XKM 2/1 17.01.2023

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. Технико-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, металловедение и конструкционные материалы. М.: Высшая школа,1984.

Интернет – ресурсы:

- 1. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов. Режим доступа: http://fcior.edu.ru
- 2.Элетронная 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

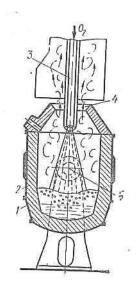
Кислородно-конвертерный процесс заключается в продувке жидкого чугуна кислородом.

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...350т 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 плавиковый 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 °C, в исходное вертикальное положение, возвращают конвертер кислородную фурму, подают кислород и добавляют шлакообразующие материалы. Изменение металла по ходу плавки показано на рис. II.3. При окисление углерода примесей продувке происходит И других как FeO. непосредственно кислородом оксидом железа дутья, ток И Одновременно образуется активный шлак с необходимым содержанием СаО, благодаря чему происходит удаление серы и фосфора с образованием

устойчивых соединений P2O5- 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.



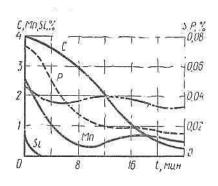


Рисунок 1.2- Схема устройства кислородного конвертера

Рисунок 1.3 - Изменение состава металла в конверторе 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, AI). Взаимодействуя с оксидом железа FeO, они образуют нерастворимые оксиды MnO, SiO₂, $A1_2O_3$, 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 °C) 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 $1 \ u \ 2$. 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 °C 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 до500...600 °C, 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 но 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 пла-вильное пространство по каналам 3 и 4, пройдя нагретые регенераторы 1 и 2, а продукты сгорания выходят но каналам 8 и 9, нагревают насадку регенераторов 10 и 11 и уходят в трубу 13. Таким об-разом, газ и воздух при работе печи проходят через попеременно нагреваемые то левые, то правые регенераторы.

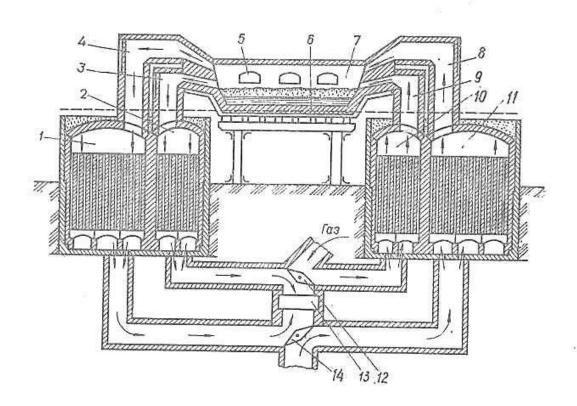


Рисунок 1.4 - Схема устройства мартеновской печи

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 м^2 .

- 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:

3Si -Ь 2Fe_aO₃= **3SiO**_a+ 4Fe; 3Mп -f- Fe₂O₃= 3MпО + 2Fe; 6P + 5Fe₂O₃= 3P₂O₅+ lOFe; 3C + Fe₂O₃= 3CO + 2Fe.

Сера удаляется в результате взаимодействия сернистого железа с известью: FeS + CaO = FeO + 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: съем стали с 1 м² пода печи в сутки и расход топлива на тонну выплавленной стали. На отечественных заводах съем стали составляет около 10 т/м² в сутки, а расход топлива при скрап-рудном процессе— 120... 180 и при скрап-процессе — 170...250 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.

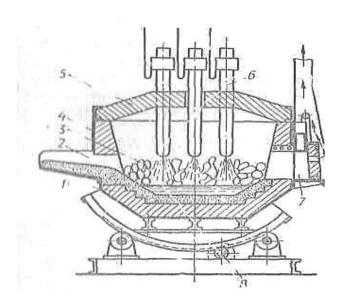
1. Дуговая сталеплавильная печь (рис.1.5) представляет собой стальной цилиндр 4 со скошенным или сферическим днищем, футерованный внутри огнеупорным кирпичом 1. В стенке корпуса имеется загрузочное окно 7 и отверстие со сменным желобом 2. Сверху печь имеет свод 5 с отверстиями для графитизированных электродов 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 мм и шихтой 3. На электроды подается ток напряжением200...600 В и силой 1...10 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 окислением мартеновским BO МНОГОМ сходна 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 окалины. 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 CaF2, молотого кокса и ферросилиция. Кокс и ферросилиций, медленно проникая через слой шлака, восстанавливают оксид железа: FeO + C = Fe + CO; 2FeO - f $Si = Fe + SiO_2$.

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 (SiO2) MnO, A12O3), что происходит при обычном раскислении. Благодаря высокому содержанию в шлаке оксида СаО 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 тали сводится к переплаву шихты, хотя в процессе плавки не исключено и окисление некоторых примесей, а также введение при необходимости некоторых компонентов.



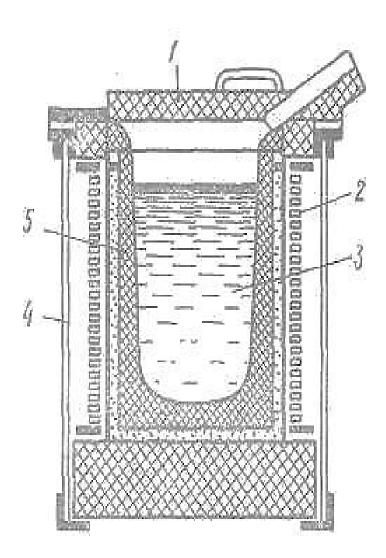


Рисунок 1.6 - Схема устройства электроиндукционной печи

2. Электроиндукционная печь (рис. 1.6) состоит из тигля 5 с крышкой (сводом) I 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 позволяем 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 плавиковый 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).

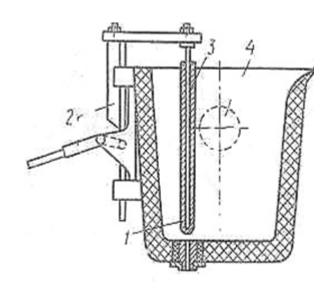


Рисунок 1.7- Сталеразливочный ковш:

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 I отдельно. При такой разливке поверхность слитков вследствие попадания брызг жидкого металла на стенки изложницы может быть загрязненной пленками оксидов.

При сифонной разливке (рис. 1.8,6) сталью заполняют одновременно от 2 до 60 установленных на поддоне 5 изложниц через центровой 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 я время разливки. Сталь в надставке 4 сохраняется в жидком состоянии, благодаря чему уменьшаются раковина и отходы слитка при обрезке.

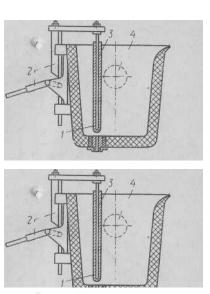
Разливку сверху обычно применяют для углеродистых, а разливку сифоном — для легированных сталей.

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 150×500 до 300×200 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.



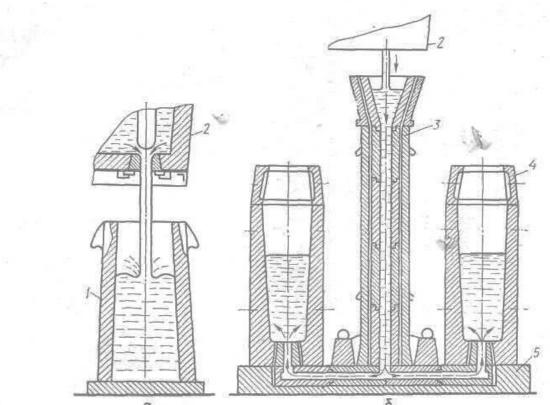


Рисунок 1.8- Разливка стала в изложницы

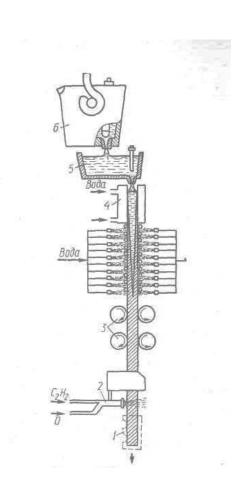


Рисунок 1.9- Схема установки для непрерывной разливки

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 СО 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 большое концентрированная усадочная раковина, количество рассредоточенных газовых пузырей (рис.1.10,а). Они устраняются при последующей горячей прокатке. Кипящая сталь наиболее дешевая, она практически со держит неметаллических примесей, обладает не высокой пластичностью.

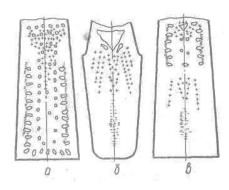


Рисунок 1.10 - Схемы строения стальных слитков

Спокойную сталь получают при полном раскислении металла в печи и ковше (рис. 1. 10,6). 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% A 1_2 O $_3$, 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 \mathbf{c} 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 особовысококачественных сталей и сплавов.