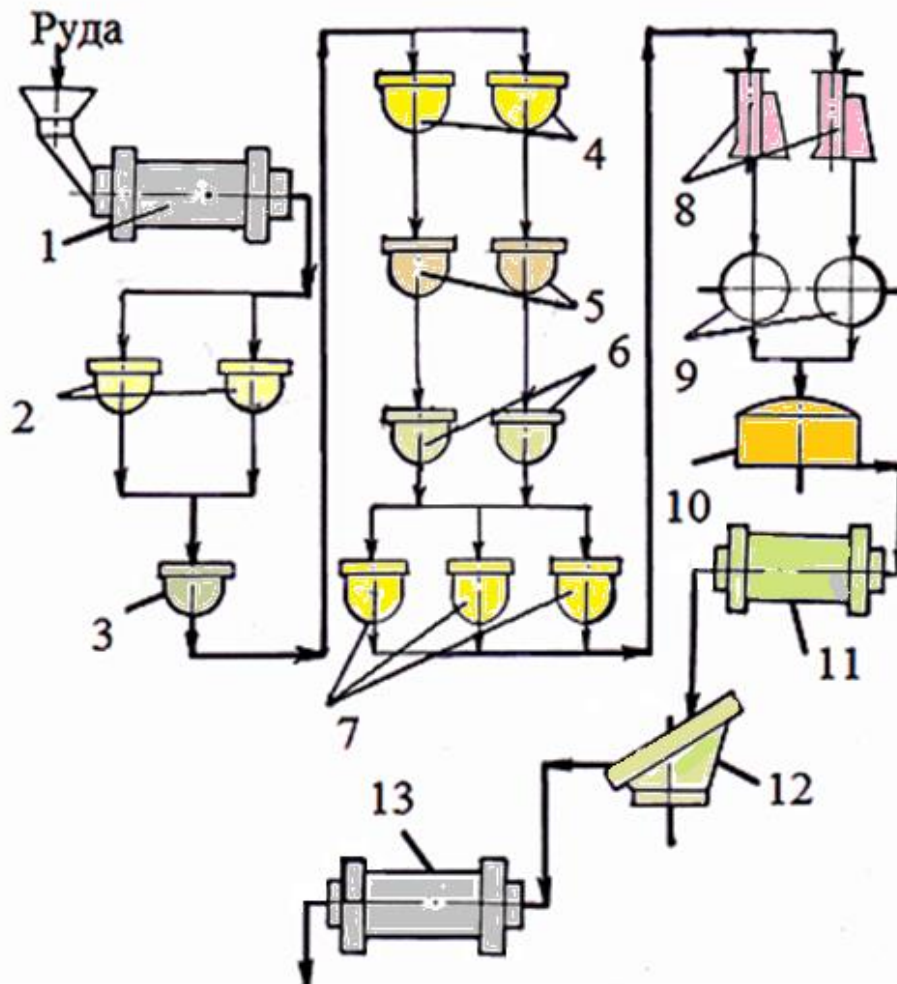


Схема технологического процесса прямого получения железа химико-термическим способом: 1 – печь восстановительного обжига, 2 – реакторы растворения, 3, 5 – промежуточные ёмкости, 4 – фильтры, 6 – выпарные аппараты, 7 – кристаллизаторы, 8 – центрифуга, 9 – вакуум-сушилка, 10 – печь сушки хлоридов, 11 – печь окисления хлоридов, 12 – гранулятор, 13 – печь восстановления

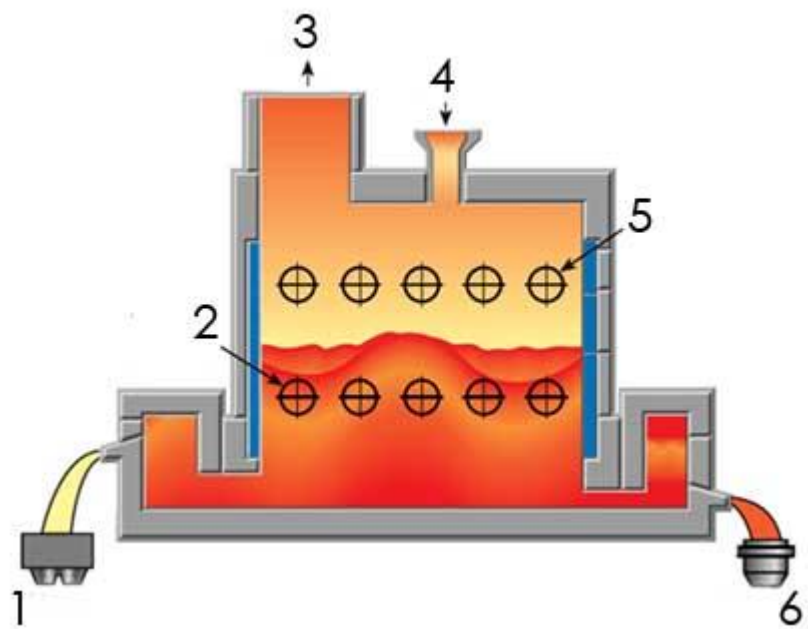
ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

Усредненная на рудном дворе руда поступает в дробильное отделение, а затем в печь обжига. Для ускорения процесса обжиг руды проводится с использованием твердого восстановителя.

Подготовленная шихта поставляется в печь для восстановительного обжига. Обжиг проводится при температуре 900 – 1000 °С.

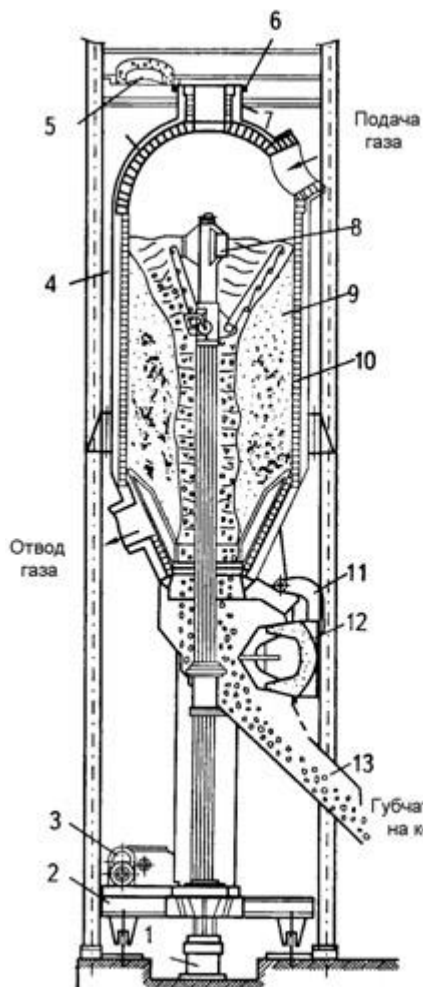
После обжига руда поступает в реакторы растворения руды, заполненные соляной кислотой. Полученная в результате растворения пульпа подаётся в фильтры для отделения раствора от нерастворимого остатка.

Далее раствор направляется в кристаллизаторы, из которых смесь кристаллов и раствора подается на центрифуги. Из центрифуг кристаллы направляются в печь сушки и затем в печь восстановления хлоридов, отапливаемую природным газом. Для восстановления хлоридов используется водород.



1 – шлак; 2 – нижние фурмы; 3 – отходящие газы; 4 – руда; 5 –
верхние фурмы; 6 – чугун;
Схема печи Ромелт

Рисунок 5.3 – Конструкция реторты: 1 – гидравлический цилиндр; 2 – тележка; 3 – привод; 4 – кожух; 5 – крышка; 6 – загрузочная горловина; 7 – площадка для обслуживания; 8 – резец с рычагом для удаления губчатого железа; 9 – губчатое железо; 10 – футеровка; 11 – механизм управления откидным днищем; 12 – от-кидное днище; 13 – разгрузочный желоб



Технология получения губчатого железа состоит в восстановлении железорудного материала в периодически действующих ретортах газом, который получают при паровой конверсии природного газа. Восстановление ведется в неподвижном слое кусковой руды или окатышей при избыточном давлении 0,35 – 0,4 МПа и температуре 870 – 1040°С. Нагрев руды и компенсация тепловых потерь процесса осуществляют за счет физического тепла восстановительного газа, который нагревают до 980 – 1240°С.

Восстановление в неподвижном слое обуславливает циклический характер процесса, который состоит из последовательно выполняемых операций загрузки, нагрева и восстановления, охлаждения и выгрузки губчатого железа.

На рисунке 5.3 показана схема стационарной реторты со съемной крышкой и откидным днищем. Загрузка руды в реторту осуществляется по наклонному желобу из бункера, емкость которого равна емкости реторты. После окончания производственного цикла губчатое железо выгружается при помощи специального механизма, который перемещается вдоль фронта реторт на самоходной тележке. При этом резец, который перемещается вертикально вверх при помощи гидроцилиндра, высверливает в слое губчатого железа отверстие, через которое вместе с резцом поднимаются скребки-рычаги, которые при вращении вокруг вертикальной оси выгружают губчатое железо из реторты. По мере выгрузки губчатого железа ось цилиндра с резцом и рычагами опускается.

Губчатое железо попадает на желоб и далее поступает на горизонтальный сборный конвейер, который транспортирует его в сталеплавильный цех. После окончания разгрузки днище реторты очищается от мелочи, закрывается откидное днище, загружается новая порция руды и цикл повторяется.

В качестве сырья используют чистые руды, содержащие не менее 60% железа, крупностью 12 – 50 мм. При температуре 870 – 1040°С и выдержке 4 – 6 часов средняя степень металлизации железа составляет 85%.

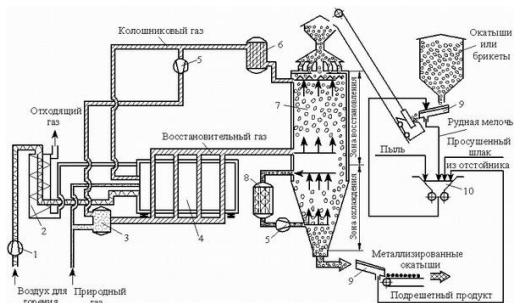


Рис. 8.1 Схема процесса получения губчатого железа в шахтной печи: 1 - воздуходувка; 2 - теплообменник; 3 - смеситель газов; 4 - конверсионная установка; 5 - компрессор; 6 - скруббер для колошникового газа; 7 - шахтная печь; 8 - скруббер; 9 - вибрационный грохот; 10 - брикетный пресс

Под процессом прямого получения железа понимают такой, который дает возможность получать железо в виде губки непосредственно из руды, минуя доменную печь. Этот процесс протекает без применения кокса, что позволяет получать чистый металл, поскольку фосфор и особенно сера в больших количествах вносит кокс. Агрегатами для реализации этого процесса служат шахтные печи, а в качестве восстановителя чаще всего применяют конвертированный природный газ, состоящий в основном из водорода и оксида углерода (35%), который подают в печь при температуре 1000 °С.

Расширение использования бедных руд и стремление к более глубокому их обогащению привели к получению тонко измельченных железорудных концентратов, для которых появилась необходимость найти новые способы окускования. В связи с этим начал развиваться так называемый процесс окатывания или окомкования, который состоит из двух стадий:

- 1) получение сырых (мокрых) окатышей;
- 2) упрочнение окатышей (подсушка при 300-600 °С и обжиг при 1200-1350 °С).

Для лучшего окомковывания и обеспечения необходимой прочности к железорудному концентрату добавляют связующее вещество, обычно бентонит (мелкодисперсная глина) и воду. После этого в грануляторе получают шарики диаметром 10-20 мм. Основная цель обжига окатышей сводится к упрочнению их до такой степени, чтобы они выдерживали транспортировку без значительных разрушений.

Процесс восстановления железа (производства металлизированных окатышей) в шахтных печах осуществляют в противопотоке: железорудные материалы загружают сверху, а восстановительные газы подают снизу (рис. 8.1).

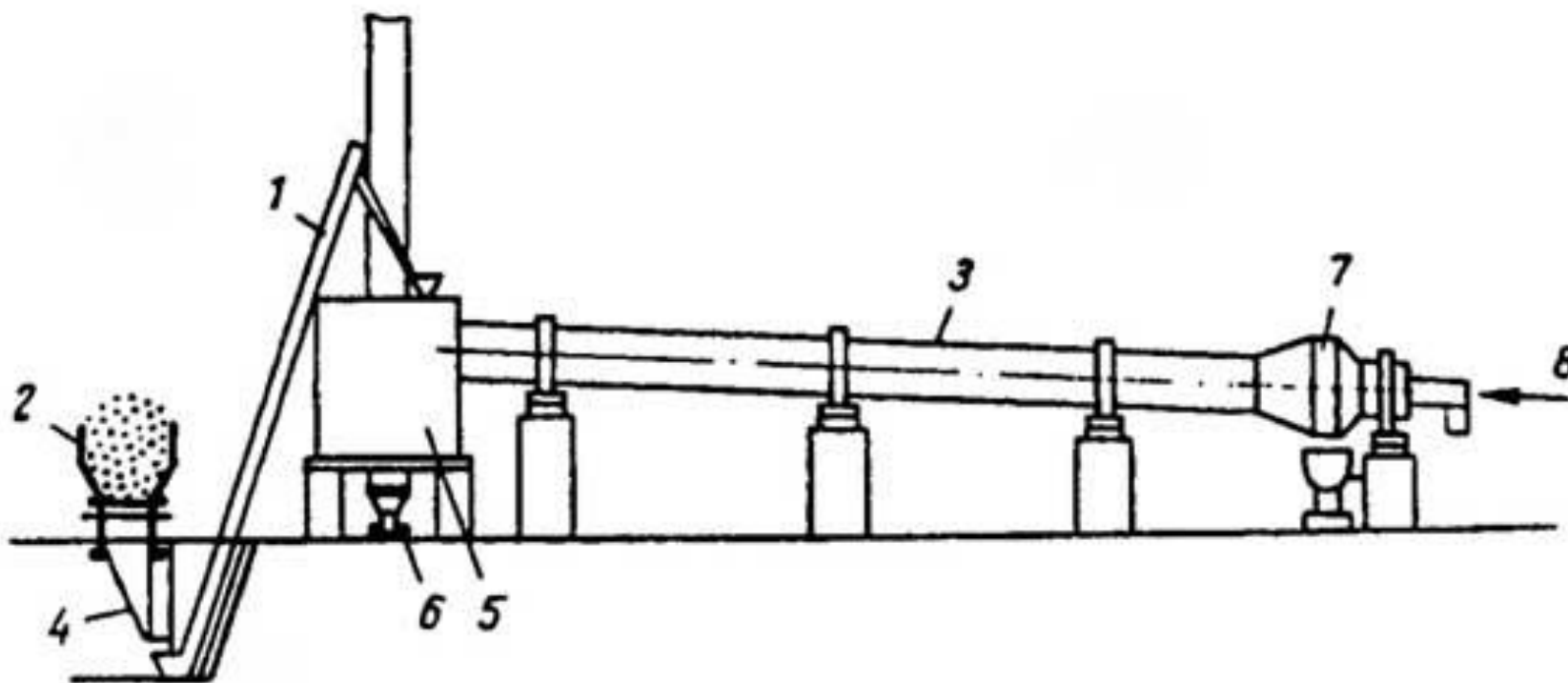


Схема установки с применением трубчатых вращающихся печей (способ Азникур):

1 – элеватор; 2 – исходная шихта; 3 – вращающаяся печь; 4 – вибропитатель; 5 – пылеуловитель; 6 – уборка пыли; 7 – зона горения топлива и плавления материалов; 8 – горелка

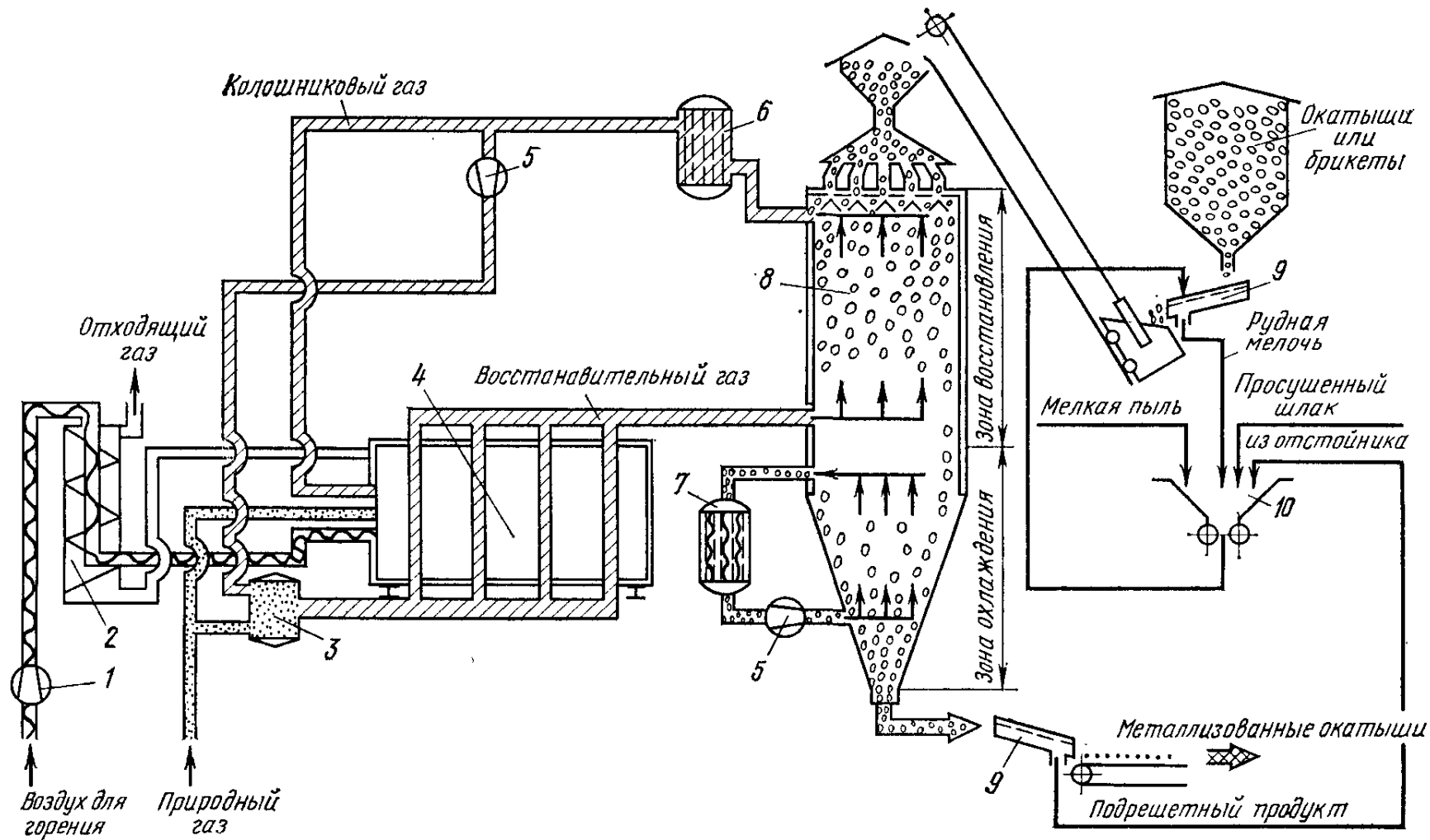


Рис. 39. Технологическая схема процесса «Мидрекс»:

1 — воздуходувка; 2 — теплообменник; 3 — смеситель газов; 4 — конвертер; 5 — компрессор; 6, 7 — скруббер для колошникового газа; 8 — шахтная печь; 9 — вибрационный грохот; 10 — брикетировочный пресс

дукт прямого восстановления называется губчатым железом, при более низкой (до 90—94 % металлического железа) — металлизированным сырьем. Основным назначением металлизированного продукта является переплав в дуговых сталеплавильных печах. В качестве исходного железорудного сырья используют агломерат, окатыши, а в качестве восстановителя — твердое топливо или газ, содержащий H_2 и CO . Рассмотрим наиболее распространенные способы прямого восстановления железа.

§ 1. Восстановление газом в толстом слое

Процесс «Мидрекс» осуществляется в невысоких шахтных печах или ретортах с использованием конвертированного природного газа. Конверсия природного газа заключается в превращении углеводородов путем их разложения на водород и углерод с последующим дожиганием углерода до CO при помощи углекислого газа и водяных паров по следующим реакциям: $CH_4 + CO_2 = 2CO + 2H_2$; $CH_4 + H_2O = CO + 3H_2$.

На рис. 39 показана схема процесса «Мидрекс». В конвертер подается смесь природного и колошниковых газов. Конвертер представляет собой футерованный изнутри рекуператор прямоугольной формы, в котором установлены трубы из жароупорной стали, заполненные кусковыми глиноземистыми огнеупорами, пропитанными никелевым катализатором. Снаружи трубы разогреваются сжиганием колошниковых газов. В этих трубах при температуре $\sim 1000^\circ C$ природный газ при помощи CO_2 колошниковых газов конвертируется в восстановительный газ, содержащий 30 % CO и ~ 70 % H_2 . Восстановительный газ подается в шахтную печь снизу, а сверху производится загрузка железорудного материала в виде окатышей. Печь по высоте разделена на две зоны с двумя самостоятельными оборотными циклами. Верхняя зона предназначена для восстановления железа, а нижняя — для охлаждения металлизированного продукта оборотным и изолирующим газом. Изолирующим газом служит часть продуктов сгорания, получаемых из конвертера после охлаждения. Обратный газ отсасывается из верхней части зоны охлаждения, поступает в скруббер, а затем вентилятором вновь подается в нижнюю часть зоны охлаждения.

Отобранный восстановительный газ отсасывается из верхней части зоны восстановления, подвергается очист-

ке и охлаждению в скруббере и далее $1/3$ этого газа поступает в конвертер для конверсии природного газа. Температура окатышей в зоне восстановления $760^\circ C$, на выходе из печи $40^\circ C$. Продолжительность пребывания в зоне восстановления 4—6 ч. Суммарная длительность пребывания окатышей в печи 8—12 ч. Содержание углерода в железной губке регулируют изменением расхода и соотношения восстановительного и изолирующего газов в охлаждающем газе. Полученные металлизированные окатыши выгружают из печи снизу. Их хранят в бункере, заполненном инертным газом. Окатыши содержат ~ 90 % металлического железа. Суточная производительность одной печи достигает 1000 т железа в сутки при расходе природного газа до $550 \text{ м}^3/\text{т}$. По такой схеме построен Оскольский электрометаллургический комбинат.

В настоящее время суточная производительность шахтных печей составляет $5—9 \text{ т}/\text{м}^3$, т. е. в 2—4 раза выше, чем при доменной плавке. Но поскольку эти печи относительно небольшие (до 200 м^3 , высотой 10—14 м и диаметром 3,5—3,0 м), то суточная их производительность составляет 1000—1500 т.



Кафедра технології металів и матеріалознавства

Костина Людмила Леонидовна

г. Харків, ул. Петровського, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М
Tel.(8-057)707-37-92

