

ОП.14 Технология обработки конструкционных материалов

Раздел 1 Производство черных и цветных металлов

Тема 1.2 Производство стали

План

1. Сущность передела чугуна в сталь.
2. Современные способы производства стали. Техничко-экономические показатели различных способов получения стали.
3. Разливка стали. Стальной слиток.

Основная литература

1. Фетисов Г.П., Гарифуллин Ф.А. Материаловедение и технология металлов. Учебник (3 издание), - М.: Издательство Оникс, 2017.. -624с :ил.
2. Лахтин Ю.М. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1993

Дополнительная литература

1. Никифоров В.Н. Технология металлов и конструкционные материалы. Л.: Машиностроение, 1987.
2. Кузьмин Б.А., Самохоцкий А.И, металлургия, материаловедение и конструкционные материалы. М.: Высшая школа, 1984.

Интернет – ресурсы:

1. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов. Режим доступа: <http://fcior.edu.ru>
2. Электронная библиотека. Электронные учебники.-Режим доступа: <http://subscribe.ru/group/mehanika-studentam/>

1 Сущность процесса передела чугуна в сталь

Сталь отличается от чугуна меньшим содержанием углерода, кремния, марганца, примесей серы и фосфора. Исходные материалы для получения стали — передельный чугун и стальной лом (скрап). Следовательно, сущностью передела чугуна в сталь является уменьшение содержания углерода и других элементов и перевода их в шлак или газы.

2 Современные способы производства стали. Технико-экономические показатели различных способов получения стали

В настоящее время сталь получают в кислородных конвертерах, мартеновских и электрических печах.

Производство стали в кислородных конвертерах

Кислородно-конвертерный процесс заключается в продувке жидкого чугуна кислородом.

Кислородный конвертер (рис. 1.2) представляет собой сосуд 1 грушевидной формы из стального листа, футерованный внутри основным кирпичом 2. Рабочее положение конвертера вертикальное. Кислород подается в него под давлением 0,8... 1 МПа с помощью водоохлаждаемой фурмы 3, вводимой в конвертер через горловину 4 и располагаемой над уровнем жидкого металла на расстоянии 0,3...0,8 м.

Конвертеры изготовляют емкостью 100...350 т жидкого чугуна. Общий расход технического кислорода на получение 1 т стали составляет 50...60 м³. Материалами для получения стали в кислородном конвертере служат жидкий передельный чугун и стальной лом. Для наводки шлака в конвертер добавляют железную руду и известь, а для его разжижения — боксит и плаvikовый шпат.

Перед началом работы конвертер поворачивают на цапфах 5 вокруг горизонтальной оси и с помощью завалочной машины загружают до 30 % металлолома, затем заливают жидкий чугун при температуре 1250...1400 °С, возвращают конвертер в исходное вертикальное положение, вводят кислородную фурму, подают кислород и добавляют шлакообразующие материалы. Изменение металла по ходу плавки показано на рис. II.3. При продувке происходит окисление углерода и других примесей как непосредственно кислородом дутья, так и оксидом железа FeO. Одновременно образуется активный шлак с необходимым содержанием CaO, благодаря чему происходит удаление серы и фосфора с образованием

устойчивых соединений P_2O_5 - $3CaO$ и CaS в шлаке. В момент, когда содержание углерода достигает заданного для выплавляемой марки стали, подачу кислорода прекращают, конвертер поворачивают и выливают вначале сталь, а затем — шлак.

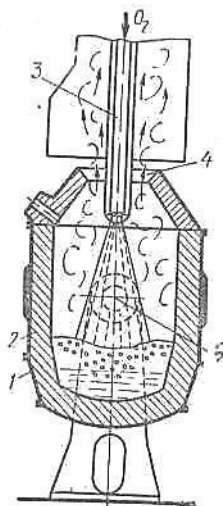


Рисунок 1.2- Схема устройства кислородного конвертера

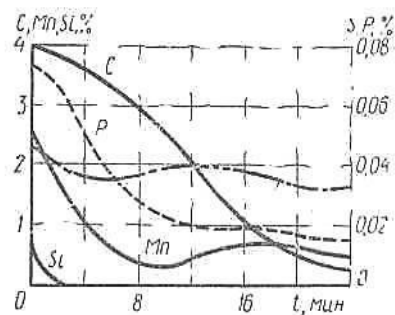


Рисунок 1.3 - Изменение состава металла в конвертере при продувке кислородом

Для уменьшения содержания кислорода сталь при выпуске из конвертера раскисляют, т. е. вводят в нее элементы с большим, чем у железа, сродством к кислороду (Si, Mn, Al). Взаимодействуя с оксидом железа FeO , они образуют нерастворимые оксиды MnO , SiO_2 , Al_2O_3 , переходящие в шлак.

Производительность кислородного конвертера емкостью 300 т достигает 400...500 т/ч, в то время как производительность мартеновских и электропечей не превышает 80 т/ч. Благодаря высокой производительности и малой металлоемкости кислородно-конвертерный способ становится основным способом производства стали.

Производство стали в мартеновских печах

1. Мартеновская печь (рис. 1.4) представляет собой регенеративную пламенную печь, высокая температура в которой (1750... 1800 °С) достигается за счет сгорания газа в плавильном пространстве. Газ и воздух подогреваются в регенераторах. Слева от плавильного пространства 7 находятся каналы для газа 3 и воздуха 4, соединенные с регенераторами 1 и 2. Такие же каналы для газа 9 и воздуха 8 имеются справа от плавильного

пространства 7; они соответственно соединены с регенераторами 10 и 11. Каждый из регенераторов имеет насадку из выложенного в клетку огнеупорного кирпича. Шихта загружается через окна 5. Подаваемые в печь газ и воздух проходят через предварительно нагретые до температуры 1200...1250 °С регенераторы 10 и 11, нагреваются в них и поступают в плавильное пространство печи. Здесь газ и воздух смешиваются и сгорают, образуя пламя высокой температуры. Продукты сгорания по каналам 3 и 4 поступают в регенераторы 1 и 2, нагревают их, охлаждаясь до 500...600 °С, и уходят в дымовую трубу 13. По мере охлаждения регенераторов 10 и 11 направление газа и воздуха в печи меняют на обратное переключением клапанов 12 и 14. Тогда газ и воздух поступают в плавильное пространство по каналам 3 и 4, пройдя нагретые регенераторы 1 и 2, а продукты сгорания выходят по каналам 8 и 9, нагревают насадку регенераторов 10 и 11 и уходят в трубу 13. Таким образом, газ и воздух при. По мере охлаждения регенераторов 10 и 11 направление газа и воздуха в печи меняют на обратное переключением клапанов 12 и 14. Тогда газ и воздух поступают в плавильное пространство по каналам 3 и 4, пройдя нагретые регенераторы 1 и 2, а продукты сгорания выходят по каналам 8 и 9, нагревают насадку регенераторов 10 и 11 и уходят в трубу 13. Таким образом, газ и воздух при работе печи проходят через попеременно нагреваемые то левые, то правые регенераторы.

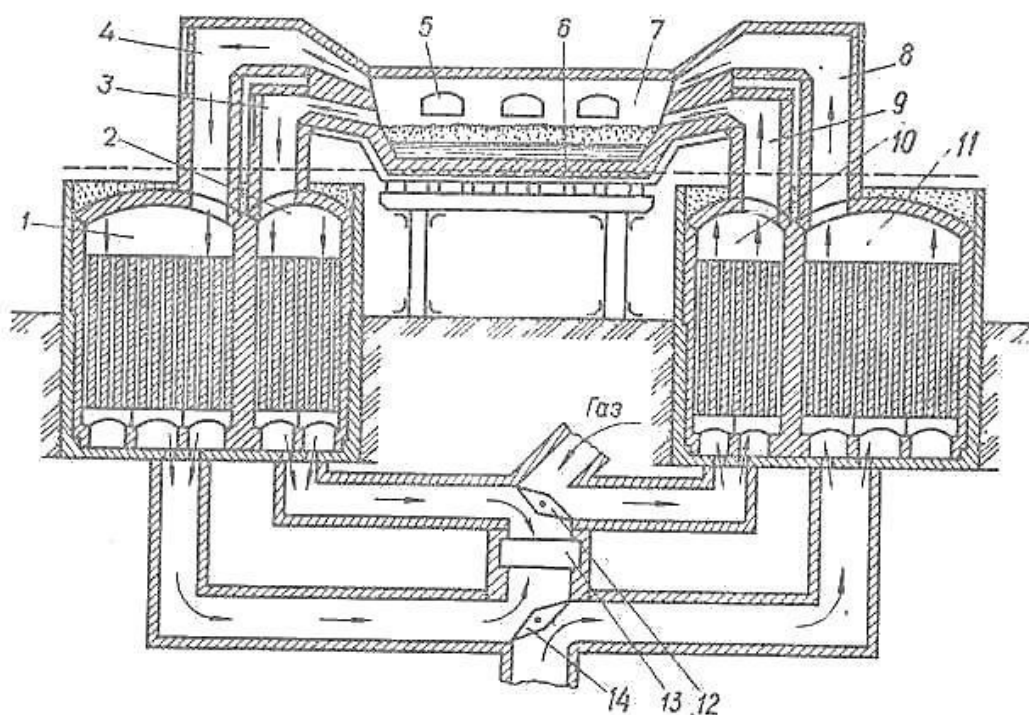


Рисунок 1.4 - Схема устройства мартеновской печи

Мартеновские печи, работающие на мазуте, имеют с каждой стороны по одному регенератору для нагрева только воздуха.

В нашей стране эксплуатируются мартеновские печи емкостью от 20 до 900 т жидкой стали. Важной характеристикой этих печей является также площадь пода 6. Для печи емкостью 900 т она составляет около 120 м².

2. Мартеновский процесс. Материалами для выплавки стали в мартеновской печи могут быть: стальной лом (скрап), жидкий и твердый чугуны, железная руда. В зависимости от их соотношения в шихте различают:

1) скрап-рудный процесс на шихте из жидкого чугуна с добавкой 25...30 % стального скрапа и железной руды;

2) скрап-процесс на шихте из стального лома и 25...45% чушкового передельного чугуна.

Флюсом в обоих процессах обычно служит известняк CaCO_3 (8... 12 % от массы металла).

Более широкое применение в металлургии получил *скрап-рудный* процесс выплавки стали в основной мартеновской печи. Вначале в печь загружают и прогревают железную руду и известняк, затем добавляют стальной скрап и заливают жидкий чугун. В процессе плавки примеси в чугуне окисляются за счет оксида железа руды и скрапа:

$3\text{Si} + 2\text{Fe}_a\text{O}_3 = 3\text{SiO}_a + 4\text{Fe}$; $3\text{Mn} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 3\text{MnO} + 2\text{Fe}$; $6\text{P} + 5\text{Fe}_2\text{O}_3 = 3\text{P}_2\text{O}_5 + 10\text{Fe}$; $3\text{C} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 3\text{CO} + 2\text{Fe}$.

Сера удаляется в результате взаимодействия сернистого железа с известью: $\text{FeS} + \text{CaO} = \text{FeO} + \text{CaS}$.

Оксиды SiO_2 , MnO , P_2O_6 , CaO , а также сульфид CaS образуют шлак, периодически выпускаемый из печи в шлаковые чаши.

Для интенсификации процесса плавления и окисления примесей ванну продувают кислородом, подаваемым через водоохлаждаемые фурмы. Продувка кислородом позволяет в 2...3 раза сократить длительность процесса, уменьшить расход топлива и железной руды.

После плавления шихты начинается период кипения ванны. В это время интенсивно окисляется углерод в металле. В момент, когда содержание его достигает заданного, а количество серы и фосфора уменьшается до минимума, кипение прекращают и начинают раскисление стали в ванне печи ферромарганцем, ферросилицием и алюминием. Окончательно сталь

раскисляют алюминием и ферросилицием в сталеразливочном ковше при выпуске стали из печи.

Скрап-процесс применяют на машиностроительных заводах, не располагающих жидким чугуном. От скрап-рудного процесса он несколько отличается завалкой и плавлением шихты.

Основной скрап-процесс применяется для выплавки углеродистых и легированных сталей.

Показатели работы мартеновских печей: съём стали с 1 м^2 пода печи в сутки и расход топлива на тонну выплавленной стали. На отечественных заводах съём стали составляет около 10 т/м^2 в сутки, а расход топлива при скрап-рудном процессе— $120...180$ и при скрап-процессе — $170...250 \text{ кг/т}$.

Интенсификация мартеновского производства достигается использованием печей большей емкости, хорошей подготовки шихтовых материалов, автоматизации процесса плавки. Повышению производительности печей и экономии топлива способствует применение кислородного дутья.

Производство стали в электропечах

По сравнению с другими плавильными агрегатами электропечи обладают рядом преимуществ: способностью быстрого нагрева и поддержания заданной температуры в пределах до 2000°C , возможностью создания окислительной, восстановительной или нейтральной атмосферы, а также вакуума. Это позволяет выплавлять в электрических печах стали и другие сплавы с минимальным количеством вредных примесей, с оптимальным содержанием компонентов, отличающиеся высоким качеством и обладающие специальными свойствами.

Металлургические печи подразделяют на дуговые и индукционные.

1. Дуговая сталеплавильная печь (рис.1.5) представляет собой стальной цилиндр 4 со скошенным или сферическим днищем, футерованный внутри огнеупорным кирпичом 1. В стенке корпуса имеется загрузочное окно 7 и отверстие со сменным желобом 2. Сверху печь имеет свод 5 с отверстиями для графитизированных электродов 6. С помощью механизма 8 печь может наклоняться для загрузки или слива стали и шлака.

Источником тепла в таких печах служит электрическая дуга, возникающая между электродами 6 диаметром $350...550 \text{ мм}$ и шихтой 3. На электроды подается ток напряжением $200...600 \text{ В}$ и силой $1...10 \text{ кА}$.

Электродуговые печи строят емкостью от $0,5$ до 400 т . Сталь выплавляют главным образом в основных электропечах с окислением и без окисления примесей.

Плавка с окислением во многом сходна с мартеновским скрап-процессом. Обычно ее применяют для получения углеродистых сталей. Шихтой в этом случае служит стальной лом, передельный чугун, кокс для науглероживания и добавка 2...3 % извести. Плавка включает два периода: окислительный и восстановительный. Во время окислительного периода кремний, марганец, углерод, железо окисляются кислородом, поступающим из воздуха, оксидов шихты и окалина. Полученные оксиды вместе с известью образуют шлак. Благодаря наличию оксида кальция шлак связывает и удаляет фосфор. Восстановительный период включает раскисление стали, удаление серы и доведение содержания всех компонентов до заданного. Для этого в печь подают флюс, состоящий из извести, плавикового шпата CaF_2 , молотого кокса и ферросилиция. Кокс и ферросилиций, медленно проникая через слой шлака, восстанавливают оксид железа: $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$; $2\text{FeO} + \text{Si} = \text{Fe} + \text{SiO}_2$.

При этом содержание оксида железа в шлаке уменьшается, и он начинает диффундировать из металла в шлак, где сразу же восстанавливается. Восстановление происходит в шлаке и на границе шлак — металл. Поэтому металл не загрязняется неметаллическими примесями (SiO_2 , MnO , Al_2O_3), что происходит при обычном раскислении. Благодаря высокому содержанию в шлаке оксида CaO интенсивно удаляется из металла и сера. В рядовых плавках электростали содержание серы не превышает 0,015 %, в то время как в мартеновской стали содержание 0,020 % считается весьма низким. В конце восстановительного периода, если это необходимо, сталь окончательно раскисляют ферросилицием и алюминием. Плавка без окисления применяется для получения легированной стали из скрапа и отходов соответствующего состава. По сути в этом случае производство стали сводится к переплаву шихты, хотя в процессе плавки не исключено и окисление некоторых примесей, а также введение при необходимости некоторых компонентов.

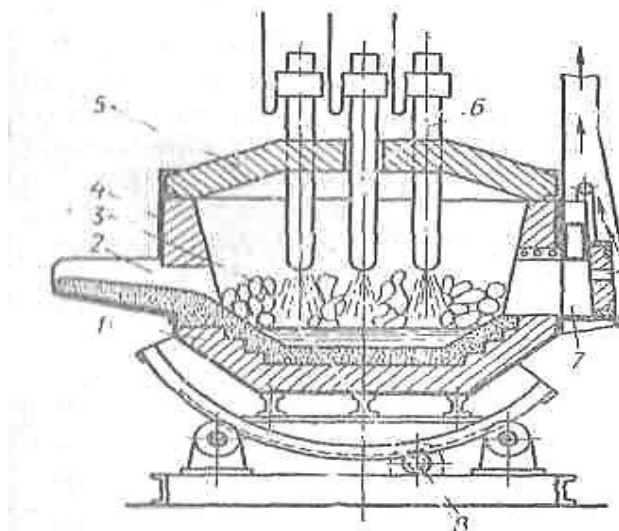


Рисунок 1.5 - Схема устройства электродуговой печи

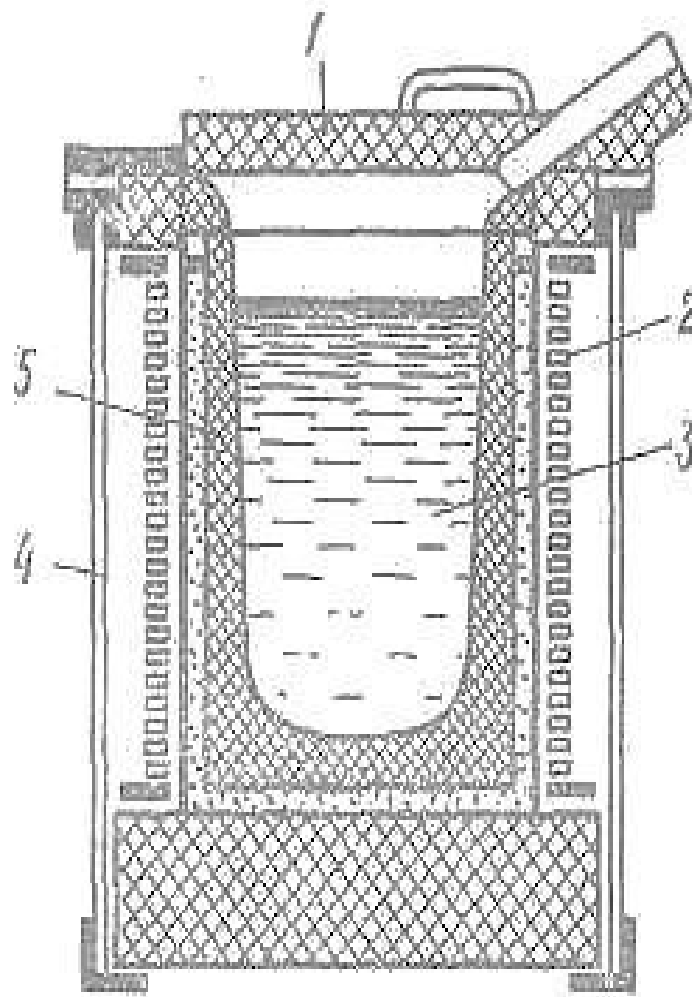


Рисунок 1.6 - Схема устройства электроиндукционной печи

2. Электроиндукционная печь (рис. 1.6) состоит из тигля 5 с крышкой (сводом) 1 и водоохлаждаемого индуктора 2, заключенных в корпусе 4. При прохождении через индуктор переменного тока частотой 500...2000 кГц образуется магнитный поток, который наводит в металлической шихте 3 мощные вихревые токи, нагревающие ее до расплавления. Индукционные

печи строят емкостью от десятков килограммов до 5 т, в отдельных случаях емкость их достигает 25...30 т.

Индукционные печи по сравнению с дуговыми обладают рядом преимуществ:

а) отсутствие дуги позволяет выплавлять металлы с малым содержанием углерода и газов;

б) возникающие электродинамические силы перемешивают жидкий металл, способствуя выравниванию химического состава и всплыванию неметаллических включений;

в) индукционные печи отличаются небольшими размерами, что позволяет помещать их в специальные камеры и создавать любую атмосферу или вакуум.

В индукционных печах плавку обычно проводят методом переплава отходов легированных сталей или чистого по сере и фосфору углеродистого скрапа и ферросплавов.

После расплавления шихты на поверхность металла подают шлак: в основных печах — известь и плавикový шпат, в кислых — бой стекла и другие материалы, богатые кремнеземом SiO_2 . Шлак защищает металл от окисления и насыщения газами атмосферы, уменьшает потери тепла и угар легирующих элементов.

Плавка в вакууме позволяет получать сплавы с минимальным содержанием газов и неметаллических включений, легировать сплавы любыми элементами.

Продолжительность плавки в индукционной печи емкостью 1 т составляет около 45 мин, расход электроэнергии на 1 т стали -600...700 кВт•ч.

3 Разливка стали. Стальной слиток.

Выплавленную в плавильной печи сталь выпускают в *опале-разливочный ковш* (рис. 1.7) и мостовым краном переносят к месту разливки в слитки. Емкость ковша обычно определяется емкостью плавильной печи и составляет 5...250 т. Для крупных плавильных печей применяют ковши емкостью до 450 т (диаметром и высотой до 6 м).

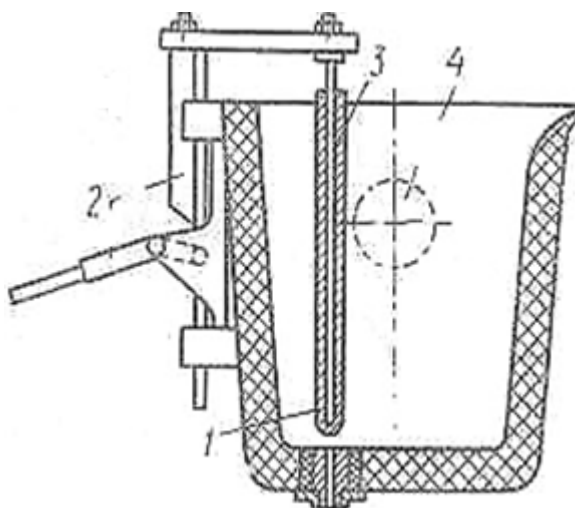


Рисунок 1.7- Сталеразливочный ковш:

1 — стакан для выпуска стали; 2 — рычажный механизм стопора, 3 — стопор; 4 — цапфа для подъема ковша

Сталь разливают в изложницы или кристаллизаторы установок для непрерывной разливки.

Изложницы представляют собой чугунные формы для получения слитков различного сечения. Масса слитков для прокатки обычно составляет 10... 12 т (реже — до 25 т), а для поковок достигает 250...300 т. Легированные стали иногда разливают в слитки массой в несколько сотен килограммов. Применяют два способа разливки стали в изложницы: сверху и сифоном.

При разливке сверху (рис.1.8,а) сталь заливают из ковша 2 в каждую изложницу 1 отдельно. При такой разливке поверхность слитков вследствие попадания брызг жидкого металла на стенки изложницы может быть загрязненной пленками оксидов.

При сифонной разливке (рис. 1.8,б) сталью заполняют одновременно от 2 до 60 установленных на поддоне 5 изложниц через центральной литник 5 и каналы в поддоне. В этом случае сталь, поступает в изложницы снизу, что обеспечивает плавное, без разбрызгивания их заполнение, поверхность слитка получается чистой, сокращается время разливки. Сталь в надставке 4 сохраняется в жидком состоянии, благодаря чему уменьшаются раковина и отходы слитка при обрезке.

Разливку сверху обычно применяют для углеродистых, а разливку сифоном — для легированных сталей.

1. Непрерывная разливка стали производится на специальных установках — УНРС (рис. 1.9). Жидкую сталь из ковша 6 через промежуточное устройство 5 непрерывно заливают сверху в водоохлаждаемую изложницу без дна — кристаллизатор 4, а из нижней его части вытягивают со скоростью 1 ...2,5

м/мин с помощью валков 3 затвердевающий слиток. На выходе из кристаллизатора слиток охлаждается водой, окончательно затвердевает и попадает в зону резки, где его разрезают газовым резаком 2 на слитки определенной длины. Полученные слитки с помощью кантователя 1 опускаются на роликовый конвейер и подаются на прокатные станы.

На УНРС получают слитки прямоугольного сечения размерами от 150 X 500 до 300 X 200 мм, квадратного со стороной от 150 до 400 мм, а также круглые в виде толстостенных труб.

Благодаря непрерывному питанию и направленному затвердеванию в слитках, полученных на УНРС, отсутствуют усадочные раковины. Поэтому выход годных заготовок может достигать 96... 98 % массы разливаемой стали, поверхность получаемых слитков отличается хорошим качеством, а металл слитка — плотным и однородным строением.

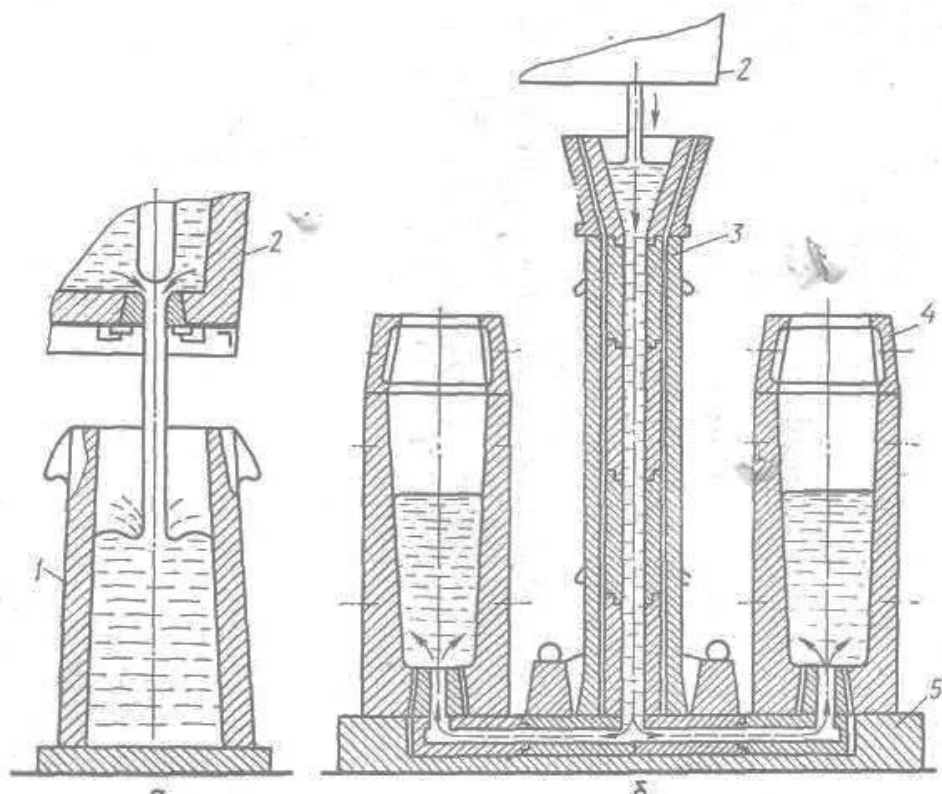
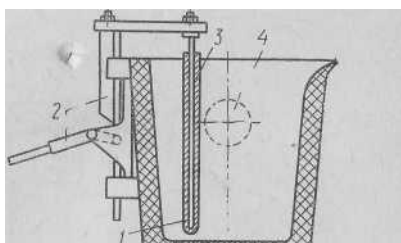
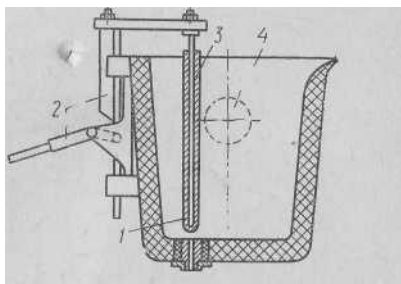


Рисунок 1.8- Разливка стала в изложницы

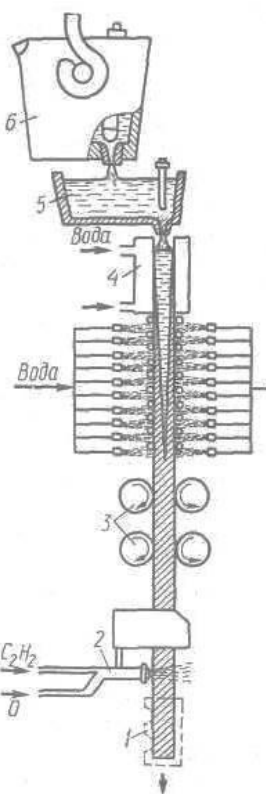


Рисунок 1.9- Схема установки для непрерывной разливки

Затвердевание и строение стальных слитков

Процесс затвердевания стального слитка и образование кристаллической структуры в нем был рассмотрен выше. Необходимо добавить, что строение слитка определяется не только условиями охлаждения, но и степенью раскисления. По этому признаку стали делятся на кипящие, спокойные и полуспокойные.

Кипящей называют сталь, не полностью раскисленную в печи. Ее раскисление продолжается в изложнице за счет взаимодействия оксида

железа FeO с углеродом. Образующийся при этом оксид углерода CO выделяется из стали, способствуя удалению и других газов (азота, водорода), что создает впечатление «кипения» жидкого металла. Выделение газов происходит и при затвердевании слитка, поэтому в нем образуется не концентрированная усадочная раковина, а большое количество рассредоточенных газовых пузырей (рис.1.10,а). Они устраняются при последующей горячей прокатке. Кипящая сталь наиболее дешевая, она практически не содержит неметаллических примесей, обладает высокой пластичностью.

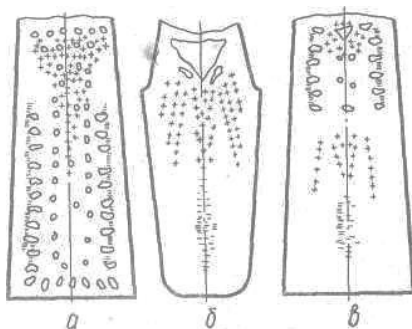


Рисунок 1.10 - Схемы строения стальных слитков

Спокойную сталь получают при полном раскислении металла в печи и ковше (рис. 1. 10,б). Такая сталь затвердевает без выделения газов, в слитке образуется плотная структура, а усадочная раковина концентрируется в верхней части, что значительно уменьшает выход годного металла.

Полуспокойная сталь получается при раскислении ферромарганцем и недостаточным количеством ферросилиция или алюминия. В этом случае слиток не имеет концентрированной усадочной раковины, в нижней части он обычно имеет строение спокойной, а в верхней — кипящей стали (рис.1.10,в). Такая сталь по качеству и стоимости является промежуточной между кипящей и спокойной.

Способы повышения качества стали

Выплавленные в кислородных конвертерах, мартеновских и электрических печах стали не всегда удовлетворяют по своим свойствам требованиям современной техники. Для повышения их качества разработаны специальные технологические процессы внепечного рафинирования и рафинирующих переплавов.

Из методов внепечного рафинирования стали наиболее широкое применение получила обработка в вакууме и жидкими синтетическими шлаками.

1. Вакуумную обработку применяют для уменьшения содержания в стали растворенных газов и неметаллических включений. С этой целью выплавленную в мартеновских или электрических печах сталь выдерживают в течение 10... 15 мин в специальных камерах с остаточным давлением 265...665 Па в ковше или при заливке в изложницу. При понижении давления растворимость газов в стали (азота, водорода) уменьшается и они в виде пузырьков всплывают на поверхность, захватывая с собой и неметаллические включения.

Вакуумная обработка позволяет уменьшить в 3...5 раз содержание газов и в 2...3 раза неметаллических включений в стали, что способствует повышению ее прочности и пластичности.

2. Обработка стали синтетическим шлаком заключается в следующем. В разливочный ковш перед выпуском стали из плавильного агрегата наливают 3...5% по отношению к массе стали жидкого шлака, содержащего 55% CaO, 42 % Al_2O_3 , до 3 % SiO_2 и 1 % FeO. Затем в ковш по возможности с большей высоты мощной струей выпускают выплавленную сталь. В результате интенсивного перемешивания стали и шлака поверхность их взаимодействия увеличивается в сотни раз по сравнению с той, которая имеется в печи. Поэтому процессы рафинирования резко ускоряются и для их протекания требуется уже не 1,5...2 ч, как обычно в печи, а примерно столько, сколько уходит на выпуск плавки.

Рафинированная синтетическим шлаком сталь отличается низким содержанием кислорода, серы и неметаллических включений, что обеспечивает ей высокую пластичность и ударную вязкость.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие химических составов сталей и чугунов?
2. Какие химические реакции принципиально необходимы для получения стали из чугуна?

- 3.Какую шихту используют для производства стали?
- 4.Охарактеризуйте кислородно-конвертерный, мартеновский и электросталеплавильный способы производства стали.
- 5.Охарактеризуйте электродуговой и индукционный нагрев.
- 6.Как осуществляют разливку стали «сверху», «снизу»?
- 7.Как повысить качество стали при разливке?
- 8.Охарактеризуйте технологию непрерывной разливки, в чем преимущества этой технологии?
- 9.Назовите технологии производства особокачественных сталей и сплавов.