

# **ТЕМА 8. Оценка современных технологий в черной металлургии**



- 1. Особенности металлов и металлургических процессов**
- 2. Современное металлургическое производство и его продукция.**
- 3. Производство чугуна: традиционные и современные способы**
- 4. Производство стали: традиционные и современные способы**
- 5. Способы повышения качества стали**
- 6. Проблемы и тенденции развития черной металлургии**

# 1. Особенности металлов и металлургических процессов

- По происхождению предметов труда отрасли промышленности делятся на добывающие (топливо, руды, нерудное сырье и т.д.) и обрабатывающие, использующие в качестве сырья продукцию добывающих отраслей. Специфической особенностью черной и цветной металлургии является наличие в их составе предприятий как добывающей, так и обрабатывающей промышленности.

# Черная металлургия включает:

- 1) добычу, обогащение и агломерацию железных руд
- 2) производство чугуна, стали, проката, стальных и чугунных труб, изделий дальнейшего передела – белой жести, осей и др.
- 3) производство электроферросплавов
- 4) вторичную переработку черных металлов
- 5) коксохимическое производство
- 6) производство огнеупоров
- 7) добычу нерудного сырья для черной металлургии - известняков, доломитов, огнеупорных глин и др.
- 8) производство метизов промышленного назначения - стальной холоднокатаной ленты, проволоки, болтозаклепочных соединений и т.д.

## Основными отличительными особенностями металлургии являются:

- На предприятиях полного цикла производится около 97% чугуна, более 89% стали и 87% готового проката;
- большая материалоемкость металлургического производства - на 1 т проката, например, расходуется до 7 т сырых материалов и топлива;

- сложность металлургического комплекса - сырье в процессе передела проходит несколько стадий (например, при выпуске проката из качественных сталей длительность производственного цикла достигает 5-6 суток), что обуславливает необходимость четкой организации производства и труда;
- высокая энергоемкость металлургического производства. В отрасли расходуется 20-25% добываемого угля и производимой э/энергии.

- специфика издержек производства - до 85% составляют затраты общественного труда, что обуславливает необходимость разработки мероприятий по совершенствованию технологии с целью экономии сырьевых и топливно-энергетических ресурсов.
- непрерывность и взаимосвязанность технологических процессов, что требует четкой организации, координации работы, соблюдения технологических режимов. Это достигается на основе использования современных научных методов управления экономикой, электронно-вычислительной техники.

# Свойства металлов

Применение того или иного металла в качестве конструкционного материала обусловлено, во-первых, его свойствами и, во-вторых, экономическими факторами, в частности, стоимостью. Например, серебро проводит электричество лучше алюминия. Но последний значительно дешевле. Таким образом, при выборе металла следует добиваться оптимального сочетания технических и экономических факторов.



- Из физических свойств чаще пользуются температурой плавления, цветом, тепло- и электропроводностью, линейным расширением. Реже - магнитной проницаемостью, удельной теплоемкостью и др. По плотности металлы условно подразделяются на две большие группы: легкие металлы, плотность которых не больше 5 г/см куб., и тяжелые металлы - все остальные.

- *Легкие металлы.* Литий, Калий, Натрий, Кальций, Магний, Цезий, Алюминий, Барий
- *Тяжелые металлы.* Цинк, Хром, Марганец, Олово, Железо, Кадмий, Никель, Медь, Висмут, Серебро, Свинец, Ртуть, Вольфрам, Золото, Платина, Осмий

- Для определения технических характеристик проводят механические испытания. Наиболее распространены испытания металлов на прочность и твердость.

- **Прочность** - способность металлов оказывать сопротивление действию внешних механических сил. В зависимости от вида их приложения различают прочность на растяжение, сжатие, кручение, изгиб и т.д. Один и тот же металл в связи с анизотропностью по-разному реагирует на данные нагрузки. Так, чугун, хорошо работающий на сжатие, слабо противостоит ударным нагрузкам.

- **Твердость** - способность металлов сопротивляться вдавливанию другого, более твердого тела. Ее определяют методами Бринелля - путем вдавливания в испытываемый образец стального закаленного шарика, Роквелла - вдавливанием алмазного конуса при различных нагрузках или стального закаленного шарика, Виккерса - вдавливанием алмазной пирамиды и другими. При данных методах твердость определяют по величине отпечатка, который оставляет вдавливаемый предмет на испытываемом образце.

- **Ковкость** - способность металлов обрабатываться давлением и деформироваться без разрушения. Хорошей ковкостью обладают сталь, медь, алюминий. Чугун таким свойством не обладает, он хрупок.

- **Усадка** - сокращение объема расплавленного металла в процессе его кристаллизации и охлаждения. Усадка, составляющая у чугуна 1%, стали 1,5-2%, приводит к образованию в верхней части отливки пустоты, называемой усадочной раковиной. С целью уменьшения ее величины литейные формы изготавливают с прибыльной частью в наиболее массивных частях отливки. После затвердевания металла прибыльную часть, в которой сосредоточена большая часть усадочной раковины, удаляют.

- **Газопоглощение** - способность металлов поглощать газы в расплавленном состоянии и выделять их при затвердевании и охлаждении. При этом в поверхностном слое отливки образуются газовые раковины, что ведет к повышенному расходу металла.
- **Свариваемость** - способность металлов давать прочное и плотное сварное соединение. Удовлетворительной свариваемостью обладают стали с содержанием углерода до 0,5-0,7%.



- **Жидкотекучесть** - способность расплавленных металлов заполнять литейную форму в самых тонких ее местах, давая при этом отливку с точной конфигурацией поверхности. Жидкотекучие металлы (чугун, цветные сплавы) следует применять при изготовлении фасонных отливок. В противном случае появляется необходимость в нагреве металла до более высокой температуры либо в нагреве самой литейной формы, что приведет к ухудшению экономических показателей работы литейного цеха.

- **Обрабатываемость** - способность металлов подвергаться обработке режущим инструментом для придания поверхности деталей определенной конфигурации, чистоты и точности. Наиболее хорошо обрабатываются стали с содержанием углерода до 0,5% и цветные металлы. Это необходимо учитывать при выборе материала для изготовления деталей сложной конфигурации.
- Под **коррозийной стойкостью** понимают способность металлов противостоять действию агрессивной внешней среды.

# Коррозия и методы борьбы с ней

- **Коррозией** называют процесс разрушения металла вследствие его химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой.



- По условиям протекания различают газовую коррозию, протекающую при высоких температурах; коррозию в электролитах, атмосферную, морскую, в почве, коррозию внешним током и под напряжением; биокоррозию; фреттингкоррозию (при одновременном воздействии коррозионной среды и сил трения); контактную коррозию, возникающую при контакте металлов, имеющих различные потенциалы; щелевую, протекающую в узких щелях и зазорах между деталями.

- В качестве защиты от газовой коррозии применяют покрытия из хрома, алюминия, кремния и жаростойких сплавов, которые наносятся либо при погружении очищенных деталей в порошкообразные смеси (термодиффузионный метод), либо совместной прокаткой (плакирование). Последний метод позволяет получить существенную экономию качественного металла. Себестоимость 1 т биметаллического листа (с плакирующим слоем) на 35-40% ниже, чем листа, изготовленного из высококачественной жаростойкой стали.

- С целью защиты от электрохимической коррозии конструкции, работающие в условиях агрессивных сред, изготавливают из специальных легированных сталей и других сплавов. Например, для оборудования химических заводов применяют сталь, содержащую 17% хрома и 2% никеля.

- Распространен также метод защиты, заключающийся в удалении некоторых агрессивных реагентов окружающей среды или в добавлении специальных веществ (ингибиторов), замедляющих процесс коррозии.

- Для конструкций, работающих в морской воде, почве, применяется электрохимическая защита, которая осуществляется присоединением металла, имеющего более отрицательный потенциал (протектора). Протектором может быть, например, цинковая пластина. При защите приложенным извне током конструкцию присоединяют к минусу источника тока, а дополнительный электрод - к плюсу. Эти методы применяют для корпусов морских судов, трубопроводов, рельсов и т.д.



- Металлические покрытия подразделяются на катодные, электродный потенциал которых положительнее защищаемого металла, и анодные, электродный потенциал которых отрицательнее. Первые (медь, никель и др.) лишь механически защищают конструкцию от внешней среды. Вторые же (цинк и др.), кроме этого, защищают конструкцию электрохимическим путем (защищаемый металл играет роль катода и не растворяется).

- В качестве неметаллических применяются органические и неорганические покрытия. К первым относятся минеральные масла, растворы парафинов, битумов, лакокрасочные покрытия, смолы. Ко вторым - цементные и бетонные покрытия, кислотоупорные плитки, силикатные эмали.

- При выборе метода защиты необходимо учитывать условия эксплуатации и конструктивные особенности изделий из металла. Так, для деталей, работающих в высокотемпературных условиях, лучше применять металлические покрытия, в то время как для мостов, открытых трубопроводов используют наиболее дешевые и эффективные лакокрасочные покрытия. Из металлических покрытий наиболее дешевым является цинк. Однако его запасы весьма ограничены. Покрытия хромом и никелем относятся к самым дорогим. Покрытия из благородных металлов для технических изделий применяются в особых случаях, например, в радиотехнике и т. д.

## 2. Современное металлургическое производство и его продукция

### Основная продукция чёрной металлургии:

- чугуны: передельный, используемый для передела на сталь, и литейный, для производства фасонных отливок;
- железорудные металлизированные окатыши для выплавки стали;
- ферросплавы (сплавы железа с повышенным содержанием марганца, кремния, ванадия, титана и т. д.) для легированных сталей;
- стальные слитки для производства проката,
- стальные слитки для изготовления крупных кованных валов, дисков (кузнечные слитки).

- – слитки цветных металлов для производства проката;
- – слитки для изготовления отливок на машиностроительных заводах;
- – лигатуры – сплавы цветных металлов с легирующими элементами для производства сложных легированных сплавов;
- – слитки чистых и особо чистых металлов для приборостроения и электротехники.

## ПРЕДПРИЯТИЯ МЕТАЛЛУРГИИ (основной тип – комбинаты):

- *Полного цикла* - выпускают чугун, сталь и прокат.
- *Передельная металлургия* - предприятия без выплавки чугуна.
- *“Малая металлургия”* - выпуск стали и проката на машиностроительных заводах.

## ПЕРЕДЕЛЫ в металлургии –

стадия получения или переработки металла.

- Выплавка чугуна
- Выплавка стали
- Обработка металлов давлением Обработка металлов давлением (прокатка, прессование, ковка, штамповка).
- Дополнительная обработка металла (главным образом проката), полученного после первых трех переделов: холодная прокатка Дополнительная обработка металла (главным образом проката), полученного после первых трех переделов: холодная прокатка металла, профилирование полосы (производство Дополнительная обработка металла (главным образом проката), полученного после первых трех переделов: холодная прокатка металла, профилирование полосы (производство гнутых профилей), нанесение защитных покрытий, а также производство метизов и некоторых бытовых изделий.

# Материалы для производства металлов и сплавов

Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют

- руду,
- флюсы,
- топливо,
- огнеупорные материалы.

# Исходные материалы для производства чугуна

- Чугун – сплав железа и углерода с сопутствующими элементами (содержание углерода более 2,14 %).
- Для выплавки чугуна в доменных печах используют
- *железные руды* (красный, бурый, магнитный, шпатовый железняки)
- *топливо* (кокс, возможна частичная замена газом, мазутом).
- *флюсы* – плавни (известняк, песчаник и др., применяемые для понижения температуры плавления пустой породы, содержащейся в руде, и для перевода ее и золы топлива в шлак)



- 1. Красный железняк (гематит) содержит много железа (45-65 %) и мало вредных примесей (фосфора и серы). Кривой Рог, КМА. Имеет разную окраску (от темно-красной до темно-серой). Восстановимость железа из руды хорошая.
- 2. Бурый железняк содержит железо в виде водных окислов (25-50%). Керчь. Окраска меняется от желтой до буро-желтой. Пустая порода железняка глинистая иногда кремнисто-глиноземистая.
- 3. Магнитный железняк содержит 40-70% железа. Соколовское, Курская магнитная аномалия (КМА). Руда обладает хорошо выраженными магнитными свойствами, имеет темно-серый или черный с различными оттенками цвет. Пустая порода руды кремнеземистая с примесями других окислов. Железо из магнитного железняка восстанавливается труднее, чем из других руд.
- 4. Шпатовый железняк (сидерит) содержит железо (30-37 %). Имеет желтовато-белый и грязно-серый цвет. Он легко окисляется и переходит в бурый железняк. Из всех железных руд он обладает наиболее высокой восстановимостью.

***Мировой рынок металлопродукции:  
основные производители и  
экспортеры, опыт зарубежных стран  
в применении современных  
технологических процессов в черной  
металлургии  
(самостоятельно)***

### 3. Производство чугуна: традиционные и современные способы

#### Методы выплавки чугуна:

- *доменный (доменная печь)*
- *бездоменный (индукционные и электропечи)*
- *прямое восстановление железа*
- *восстановление железа из ядерного реактора*
- *восстановление железа из чистого водорода*

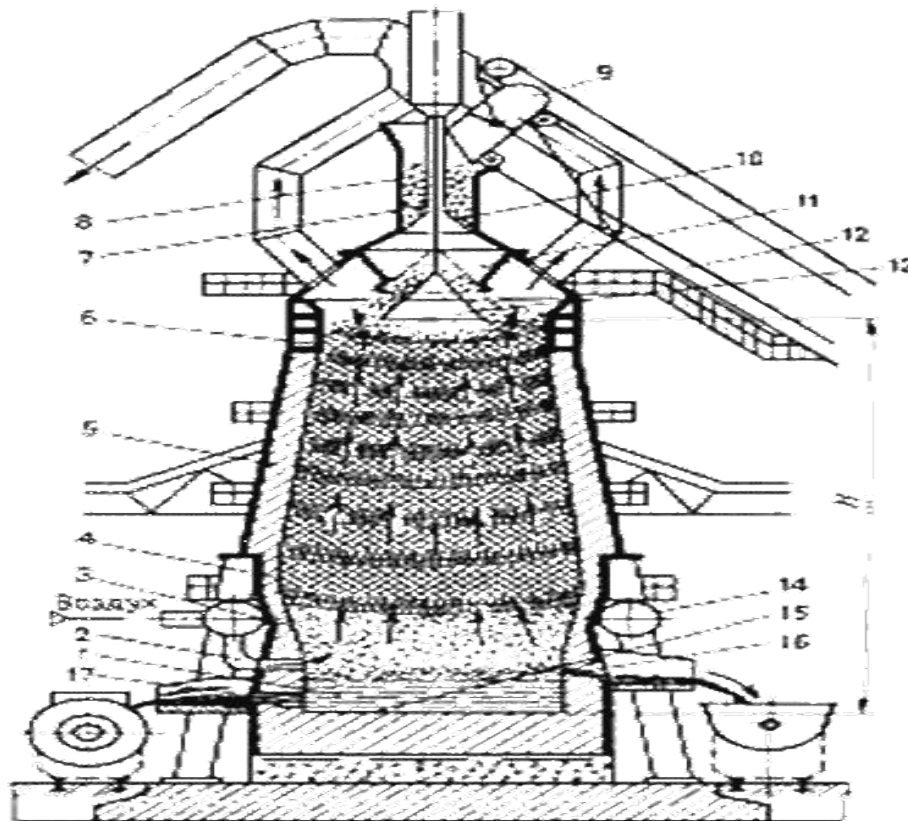
# ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

## 1. ПОДГОТОВКА РУД К ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ

- осуществляется для повышения производительности доменной печи, снижения расхода кокса и улучшения качества чугуна. Метод подготовки зависит от качества руды.

## 2. ВЫПЛАВКА ЧУГУНА

- Чугун выплавляют в печах шахтного типа – *доменных печах*



- Устройство доменной печи

# сущность процесса получения чугуна в доменных печах

- восстановление оксидов железа, входящих в состав руды оксидом углерода, водородом и твердым углеродом, выделяющимся при сгорании топлива.

## При выплавке чугуна решаются задачи:

- Восстановление железа из окислов руды, науглероживание его и удаление в виде жидкого чугуна определённого химического состава.
- Оплавление пустой породы руды, образование шлака, растворение в нём золы кокса и удаление его из печи.

# Продукты доменной плавки

## **1. Чугун:**

- - передельный чугун (90 % общего производства чугуна). Содержит 3,8...4,4 % углерода, 0,3...1,2 % кремния, 0,2...1 % марганца, 0,15...0,20 % фосфора, 0,03...0,07 % серы.
- - литейный.

**2. Ферросплавы** – сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами. Их применяют для раскисления и легирования стали.

**3. Шлак** (изготавливают шлаковату, цемент, удобрения).

**4. Доменный газ** (после очистки используется как топливо для нагрева воздуха, вдуваемого в печь).

# Важнейшие технико-экономические показатели работы доменных печей

1. Коэффициент использования полезного объёма доменной печи (КИПО) – это отношение полезного объема печи  $V$  (м<sup>3</sup>) к ее среднесуточной производительности  $P$  (т) выплавленного чугуна.

•

$$\text{КИПО} = \frac{V}{P}$$

$$K = \frac{A}{P}$$

• Чем ниже КИПО, тем выше производительность печи. Для большинства доменных печей КИПО = 0,5...0,7 (для передовых – 0,45)

2. Удельный расход кокса,  $K$  – это отношение расхода кокса за сутки  $A$ (т) к количеству чугуна, выплавленного за это же время  $P$ (т).

• Удельный расход кокса в доменных печах составляет 0,5...0,7 (для передовых – 0,36...0,4)

•  $K$  – важный показатель, так как стоимость кокса составляет более 50% стоимости чугуна.



# БЕЗДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

## 1. ИНДУКЦИОННАЯ ПЛАВКА

### Особенности индукционной плавки:

- 1) индукционная плавильная печь является "чистым" агрегатом для переплавки металлов.
- 2) температуру и характер ее изменения можно регулировать в широких пределах;
- 3) электромагнитные силы воздействуют только на металл. Нетокпроводящие включения выталкиваются, происходит самоочистка расплавленного металла и т.д.

Недостатком индукционных печей является низкая температура и активность шлака, поскольку он нагревается от металла.

## 2. ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ ПЛАВКА

Происходит в дуговых печах путем нагрева металла электрической дугой. Преобразование электрической энергии в тепловую происходит в электрической дуге, являющейся одной из форм разряда в газах.

# ПРЯМОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА

Экономика и дополнительные требования к чистоте металла снова вызвали к жизни старый, испытанный метод.

## Побуждающие причины достаточно очевидны:

- дефицит энергоресурсов и в частности кокса
- быстро растущая потребность в высококачественном металле.
- Авиация, ракетная техника, приборостроение – вот далеко не полный перечень потребителей наиболее чистых металлов.

# Метод прямого восстановления железа

- специально подготовленная, то есть обогащенная, руда, - концентрат, где содержится основной окисел железа восстанавливается в шахтной печи с помощью
  - УГЛЯ, как это было в древности,
  - КОНВЕРТИРОВАННОГО ГАЗА - природный метан, но преобразованный в смесь водорода и угарного газа (CO).
- Он оказался идеальным средством восстановления железной руды.

- Основной компонент природного газа – метан  $\text{CH}_4$  разлагают окислением в присутствии катализатора в специальных аппаратах – реформерах .
- Получается смесь восстановительных газов – окиси углерода и водорода. Эта смесь поступает в реактор, в который подается и железная руда. Формы и конструкции реакторов очень разнообразны. Иногда реактором служит вращающаяся трубчатая печь, типа цементной, иногда – шахтная печь, закрытая реторта.
- Этим и объясняется разнообразие названий способов прямого восстановления: МИДРЕКС, ПУРОФЕР, ОХАЛАТА-И-ЛАМИНА, СЛ-РН И Т.Д. Число способов уже превысило два десятка.
- Но суть их обычно одна и та же. Богатое железорудное сырье восстанавливается смесью окиси углерода и водорода.

### 3. Производство стали: традиционные и современные способы

- **Стали** – железоуглеродистые сплавы, содержащие практически до 1,5% углерода, при большем его содержании значительно увеличиваются твёрдость и хрупкость сталей и они не находят широкого применения.

#### Основные исходные материалы для производства стали

- передельный чугун
- стальной лом (скрап)

Содержание углерода и примесей в стали значительно ниже, чем в чугуне.

Поэтому сущность любого металлургического передела чугуна в сталь – снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

## СПОСОБЫ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ:

- Мартеновский (мартеновские печи)
- Кислородно-конверторный (конверторы)
- Электроспособы (электropечи – индукционные и дуговые).

# Производство стали в мартеновских печах

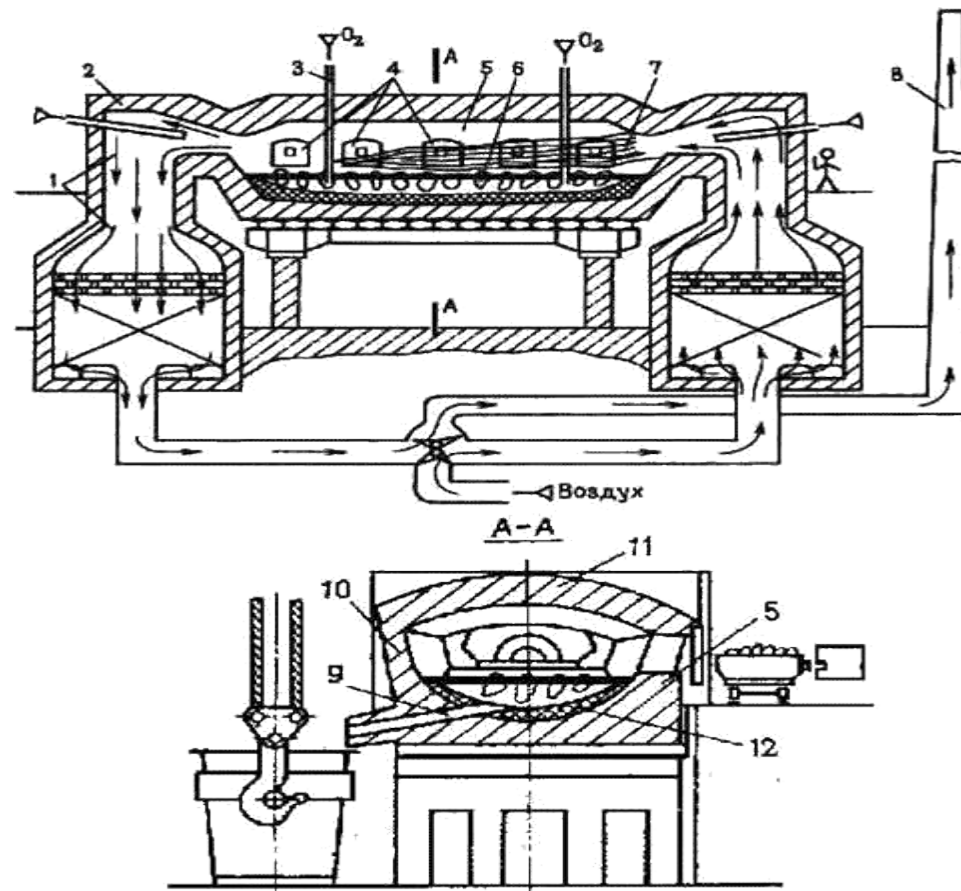
Мартеновский процесс (1864-1865, Франция). **До 70-х гг. - основной способ выплавки стали.**

## Особенности:

- сравнительно небольшая производительность,
- возможность использования вторичного металла – стального скрапа.
- вместимость печи составляет 200...900 т.
- печи работают непрерывно, до остановки на капитальный ремонт – 400...600 плавов.
- продолжительность плавки составляет 3...6 часов, для крупных печей – до 12 часов.
- способ позволяет получать качественную сталь.

Возможности увеличения экономической эффективности - укрупнение печей.

# Схема мартеновской печи





# Производство стали в кислородных конвертерах

Первые опыты в 1933-1934 – Мозговой.

В промышленных масштабах – в 1952-1953 на заводах в Линце и Донавице (Австрия) – получил название *ЛД-процесс*.

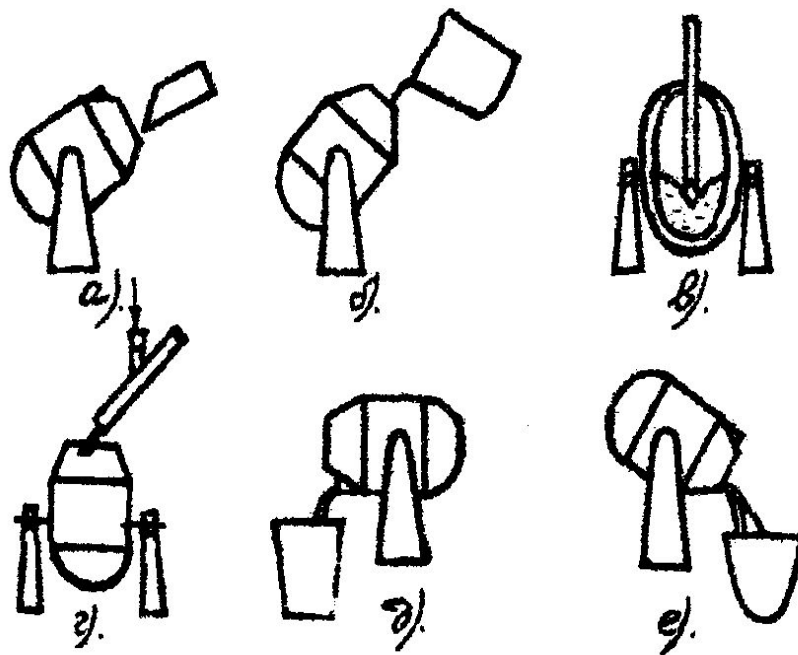
**В настоящее время - основной в массовом производстве стали.**

## Особенности:

- вместимость конвертера – 130...350 т жидкого чугуна.
- продолжительность плавки - 25...30 минут.
- способ не позволяет получать качественную сталь – добавки окисляются и переходят в шлак (легирующие элементы в расплавленном виде вводят в ковш перед выпуском в него стали).

**Возможности увеличения экономической эффективности – применение чистого кислорода (99,5%), комбинированная продувка чугуна кислородом сверху и снизу.**

## схема кислородного конвертера



# Производство стали в электропечах

## Особенности и преимущества:

- а) легко регулировать тепловой процесс, изменяя параметры тока;
- б) можно получать высокую температуру металла,
- в) возможность создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу и вакуум, что позволяет раскислять металл с образованием минимального количества неметаллических включений.

Электропечи используют для выплавки

высококачественные углеродистых сталей

- конструкционных,
- высоколегированных,
- специальных сплавов и сталей (жаростойкие, жаропрочные...).

Различают дуговые и индукционные электропечи.

## 5. Способы повышения качества стали

---

- На самостоятельное изучение

## 4. Проблемы и тенденции развития черной металлургии

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

	МАРТЕНОВСКИЙ	ЭЛЕКТРОСТАЛЕ- ПЛАВИЛЬНЫЙ	КИСЛОРОДНО- КОНВЕРТОРНЫЙ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ	60 т/ч (600т)	25 т/ч (100т)	170 т/ч (130т)
ГОДОВАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ (тыс.т)	180	460	900
ЗАТРАТЫ ВРЕМЕНИ, мин (на производство 400 т стали)	420-640	50-70	35-40
ЗАТРАТЫ ТРУДА 1 РАБОЧЕГО, т/год	2000-3000 + тяжелый труд	2000-3000	5000
ЗАТРАТЫ НА МЕТАЛЛОШИХТУ	0,95	0,95	1
РАСХОД ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ В МЕТАЛЛОШИХТЕ	2	2	1
РАСХОДЫ ПО ПЕРЕДЕЛУ	1,5	3	1
СЕБЕСТОИМОСТЬ СТАЛИ	1,05	1,25	1
ЭНЕРГОЗАТРАТЫ НА 1 Т	1,3	1,1	1
МАТЕРИАЛОЗАТРАТЫ НА 1 Т	2-3	2-3	1
СУММА ЗАГРЯЗНЕНИЙ (ЧИСТОТА СТАЛИ)	2100	1500	1000-2000

# ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА:

1. **Увеличение металлолома в шихте сталеплавильного процесса** (наибольшую долю в себестоимости стали занимают затраты на металлошихту - цена лома на 8-10 % ниже, чем чугуна, и, кроме того, его угар меньше на 4-5 %)
2. **Замена мартеновского метода производства стали на электросталеплавильный и кислородно-конвертерный методы** (около 65% стали уже сейчас производится конвертерным способом).

### 3. *Создание электрометаллургических комбинатов*

- Направлено на производство стали из металлизированных окатышей, которые получают через прямое восстановление железа. На таких комбинатах достигаются гораздо более высокие технико-экономические показатели, чем на комбинатах, использующих традиционный способ получения металла.
4. *Увеличение выпуска готового проката без роста производства чугуна*, что произойдет благодаря внедрению технологий сниженной ресурсоемкости.

## 5. *Улучшение качества продукта и увеличение выпуска более эффективных его видов.*

- опережающий рост сырьевой базы, повышение содержания железа, марганца и хрома в концентратах, освоение технологии обогащения
- совершенствование структуры прокатного производства путем опережающего роста выпуска холоднопрокатного листа, проката с упрочняющей термической обработкой, фасонных и высокоточных профилей проката, экономичных и специальных видов стальных труб, в том числе многослойных труб для газопроводов;
- применение прогрессивных технологий, особенно в связи с прямым восстановлением железа из руд, развитие порошковой металлургии, специальных переплавов и внепечной обработки стали, непрерывной разливки стали;
- более полное использование лома черных металлов и металлосодержащих отходов.