

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ

# ТЕМА ЛЕКЦИИ: ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ

---

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ:** 150700 «МАШИНОСТРОЕНИЕ»

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ:** ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ  
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И АППАРАТОВ

# 1. СТАЛИ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Сталью называется сплав железа с углеродом, содержащим углерода менее 2,14%, кремния, марганца, серы, фосфора и др.

## КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛИ



-ОБЩ  
-КАЧ  
-ВЫС  
-ОС

( $0,45\% < C < 0,75\%$ )

(ЛЭ > 10%)

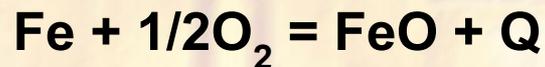
**Сущностью** любого металлургического **передела чугуна в сталь** является **снижение содержания углерода и примесей (Si, Mn, P и S)** путем их окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

Материалы	C	Si	Mn	P	S
Передельный чугун	4...4,4	0,75...1,25	До 1,75	0,15...0,3	До 0,07
Сталь низкоуглеродистая	0,15...0,22	0,12...0,3	0,4...0,65	До 0,05	До 0,05

## 2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

Основными материалами для производства стали являются **передельный чугун** и **стальной лом**.

В чугуне наибольшее количество железа, то оно окисляется в первую очередь



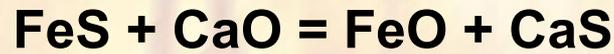
Одновременно с железом окисляются Si, P, Mn, C и др.

Образующийся оксид железа при высоких температурах растворяется в железе и отдает свой кислород более активным элементам – примесям в чугуне, окисляя их.



После расплавления шихты в сталеплавильной печи образуется две несмешивающиеся среды: жидкий металл и шлак. Металл и шлак разделяются из-за различных плотностей. Убирая шлак с поверхности металла и наводя новый путем подачи флюса требуемого состава, можно удалять вредные примеси (серу, фосфор) из металла.

Удаление серы:



Удаление фосфора:



Поэтому регулирование состава шлака с помощью флюсов является одним из основных путей управления металлургическими процессами.

### 3. СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

## ПОЛУЧЕНИЕ СТАЛИ

**МАРТЕНОВСКИЙ  
СПОСОБ**



**3%**

**КИСЛОРОДНО-  
КОНВЕРТЕРНЫЙ  
СПОСОБ**



**65%**

**ЭЛЕКТРОСТАЛЕ-  
ПЛАВИЛЬНЫЙ  
СПОСОБ**



**30%**

**СОВРЕМЕННЫЕ ОБЪЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА**

### 3.1. МАРТЕНОВСКИЙ СПОСОБ

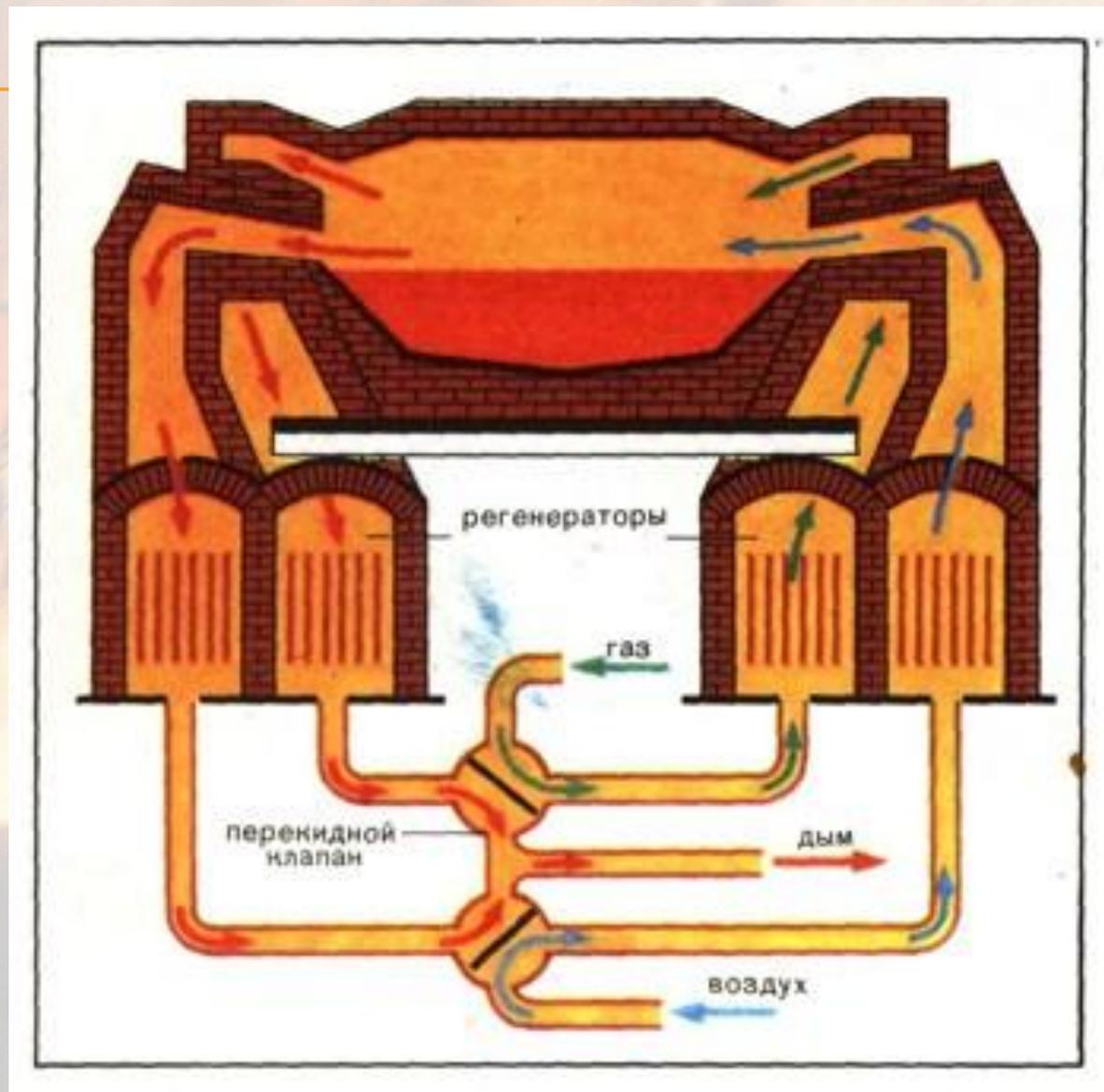


СХЕМА МАРТЕНОВСКОЙ ПЕЧИ

# МАРТЕНОВСКИЙ ЦЕХ



## 3.2. КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНЫЙ СПОСОБ

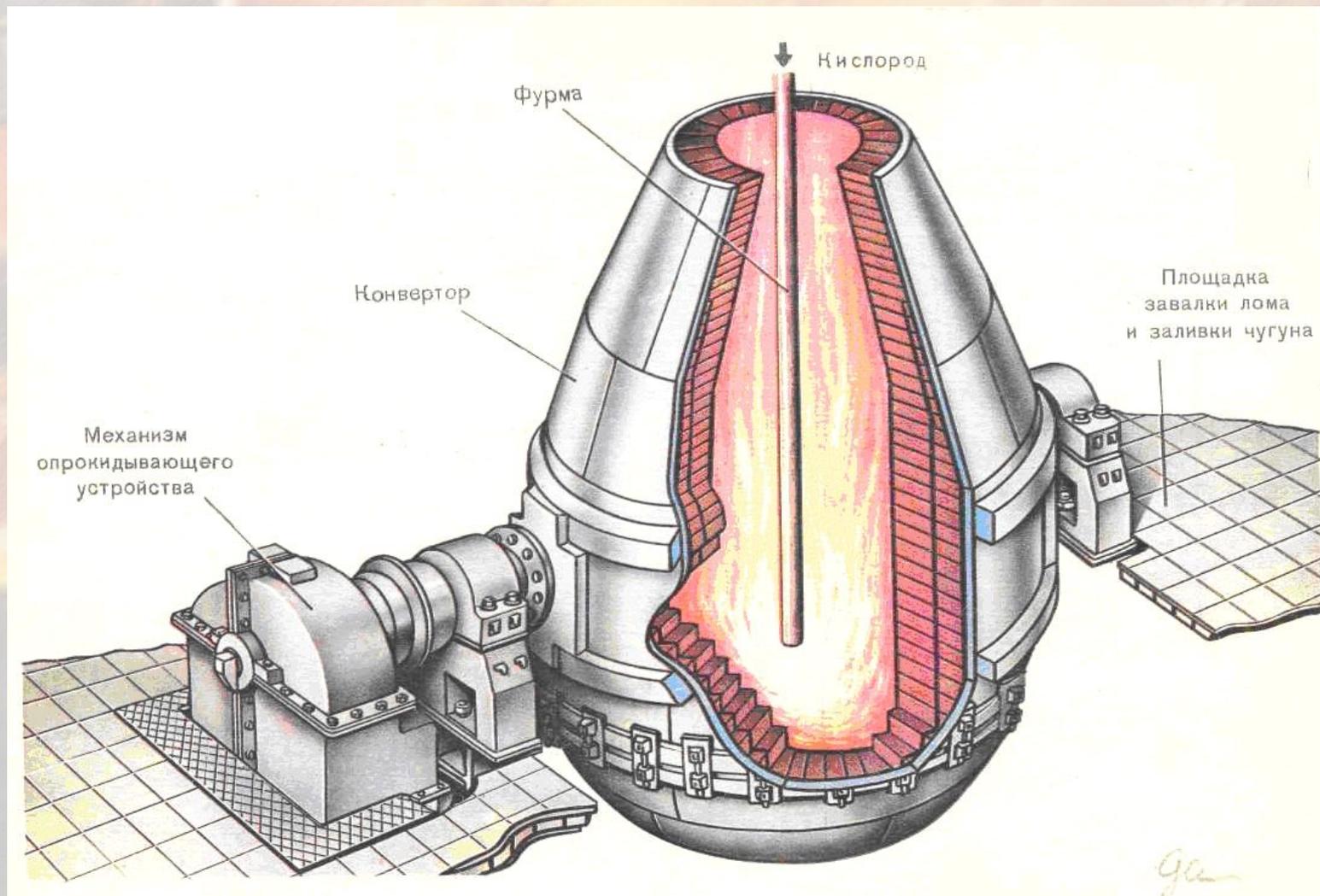
Кислородно-конвертерный процесс – это выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере и продувкой кислородом через водоохлаждаемую фурму. Шихтовыми материалами кислородно-конвертерного процесса являются жидкий передельный чугун, стальной лом (не более 30%), известь (как флюс) для наведения шлака, железная руда, а также боксит ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), плавиковый шпат ( $\text{CaF}_2$ ), которые применяют для разжижения шлака.



Это самый производительным способом получения стали.

Кислородный  
конвертер

**Кислородный конвертер** – это сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный основным кирпичом. Емкость конвертера 130...150 тонн жидкого чугуна. В процессе работы конвертер может поворачиваться на цапфах вокруг горизонтальной оси на  $360^{\circ}$  для завалки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака.



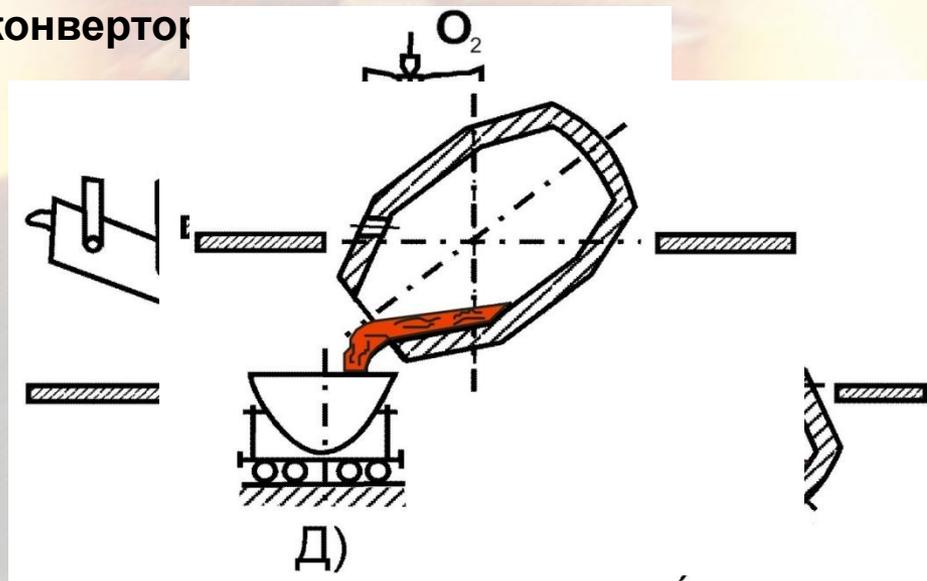
# ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАВКИ В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ

**1 этап.** Перед плавкой конвертер наклоняют, через горловину с помощью завалочных машин загружают скрап, заливают чугун при температуре 1250...1400 °С.

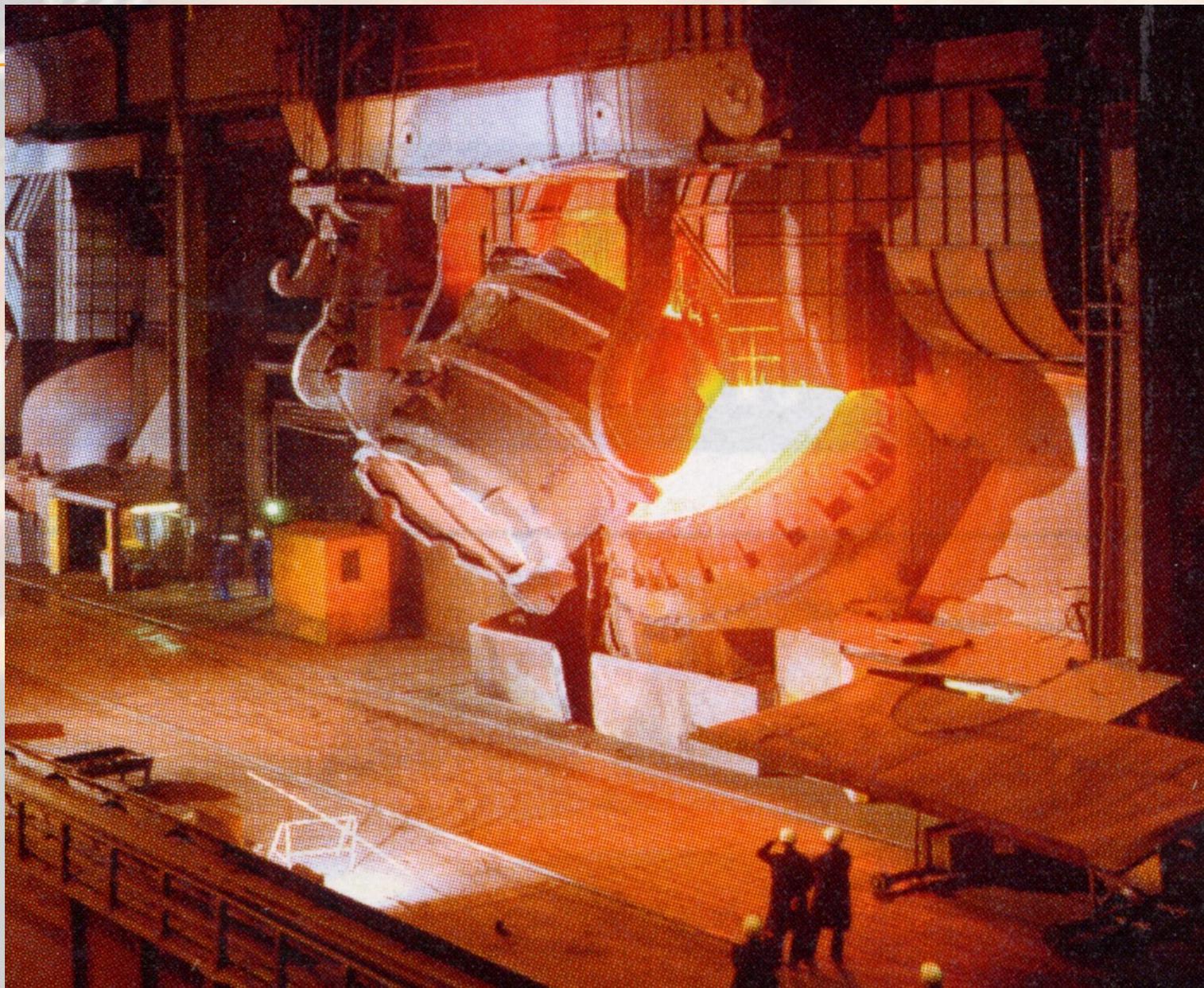
**2 этап.** Конвертер поворачивают в вертикальное рабочее положение, внутрь его вводят водоохлаждаемую фурму и через неё подают кислород под давлением 0,9...1,4 МПа. Одновременно с началом продувки в конвертер загружают известь ( $\text{CaO}$ ), боксит ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), железную руду. Благодаря интенсивному окислению железа и примесей чугуна при взаимодействии с кислородом в зоне под фурмой развивается температура до 2400 °С.

**3 этап.** Подачу кислорода заканчивают, когда содержание углерода в металле соответствует заданному составу. После этого конвертер поворачивают и выпускают сталь в ковш.

**4 этап.** Слив шлака из конвертора



# ЗАЛИВКА ЖИДКОГО ЧУГУНА В КИСЛОРОДНЫЙ КОНВЕРТЕР



### 3.3. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В ЭЛЕКТРОПЕЧАХ

**ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЙ  
СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА**

**ЭЛЕКТРОДУГОВО  
Й**

**ИНДУКЦИОННЫЙ**



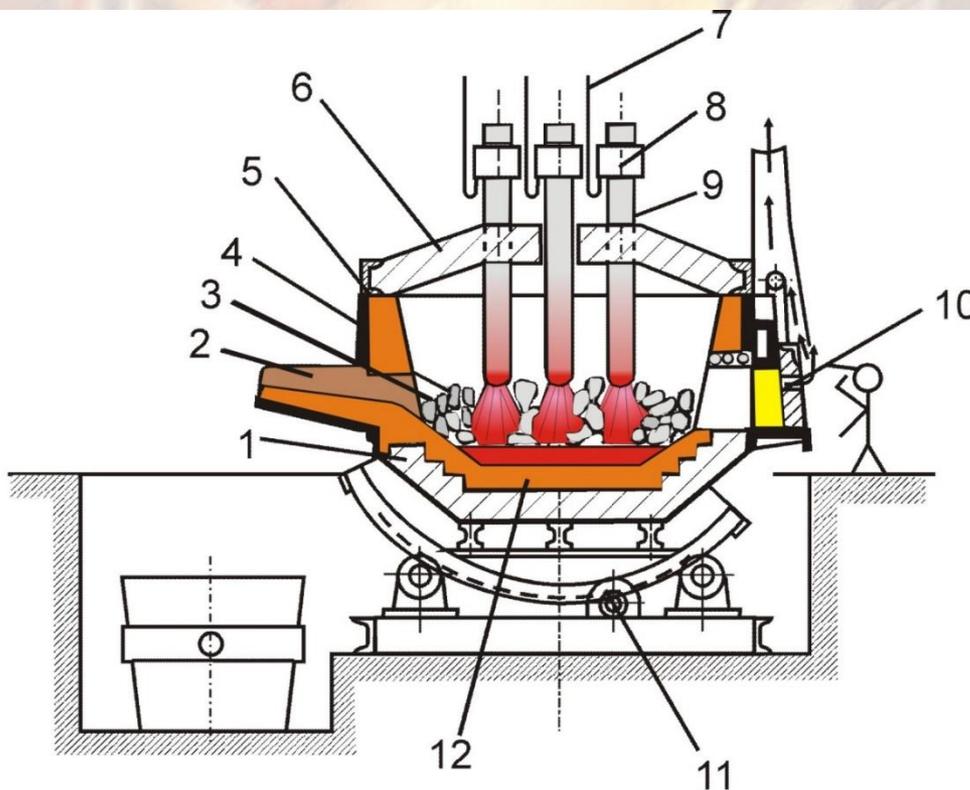
### 3.3.1. ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ ПЕЧЬ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

#### ПРЕИМУЩЕСТВА:

- высокая температура (до 2500 °С);
- создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу и вакуум;
- раскислять металл с образованием минимального количества не металлических включений.

Используют для выплавки конструкционных высоколегированных, инструментальных, специальных сталей и сплавов.

Схема дуговой плавильной печи



- 1 - поддон печи
- 2 - желоб для выпуска стали
- 3 - металлическая шихта
- 4 - корпус печи (стальной лист и огнеупорный материал)
- 5 - наклонные стенки печи
- 6 - свод печи
- 7 - кабель (от источника тока)
- 8 - электрододержатель
- 9 - графитовый электрод
- 10 - рабочее окно (для управления ходом плавки)
- 11 - механизм наклона печи
- 12 - подина печи

**Дуговая плавильная печь** питается **трехфазным переменным током** и имеет **три цилиндрических электрода** из графитизированной массы. Электрический ток от трансформатора кабелями подводится к электродержателям, а через них - к электродам и ванне металла. **Между электродами и металлической шихтой возникает электрическая дуга, электроэнергия превращается в теплоту**, которая передается металлу и шлаку излучением. **Рабочее напряжение 150...600 В, сила тока 1...10 кА**. Во время работы печи **длина дуги регулируется автоматически** путем перемещения электродов.

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАВКИ В ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ**

**1 этап.** Загрузка шихты при снятом своде: **стальной лом (до 90%), чушковый предельный чугун (до 10%), кокс (2...3%) для науглероживания металла и известь (CaO).**

**2 этап.** **Опускание электродов и включение тока;** шихта под действием электрода плавится, металл накапливается на подине печи.

**3 этап.** После нагрева металла и шлака до температуры **1500°C** в печь **загружают руду и известь** и проводят период «кипения» металла; происходит дальнейшее окисление углерода.

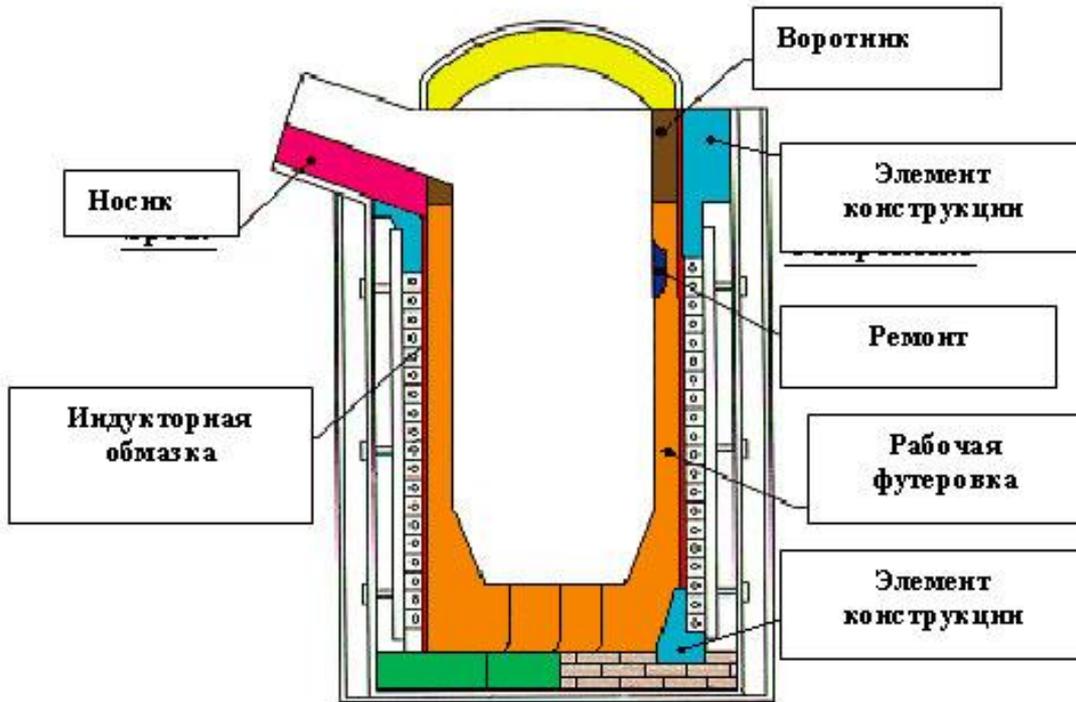
**4 этап.** Когда содержание углерода будет меньше заданного на 0,1%, кипение прекращают и **удаляют из печи шлак**. Раскисление производят с помощью подачи силикомарганца и силикокальция.

### 3.3.2. ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ

В индукционных печах металл нагревается токами, возбуждаемыми в переменном поле индуктора. В индукционных печах электрическая энергия превращается сначала в электромагнитную, затем снова в электрическую и, наконец, в тепловую.

#### ПРЕИМУЩЕСТВА:

- Передача энергии с помощью электромагнитного поля *исключает загрязнение металла материалом электродов;*
- Процесс легко поддается *регулированию температурного режима;*
- Естественное перемешивание жидкого металла под действием электромагнитных сил способствует *выравниванию температуры и химического состава металла* и ускоряет протекание металлургических процессов.



# ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Наименование способа	Исходные шихтовые материалы	Топливо	Время плавки	Емкость печей	Технико-экономические показатели	Перспективы развития
Кислородно-конвертерный	Жидкий чугун; немного: - лом; - руда; - флюсы	Используется тепло хим. реакций	30-45 мин.	130-350 т	~ 500 т/ч	Расширение производства
Мартеновский	Лом; флюс; руда; чугун (жидкий, твердый)	Мазут, природный газ	6-8 часов	До 900 т	~ 100 т/ч	Сокращение производства
В электропечах	Лом (90%), отходы литейного производства, чугун, руда, окалина, флюс (известь)	Электроэнергия	3-7 часов	До 400 т.	~ 70 т/ч 500 кВт·ч на 1 тонну металла	Расширение производства

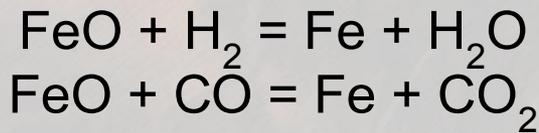
# МЕТОД ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ИЗ РУДЫ

В настоящее время с выплавкой чугуна в доменных печах все более широко используют процессы прямого восстановления железа из руд, с последующей его плавкой в электропечах для получения стали.

Этот процесс состоит из двух этапов:

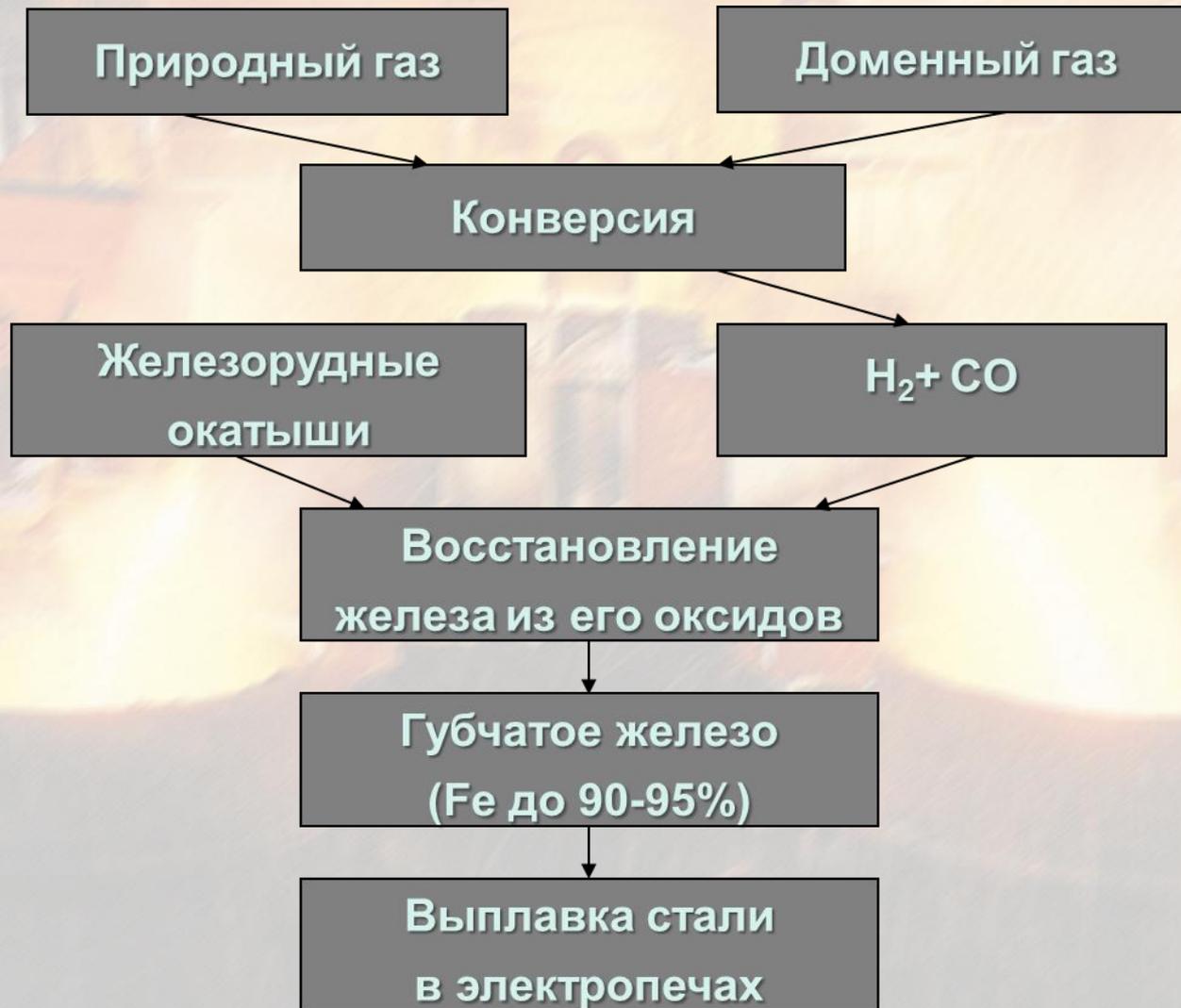
- Получение из руды твердого губчатого железа;
- Получение стали из губчатого железа в электропечах.

Добытую в карьерах руду обогащают окатыши. Для восстановления железа из ока подают смесь природного и доменного газа барабанного или шахтного типа смесь разлагает (H<sub>2</sub>) и оксид углерода (CO). В восстановлении создается температура газов 1000...1100 °С, водород и оксид углерода восстанавливают же окатышах до **твердого губчатого железа**.

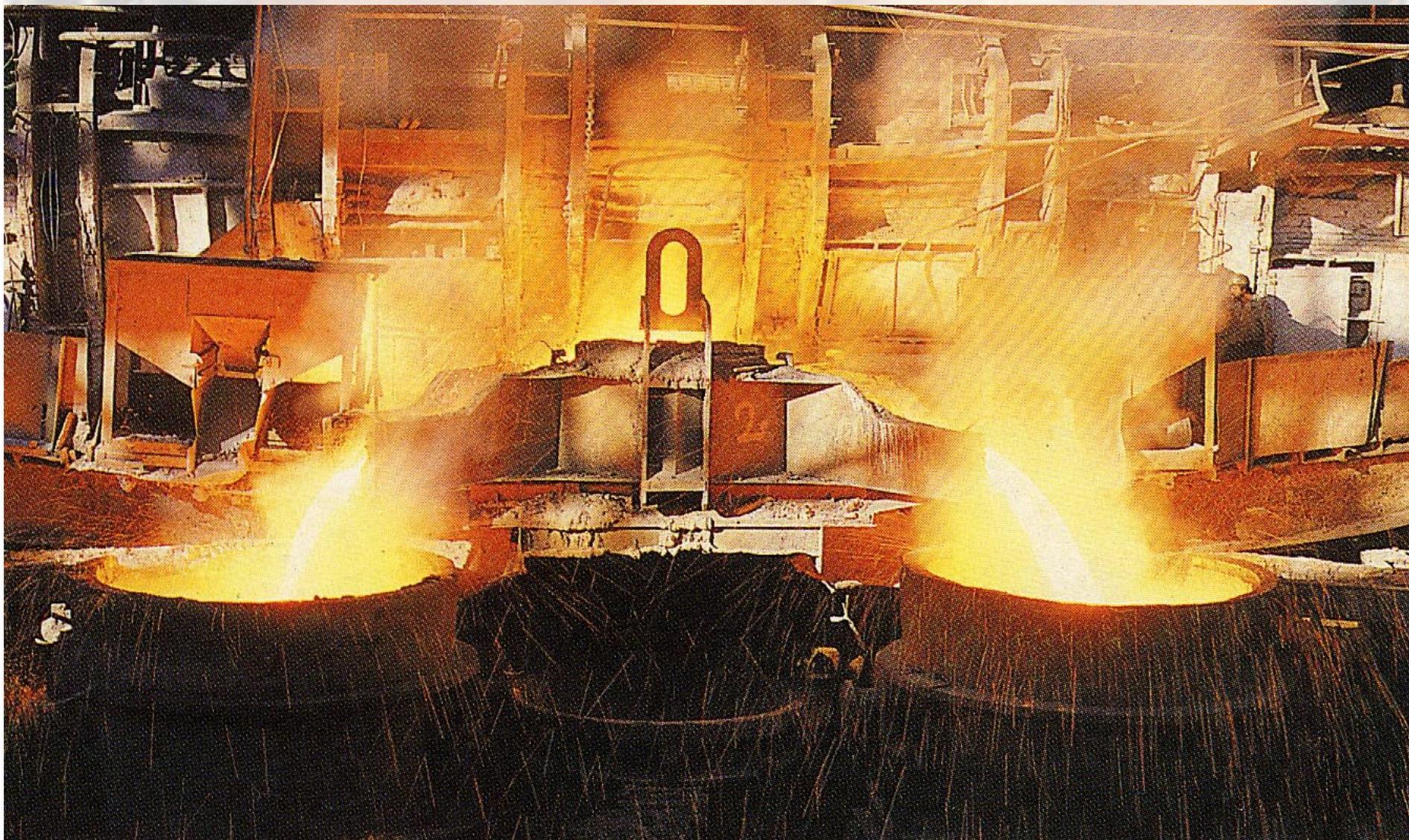


В результате содержание железа в окатышах достигает 90...95%. Далее окатыши поступают на выплавку стали в электропечах.

# ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ИЗ РУДЫ

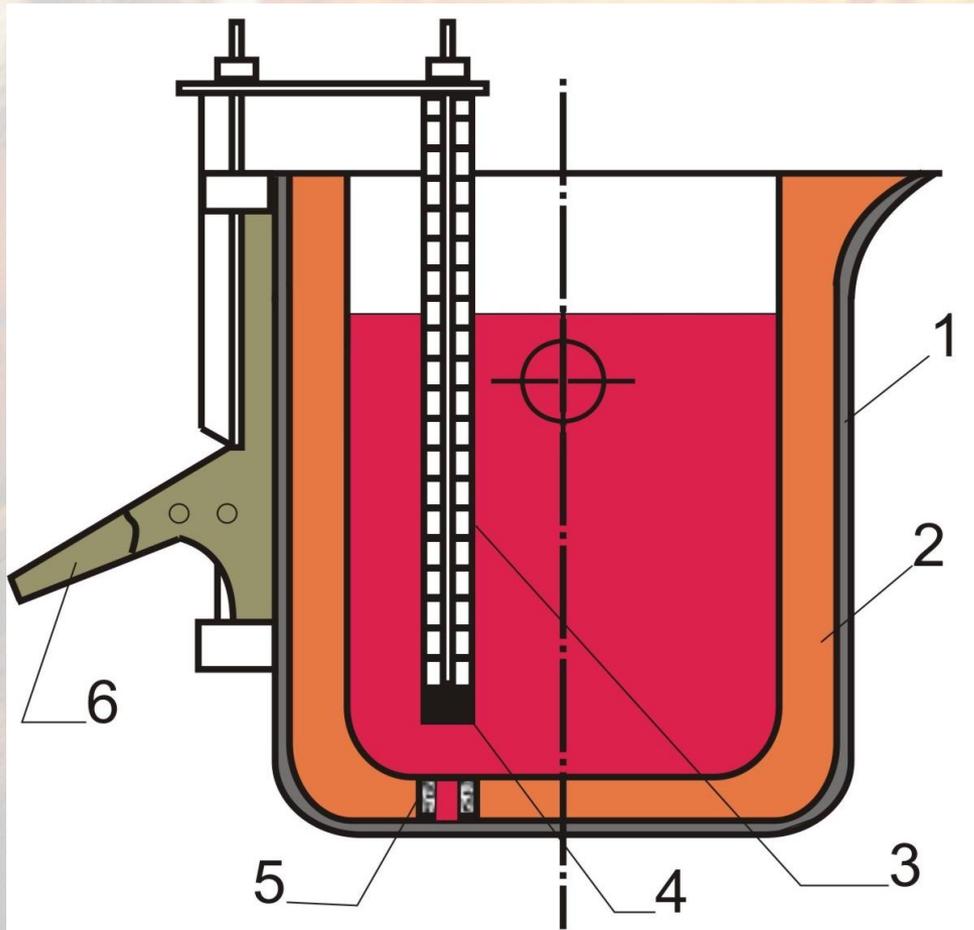


## 4. РАЗЛИВКА СТАЛИ



## 4.1 СТАЛЕЛИТЕЙНЫЙ КОВШ

Выплавленную сталь выпускают из плавильной печи в разливочный ковш, из которого ее разливают в изложницы или кристаллизаторы **машины для непрерывного литья заготовок (МНЛЗ)**. В изложницах или кристаллизаторах сталь затвердевает, и получаются слитки, которые подвергают прокатке, ковке.

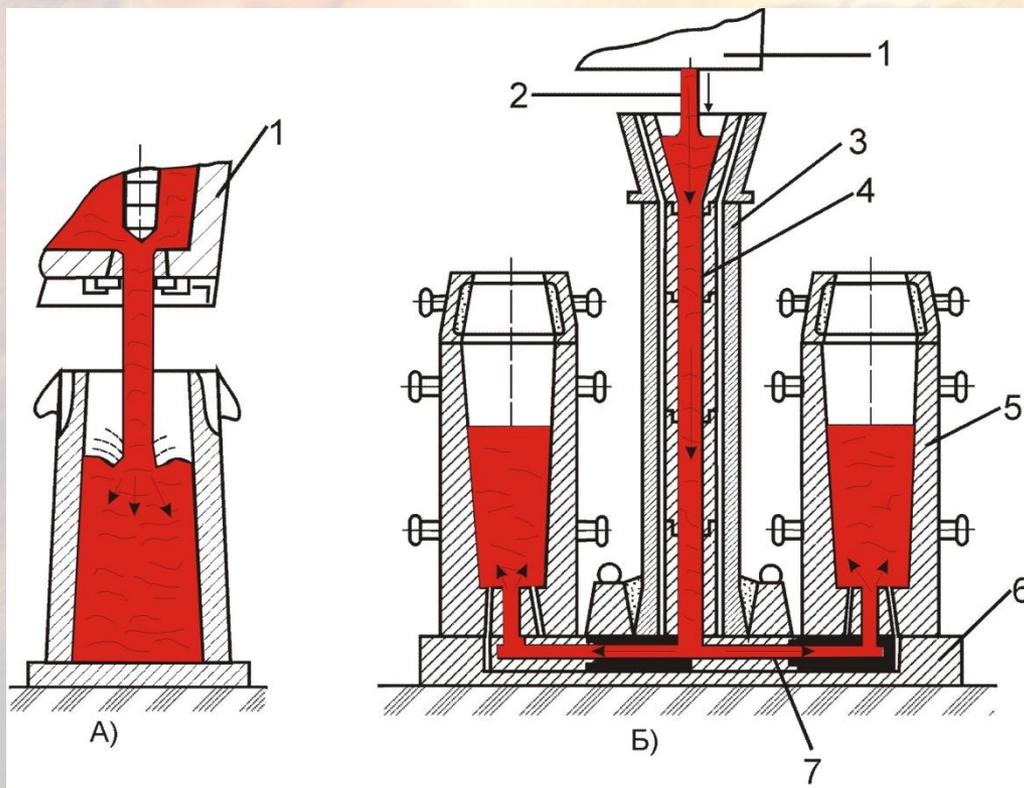


- 1- корпус из стального листа
- 2-огнеупорный кирпич (футеровка)
- 3-стопорное устройство
- 4-сменная пробка из огнеупорного материала
- 5-керамический стакан с отверстием (для выпуска стали)
- 6-рычажный механизм

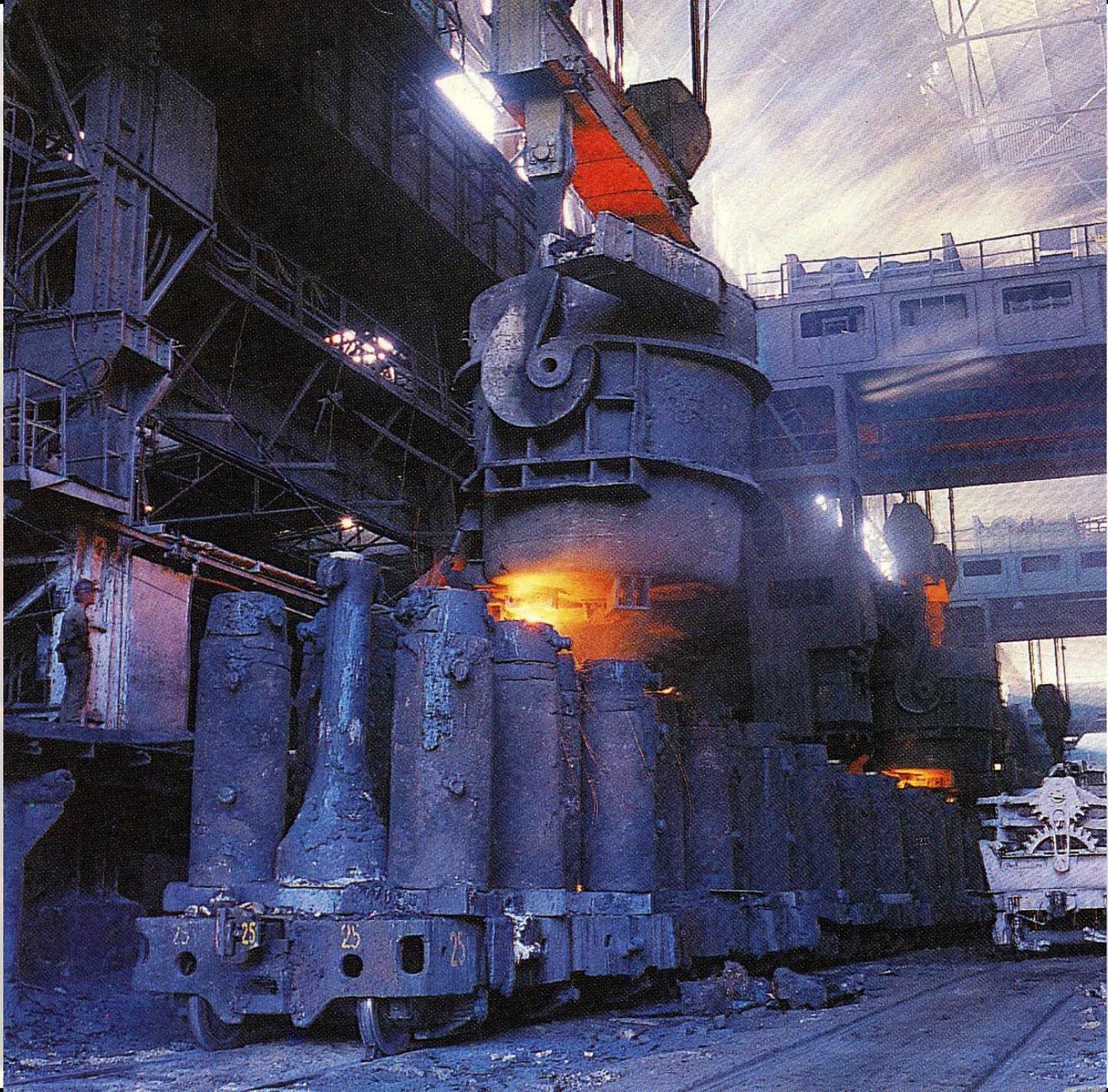
**Изложницы – чугунные формы для изготовления слитков. Изложницы выполняют с квадратным, прямоугольным, круглым и многогранным поперечными сечениями. В изложницу сверху сталь разливают непосредственно из ковша и получают слитки массой от 0,1 до 250 т.**

При сифонной разливке сталью заполняют одновременно несколько изложниц (4...60).

Для обычных углеродистых сталей используют разливку сверху, а для легированных и высококачественных - разливку сифоном.

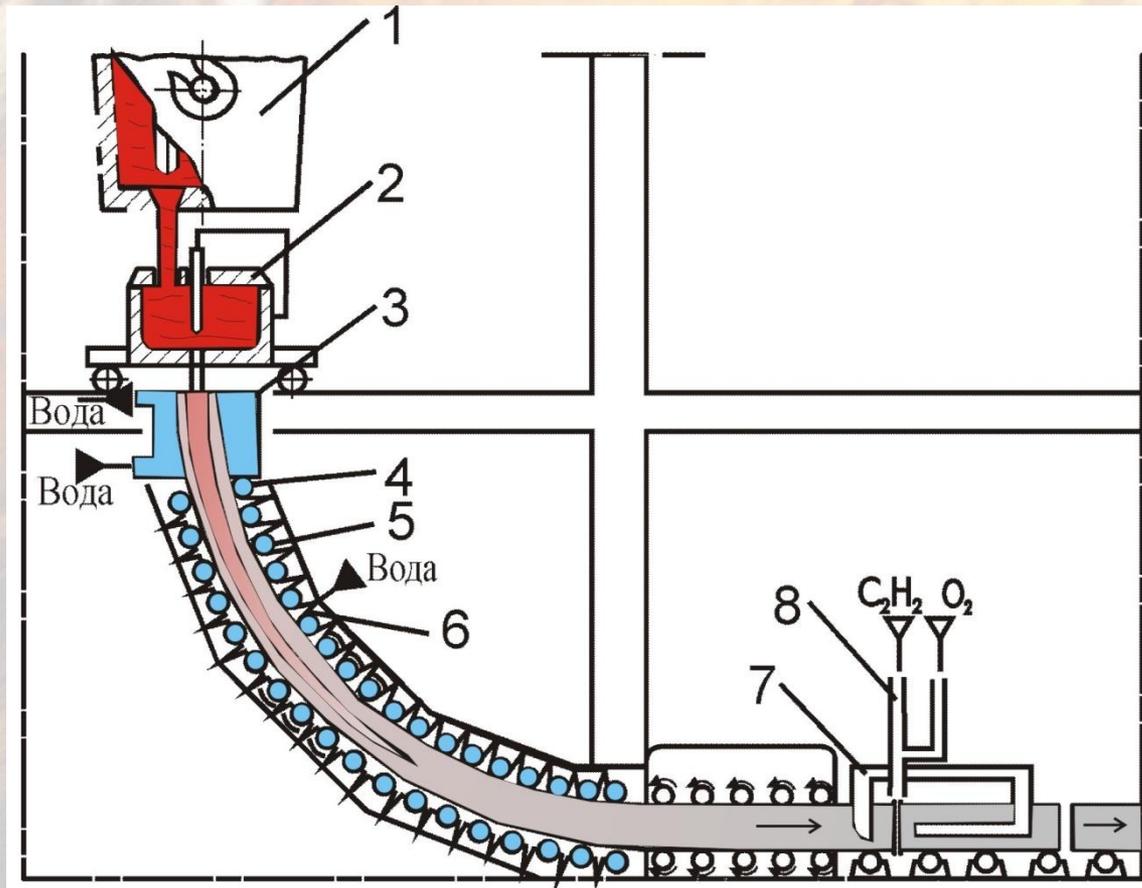


- 1 - сталеразливочный ковш
- 2 - жидкая сталь
- 3 - центральный литник
- 4 - огнеупорная трубка
- 5 - изложница
- 6 - поддон
- 7 - канал



## 4.2. НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА СТАЛИ

Вследствие направленного затвердевания при непрерывной разливке слиток имеет плотное строение и мелкозернистую структуру, в них отсутствуют усадочные раковины.



- 1 - сталеразливочный ковш
- 2 - промежуточное устройство
- 3 - кристаллизатор  
(водоохлаждаемый)
- 4 - затвердевший металл
- 5 - тянущие валки
- 6 - форсунки для охлаждения  
слитка
- 7 - зона резания
- 8 - ацетиленокислородный резак