

ЛЕКЦИЯ № 5-7

Технологии производства стали

План лекции:

1. Основы технологии производства стали.
2. Производство стали в мартеновских печах.
3. Производство стали в кислородном конвертере.
4. Производство стали в электропечах.
5. Разливка стали.
6. Классификация и маркировка стали.

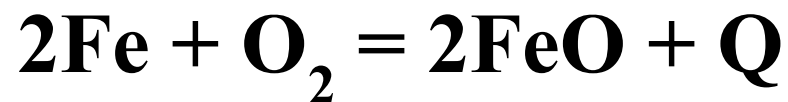
1. Основы технологии производства стали.

Содержание углерода и примесей в стали значительно ниже, чем в чугуна. 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.**



Сталь - сплав железа с углеродом (и другими элементами), содержащий не менее 45 % железа, и в котором содержание углерода находится в диапазоне от 0,02 до 2,14 %.

Железо окисляется в первую очередь при взаимодействии чугуна с кислородом в сталеплавильных печах:



Наиболее важными свойствами стали являются:

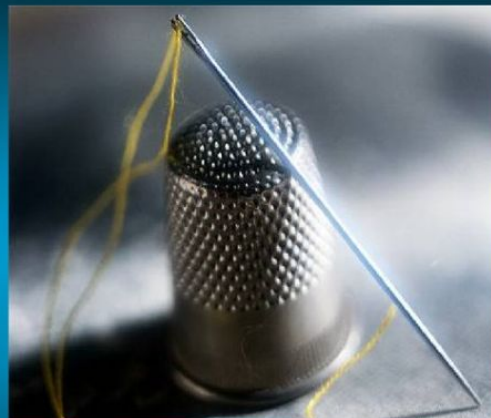
- **способность к обработке давлением;**
- **прочность;**
- **твердость;**
- **пластичность;**
- **теплопроводность;**
- **теплоемкость.**

К этим выдающимся свойствам нержавеющей стали добавляют **высокое сопротивление коррозии.**





**Из стали делают
бритвенные лезвия.**



**Принадлежности для
шитья тоже делают из
стали.**



**Прочные цепи
делают из стали**



**Некоторые
канцелярские
принадлежности,
например кнопки,
делают из стали**



**Из стали делают
домашнюю утварь.**



**Хирургические и стоматологические
инструменты делают из стали**

Основными исходными материалами для производства стали являются **передельный чугун и стальной лом (скрап).**



основные процессы, происходящие при выплавке стали:

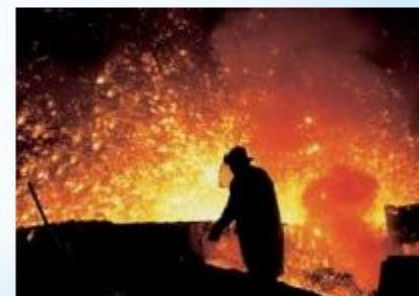
- Окисление железа с образованием FeO (оксид железа - основной окислитель).
- Окисление примесей (Si, Mn, S, P) и образование шлаков.
- Окисление углерода – основной процесс «кипения» стали.



Сталь «кипит» в ковше



Достигается требуемое количество углерода, удаляются неметаллические включения. Сталь хорошо перемешивается. Улучшается её качество. Но в стали остаётся ещё много кислорода.



Сталь «кипит» в изложнице

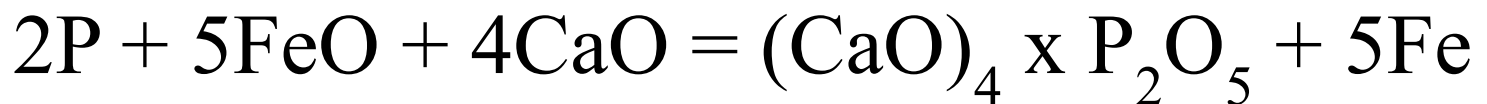
- Раскисление стали с использованием ферросплавов и алюминия.
- Доводка до необходимого химсостава.

Процессы выплавки стали осуществляют в три этапа.

Первый этап – расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла.

Температура металла сравнительно невысокая, интенсивно происходит окисление железа, образование оксида железа и окисление примесей: кремния, марганца и фосфора.

Наиболее важная задача этапа – удаление фосфора.



Второй этап – кипение металлической ванны. Начинается по мере прогрева до более высоких температур. При повышении температуры более интенсивно протекает реакция окисления углерода, происходящая с поглощением теплоты:



Для окисления углерода в металл вводят незначительное количество руды, окалины или вдувают кислород. При реакции оксида железа с углеродом, пузырьки оксида углерода CO выделяются из жидкого металла, вызывая «кипение ванны». При «кипении» уменьшается содержание углерода в металле до требуемого, выравнивается температура по объему ванны, частично удаляются неметаллические включения, прилипающие к всплывающим пузырькам CO , а также газы, проникающие в пузырьки CO . Все это способствует повышению качества металла. Следовательно, этот этап — основной в процессе выплавки стали.

Также создаются условия для удаления серы. Сера в стали находится в виде сульфида (FeS), который растворяется также в основном шлаке. Чем выше температура, тем большее количество сульфида железа FeS растворяется в шлаке и взаимодействует с оксидом кальция



Образующееся соединение CaS растворяется в шлаке, но не растворяется в железе, поэтому сера удаляется в шлак.

Третий этап – раскисление стали.

Заключается в восстановлении оксида железа, растворённого в жидком металле.

При плавке повышение содержания кислорода в металле необходимо для окисления примесей, но в готовой стали кислород – вредная примесь, так как понижает механические свойства стали, особенно при высоких температурах.

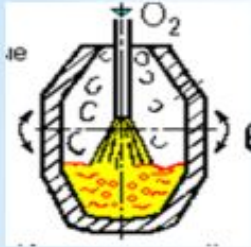
В зависимости от степени раскисления выплавляют стали:

- **спокойные** — спокойная сталь получается при полном раскислении в печи и ковше.
- **кипящие** — кипящая сталь раскислена в печи неполностью. Ее раскисление продолжается в изложнице при затвердевании слитка, благодаря взаимодействию оксида железа и углерода. Кипящая сталь не содержит неметаллических включений, поэтому обладает хорошей пластичностью.
- **полуспокойные** — полуспокойная сталь имеет промежуточную раскисленность между спокойной и кипящей. Частично она раскисляется в печи и в ковше, а частично — в изложнице, благодаря взаимодействию оксида железа и углерода, содержащихся в стали.

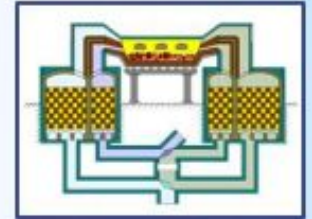
Легиrowание стали осуществляется введением ферросплавов или чистых металлов в необходимом количестве в расплав.

Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду меньше, чем у железа (Ni, Co, Mo, Cu), при плавке и разливке не окисляются, поэтому их вводят в любое время плавки. Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду больше, чем у железа (Si, Mn, Al, Cr, V, Ti), вводят в металл после раскисления или одновременно с ним в конце плавки, а иногда в ковш.

Основные способы производства стали

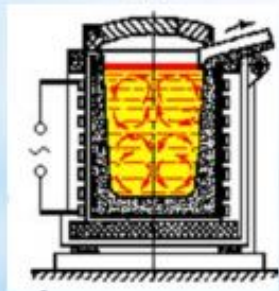


Кислородно-
конверторный

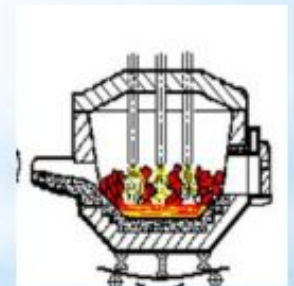


Мартеновский

Электрометаллургический



В индукционных
печах



В дуговых печах

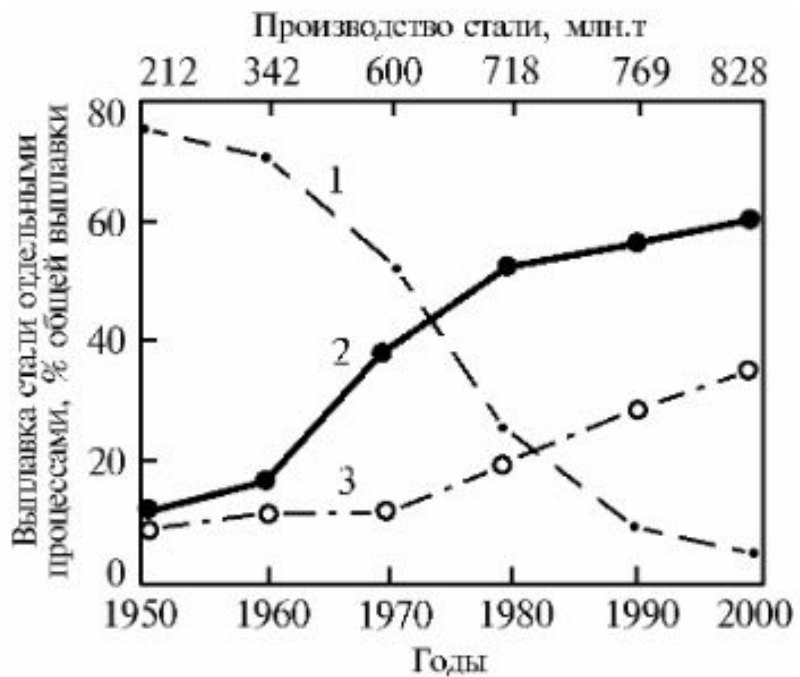


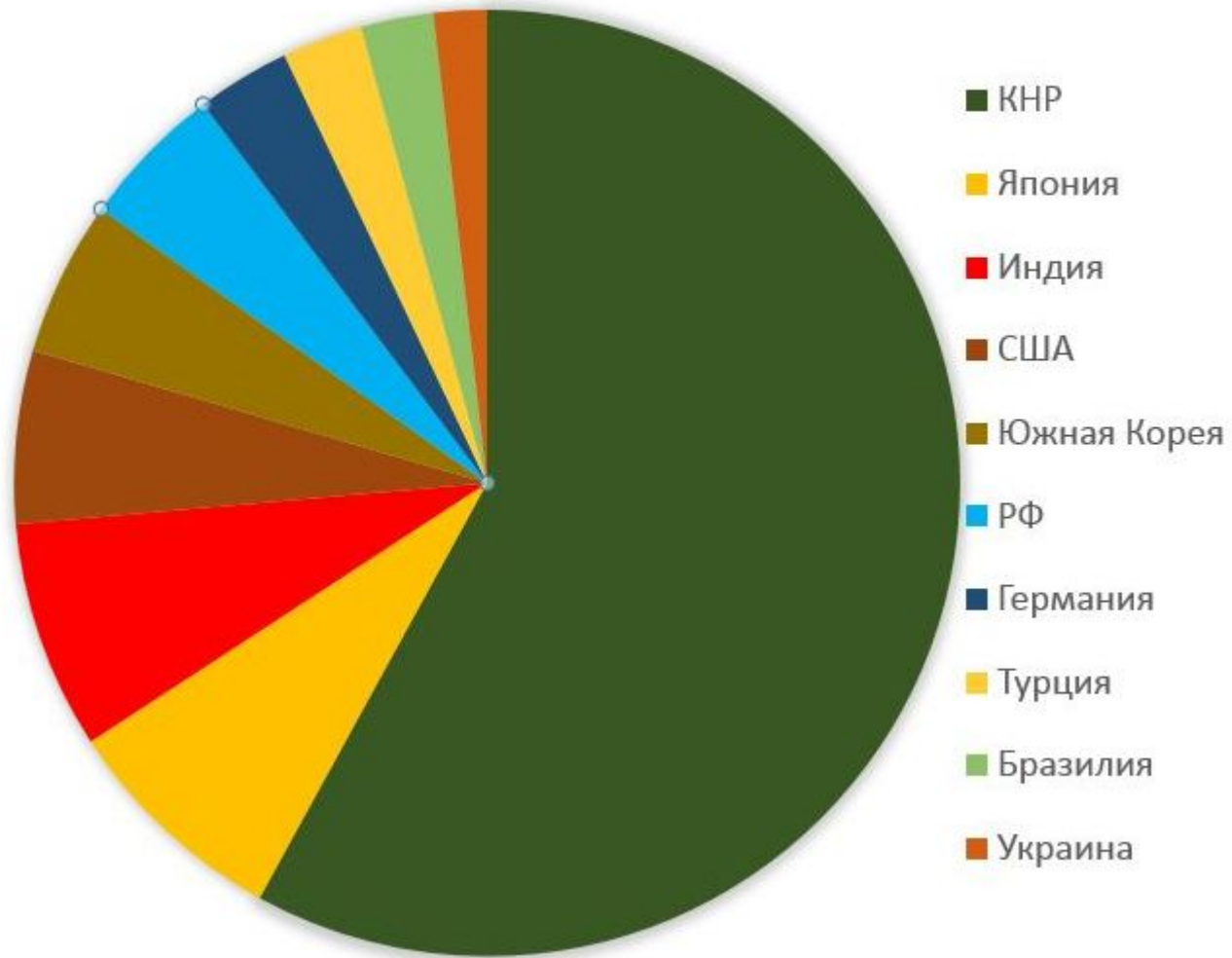
Рис. 1. Мировое производство стали в мартеновских печах (1), конвертерах (2), дуговых электропечах (3)

8

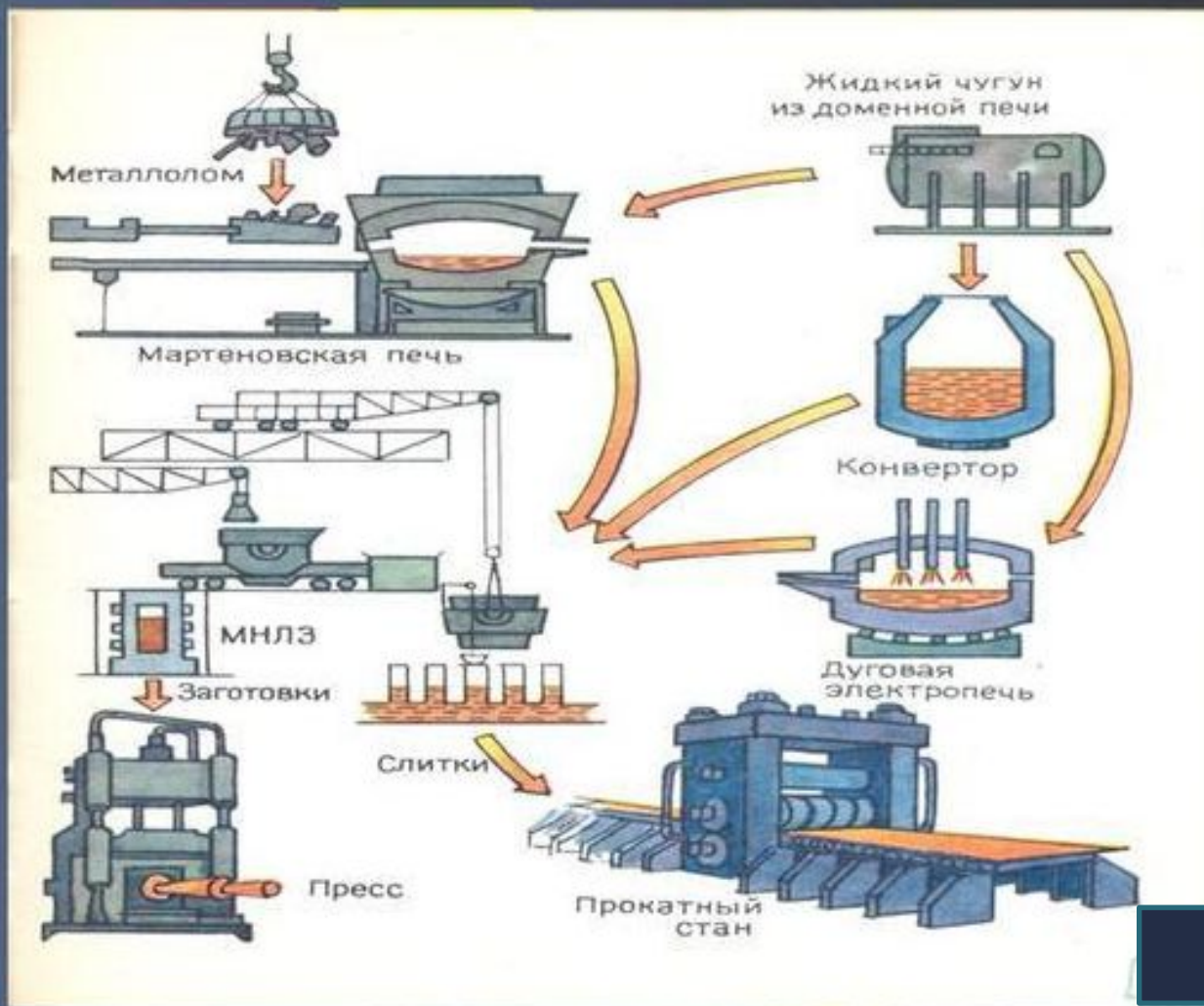


16

ТОП-10 ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СТАЛИ В МИРЕ (МЛН. ТОНН)



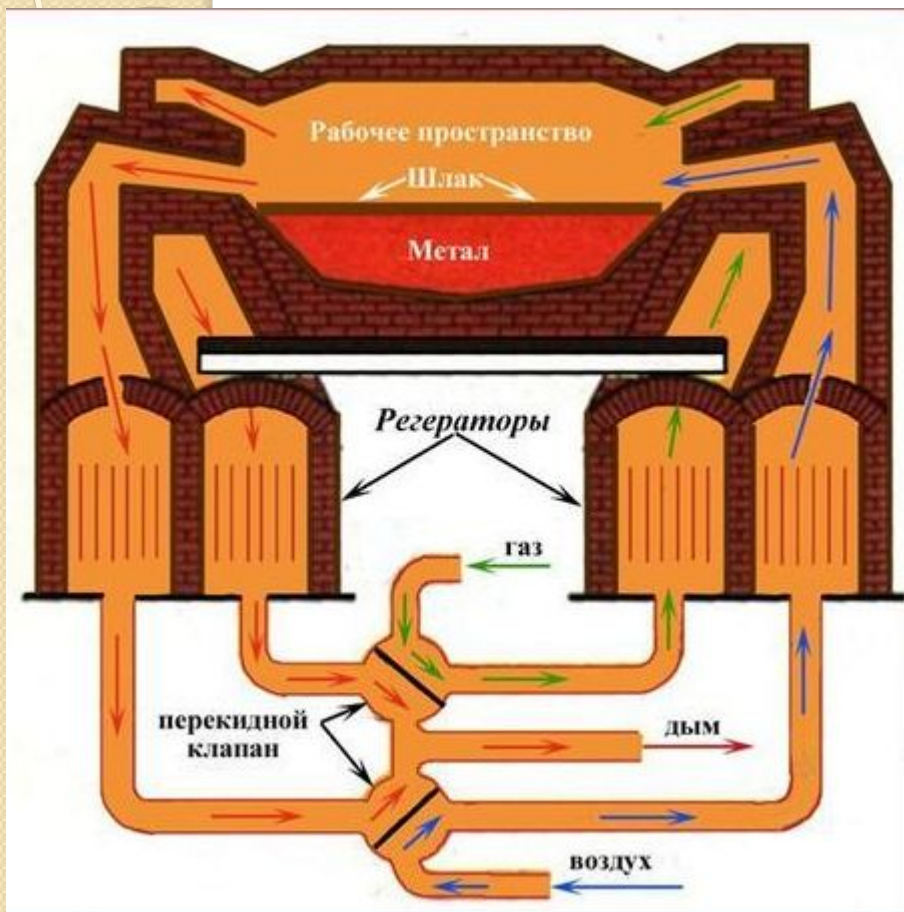
ОБЩАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ



2. Производство стали в мартеновских печах

Мартеновский процесс (1864-1865, Франция). В период до 70-х годов являлся основным способом производства стали. Способ характеризуется сравнительно небольшой производительностью, возможностью использования вторичного металла – стального скрапа. Вместимость печи составляет 200...900 т. Способ позволяет получать качественную сталь.

Мартеновская печь по устройству и принципу работы является пламенной отражательной регенеративной печью. В плавильном пространстве сжигается газообразное топливо или мазут. Высокая температура для получения стали в расплавленном состоянии обеспечивается регенерацией тепла печных газов.



Работа в мартеновской печи происходит в несколько этапов. Сначала в печь загружают холодные материалы (шихту)—железный лом, руду, известь. Их насыпают в стальные ящики — мульды. Завалочная машина своим длинным хоботом захватывает мульду, вносит через завалочное окно в печь, переворачивает, высыпая содержимое. Когда загрузка заканчивается, опускают заслонки над окнами и в печь вводят максимальное количество газа и воздуха, чтобы лом и другие материалы быстро прогрелись и расплавились. После этого к печам подвозят ковши с доменным чугуном. Его доставляют из миксера — огромного хранилища, куда сливают чугун из домен для хранения его в жидком виде. Мостовой кран поочередно поднимает ковши, наклоняет их, и по специальному желобу чугун льется в печь.



Выплавка стали продолжается 4-8 часов. За это время сталевар несколько раз длинной металлической «ложкой» зачерпывает из печи немного металла и отправляет его в цеховую экспресс-лабораторию, откуда сталевару сообщают, сколько в металле углерода, марганца, кремния, серы, фосфора и др. Сталевар тут же вводит в печь недостающие вещества, чтобы добиться нужного химического состава стали.



На последнем этапе происходит рафинирование стали (очищение ее от вредных примесей) и раскисление — удаление из металла кислорода. Для этого в ванну добавляют раскислители — ферросилиций, ферромарганец, алюминий.



Мартеновская печь – пламенная регенеративная печь, в которой высокая температура достигается сжиганием топлива (газа, мазута) над плавильным пространством .

Исходные материалы:

жидкий и твердый передельный чугуны, стальной скрап, железная руда, флюс (известняк).

Ёмкость печи до 900т.

Продуктивность не превышает 80т/ч.

Плавка длится 4-8час.



Газ и воздух, нагретые в регенераторах до 1250°C , поступают в печь, где смешиваются и сгорают, образуя пламя ($\sim 1800^{\circ}\text{C}$) над плавильным пространством. Ёмкость печи до 900т.

Достоинства мартеновского способа: получение стали заданного химического состава, в том числе легированных, использование жидкого и твердого чугуна и значительного количества металлолома.

Недостатки: длительность плавки и низкая производительность, невозможность получения стали, легированной тугоплавкими элементами, большие капитальные затраты.

РАЗНОВИДНОСТИ МАРТЕНОВСКОГО ПРОЦЕССА

СКРАП-ПРОЦЕСС

шихта = стальной лом (скрап) + 30...45% чушковый передельный чугун

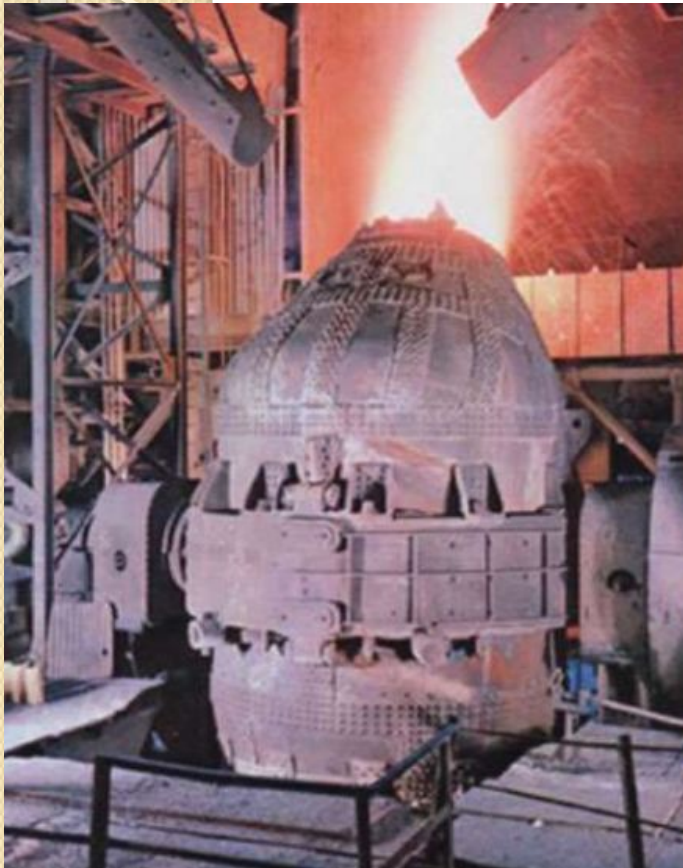
СКРАП-РУДНЫЙ ПРОЦЕСС

шихта = 55...75% жидкий чугун + скрап + железная руда



мартеновский цех

3. Производство стали в кислородных конвертерах



Кислородно-конвертерный процесс – выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом через водоохлаждаемую фурму.

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 способ является основным в массовом производстве стали.

Кислородный конвертер – сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный огнеупорным кирпичом.

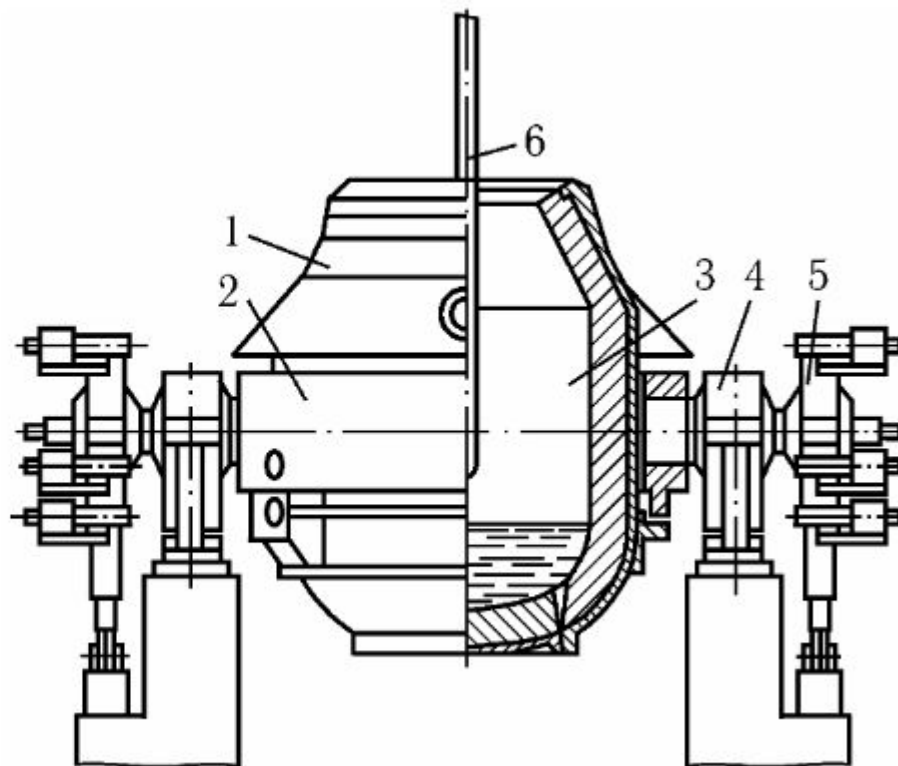


Рис. 2. Кислородный конвертер: 1 – корпус; 2 – опорное кольцо; 3 – рабочее пространство; 4 – опорный узел; 5 – механизм поворота; 6 – кислородная фурма

Кислородно- конвертерный процесс заключается в продувке жидкого чугуна кислородом для обеспечения реакций окисления.

Исходные материалы:
жидкий передельный
чугун ($\sim 1300^{\circ}\text{C}$),
стальной лом (скрап)
до 30%, железная
руда, флюс.

Струей кислорода под давлением 1,4 МПа продувают шихту в течение 20 минут.



**Емкость от 130 до 400т.
Продолжительность плавки 30-40 минут.**

Продуктивность конвертера ёмкостью 300т – это 400-500т/час.

Это основной способ получения углеродистых сталей (до 60%).

Фурма с O_2

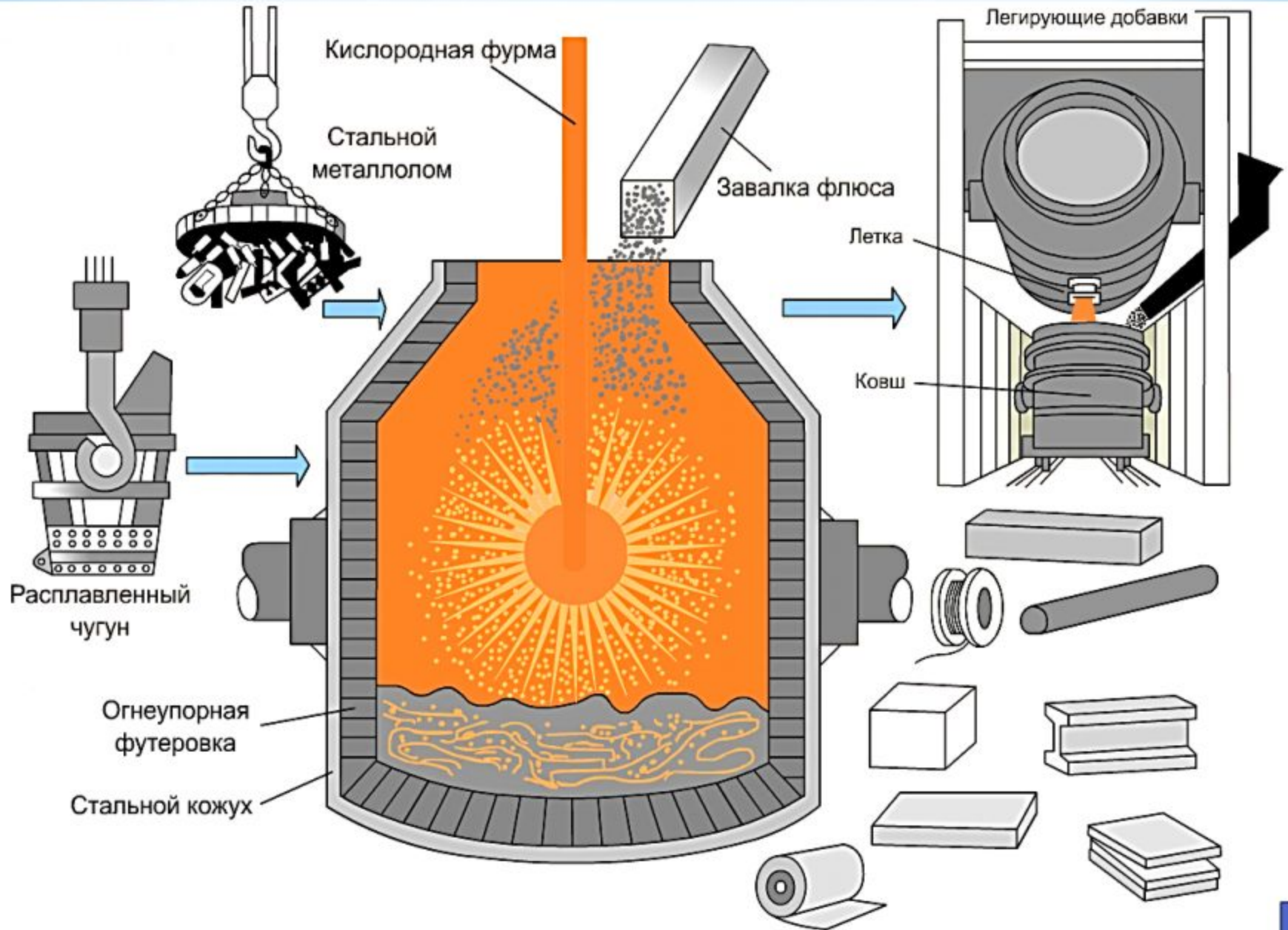


Шихта

Достоинства процесса: простое оборудование, большая производительность при небольших размерах, отсутствие внешнего подвода тепла, небольшие капитальные затраты.

Недостатки: невозможность получения высоколегированных сталей, загазованность металла, значительное содержание неметаллических включений. Использование ограниченного количества металлолома.

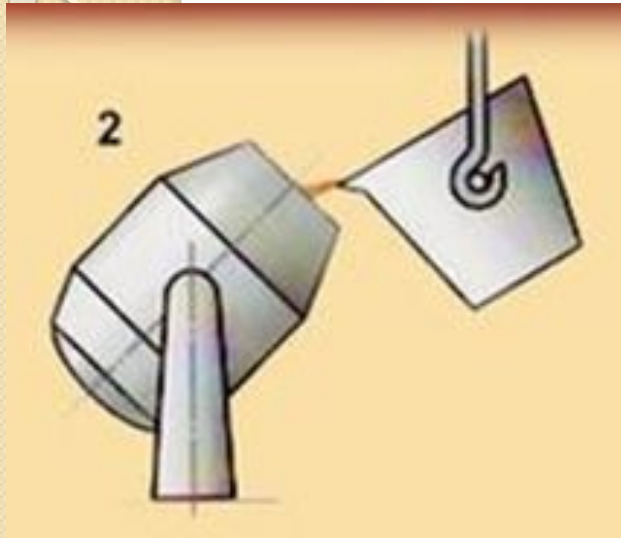
КИСЛОРОДНЫЙ КОНВЕРТЕР С ВЕРХНЕЙ ПРОДУВКОЙ



Плавка в кислородном конвертере включает следующие этапы:

1. **Загрузка лома.** Стальной лом загружают в наклоненный конвертер совками. Объем совков достигает 110 м³, его рассчитывают так, чтобы загрузка обеспечивалась одним-двумя совками, поскольку при большем числе возрастает длительность загрузки и плавки в целом. Загрузка длится 2-4 мин. Иногда с целью ускорения шлакообразования после загрузки лома или перед ней в конвертер вводят часть расходуемой на плавку извести.





2. Заливка чугуна. Жидкий чугун при температуре от 1300 до 1450 °С заливают в наклоненный конвертер одним ковшом в течение 2-3 мин.

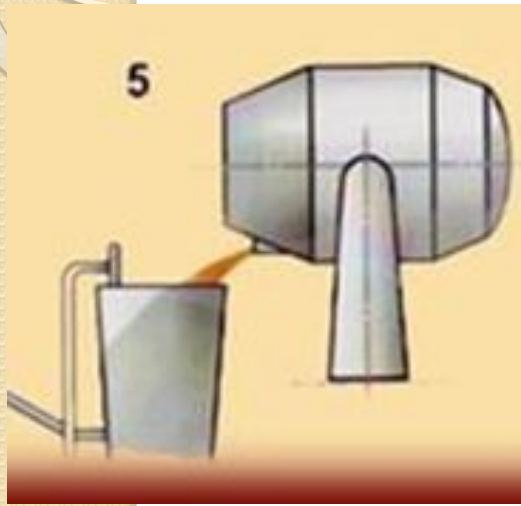
3. Продувка. После заливки чугуна конвертер поворачивают в вертикальное рабочее положение, вводят сверху фурму и включают подачу кислорода, начиная продувку. Фурму в начале продувки для ускорения шлакообразования устанавливают в повышенном положении (на расстоянии до 4,8 м от уровня ванны в спокойном состоянии), а через 2-4 мин ее опускают до оптимального уровня (1,0—2,5 м в зависимости от вместимости конвертера и особенностей технологии).





4. Загрузка шлака (извести). В течение первой трети длительности продувки в конвертер двумя-тремя порциями загружают известь; вместе с первой порцией извести, вводимой после начала продувки, дают плавиковый шпат и иногда другие флюсы (железную руду, окатыши, боксит и др.).

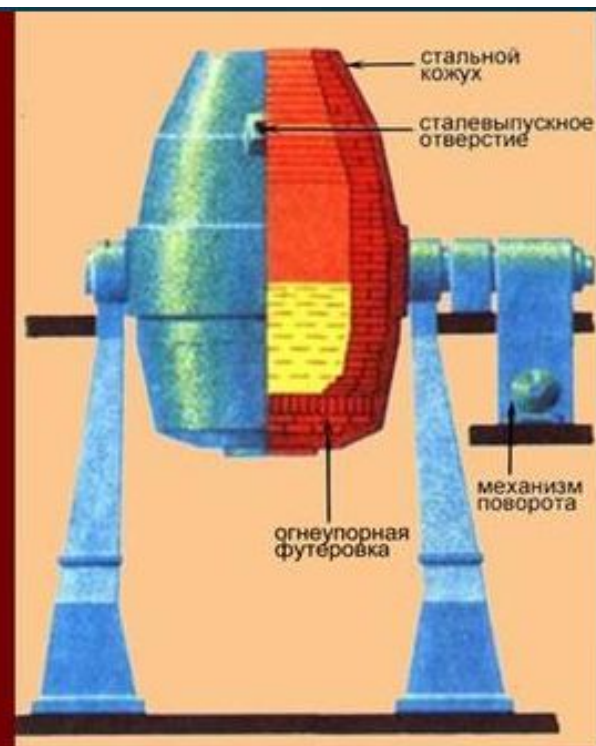
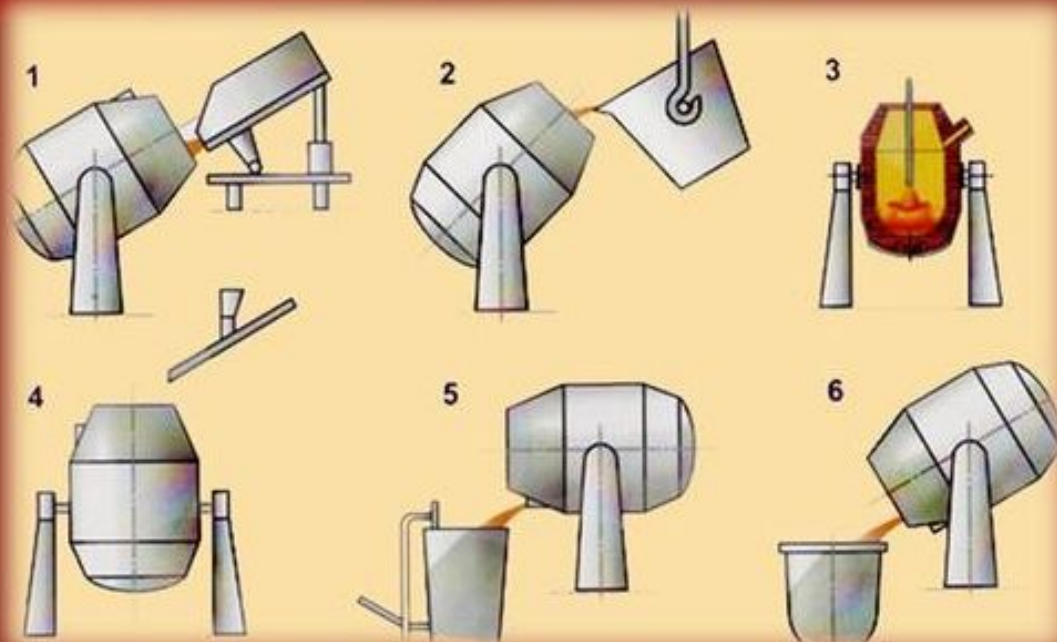
5. Выпуск. Металл выпускают в сталеразливочный ковш через летку без шлака; это достигается благодаря тому, что в наклоненном конвертере у летки располагается более тяжелый металл, препятствующий попаданию в нее находящегося сверху шлака. Такой выпуск исключает перемешивание металла со шлаком в ковше и переход из шлака в металл фосфора и FeO. Выпуск длится 3-7 мин. В процессе выпуска в ковш из бункеров вводят ферросплавы для раскисления и легирования.





6. Слив шлака в шлаковый ковш (чашу) ведут через горловину, наклоняя конвертер в противоположную от летки сторону (слив через летку недопустим, так как шлак будет растворять футеровку летки). Слив шлака длится 2-3 мин. Общая продолжительность плавки в 100—350-т конвертерах составляет 40-50 мин.

Выплавка стали в конверторах (1952-1953)



1 – загрузка стального скрапа; 2 – заливка расплавленного чугуна; 3 – продувка кислородом; 4 – загрузка извести и железной руды с начала продувки и по ходу плавки; 5 – выпуск металла; 6 – выпуск шлака.

4. Производство стали в электропечах

Плавильные электропечи имеют **преимущества** по сравнению с другими плавильными агрегатами:

- 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 конструкционных, высоколегированных, инструментальных, специальных сплавов и сталей.

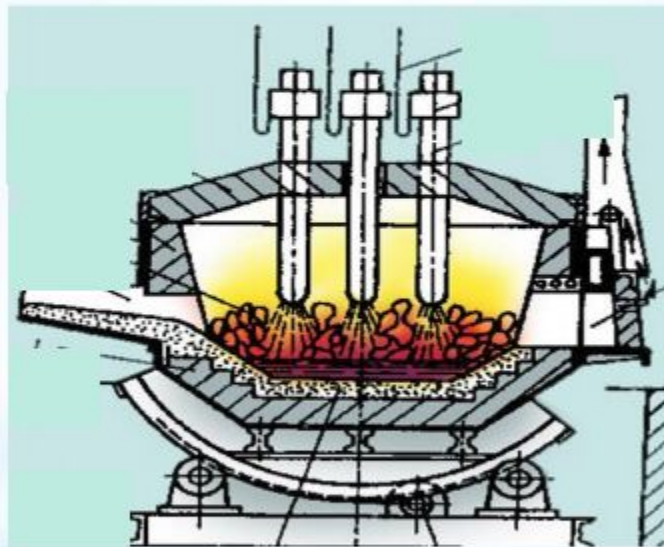
Различают дуговые и индукционные электропечи.

Дуговая плавильная печь

В электропечах можно быстро получить очень высокую температуру (до 2000°C) и создать любую атмосферу - окислительную, восстановительную, нейтральную, вакуум .

Можно выплавлять стали и сплавы любого химсостава, высокого качества со специальными свойствами

Электродуговая печь.



Источником теплоты является электродуга, горящая между электродами и шихтой

Сталь можно выплавлять двумя способами - с окислением и без окисления примесей

Ёмкость печей от 0,5 до 400 т.

Оптимальный вариант – 70-80% стали производить в кислородных конвертерах и 20-30% в электропечах.

1. Плавка с окислением примесей.

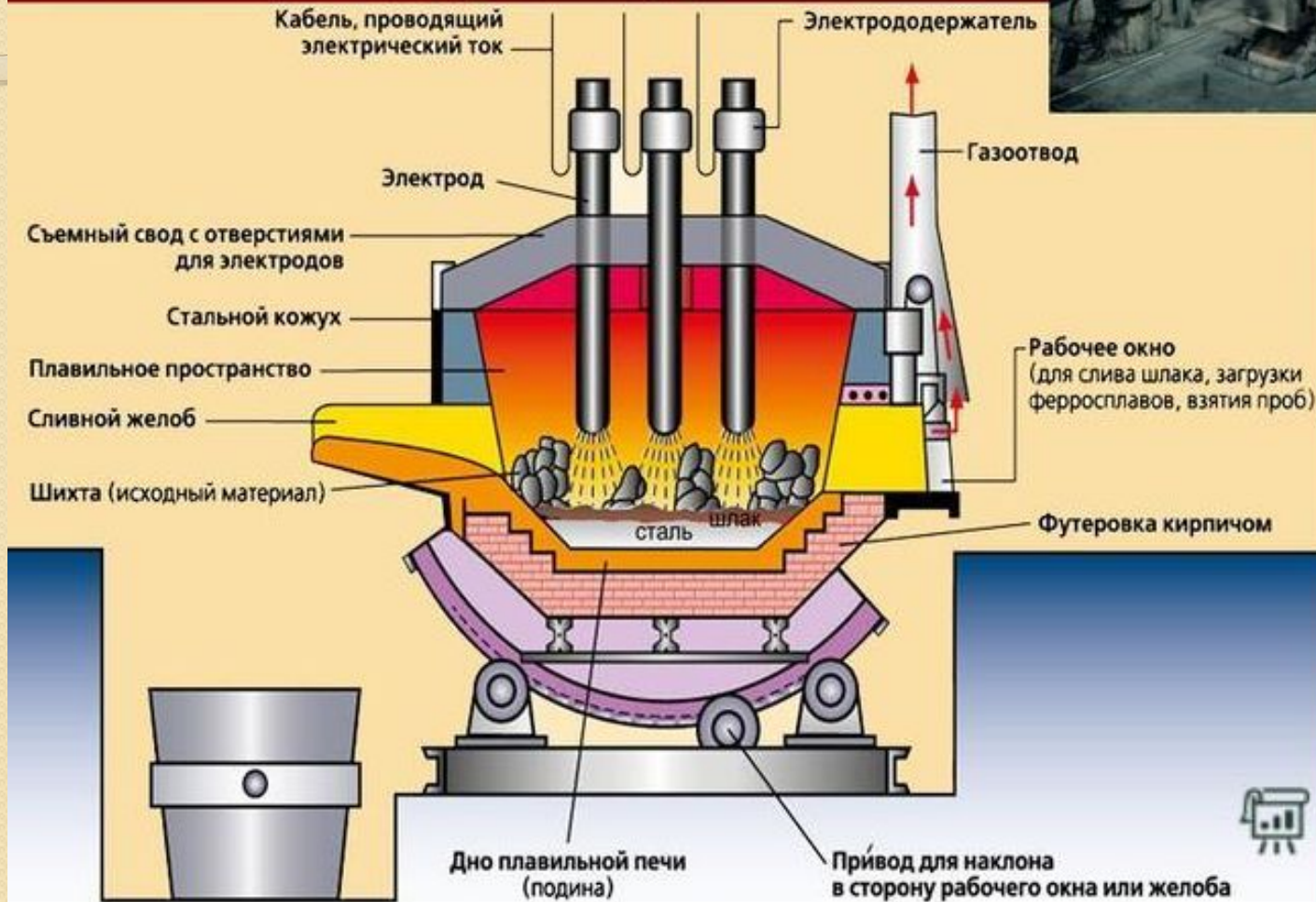
Шихта: стальной лом ~ 90%, передельный чугун, кокс и ~ 2% извести. Производят конструкционные легированные стали.

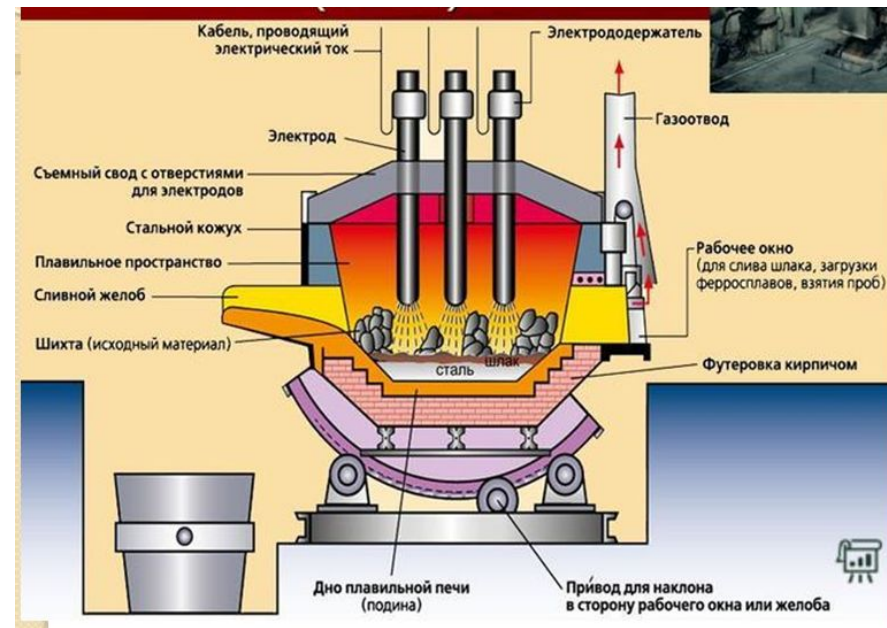
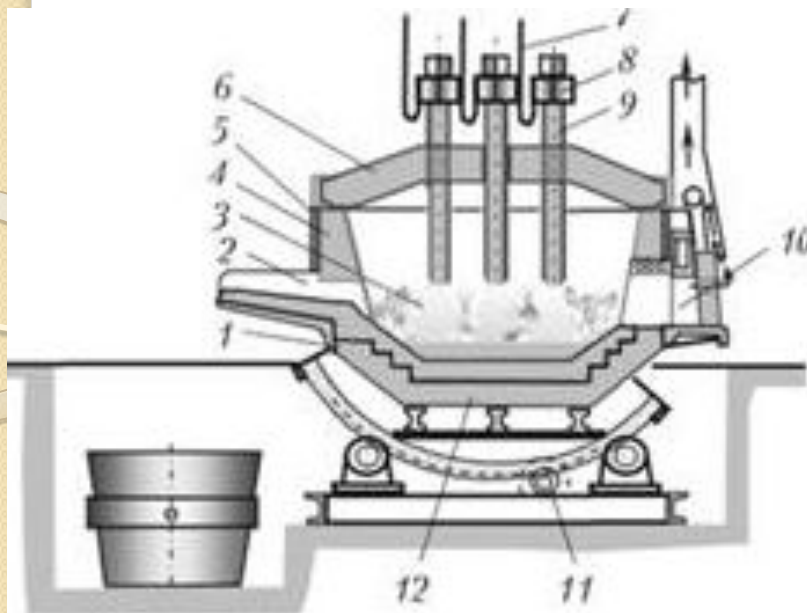
2. Плавка без окисления – это переплав шихты из стального лома и отходов легированной стали. Производят легированные специальные стали.

Выплавка стали в электродуговых печах (1899г.)



Плавка стали в электропечах характеризуется в основном взаимодействием между металлом и шлаком.





Электрический ток от трансформатора по кабелям 7 подводится к электрододержателям 8, а через них – к электродам 9 и ванне металла. Между электродом и металлической шихтой 3 возникает электрическая дуга, электроэнергия превращается в теплоту, которая передается металлу и шлаку излучением. Длина дуги регулируется автоматически, электроды по мере сгорания наращивают, свинчивая с новыми электродами. Стальной под печи футерован огнеупорным кирпичом 1 – основным или кислым. Плавильное пространство ограничено стенками 5, облицованными огнеупорным кирпичом 4, подиной 12 и сводом 6 из огнеупорного кирпича. Подину набивают огнеупорной массой, свод печи съемный. Ход плавки контролируют через окно 10. Готовую сталь выпускают через выпускное отверстие по желобу 2 в ковш. Печь имеет привод 11 для наклона в сторону рабочего окна или желоба.

Индукционная тигельная плавильная печь

Печь состоит из тигля, помещённого в водоохлаждаемый индуктор.

Под действием тока высокой частоты образуется магнитный поток, наводящий в металлической шихте вихревые токи, которые нагревают и расплавляют металл.

Как правило, **плавку проводят переплавом** отходов легированных сталей или чистого по содержанию вредных примесей металлолома и ферросплавов.

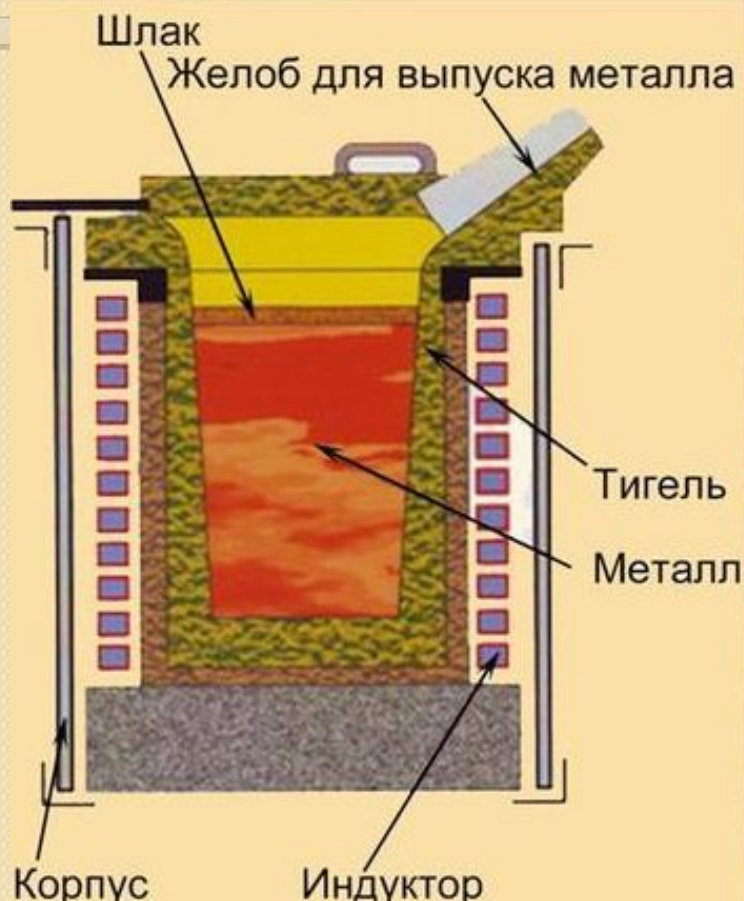


Печи небольшой ёмкости (5-8т). Плавку можно производить в защитной атмосфере и в вакууме. **Сталь получают очень чистую** – с очень малым количеством вредных примесей.

Преимущества индукционных печей: нет электродной дуги и можно выплавлять сталь с низким содержанием углерода, хорошо перемешивается металл, выравнивается химсостав, всплывают неметаллические включения

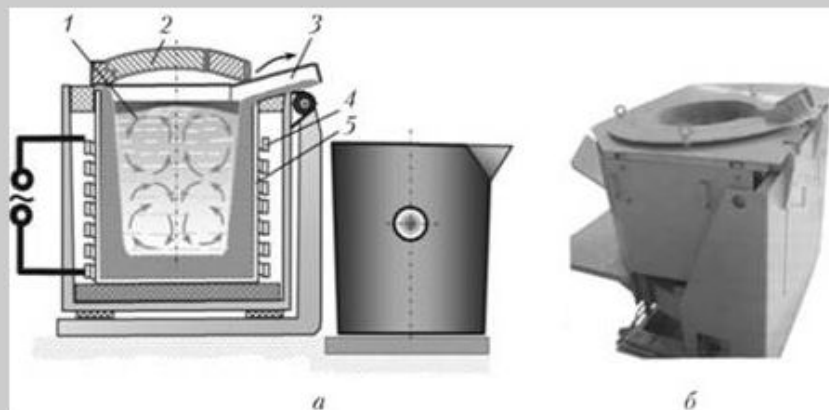
Перспективным является дуплекс – процесс, т. е. совмещение кислородно-конвертерного производства с электрометаллургическим, который постепенно вытесняет мартеновский способ получения стали.

Получение стали в индукционной печи (1900г.)



- Основным материалом для электроплавки является стальной лом.
- Вместимость от 60кг до 25т.
- Нагрев шихты в электромагнитном поле за счёт теплового действия вихревых электрических токов, возникающих в нагреваемом металле.
- Частота тока генератора 500-1000кГц
- Вместимость от десятков килограммов до 30 тонн
- Время плавки 1 - 3 часа

В индукционной печи металлическую шихту 1 расплавляют в тигле 5, расположенном внутри индуктора 4, который представляет собой спираль со многими витками из токопроводящего материала.



Индукционная тигельная плавильная печь:

а – схема; б – внешний вид; 1 – металлическая шихта – получаемый чистый металл; 2 – съемный свод; 3 – сливной носок; 4 – индуктор; 5 – тигель

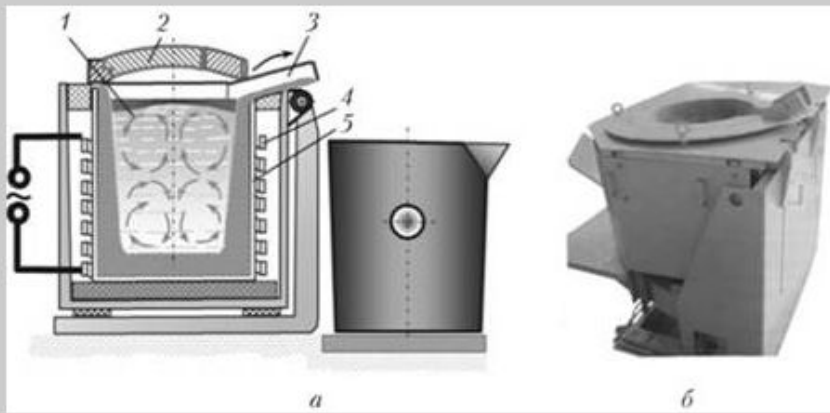



Рис. 4.7. Индукционная тигельная плавильная печь:

а - схема; б - внешний вид; 1 - металлическая шихта - получаемый чистый металл; 2 - съемный свод; 3 - сливной носок; 4 - индуктор; 5 - тигель

Через индуктор пропускают переменный ток. Создаваемый при этом внутри индуктора переменный магнитный поток наводит в металле вихревые токи, которые обеспечивают нагрев и плавление. Тигель 5 изготавливают из кислых (кварцит) или основных (магнезитовый порошок) огнеупоров. В индукционных печах с основной футеровкой выплавляют высококачественные легированные стали с высоким содержанием марганца, никеля, титана, алюминия, с кислой футеровкой – конструкционные легированные стали с другими элементами. Для уменьшения потерь теплоты печь имеет съемный свод 2.



Индукционные печи имеют преимущество перед дуговыми: в них отсутствует электрическая дуга, что позволяет выплавлять сталь с низким содержанием углерода, газов и малым угаром элементов. В них выплавляют сталь и сплавы из легированных отходов методом переплава или из чистого железа и скрапа с добавкой феррорасплавов методом сплавления. Емкость этих печей может колебаться в широких пределах: 0,01–25 т.

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 до 60%
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

5. Разливка стали

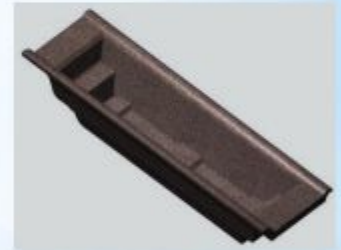
Из печи сталь выливают в ковши, из которых заполняют формы (изложницы) или кристаллизаторы установок непрерывной разливки стали.



Изложницы – это чугунные формы для получения больших слитков разнообразного сечения.



watch.htm



Затвердевание слитков в изложницах

Масса слитков от нескольких сотен килограммов до 400 тонн.

Используют **два способа разливки** стали в изложницы : **сверху и снизу (сифоном).**

СПОСОБЫ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

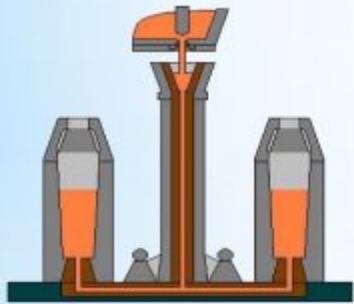


При разливке сверху сталь из ковша заливают в каждую изложницу отдельно.

Метод простой, не требует больших затрат. **Недостаток** - разбрызгивание металла и, как следствие, образование плёнки оксидов на стенках изложниц и ухудшение качества поверхности слитка.



Разливку сверху используют для углеродистых сталей.



При **сифонной разливке** сталь заливают одновременно в несколько изложниц (до 50) снизу через каналы в поддоне. Изложницы заполняются сталью плавно, без разбрызгивания металла. Поверхность слитка чистая, ровная.

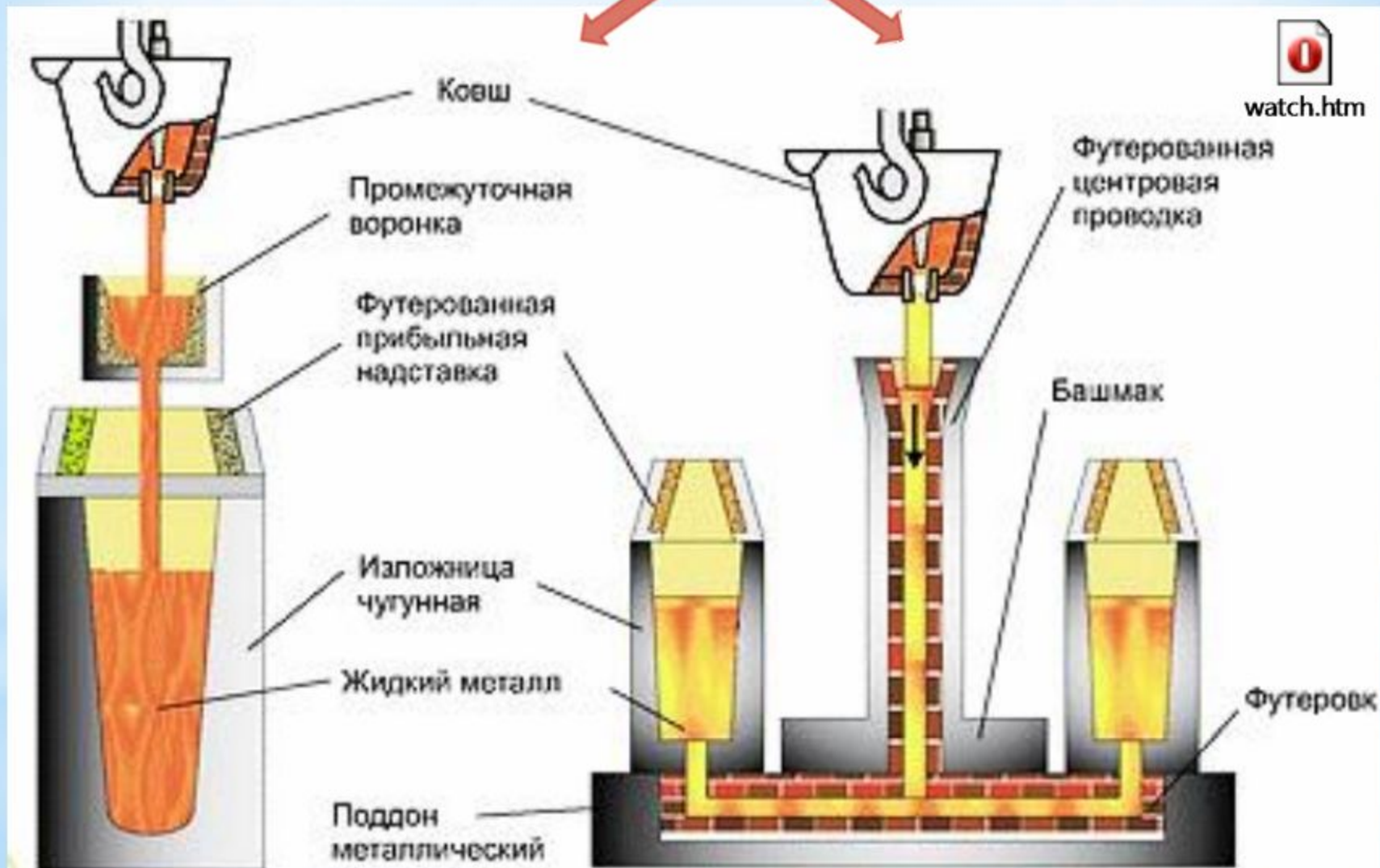
Сифонным способом (снизу) разливают легированные стали.

В верхней части слитка образуется **усадочная раковина** из-за уменьшения объёма металла при затвердевании.

Уменьшить объём раковины можно за счёт надставки с жидким металлом сверху изложницы.

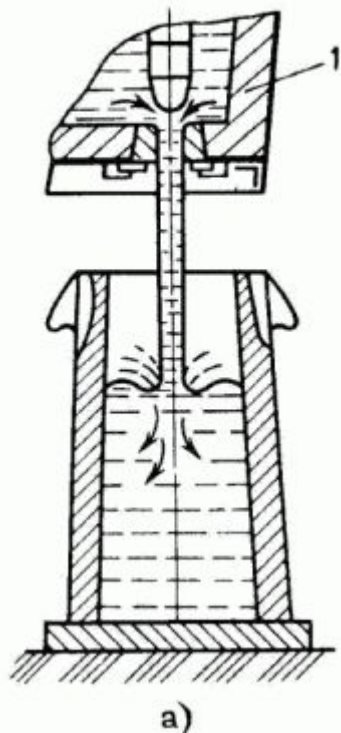


РАЗЛИВКА СТАЛИ СВЕРХУ И СНИЗУ (СИФОНОМ).



Преимуществами разливки сверху являются:

- простая подготовка оборудования к разливке и меньшая его стоимость;
- отсутствие расхода металла на литники;
- температура металла перед разливкой может быть ниже, чем при сифонной разливке.



Вместе с тем разливке сверху присущи следующие недостатки:

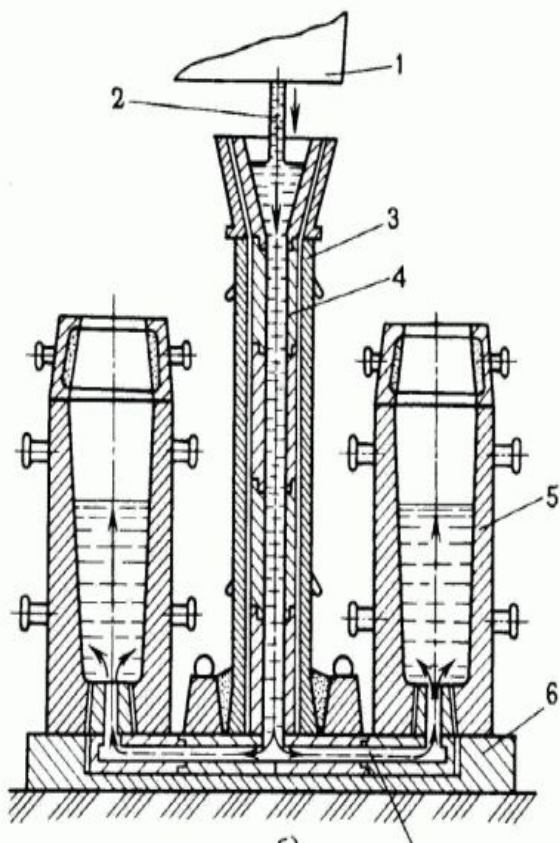
- образование плен на поверхности нижней части слитков, что является следствием разбрызгивания металла при ударе струи о дно изложницы. Застывшие на стенках изложницы и окисленные с поверхности брызги металла не растворяются в поднимающейся жидкой стали, образуя дефекты поверхности – плены, которые не свариваются с металлом при прокатке. В результате этого поверхность прокатных заготовок приходится подвергать зачистке.
- большая длительность разливки;
- из-за большой длительности разливки снижается стойкость футеровки ковша и ухудшаются условия работы шибера затвора.

Сифонная разливка стали имеет следующие преимущества в сравнении с разливкой сверху:

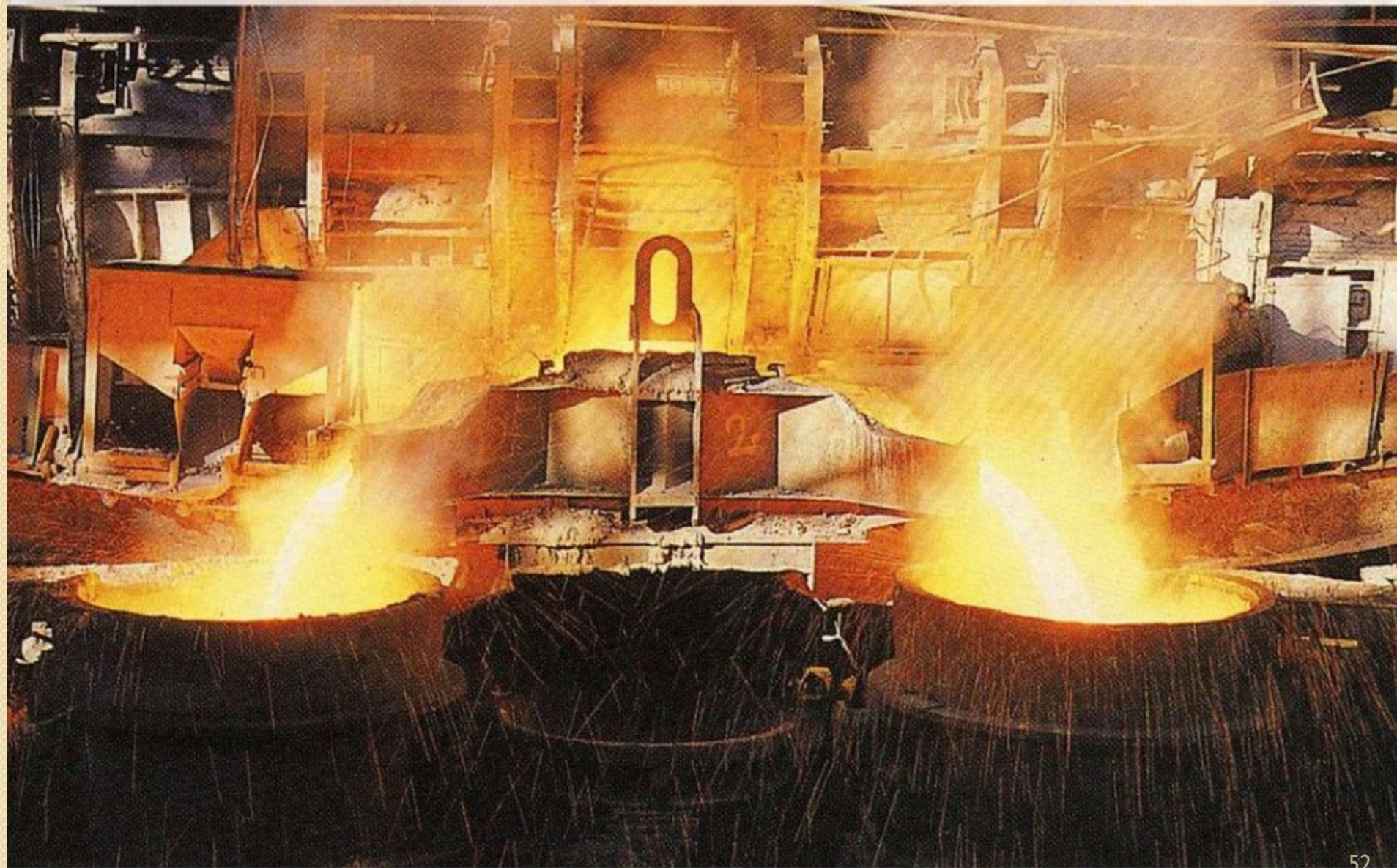
- одновременная отливка нескольких слитков сокращает длительность разливки плавки и позволяет разливать в слитки малого развеса плавки большой массы;
- вследствие сокращения общей длительности разливки скорость подъема металла в изложнице может быть значительно меньше, чем при разливке сверху;
- поверхность слитков получается чистой, так как металл в изложнице поднимается спокойно без разбрызгивания;
- повышается стойкость футеровки ковша и улучшаются условия работы шиберного затвора вследствие меньшей длительности разливки и уменьшения числа закрываний и открываний затвора;
- во время разливки можно следить за поведением поднимающегося в изложнице металла и в соответствии с этим регулировать скорость разливки.

Недостатками сифонной разливки в сравнении с разливкой сверху являются:

- сложность и повышенная стоимость разливки, обусловленные расходом сифонного кирпича, установкой дополнительного оборудования и значительными затратами труда на сборку поддонов и центровых;
- дополнительные потери металла в виде литников (0,7 – 2,5% от массы разливаемой стали) и возможность потери металла при прорывах через сифонные кирпичи;
- температура металла перед разливкой должна быть выше, чем при разливке сверху, так как он дополнительно охлаждается в каналах сифонного кирпича.



РАЗЛИВКА СТАЛИ



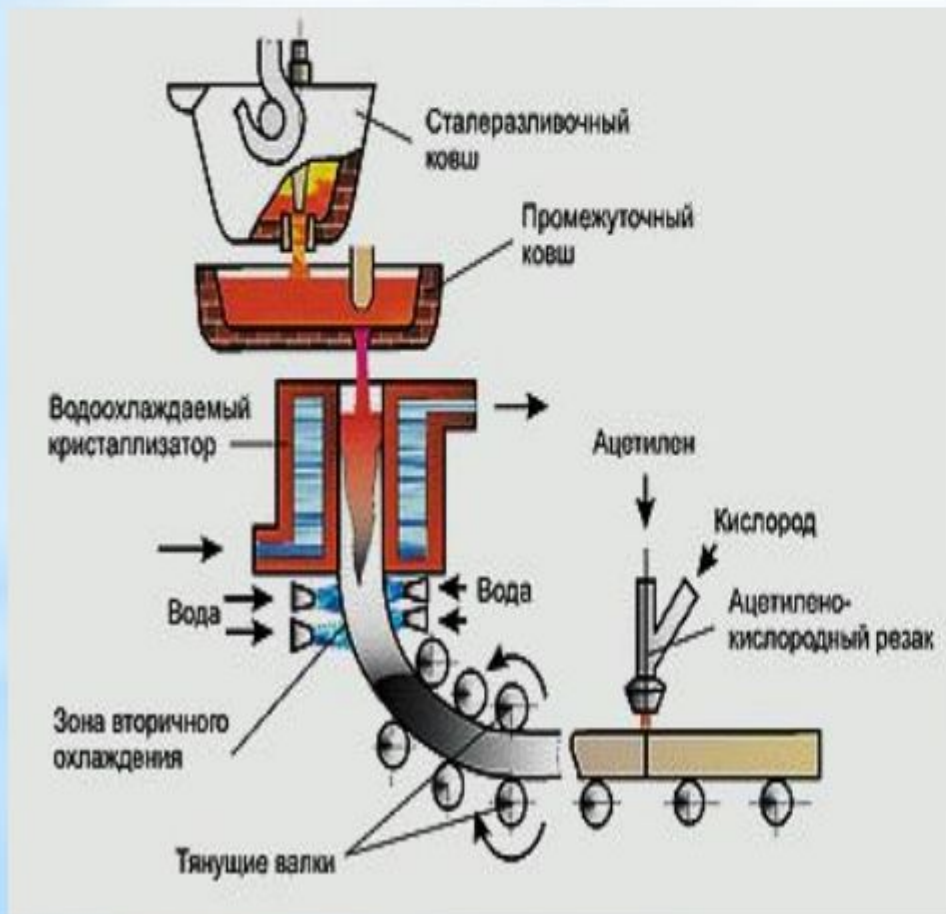


**Сифонная
разливка
стали**

НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА СТАЛИ

Производится на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Схема процесса литья.



Отсутствует усадочная раковина, что обеспечивает **выход металла в отливках ~ 96-98%** от массы жидкой стали. Слиток плотный, высокого качества.

6. Классификация и маркировка стали.

Свойства стали определяются ее *химическим составом*.

Содержащиеся в стали компоненты можно разделить на четыре группы:

- постоянные (обыкновенные),
- скрытые,
- случайные,
- специальные (легирующие).


К постоянным примесям относятся:
углерод, марганец, кремний, сера и
фосфор.

Углерод — неотъемлемая составляющая часть стали, оказывающая на ее свойства основное влияние. Его содержание в выпускаемых марках стали колеблется от 0,1 до 1,4 %. С увеличением содержания углерода в стали повышаются ее твердость и прочность, уменьшаются пластичность и вязкость.

Марганец относится к постоянным примесям, если его содержание составляет менее 1 %.

При содержании более 1 % он является легирующим элементом.


Марганец является раскислителем стали. Он повышает ее прочность, износостойкость и прокаливаемость, снижает коробление при закалке, улучшает режущие свойства стали. Однако ударная вязкость при этом снижается.



Кремний также является раскислителем стали и легирующим элементом, если его содержание превышает 0,8 %. Он увеличивает прочностные свойства стали, предел упругости, коррозионную и жаростойкость, однако снижает ее ударную вязкость.

Сера и фосфор являются вредными примесями. Так, сера делает сталь «красноломкой», а фосфор, повышая твердость стали, снижает ее ударную вязкость и вызывает «хладноломкость», т. е. хрупкость при температурах ниже -50°C .

Скрытые примеси представляют собой **кислород, азот и водород**, частично растворенные в стали и присутствующие в виде неметаллических включений (окислов, нитридов). Они являются **вредными примесями**, так как разрыхляют металл при горячей обработке, вызывают в нем надрывы (флокены).




Случайные примеси — это медь, цинк, свинец, хром, никель и другие металлы, попадающие в сталь с шихтовыми материалами.

В основном они ухудшают качество стали.

Специальные добавки (легирующие элементы) вводятся в сталь с целью придания ей тех или иных свойств.

К ним относятся марганец, кремний, хром, никель, молибден, вольфрам, ванадий, бор, ниобий, цирконий, селен, теллур, медь и др.



Наиболее распространенным легирующим элементом является **хром**. Он препятствует росту зерна при нагреве стали, улучшает механические и режущие свойства, повышает коррозионную стойкость, прокаливаемость, способствует лучшей работе на истирание. При содержании хрома свыше 10 % сталь становится нержавеющей, но одновременно теряет способность воспринимать закалку.

КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ

По химическому составу

Углеродистые
Легированные

По качеству

Обыкновенного качества
Качественные
Высокого качества
Особовысококачественные

По назначению

Конструкционные
Инструментальные
Специальные

По способу раскисления

Спокойные
Полуспокойные
Кипящие

Классификация по химическому составу

По химическому составу стали подразделяют на:

- **Углеродистые;**
- **Легированные.**

Углеродистая – сталь, у которой свойства зависят, в основном, от содержания углерода. Такие стали в свою очередь подразделяют на:

Низкоуглеродистые – $C < 0,25\%$

Среднеуглеродистые – $0,25\% < C < 0,6\%$

Высокоуглеродистые – $C > 0,6\%$

Легированная – сталь, в состав которой входят специально введенные элементы для придания ей требуемых свойств.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СТАЛЕЙ

УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

Низкое содержание углерода – до 0,25%.

Ст0, Ст1, Ст2 и т.д.

Среднее содержание углерода – от 0,3 до 0,6%.

Сталь 35, Сталь 40, Сталь 45 и т.д.

Высокое содержание углерода – более 0,7%.

У7, У8, У9...У13. У7А, У8А, У9А... У13А.

ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

Легирующие элементы: хром, никель, кремний, вольфрам, марганец, кремний, титан, кобальт, ванадий и др.

Низкое содержание легирующих элементов – до 2,5%

15ХА, 20Х, 15Г

Среднее содержание легирующих элементов – от 2,5 до 10%

Р6М3, Р9К5

Высокое содержание легирующих элементов – более 10%

15Х25Н19ВС2, ВК25

Классификация по качеству

По качеству — стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особокачественные. Под качеством стали понимают совокупность свойств, определяемых металлургическим процессом ее производства.



Применение углеродистых сталей обыкновенного качества



Двутавровые балки

Применение углеродистых сталей



Валы, оси, колеса

Классификация по назначению

Стали делят по назначению на:

- **Конструкционные;**
- **Инструментальные;**
- **Стали специального назначения.**

Конструкционные стали предназначены для изготовления деталей машин, приборов и элементов строительных конструкций.

Инструментальные стали используют для изготовления режущего, измерительного инструмента, штампов для холодного и горячего деформирования.

Стали специального назначения – нержавеющие (коррозионно-стойкие), жаростойкие, жаропрочные, износостойкие и др.

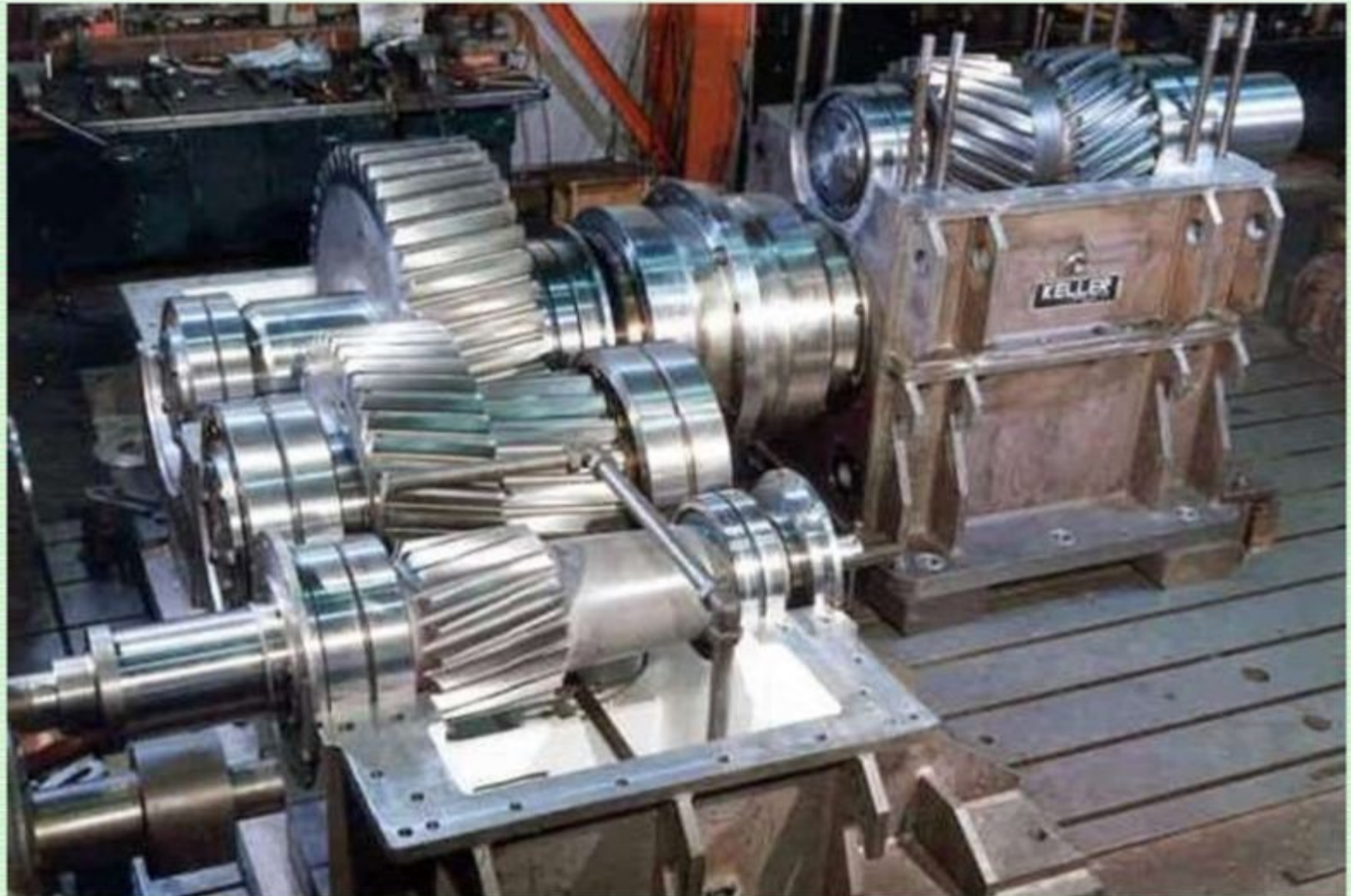


Применение инструментальной стали



Матрицы, пуансоны, ножи, ножницы по металлу

Применение инструментальной легированной стали



Резцы, сверла, фрезы, плашки, метчики

Применение конструкционной легированной стали



Распредвалы двигателей, диски, кулачки, зубчатые колеса.

Применение коррозионно-стойкой стали



Детали работающие в агрессивной среде

Классификация по способу раскисления

Стали по способу раскисления классифицируют на:

- **Спокойные;**
- **Полуспокойные;**
- **Кипящие.**

При маркировке таких сталей в конце марки спокойной стали пишутся буквы «сп», кипящей - «кп», полуспокойной - «пс».

Раскисление – процесс удаления кислорода из жидкой стали.

Нераскисленная сталь обладает недостаточной пластичностью и подвержена разрушению при горячей обработке давлением.

Маркировка сталей

Принята буквенно-цифровая система обозначения, в которой буквами маркируют названия элементов, содержащихся в стали, а цифрами – их количество.

Буквами также обозначают способ раскисления. (*«кп» обозначают кипящие стали, «пс» – полуспокойные, а «сп» – спокойные стали*).

Общая структура маркировки легированной стали

Обозначение особой группы	Среднее содержание углерода в сотых долях %	Буквенное обозначение легирующего элемента	Среднее содержание данного легирующего элемента в целых %	Группа стали по качеству
1	2	3	4	5
	55	С	2	А
	65	Г		
Ш		Х	15	
Ш		Х	15	Ш

Стали обыкновенного качества имеют индекс Ст, после которого указывается условный номер марки от 0 до 6. Затем указывают степень раскисления. Впереди ставят номер группы: А – сталь с гарантированными механическими характеристиками, Б – химическим составом, В – обоими свойствами. Как правило, индекс группы А не ставится. Примеры обозначений:.

Ст0, Ст1 – Ст6, Ст4пс

БСт0, БСт1 – БСт6, БСт3кп

ВСт0, ВСт1 – ВСт6

Углеродистые стали

Содержание углерода и предел прочности

Марка стали	Содержание углерода %	Предел прочности
Ст0	<0,23	310
Ст1	0,06-0,12	310-400
Ст2	0,09-0,15	330-420
Ст3	0,14-0,22	370-470
Ст4	0,18-0,27	410-520
Ст5	0,28-0,37	500-640
Ст6	0,38-0,49	600

Для обозначения конструкционных качественных углеродистых сталей впереди указывается двухзначное число, обозначающее содержание С сотыми долями процента. В конце – степень раскисления.

Например, *сталь 08кп* – сталь с содержанием $C=0,08\%$, кипящая.

Сталь 45 – сталь с содержанием $C=0,45\%$

Качественные инструментальные углеродистые стали впереди имеют букву У, а далее – концентрация углерода двухзначным числом в десятых долях процента – например, сталь У8 (содержание углерода в стали 0,8%).

В марках легированных сталей буквами обозначают легирующие элементы:

Элемент	Химический элемент	Условное обозначение
Марганец	Mn	Г
Кремний	Si	С
Хром	Cr	Х
Никель	Ni	Н
Молибден	Mo	М
Вольфрам	W	В
Селен	Se	Е
Алюминий	Al	Ю
Ниобий	Nb	Б
Ванадий	V	Ф
Кобальт	Co	К
Медь	Cu	Д
Бор	B	Р
Азот	N	А
Цирконий	Zr	Ц
Титан	Ti	Т

Таблица 2. Условные обозначения легирующих элементов в металлах и сплавах

Элемент	Символ	Обозначение элементов в марках металлов и сплавов		Элемент	Символ	Обозначение элементов в марках металлов и сплавов	
		черные	цветные			черные	цветные
Азот	N	А	-	Неодим	Nd	-	Нм
Алюминий	Al	Ю	А	Никель	Ni	-	Н
Барий	Ba	-	Бр	Ниобий	Nb	Б	Нп
Бериллий	Be	Л		Олово	Sn	-	О
Бор	B	р	-	Осмий	Os	-	Ос
Ванадий	V	ф	Вам	Палладий	Pd	-	Пд
висмут	Bi	Ви	Ви	Платина	Pt	-	Пл
Вольфрам	W	В	-	Празеодим	Pr	-	Пр
Гадолиний	Gd	-	Гн	Рений	Re	-	Ре
Галлий	Ga	Ги	Ги	Родий	Rh	-	Rg
Гафний	Hf	-	Гф	Ртуть	Hg	-	Р
Германий	Ge	-	Г	Рутений	Ru	-	Pv
Гольмий	Ho	-	ГОМ	Самарий	Sm	-	Сам
Диспрозий	Dv	-	ДИМ	Свинец	Pb	-	С
Европий	Eu	-	Ев	Селен	Se	К	СТ
Железо	Fe	-	Ж	Серебро	Ag	-	Ср
Золото	Au	-	Зл	Скандий	Sc	-	С км
Индий	In	-	Ин	Сурьма	Sb	-	Сv
Иридий	Ir	-	И	Таллий	Tl	-	Тл
Иттербий	Yb	-	ИТН	Тантал	Ta	-	ТТ
Иттрий	Y	-	ИМ	Теллур	Te	-	Т
Кадмий	Cd	Кд	Кд	Тербий	Tb	-	Том
Кобальт	Co	К	К	Титан	Ti	Т	ТПД
Кремний	Si	С	Кр(К)	Т'лий	Tm	-	ТУМ
Лантан	La	-	Ла	Углерод	C	У	-
Литий	Li	-	Лэ	Фосфор	P	п	Ф
Лютеций	Lu	-	Люн	Хром	Cr	х	Х(Хр)
Магний	Mg	Ш	Мг	Церий	Ce	-	Се
Марганец	Mn	Г	Мц(Мр)	Цинк	Zn	-	Ц
Медь	Cu	Д	М	Цирконий	Zr	Ц	ЦЭВ
Молибден	Mo	М	-	Эрбий	Er	-	Эрм

В конструкционных легированных сталях впереди указывается содержание С в сотых долях процента.

В инструментальных легированных сталях углерод маркируется десятными долями процента, если содержание этого компонента превышает 1% – его концентрация не указывается.

Быстрорежущие инструментальные стали обозначены буквой Р и указанием содержания вольфрама в процентах, например, Р18.

Буквы пишутся после цифры, указывающей содержание углерода. Если после буквы нет цифры, то содержание легирующего элемента в стали 1-1,5%. Исключение сделано для молибдена и ванадия, содержание которых в большинстве сталей 0,2-0,3%.

Если легирующего элемента в стали больше 1%, то цифра после буквы указывает его содержание в процентах. Например, марка 15Х обозначает сталь, имеющую в среднем 0,15%С и 1-1,5%Cr, сталь 35Г2 - 0,35%С и 2% Mn.

Высококачественные стали в конце марки имеют букву А.

Если буква «А» стоит в середине марки, то она указывает на содержание Азота (добавляют в сталь для упрочнения).

10X14AГ15 – конструкционная

10 – углерода 0,1%, X14 – хрома 14%, А – наличие азота, Г15 – марганца 15%.

Если буква «А» стоит в начале марки, то эта сталь – автоматная, то есть с повышенным содержанием серы и фосфора до 0,08% (облегчает обрабатываемость). Применяется на станках-автоматах. Может быть углеродистой и легированной:

A14 – углеродистая А – автоматная, С=0,14%

Если в конце марки стоит буква «Л», то сталь с улучшенными литейными свойствами:

30ХГНЛ

Если в конце марки легированной стали стоит буква «Ш», то эта сталь особо высококачественная, то есть с пониженным содержанием серы и фосфора и очищенная от всех металлических и неметаллических включений:

30ХГСШ

Классификация сталей по химическому составу

- **Углеродистая**, если в марке нет букв легирующих элементов: **Ст5**, **45**, **У8А**.
- **Легирующая**, если в марке есть буквы легирующих элементов: **40Х**, **ХВСГ**.

Классификация сталей по качеству

- **Обыкновенного качества**, если в начале марки есть буквы Ст: **Ст6**.
- **Качественная**, если в начале марки нет букв Ст, а в конце нет буквы А: **45**, **У7**.
- **Высококачественная**, если в конце марки есть буква А: **У8А**, **30ХМА**.
- **Особовысококачественная**, если в конце марки есть буква Ш: **30ХГС – Ш**.

Классификация сталей по назначению

- **Конструкционная**, если марка начинается с двух цифр или с букв Ст: **Ст4, 30, 40Х**.
- **Инструментальная**, если марка начинается с одной цифры или в начале марки цифр нет: **6ХВГ, ХВГ, У13А**.
- **С особыми физическими свойствами** (магнитная **ЕХ5К5**, электротехническая **2011**).
- **С особыми химическими свойствами** (нержавеющие **20Х13**, жаропрочные **15ХМ**, жаростойкие **Х8СМ**).

Расшифровка марок сталей

- **45** – сталь **углеродистая** (нет букв легирующих элементов), **конструкционная** (марка начинается с двух цифр), **качественная** (нет букв Ст в начале, а в конце нет буквы А). В стали примерно **0,45%** углерода (две цифры в начале марки).
- **У8А** – сталь **углеродистая** (нет букв легирующих элементов), **инструментальная** (в начале марки нет цифр), **высококачественная** (в конце марки буква А). В стали примерно **0,8%** углерода (одна цифра в начале марки).
- **30ХГС** – сталь **легированная** (есть буквы легирующих элементов), **конструкционная** (марка начинается с двух цифр), **качественная** (в начале нет букв Ст, а в конце нет буквы А). В стали примерно **0,3%** углерода (две цифры в начале марки), до **1%** хрома (Х), марганца (Г), кремния (С), на что указывает отсутствие цифр после букв легирующих элементов.
- **Ст5** – сталь **углеродистая** (нет букв легирующих элементов), **конструкционная** (марка начинается с букв Ст), **обыкновенного качества** (в начале есть буквы Ст). Химический состав по марке не определяется (буквы Ст в начале марки).

Маркировка легированных сталей

Азот – А

Хром – Х

Никель - Н

Медь – Д

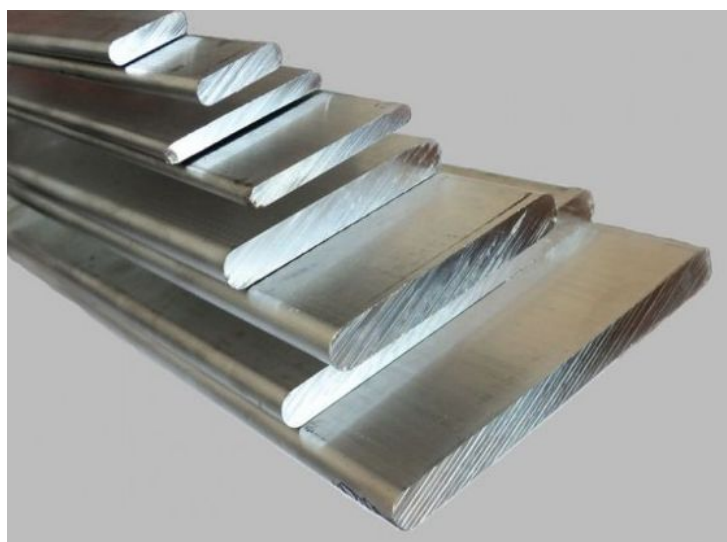
Титан - Т

Молибден - М

Алюминий – Ю

В конце марки: А – высококачественная

Ш – особо высококачественная



содержание углерода
в сотых долях процента:
0,33–0,40% C

содержание никеля больше одного процента –
указывается в целых процентах:
3,0–3,5% Ni

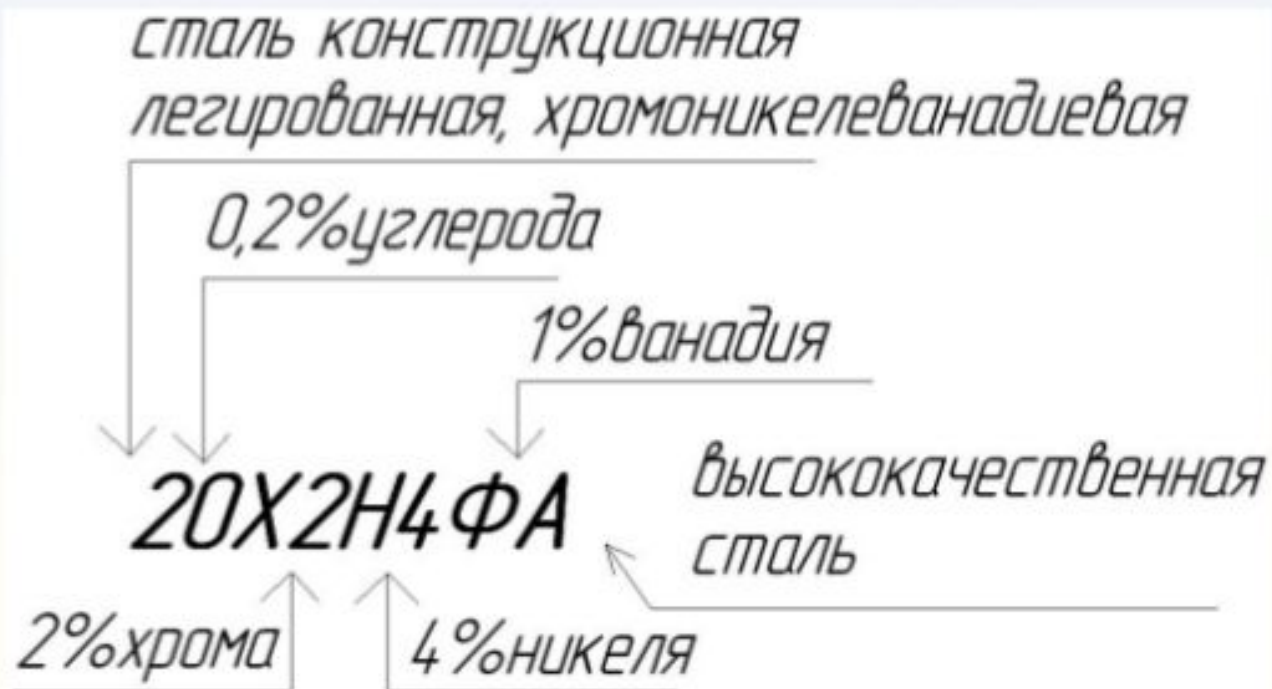
сталь 38XH3MФ

содержание хрома
около одного процента
или меньше –
цифра не ставится:
1,2–1,5% Cr

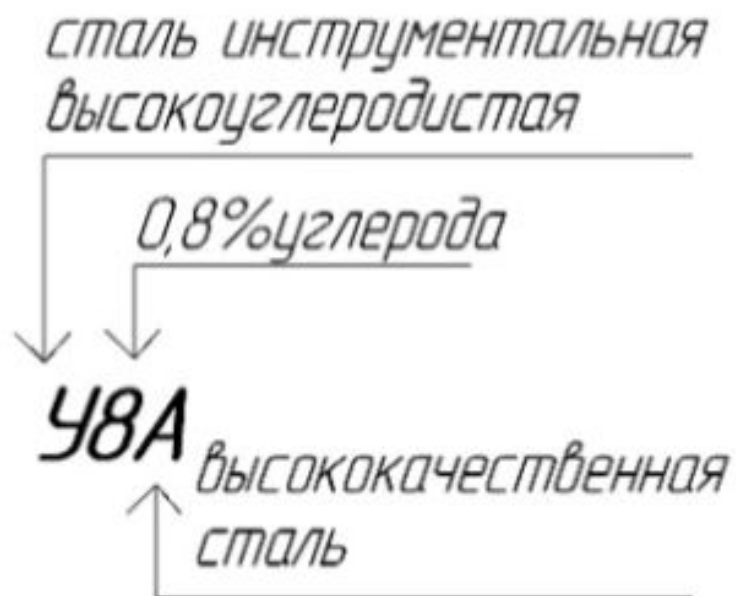
содержание молибдена
меньше одного процента –
цифра не ставится:
0,35–0,45% Mo

содержание ванадия
меньше одного процента –
цифра не ставится:
0,1–0,18% V

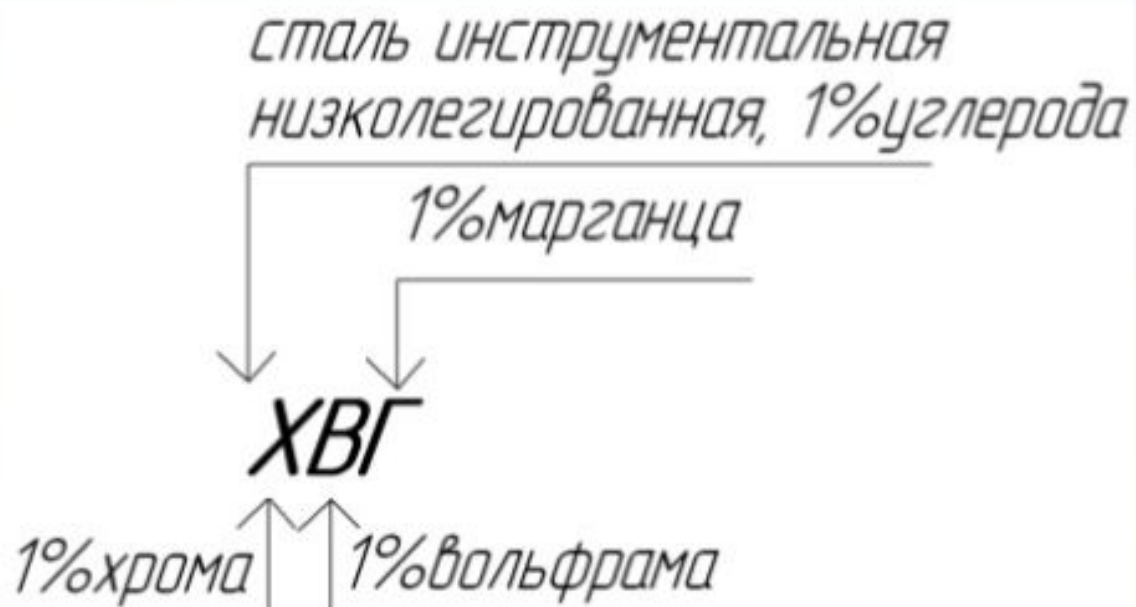
Маркировка конструкционных легированных сталей



Маркировка инструментальных сталей



Маркировка низколегированных инструментальных сталей



Маркировка быстрорежущих сталей

*сталь быстрорежущая
инструментальная*

6%вольфрама

P6M5K5

5%молибдена

5%кобальта