

## Тема: СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

1. Основы металлургического производства
2. Сырьё и вспомогательные материалы
3. Производство чугуна
4. Производство стали

### 1. ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Отрасль промышленности, занимающаяся производством металлов и сплавов из руд и другого сырья, и наука о способах получения и очистки металлов называются металлургией.

Схематически производство металлов из руд можно разбить на два этапа:

- 1) отделение минерала, содержащего металл, от пустой породы;
- 2) разложение рудных минералов с целью извлечения металла. Второй этап предполагает обязательное химическое воздействие на минералы.

Различают несколько основных способов такого воздействия.

**1) Пирометаллургический способ** основан на том, что тепло, необходимое для протекания химических реакций, обеспечивается сжиганием топлива. Наиболее широко применяется в производстве чугуна и стали.

**2) Гидрометаллургический способ** основан на получении металлов из водных растворов. Различают выщелачивание и осаждение.

**Выщелачивание** – избирательное растворение металлсодержащего компонента обрабатываемого материала. Этот способ применяют при производстве меди и цинка.

**Осаждение** из растворов основано на переводе металлов в воднонерастворимые соединения.

**3) Электрометаллургический способ** состоит в получении металлов и сплавов в электропечах и электролизе металлов из растворов и расплавов солей.

**4) Химико-металлургический способ** представляет собой соединение химических и металлургических процессов.

**5) Порошковая металлургия** – метод, состоящий из последовательно совершаемых операций: получение порошков, их прессование и спекание. Этим способом получают твёрдые сплавы, материалы высокой твёрдости, САП, САС и др.

### 2. СЫРЬЁ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для производства металлов используют руду, флюсы, топливо и огнеупорные материалы.

**Промышленной рудой** называют горную породу, из которой при данном уровне развития техники целесообразно извлекать металлы или их соединения.

Например, в настоящее время целесообразно извлекать металлы из руд, если содержание их в руде составляет:

Fe - не менее 30%; Cu – 0,4%; Mo – 0,005%.

Руда состоит из минералов, содержащих металл или его соединение, и пустой породы, т.е. различных примесей, в основном, кремнезёма  $\text{SiO}_2$ , глинозёма  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Руды называют по одному или нескольким металлам, которые входят в их состав. Например, железные, медные, медно-никелевые и т.д.

В зависимости от содержания добываемого металла руды бывают богатыми и бедными. Бедные руды обогащают, т.е. удаляют из руды часть пустой породы. В результате получают концентрат с повышенным содержанием добываемого металла.

**Флюсы** – это материалы, загружаемые в плавильную печь для образования с пустой породой и золой топлива легкоплавких соединений, называемых шлаком.

Обычно шлак имеет меньшую плотность, чем металл, поэтому он располагается в печи над металлом и может быть удалён в процессе плавки. Шлак защищает металл от печных газов и воздуха. Шлак называют кислым, если в его составе преобладают кислотные оксиды ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), и основным, если в его составе больше основных оксидов ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  и др.).

**Топливом** являются кокс, природный газ, мазут, доменный (колошниковый) газ.

Качество топлива характеризуется его теплотворностью – количеством теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы массы топлива. Кроме того, качество топлива зависит от его зольности, содержания вредных примесей и др.

**Кокс** – пористый продукт спекания коксующихся углей, получаемый при удалении из них летучих веществ.

**Мазут** – тяжёлая жидкость, получаемая после перегонки из нефти бензина, керосина и других жидких фракций.

**Природный газ** – высококалорийное дешёвое топливо, почти не содержит серы и сажистых частиц углерода.

**Доменный газ** – побочный продукт доменного производства, применяют в смеси с другими газами.

**Огнеупорные материалы** применяют для изготовления внутреннего облицовочного слоя (футеровки) металлургических печей и ковшей для расплавленного металла. Они должны сохранять прочность при нагреве, быть химически стойкими при воздействии расплавленного металла, шлака, раскалённых печных газов.

**Огнеупорность** материала определяется температурой его размягчения.

По химическим свойствам огнеупорные материалы делятся на кислые, основные и нейтральные.

К кислым огнеупорным материалам относятся:

динасовый кирпич, кварцевый порошок и песок – материалы, содержащие 92...97%  $\text{SiO}_2$ . Динас огнеупорен до 1700 °С.

К основным огнеупорным материалам относятся: магнезит, доломит, хромомагнезит.

**Магнезит** содержит 80-85% MgO, огнеупорность до 2000 °С.

**Доломит** содержит до 40% MgO и до 58% CaO, огнеупорность 1800-1950 °С.

**Хромомагнезит** содержит 65-70% MgO и 20% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, огнеупорность не ниже 2000 °С.

Нейтральные огнеупорные материалы – шамот, хромистые огнеупоры, углеродистые огнеупоры.

**Шамот** – самый дешёвый получают из огнеупорных глин. Он содержит 30-40% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 50-60% SiO<sub>2</sub>, 1,5-3,0% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, огнеупорность до 1750 °С.

**Хромистые огнеупоры** содержат не менее 25% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, огнеупорность 1800-2000 °С.

**Углеродистые кирпичи и блоки** содержат до 92% С в виде графита, огнеупорность более 2000 °С

### 3. ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА

#### 3.1. Исходные материалы и их подготовка к плавке

Сырьём для выплавки чугуна служат железные руды (основное сырьё), флюсы, топливо.

Виды железных руд:

**Магнитный железняк** – содержит 50-60% Fe в виде магнитного оксида Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (магнетит).

**Красный железняк** – содержит 50-70% Fe в виде безводного оксида Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (гематит).

**Бурый железняк** – содержит 25-50% Fe в виде гидроксидов 2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3H<sub>2</sub>O (лимонит) и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O (гётит).

**Шпатовый железняк** – бедная руда, содержит 30-40% Fe в виде карбоната FeCO<sub>3</sub> (сидерит).

В доменном производстве используются также марганцевые руды как добавка для введения в чугун марганца и как исходный материал для получения ферромарганца. Эти руды содержат 20-55% Mn в виде различных оксидов и карбонатов (MnO<sub>2</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MnCO<sub>3</sub>).

В качестве флюсов в доменном процессе производства чугуна применяют известняк ( $\text{CaCO}_3$ ) или доломитизированный известняк ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ ).

Основным видом топлива является кокс, позволяющий получать необходимую температуру и создавать условия для восстановления железа из руды; в целях экономии, часть кокса заменяют природным газом, мазутом.

Подготовка руд к плавке осуществляется для повышения производительности доменной печи, снижения расхода кокса и улучшения качества чугуна. Цель этой подготовки состоит в увеличении содержания железа в шихте и уменьшении в ней вредных примесей (серы и фосфора); в повышении её однородности по кусковатости и химическому составу.

**Дробление и сортировка руд** по крупности служит для получения кусков оптимальной для плавки величины.

**Обогащение руды** основано на различии физических свойств минералов, входящих в её состав. Методы обогащения:

а) гравитация, основанная на отделении руды от пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита, на котором лежит руда: пустая порода вытесняется в верхний слой и уносится водой, а рудные минералы опускаются;

б) магнитная сепарация, основанная на различии магнитных свойств железосодержащих минералов и частиц пустой породы (разделяют магнитом).

Рудная мелочь и тонкоизмельчённые концентраты препятствуют движению газов, чем затрудняют плавку. Для устранения этого проводят окускование мелкой породы. Существуют два способа:

1. **Агломерация.** Концентрат руды, рудная мелочь и пыль спекают в пористые куски при 1300-1500 °С. В процессе спекания удаляются сера (на 85-95%) и мышьяк.

2. **Окатывание.** Смесь тонкоизмельчённых концентратов, флюса, топлива увлажняется и обрабатывается во вращающихся барабанах и тарельчатых грануляторах. Получаются шарики-окатыши диаметром 20-30 мм. Окатыши сушат при 200-400 °С и обжигают при 1200-1400 °С для придания им прочности.

### 3.2. Основы доменного процесса

Чугун получают в домнах.

**Домна** – это вертикальная печь шахтного типа (рис. 1). Высота – 35 м.

Рабочее пространство печи состоит из колошника, шахты, горна, заплечиков. Дно печи называется лещадью. В нижней части заплечиков равномерно по окружности размещаются фурмы от 16 до 32, через которые под давлением подаётся в печь подогретый в воздухонагревателях (кауперах) до 1100-1300 °С воздух. В горне имеются лётки для выпуска шлака и чугуна.

Стенки доменной печи футеруются шамотом; горн и лещадь – углеродистыми блоками. Снаружи печь имеет сварной стальной кожух.

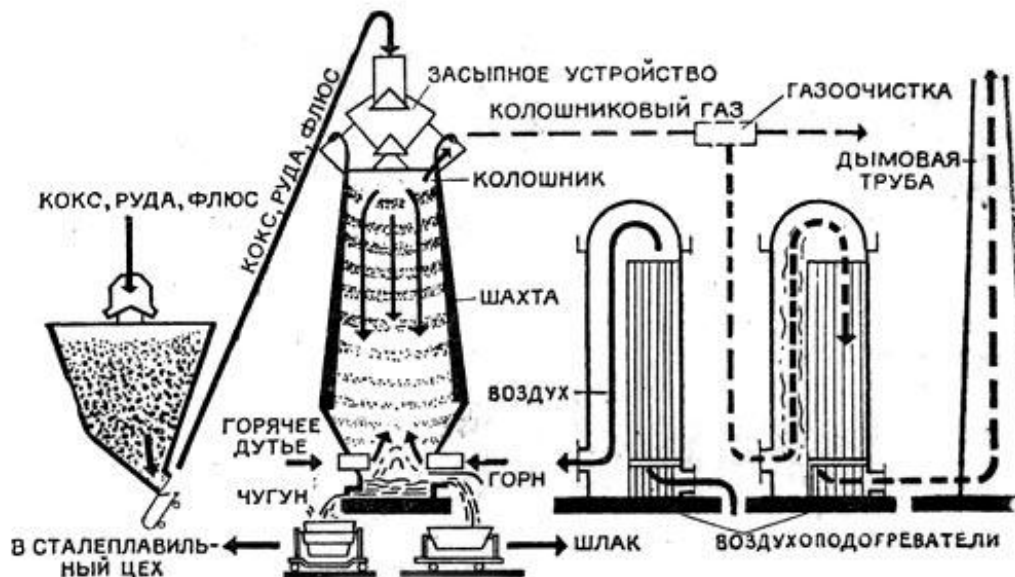


Рис. 1. Схема доменного процесса

Через колошник в печь загружают материалы и отводят газы. Из него материалы поступают в шахту, а оттуда в горн — самую важную часть печи. Сюда под большим давлением через специальные отверстия — фурмы — поступает горячий воздух. Здесь сгорает кокс и развивается очень высокая температура — до 1900 °С. В такой температуре порода, содержащая руду, плавится, становится жидкой. В нижней части горна сделаны отверстия — летки, в самом низу — для выпуска жидкого чугуна, а повыше — для шлака (расплавленной пустой породы).

В доменную печь засыпают железную руду (или агломерат), кокс и известняк — флюс (он необходим, чтобы быстрее расплавить пустую породу и чтобы шлак легко вытекал из печи).

Материалы, подобранные в определенной пропорции, называют шихтой. Чтобы получить тонну чугуна, нужно около 1,7-1,9 тонн железной руды; кокса обычно расходуется около 800 кг, флюса — примерно 200 кг. Больше всего требуется воздуха. Он поступает с мощных воздуходувных станций.

Из доменной печи выходит, кроме чугуна, огромное количество доменного газа — 4-5 тонн на каждую тонну чугуна. Доменный (колошниковый) газ — хорошее топливо. Его используют для нагрева воздуха в кауперах и для других целей. Шлак идет на изготовление цемента.

Доменные печи работают по принципу противотока: поток шихты, через колошник постепенно перемещается сверху вниз, а поток горячих газов от фурм поднимается снизу вверх, и при ~ 570 °С начинается ступенчатое восстановление оксидов железа:

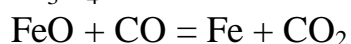
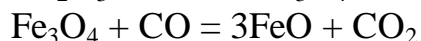
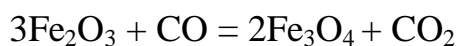


Восстановителями являются CO, H<sub>2</sub> воздуха и твёрдый углерод кокса. Восстановление газами называется косвенным, а углеродом — прямым.

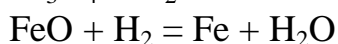
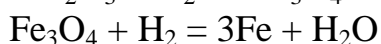
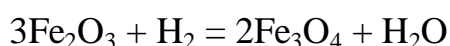
Реакции косвенного восстановления – экзотермические, а прямого – эндотермическая, проходящая в нижней части домны, где температура более высокая.

Вблизи фурм углерод кокса, взаимодействуя с кислородом воздуха, сгорает. В результате горения выделяется теплота, и образуется газовый поток, содержащий CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и др. При этом в печи несколько выше уровня фурм развивается температура более 2000 °С. Горячие газы, поднимаясь, отдают теплоту шихтовым материалам и нагревают их, охлаждаясь до 300-400 °С у колошника.

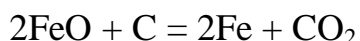
Образующийся оксид CO восстанавливает железо:



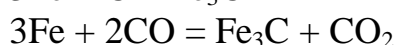
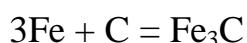
Одновременно в шахте печи происходит восстановление железа водородом по той же схеме:



Прямое восстановление осуществляется при более высокой температуре 950-1400 °С в зоне распара печи:



Одновременно с восстановлением железа происходит науглероживание его:



Образовавшийся Fe<sub>3</sub>C хорошо растворяется в твёрдом Fe<sub>γ</sub>, науглероживая его и тем самым понижая температуру плавления. Конечный состав чугуна устанавливается в горне.

В верхней части распара печи начинается шлакообразование. Полное выплавливание пустой породы и образование шлака заканчивается вверху заплечиков. Доменный шлак состоит, в основном, из CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### 3.3. Совершенствование доменного производства

Важнейшие технико-экономические показатели работы доменных печей: коэффициент использования полезного объёма печи (КИПО) и удельный расход кокса.

КИПО (м<sup>3</sup>/т) – это отношение полезного объёма печи V (м<sup>3</sup>) к её среднесуточной производительности выплавленного чугуна P (т):

$$\text{КИПО} = V/P.$$

Для большинства доменных печей КИПО = 0,5 – 0,7

Удельный расход кокса (К) – отношение расхода кокса за сутки (А) к количеству чугуна, выплавленного за то же время:

$$K = A / P$$

$K = 0,5 \dots 0,7$  - чем ниже этот показатель, тем лучше работает печь.

Снижение обоих показателей даёт большой экономический эффект.

Повысить экономичность производства чугуна можно улучшением подготовки шихтовых материалов, интенсификацией процесса плавки (например, кислородное дутьё), механизацией и автоматизацией многих процессов (регулирования температуры, дозировки подачи шихты и воздуха) и др.

## 4. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ

### 4.1. Физико-химические процессы получения стали

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

Материал **чугун передельный** является первичным сплавом железа, которое используется для дальнейшей переработки в доменных или кислородных печах.

Сырьевой чугун передельный подходит для переделывания в сталь или переплавки в ряд других материалов, в зависимости от потребности на производстве. Можно выделить несколько ключевых характеристик материала:

- низкое содержание Si, Mn и S до 1,75%;
- универсальность использования;
- высокая прочность материалов;
- небольшая пластичность;
- температура графитизации 700-1000 градусов.

Сущностью любого металлургического передела чугуна в сталь является снижение содержания углерода и примесей путём их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

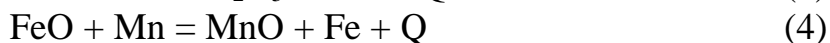
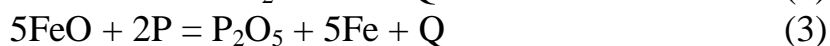
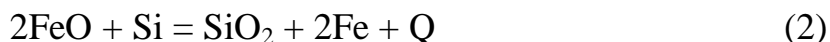
Примеси отличаются по своим физико-химическим свойствам, поэтому для удаления каждой из них в плавильном агрегате создают определённые условия, используя основные законы физической химии.

В соответствие с законом действующих масс (норвежских учёных Като Гульдберга и Петера Вааге) скорость химической реакции пропорциональна концентрации реагирующих веществ. Поскольку в чугуне больше всего железа, то оно и окисляется в первую очередь при взаимодействии чугуна с кислородом в сталеплавильной печи:



Одновременно с железом окисляются примеси Si, P, Mn, C и другие.

Образующийся оксид железа (II) при высоких температурах растворяется в железе и окисляет примеси:



Чем больше FeO содержится в жидком металле, чем активнее окисляются примеси. Для ускорения окисления примесей в сталеплавильную печь добавляют железную руду, содержащую оксиды железа. Т.о., основное количество примесей окисляется за счёт кислорода FeO.

Скорость окисления примесей зависит не только от их концентрации, но и от температуры металла и подчиняется принципу Ле Шателье, в соответствие с которым химические реакции, идущие с выделением тепла (экзотермические), протекают интенсивнее при низких температурах, а реакции, идущие с поглощением тепла (эндотермические), активизируются при высоких температурах. Поэтому в начале плавки, когда температура металла невысока, интенсивнее идут процессы окисления Si, P, Mn (реакции 2, 3, 4), протекающие с выделением тепла, а углерод интенсивно окисляется только при высокой температуре.

После расплавления шихты в сталеплавильной печи образуются две несмешивающиеся среды: жидкие металл и шлак, которые разделяются из-за различной плотности.

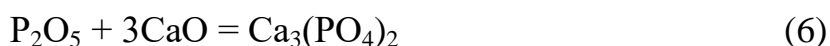
В соответствие с законом распределения Нернста, если какое-либо вещество растворяется в двух соприкасающихся, но несмешивающихся жидкостях, то распределение вещества между этими жидкостями происходит до установления определённого соотношения (константа распределения Нернста), постоянного для данной температуры.

Поэтому большинство компонентов (Mn, Si, P, S) и их соединения, растворимые в жидком металле и шлаке, будут распределяться между металлом и шлаком в определённом соотношении, характерном для данной температуры.

Нерастворимые соединения в зависимости от плотности будут переходить либо в шлак, либо в металл. Изменяя состав шлака, можно менять соотношение между количеством примесей в металле и шлаке так, что нежелательные примеси будут удаляться из металла в шлак.

Используя изложенные законы, процесс выплавки стали, осуществляют в несколько этапов:

**I этап** – расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла. На этом этапе температура металла невысока; интенсивно происходит окисление железа и примесей по реакциям 1, 2, 3, 4. Наиболее важная задача этого этапа – удаление вредной примеси фосфора. Для этого необходимо проведение плавки в печи с основным огнеупором, в которой можно использовать основные флюсы, содержащие CaO:



**II этап** – «кипение» металлической ванны. Начинается оно по мере её прогрева до более высоких температур. Образующийся FeO реагирует с



углеродом по реакции 5, а пузырьки CO, выделяющиеся из жидкого металла, вызывают эффект «кипения» ванны.

В этот же период создаются условия для удаления серы из металла. Сера в стали находится в виде сульфида FeS:

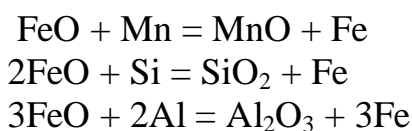


Образующееся соединение CaS растворимо в шлаке, но не растворяется в железе.

В сталеплавильных печах с кислой футеровкой нет условий для уменьшения количества фосфора и серы, т.к. нельзя использовать основные флюсы, поэтому в кислых печах можно выплавлять сталь только из шихтовых материалов с малым содержанием серы и фосфора.

**III этап** (завершающий) – раскисление стали. Заключается в восстановлении FeO, растворённого в жидком металле.

Раскисление осуществляется введением в жидкую сталь ферромарганца, ферросилиция и алюминия. При этом происходят реакции:



При последовательном раскислении стали ферромарганцем, ферросилицием и алюминием получают *спокойную* сталь, при раскислении ферромарганцем и уменьшенным количеством ферросилиция – *полуспокойную*, при раскислении только ферромарганцем – *кипящую*.

Раскислители вводят либо в печь, либо в струю разливаемого в ковш металла.

#### 4.2. Разливка стали

Из плавильной печи сталь выпускают в ковш, который мостовым краном переносят к месту разливки. Ёмкость ковша достигает до 480 т.

Разливают сталь в изложницы или в кристаллизатор установки непрерывной разливки стали (УНРС).

**Изложницы** – чугунные толстостенные формы для получения стальных слитков. Бывают с квадратным, прямоугольным, круглым и многогранным поперечными сечениями. Слитки квадратного сечения переделывают на сортовой прокат (двутавровые балки, швеллеры, уголки и т.д.). Слитки прямоугольного сечения с отношением ширины к толщине 1,5 – 3 переделывают на лист. Из слитков круглого сечения изготавливают трубы, колёса. Многогранные слитки используют для поковок.

Сталь в изложницы можно разливать сверху или снизу (сифоном).

В первом случае каждую изложницу заполняют отдельно. Достоинствами этого метода являются:

- 1) простота;
- 2) дешевизна;
- 3) отсутствие потерь металла.

Недостатки:

- 1) малая производительность;
- 2) разбрызгивание металла на стенки (некачественная поверхность отливки).

При втором способе сталь из ковша поступает в центральной литник (стояк), протекает по каналам и снизу поступает в изложницы, установленные на чугунном поддоне. Одновременно заполняются от 4 до 60 изложниц. При этом способе увеличивается производительность, улучшается поверхность отливок, но такая установка более сложная, могут быть потери металла в литнике и каналах, возможно загрязнение металла при протекании по каналам.

Этих недостатков лишён метод непрерывной разливки стали, проводимой на УНРС.

Сталь из разливочного ковша поступает в промежуточный ковш, далее в водоохлаждаемый кристаллизатор на затравку из того же металла. Окончательное затвердевание сердцевинной слитка происходит в зоне вторичного охлаждения. Движение слитка вниз осуществляется с помощью системы тянущих роликов. В нижней части установки слиток разрезается газовым резаком на куски заданной длины.

Вследствие направленного затвердевания, слитки непрерывной разливки имеют плотное строение и мелкозернистую структуру, в них отсутствуют усадочные раковины. Выход годных заготовок может достигать 96-98% массы разливаемой стали.

### 4.3. Строение стального слитка

Залитая в изложницу сталь отдаёт теплоту стенкам, поэтому затвердевание стали начинается у стенок изложницы. Толщина закристаллизовавшейся корки непрерывно увеличивается, при этом между жидкой сердцевиной слитка и твёрдой коркой металла располагается зона, в которой одновременно имеются растущие кристаллы и жидкий металл между ними. Кристаллизация слитка заканчивается вблизи его продольной оси.

Сталь затвердевает в виде кристаллитов древовидной формы – дендритов. На строение стального слитка большое влияние оказывает степень раскисления стали.

**Спокойная сталь** затвердевает без выделения газов, в верхней части образуется усадочная раковина, а в средней – усадочная осевая рыхлость.

Для устранения усадочных дефектов слитки спокойной стали отливают с прибылью, которая образуется надставкой со стенками, футерованными огнеупорным материалом низкой теплопроводности. Поэтому сталь в прибыли долгое время остаётся жидкой и питает слиток, а усадочная раковина располагается в прибыли.

Слиток спокойной стали имеет следующее строение: тонкую наружную корку из мелких равноосных кристаллов; зону крупных столбчатых кристаллов

(дендритов); зону крупных неориентированных кристаллов; конус осаждения – мелкокристаллическую зону у донной части слитка.

Стальные слитки неоднородны по химическому составу. Химическая неоднородность или ликвация возникает вследствие уменьшения растворимости примесей в железе при переходе из жидкого состояния в твёрдое. Ликвация бывает двух видов: внутрикристаллитная и зональная.

**Внутрикристаллитная ликвация** – это неоднородность сплава в пределах одного зерна (кристаллита). Например, при кристаллизации стали содержание серы на границе зерна по сравнению с содержанием в центре увеличивается в 2 раза, фосфора – в 1,2 раза, а углерода – в 1,5 раза.

**Зональная ликвация** – это неоднородность состава стали в различных частях слитка. В верхней части слитка из-за конвекции жидкого металла содержание серы, фосфора и углерода увеличивается в несколько раз, а в нижней части уменьшается. Поэтому прибыльную и донную части слитка при прокатке отрезают.

В слитках **кипящей стали** не образуется усадочная раковина: усадка стали рассредоточена по полостям газовых пузырей, возникающих при кипении стали в изложнице. При прокатке слитка газовые пузыри завариваются.

Зональная ликвация в кипящей стали больше, чем в спокойной. Для уменьшения ликвации кипение после заполнения изложницы прекращают, накрывая слиток металлической крышкой (механическое закупоривание), либо раскисляют алюминием или ферросилицием в верхней части (химическое закупоривание).

**Полуспокойная сталь** частично раскисляется в печи и ковше, а частично – в изложнице. Слиток полуспокойной стали имеет в нижней части структуру спокойной стали, а в верхней – кипящей. Ликвация в верхней части слитка полуспокойной стали меньше, чем у кипящей, и близка к ликвации спокойной стали, но слитки полуспокойной стали не имеют усадочной раковины.

#### 4.4. Бездоменная технология получения стали

В нашей стране такая технология впервые освоена на Оскольском электрометаллургическом комбинате. Суть её заключается в приготовлении из железорудного концентрата окисленных окатышей, их металлизации и последующей выплавки стали. Железную руду вначале обогащают – содержание железа увеличивается с 34 до 74%. К полученному концентрату добавляется глинистое вещество, которое во вращающихся барабанах (окомкователях) склеивает частицы концентрата в комочки – сырые *окатыши* диаметром 1–2 см. Для придания окатышам необходимой прочности их обжигают на конвейерной машине.

Далее окатыши направляются в шахтные установки металлизации, где и происходит прямое восстановление железа. Шахты представляют собой высокие (64 м) цилиндрические башни с внутренним диаметром 5 м. К нижней части башни подводится горячий (500-800 °С) восстановительный газ. Он представляет собой природный газ, очищенный от серы и подвергнутый углекислотной конверсии, в результате которой метан и другие углеводороды превращаются в СО и Н<sub>2</sub>, являющиеся сильными восстановителями. При продувке этой смесью железо

восстанавливается, и окатыши становятся металлизированными с содержанием более 90% Fe.

Металлизированные окатыши подают в электроплавильные дуговые печи, в которых получают высококачественную сталь. Слитая в ковши сталь подвергается вакуумированию, продувке аргоном и обработке рафинирующими порошками, отчего её качество ещё более повышается.

Бездоменная металлургия позволяет отказаться от постоянно дорожающего и становящегося всё более дефицитным кокса, от сложного хозяйства коксохимических, агломерационных и доменных цехов. Полученная сталь содержит значительно меньше серы и фосфора, попадающих в обычную сталь из руды и чугуна. Бездоменная металлургия выгодно отличается и в экологическом отношении, т.к. исключает загрязнение окружающей среды сернистыми газами и другими вредными веществами.