

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова»
Многопрофильный колледж



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**
по учебной дисциплине
ОПЦ.12 ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ
(наименование)

для студентов специальностей
13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и
электромеханического оборудования

Магнитогорск, 2018

ОДОБРЕНО

Предметно-цикловой комиссией
Монтаж и эксплуатация электрооборудования
Председатель С.Б. Меняшева
Протокол №6 от 21.02.2018 г.

Методической комиссией МпК
Протокол №4 от 01.03.2018 г.

Составитель (и):

преподаватель МпК ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» Анна Евгеньевна Кожемякина

Методические указания по выполнению практических и лабораторных работ разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины «Технология металлургической отрасли».

Содержание практических и лабораторных работ ориентировано на формирование универсальных учебных действий, подготовку обучающихся к освоению программы подготовки специалистов среднего звена.

СОДЕРЖАНИЕ

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	4
2 ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ/ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ	6
3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	7
Практическое занятие 1	7
Практическое занятие 2	11
Практическое занятие 3	14
Практическое занятие 4	19
Лабораторное занятие 1	23
Лабораторное занятие 2	26
Лабораторное занятие 3	31
Лабораторное занятие 4	35

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Состав и содержание практических и лабораторных занятий направлены на реализацию Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование профессиональных практических умений (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных практических умений (умений решать задачи, анализировать информацию), необходимых в последующей учебной деятельности.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Технология металлургической отрасли» предусмотрено проведение практических и лабораторных занятий. В рамках практического/лабораторного занятия обучающиеся могут выполнять одну или несколько практических/лабораторных работ.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

уметь:

У1. ориентироваться в производственных процессах в доменных, сталеплавильных, прокатных цехах;

У2. самостоятельно определять маршруты при выполнении работ по обслуживанию производственного процесса в доменных, сталеплавильных, прокатных цехах;

Содержание практических и лабораторных занятий ориентировано на подготовку обучающихся к освоению профессионального модуля программы подготовки специалистов среднего звена по специальности и овладению **профессиональными компетенциями:**

ПК 1.2. Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования;

ПК 3.1. Участвовать в планировании работы персонала производственного подразделения.

В процессе освоения дисциплины у студентов должны формироваться общие компетенции:

ОК 02 Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 04 Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.

ОК 05 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста.

ОК 09 Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности.

Выполнение обучающихся практических и лабораторных работ по учебной дисциплине «Технология металлургической отрасли» направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;

- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;

- формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;

- приобретение навыков работы с различными приборами, аппаратурой, установками и другими техническими средствами для проведения опытов;

- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;

- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Практические и лабораторные занятия проводятся после соответствующей темы, которая обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ/ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Разделы/темы	Темы практических/лабораторных занятий	Количество часов	Требования ФГОС СПО (уметь)
Раздел 2. Технологические процессы изготовления готовой продукции		8	
2.1 Технология получения чугуна	Практическое работа № 1: Изучение диаграммы железо-углерод	2	У1, У2, У05.1, У05.2, У05.3, У05.5,
	Практическое работа № 2: Анализ технологического процесса производства чугуна	2	У1, У2, У05.1, У05.2, У05.3, У05.5, У04.2,
	Лабораторная работа № 1: Оценка прочностных характеристик сырых и обожженных окатышей	2	У1, У2, У05.1, У05.2, У05.3, У05.5, У04.2,
2.2 Сущность получения кокса	Практическое работа № 3: Составление технологической схемы производства кокса	2	У1, У2, У05.1, У05.2, У05.3, У05.5, У04.2,
2.3 Технология получения стали	Практическое работа № 4: Сравнительная характеристика основных способов производства стали	2	У1, У2, У05.1, У05.2, У05.3, У05.5
	Лабораторная работа № 2: Определение количества агломерационной шихты и основных показателей аглопроцесса	2	У1, У2, У05.1, У05.2, У05.3, У05.5
	Лабораторная работа № 3: Анализ усадочных процессов при кристаллизации стали в изложницах	2	У1, У2, У05.1, У05.2, У05.3, У05.5
	Лабораторная работа № 4: Исследование процесса затвердевания стальных слитков	2	У1, У2, У05.1, У05.2, У05.3, У05.5
ИТОГО		16	

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Тема 2.1.

Технология получения чугуна

Практическое занятие № 1

Изучение диаграммы железо-углерод

Цель:

- 1) изучение диаграммы состояния железо-углерод, анализ превращений, происходящих в сплавах при образовании фаз и структур;
- 2) привить умения и навыки самостоятельной работы с учебником и дополнительной литературой.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- У1 подбирать технологическое оборудование для ремонта и эксплуатации электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем, определять оптимальные варианты его использования;
- У2 эффективно использовать материалы и оборудование;
- У5 распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте;
- У6 анализировать задачу и/или проблему и выделять её составные части;
- У7 определять этапы решения задачи;
- У8 выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы;
- У9 определить необходимые ресурсы;
- У10 владеть актуальными методами работы в профессиональной и смежных сферах;
- У11 реализовать составленный план;
- У12 оценивать результат и последствия своих действий (самостоятельно или с помощью наставника)
- У13 определять задачи для поиска информации;
- У14 определять необходимые источники информации;
- У15 организовывать работу коллектива и команды;
- У16 взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами в ходе профессиональной деятельности
- У17 грамотно излагать свои мысли и оформлять документы по профессиональной тематике на государственном языке, проявлять толерантность в рабочем коллективе;
- У18 описывать значимость своей специальности

Материальное обеспечение:

индивидуальный раздаточный материал на данную тему

Задание:

1. Изучить диаграмму.
2. Ответить на вопросы, характеризующие основные области диаграммы.

Краткие теоретические сведения:

Для правильного понимания свойств разнообразных марок современных сталей и чугунов необходимо получить хорошее представление о диаграмме железо – углерод.

Диаграмма – это графические изображения, дающие наглядное представление о кристаллизации и превращениях, совершающихся при их нагреве и охлаждении.

Диаграммой пользуются для назначения режимов термообработки сталей и чугунов и определения температурных пределов.

Кроме того, диаграмма может быть использована для предсказания микроструктуры при любой заданной температуре.

По горизонтальной оси диаграммы откладывается содержание углерода в сплаве в процентах, по вертикальной - температура в °С. Каждая точка на диаграмме характеризует определенный состав сплава при определенной температуре. Превращения в сплавах железо - углерод происходят не только при затвердевании сплава в жидком состоянии, но и в твердом благодаря переходу железа из одной формы в другую.

В зависимости от температуры и содержания углерода сплавы железо - углерод могут иметь структурные составляющие: феррит, цементит, перлит, аустенит, ледебурит и графит.

В системе железо-углерод имеются следующие фазы: жидкий раствор, твердые растворы - феррит и аустенит, а также химическое соединение - цементит. Физико-химическая природа этих структурных составляющих различна.

Линия ABCD – линия ликвидус. Выше этой линии сплавы находятся в жидком состоянии. Когда температура сплава соответствует линии ABCD, начинается процесс первичной кристаллизации из жидкого состояния в твердое (под линией ABC – в аустенит, под линией CD – в цементит).

Аустенит – это твердый раствор углерода в γ – железе. Очень пластичен.

Феррит – это твердый раствор углерода в α – железе (ОЦК – решетка). Феррит обладает высокой пластичностью, низкой твердостью, прочностью и магнитными свойствами, которые сохраняются до температуры 768° С.

Перлит – это смесь феррита и цементита, образованная при температуре 723°С. Перлит- это продукт распада аустенита при медленном охлаждении. Он может быть пластинчатым или зернистым. В нем содержится 0,8% углерода. Механические свойства перлита зависят от степени измельчения частичек цементита.

Ледебурит – эвтектическая смесь (затвердевшая смесь кристаллов двух (или нескольких) веществ, чаще всего сплавов металлов) аустенита с цементитом при температуре 1147 °С. Ледебурит обладает высокой твердостью и хрупкостью.

Цементит – это химическое соединение железа с углеродом Fe_3C , т. е. карбид железа Fe_3C . Он электропроводен, имеет металлический блеск, очень твердый, очень хрупкий. Делится на первичный и вторичный цементит. В структуре стали и чугуна он находится в виде игл, отдельных включений и сетки, по границам зерен.

Когда температура сплава соответствует линии AC, начинается процесс кристаллизации: из жидкого сплава выделяются кристаллы аустенита, а на линии CD - цементит.

Первичный цементит выделяется непосредственно из жидкого сплава в процессе первичной кристаллизации.

Первичная кристаллизация – это процесс образования твердого вещества из жидкого.

Вторичный цементит выделяется в процессе вторичной кристаллизации (из аустенита).

Вторичная кристаллизация – это процесс образования более твердого вещества из менее твердого.

При понижении температуры ниже линии ликвидус продолжается кристаллизация с постепенным увеличением количества твердых кристаллов за счет уменьшения количества жидкого сплава.

Линия AECF – линия солидус. Соответствует моменту полного затвердевания сплава.

В точке С сплав, содержащий 4,3% углерода, переходит в твердое кристаллическое состояние. Сплав такого состава называют эвтектическими. Точка С (содержание углерода

4,3% и температура 1130°C) называется эвтектической. В эвтектической точке температуры ликвидус и солидус совпадают. Эта точка соответствует чугунам, и в соответствии с точкой С чугуны делятся на 3 вида:

- 1) доэвтектический (углерода менее 4,3%);
- 2) эвтектический (углерода 4,3%);
- 3) заэвтектический (углерода более 4,3%).

Область BCE состоит из кристаллов аустенита и жидкого сплава. Обе фазы переменного состава в зависимости от температуры.

Область DCF состоит из первичного цементита и жидкого сплава.

Линия GSEF – начинается процесс вторичной кристаллизации за счет аустенита, т.е. процесс кристаллизации из твердого раствора.

Линия ECF при 1147 °C происходит образование ледебурита.

Линия SE показывает выделение вторичного цементита из аустенита.

Точка S (содержание углерода 0,8% и температура 723°C) называется эвтектоидной. В точке S при содержании 0,8% С и при температуре 723°C весь аустенит распадается и одновременно кристаллизуется тонкая механическая смесь феррита и цементита - перлит.

Эта точка соответствует сталям, и в соответствии с точкой S стали делятся на 3 вида:

- 1) доэвтектоидная (углерода менее 0,8%);
- 2) эвтектоидная (углерода 0,8%);
- 3) заэвтектоидная (углерода более 0,8%).

Линия PSK при 727 °C соответствует окончательному распаду аустенита и образованию перлита. В области ниже линии PSK никаких изменений структуры не происходит.

Порядок выполнения работы:

1 Зарисовать диаграмму.

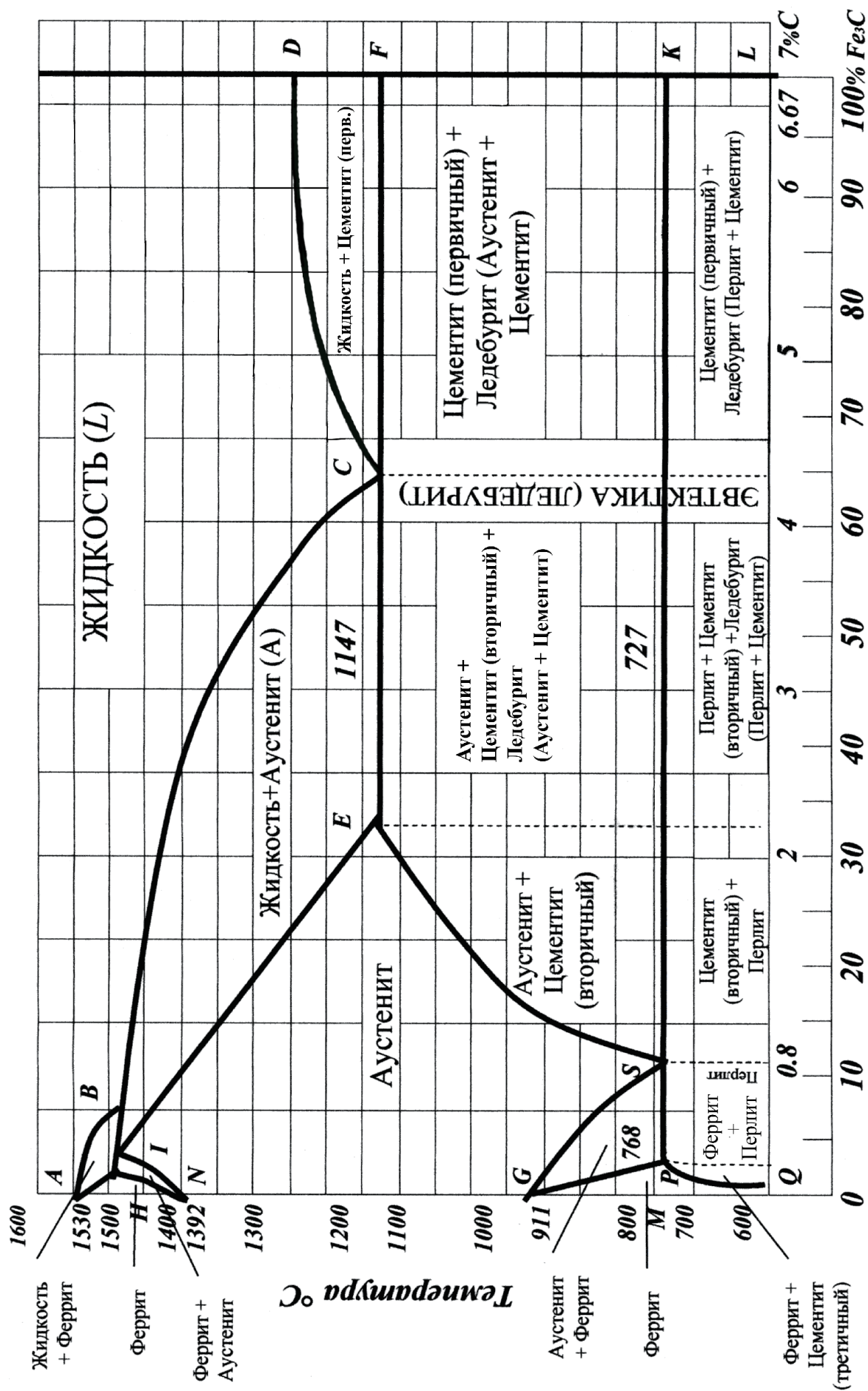
2 Законспектировать теоретические основы.

3 Ответить на вопросы, характеризующие основные области диаграммы:

- необходимость использования диаграммы железо-углерод;
- фазы в системе железо-углерод;
- структурные составляющие системы железо-углерод;
- основные линии, изображенные на диаграмме;
- основные точки (С и S), обозначенные на диаграмме.

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе.



Тема 2.1.
Технология получения чугуна

Практическое занятие № 2

Анализ технологического процесса производства чугуна

Цель:

- 1) ознакомиться с исходными материалами для производства чугуна, изучить процесс получения чугуна в доменной печи;
- 2) привить умения и навыки самостоятельной работы с учебником и дополнительной литературой.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- У1 подбирать технологическое оборудование для ремонта и эксплуатации электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем, определять оптимальные варианты его использования;
- У2 эффективно использовать материалы и оборудование;
- У3 принимать и реализовывать управленческие решения;
- У4 составлять планы размещения оборудования и осуществлять организацию рабочих мест;
- У5 распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте;
- У6 анализировать задачу и/или проблему и выделять её составные части;
- У7 определять этапы решения задачи;
- У8 выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы;
- У9 определить необходимые ресурсы;
- У10 владеть актуальными методами работы в профессиональной и смежных сферах;
- У11 реализовать составленный план;
- У12 оценивать результат и последствия своих действий (самостоятельно или с помощью наставника)
- У13 определять задачи для поиска информации;
- У14 определять необходимые источники информации;
- У15 организовывать работу коллектива и команды;
- У16 взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами в ходе профессиональной деятельности
- У17 грамотно излагать свои мысли и оформлять документы по профессиональной тематике на государственном языке, проявлять толерантность в рабочем коллективе;
- У18 описывать значимость своей специальности

Материальное обеспечение:

индивидуальный раздаточный материал на данную тему

Задание:

1. Изучить основные стадии производства чугуна.
2. Ответить на вопросы, характеризующие особенности производства чугуна.

Краткие теоретические сведения:

Чугун - это сплав железа с углеродом, где содержание углерода свыше 2,14%. Его состав может кроме них включать марганцевые, фосфорные, кремниевые, серные и др. компоненты. Изначально материалами для производства чугуна служат железосодержащие руды, топливные материалы, флюсы. Как правило, в виде сырья для производств чугуна применяются железняки, имеющие в составе от 30 до 70% железа и прочих химических веществ в пустой породе, а также вредных серо- и фосфоросодержащих соединений. Топливным материалом для производства чугуна служит кокс, представляющий собой результат сухой, то есть без участия воздуха, переработки каменного коксугля. Применяемые флюсы, чаще всего это кварц, доломит, песчаники и известняки, позволяют снизить температуру расплавления пустой породы, а также привести ее вместе с золой от топлива к шлаку.

Наибольшее применение нашел в производстве чугуна доменный процесс. Он включает ряд физических, физико-химических, а также механических проявлений, наблюдаемых в действующей доменной печи. Помещенные в эту печь исходные компоненты (кокс, железосодержащие материалы с флюсами) при прохождении всех операций преобразуются в сплав чугуна, выделяющиеся доменные газы со шлаками. Задача доменного производства чугуна – создание этого сплава из железосодержащих компонентов посредством их переплавления в доменных печах в очень высокой температуре.

Поэтому доменный цех – один из важнейших в структуре завода по производству чугуна. Помимо этого производство чугуна в доменной печи – основа для изготовления стали, прокатных изделий – конечной продукции металлургического цикла других предприятий. Часть чугуна является товарным продуктом, поставляемым в твердом виде в форме небольших слитков (чушек). Их получают на разливочных машинах, установленных в стороне от доменного цеха в специальном разливочном отделении. Другая часть чугуна идет на производство сталей. Газ, получаемый в ходе процесса производства чугуна, используют в мартеновском и коксохимическом производствах в металлургии. Он служит основным топливом нагревательных устройств прокатных цехов, доменных воздухонагревателей.

Чугун выплавляется в печах, куда помещаются, чередуясь слоями, железосодержащие компоненты с флюсами, топливом. От воздействия своей массы они спускаются в низ печи, куда в особые отверстия подается подогретый воздух под определенным давлением. Он поддерживает нужные условия горения загруженного кокса. Технологический процесс производства чугуна предполагает восстановление железа, а также других элементов из их окислов. В процессе восстановления кислород отнимают от окислов и получают из них компоненты или окислы меньшего содержания кислорода.

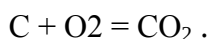
Физико-химические процессы в доменной печи

В доменной печи одновременно происходят следующие процессы:

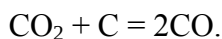
- 1) горение углерода топлива и образование восстановителей;
- 2) разложение компонентов шихты;
- 3) восстановление окислов;
- 4) науглероживание железа и образование чугуна;
- 5) образование шлака.

Горение топлива и образование восстановителей

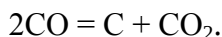
Горение углерода топлива происходит в нижней части печи при взаимодействии воздуха при температуре 1000-1300 °С с коксом:



Образующийся углекислый газ поднимается к раскаленному коксу и взаимодействует с ним по реакции с образованием восстановителя CO:



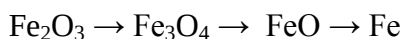
Восстановитель CO в присутствии железа разлагается по реакции с образованием атомарного сажистого восстановителя C:



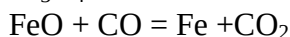
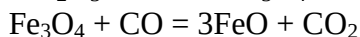
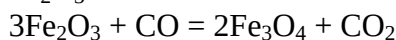
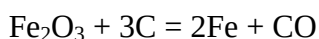
Восстановление окислов железа

Главная задача доменного процесса – восстановление железа из его оксидов. Основную роль в восстановлении железа играют окись углерода и атомарный сажистый углерод, которые образуются в результате доменного процесса.

Восстановление окислов железа идет в следующей последовательности:



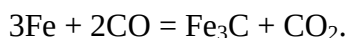
Основными реакциями восстановления являются следующие:



В восстановлении железа также участвует водород, который образуется из воды, которая содержится в шихте.

Науглероживание железа

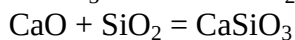
Науглероживание железа происходит за счет взаимодействия твердого губчатого железа с углеродом:



Сплав железа с углеродом имеет температуру плавления ниже, чем у чистого железа. В результате этого образуются капли жидкого чугуна, которые стекают на дно горна (лещадь) через слой раскаленного кокса, насыщаясь при этом углеродом.

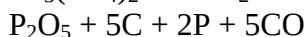
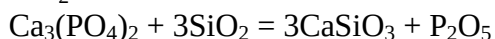
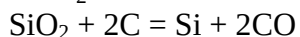
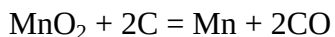
Образование доменного шлака

Основными реакциями образования шлака являются следующие:



Побочные реакции восстановления примесей

В результате побочных реакций происходит восстановление примесных элементов – марганца, кремния и фосфора:



Таким образом, в доменной печи мы получаем своего рода загрязненное примесями железо, то есть чугун, который содержит в больших количествах свободный углерод, а также примесные элементы — марганец, кремний и фосфор.

Доменный чугун

Типичный химический состав доменного первичного чугуна:

Железо (Fe) = 93,5-95,0%
Кремний (Si) = 0,30-0,90%
Сера (S) = 0,025-0,050%
Марганец (Mn) = 0,55-0,75%
Фосфор (P) = 0,03-0,09%
Титан (Ti) = 0,02-0,06%
Углерод (C) = 4,1-4,4%

Из доменного первичного чугуна выплавляют сталь. Процесс выплавки стали, грубо говоря, заключается в снижении в железе содержания углерода и очистке его от чрезмерного содержания марганца, кремния, фосфора и других примесей.

Порядок выполнения работы:

- 1 Зарисовать диаграмму.
- 2 Законспектировать теоретические основы.
- 3 Заполнить схему «Исходные материалы для производства чугуна».
- 4 Ответить на вопросы, характеризующие особенности производства чугуна:
 - понятие чугун;
 - основные реакции в доменной печи.

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе.

Тема 2.2 Сущность получения Кокса

Практическое занятие № 3

Составление технологической схемы производства кокса

Цель:

- 1) ознакомиться с исходными материалами для производства кокса, изучить процесс коксования;
- 2) привить умения и навыки самостоятельной работы с учебником и дополнительной литературой.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- У1 подбирать технологическое оборудование для ремонта и эксплуатации электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем, определять оптимальные варианты его использования;
- У2 эффективно использовать материалы и оборудование;
- У3 принимать и реализовывать управленческие решения;
- У4 составлять планы размещения оборудования и осуществлять организацию рабочих мест;
- У5 распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте;
- У6 анализировать задачу и/или проблему и выделять её составные части;
- У7 определять этапы решения задачи;
- У8 выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы;
- У9 определить необходимые ресурсы;
- У10 владеть актуальными методами работы в профессиональной и смежных сферах;
- У11 реализовать составленный план;
- У12 оценивать результат и последствия своих действий (самостоятельно или с помощью наставника)
- У13 определять задачи для поиска информации;
- У14 определять необходимые источники информации;
- У15 организовывать работу коллектива и команды;
- У16 взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами в ходе профессиональной деятельности
- У17 грамотно излагать свои мысли и оформлять документы по профессиональной тематике на государственном языке, проявлять толерантность в рабочем коллективе;
- У18 описывать значимость своей специальности

Материальное обеспечение:

индивидуальный раздаточный материал на данную тему

Задание:

1. Изучить основные стадии производства кокса.
2. Ответить на вопросы, характеризующие особенности производства чугуна.

Краткие теоретические сведения:

Коксование осуществляется в высокопроизводительных коксовых печах, обогреваемых низкокалорийным (доменным) или высококалорийным (коксовым) газом. На рис. 1 представлена одна из существующих схем производства кокса.



Рис. 1 – Технологическая схема производства кокса

Для получения кокса изначально используют смесь углей разных составов. Смешивание углей осуществляется непосредственно на коксовой установке и сопровождается значительным пылением.

Подготовленную угольную смесь перед загрузкой в печную камеру обычно подогревают до температуры около 200 °С, чтобы снизить в углях содержание влаги до 6–10%. Предварительный нагрев, способствующий также повышению стабильности кокса, осуществляется в камерах сгорания.

Коксование углей протекает в несколько стадий. При нагревании до 300 °С выделяется небольшое количество легкой смолы, образующейся при расщеплении кислородных соединений, входящих в состав угля. Приблизительно при 350 °С уголь размягчается, переходя в тестообразное, пластическое состояние. В расплаве происходит интенсивное разложение угля с выделением так называемых первичных продуктов (первичного газа и первичного дегтя), имеющих сложный состав.

Тяжелые углеродистые остатки от разложения угля спекаются при температуре около 500 °С, образуется твердый пористый продукт полукокс. После охлаждения и конденсации из летучих продуктов, выделяют полукоксовую, или низкотемпературную, смолу и газообразные продукты полукоксовый газ.

Полукокс находит широкое применение. В частности, он является высокоэффективным бытовым и энергетическим топливом, так как горит практически бездымно и не образует смол при нагревании, как многие угли. Кроме того, он обладает большой реакционной способностью при взаимодействии с кислородом.

Полукокс используется также в процессах газификации и при производстве ферросплавов. В последнее время полукокс применяется в качестве промежуточного продукта при производстве формованного металлургического кокса. Буроугольный полукокс можно использовать в шихтах для коксования. Значительный эффект достигается при вдувании измельченного полукокса в доменную печь, где он играет роль топлива, а также химического реагента. Это позволяет сэкономить значительное количество доменного кокса из дорогих и дефицитных спекающихся углей.

Полукоксовый газ в основном используется на нагрев топлива и другие нужды на самом предприятии, где проводится коксование. Избыток полукоксового газа может быть использован как бытовое топливо, а также для органического синтеза.

Полукоксовые смолы, в принципе, могут быть сырьем для получения моторных топлив, фенолов, парафинов, углеводородов ароматического ряда, в частности бензолов, гомологов нафталина и др.

При дальнейшем нагревании полукоксы теряют остаточные летучие вещества, главным образом водород, и претерпевают усадку, вызывающую его растрескивание. При температуре от 650 до 800 °С полукоксы переходят в кокс среднетемпературного коксования. Выше 950 °С полукоксы полностью превращаются в кокс.

Первичные продукты разложения, соприкасаясь с раскаленными стенками и сводом печи, а также с коксом, подвергаются пиролизу и превращаются во вторичные продукты. В составе газа преобладающими становятся H_2 (50% об.) и CH_4 (25% об.). Вторичные продукты улавливаются и используются как ценное сырье для химической промышленности.

Образование коксового пирога продолжается 14 - 16 ч. За это время угольная масса проходит постепенно все стадии коксования. Процесс идет от наружной стенки камеры к ее центру. Сначала прогревается уголь, расположенный около стенок камеры, он быстро спекается и превращается в кокс. Средние слои шихты превращаются в кокс значительно позднее. Только через 8 - 9 ч размягчение и коксование угля, начавшиеся у стенок камеры, достигают середины угольного слоя. Поскольку процесс коксования направлен к центру с двух сторон - от стенок, то примерно по осевой линии происходит разрывание коксового пирога по смоляной линии - шву. Кроме образования вертикальной центральной трещины в результате выделения газов, коксовый пирог разрывается рядом горизонтальных трещин. Он претерпевает значительную усадку, отходит от стенок.

Технологический процесс производства кокса заканчивается выдачей его из печей с температурой 950 - 1100 °С. Чтобы предотвратить горение раскаленного кокса после выгрузки из печи, а также сделать кокс пригодным для транспортировки и хранения, необходимо снизить его температуру до 250 100 °С, при которой исключается самовозгорание и тление, т. е. кокс необходимо «потушить».

При мокром тушении кокс орошают водой в тушильной башне. Часть (10-15%) воды, идущей на тушение, испаряется, часть остается в коксе. При этом его влажность увеличивается в среднем до 3-5%, а все тепло кокса, поглощенное водой, теряется полностью. Большая же часть воды входит в оборотный цикл. Вода оборотного цикла загрязняется коксовой мелочью и поступает для осветления в специальные отстойники. После отстоя вода снова используется для тушения кокса. Коксовый шлам периодически удаляют из отстойников.

Основным недостатком мокрого тушения является потеря тепла почти половина его теряется с парами воды. При мокром тушении в кусках возникают тепловые напряжения, приводящие к образованию трещин и разрушению кокса. При последующем использовании в доменной печи этот кокс подвергается еще большему дроблению. В результате кокс поступает в зону фурм домны с большим содержанием мелочи. Это приводит к ухудшению ее работы в результате засорения труб, отводящих газы, коксовой мелочью, уносимой вместе с газовым потоком.

Сухое тушение кокса. Метод основан на охлаждении раскаленного кокса циркулирующими газами с последующим использованием тепла в котельной установке.

Преимуществами данного метода по сравнению с мокрым тушением являются:

- отсутствие выбросов паров воды в атмосферу и сбросов сточных вод тушильной башни;
 - выдача потребителю сухого кокса с минимальной влажностью;
 - получение кокса, более однородного по крупности;
 - улучшение качества кокса, так как в этом случае он не подвергается разрушению из-за резкого охлаждения (расход этого кокса в доменном производстве на 2-3% ниже, чем кокса мокрого тушения);
 - отсутствие коррозии металлоконструкций от паров мокрого тушения и др.
- Основным недостатком является сильное пыление.

Порядок выполнения работы:

1 Зарисовать схему.

2 Законспектировать теоретические основы.

3 Ответить на вопросы, характеризующие особенности производства чугуна:

- продукты коксования углей;
- стадии образования коксового пирога;
- способы тушения кокса.

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе.

Тема 2.3 Технология получения стали

Практическое занятие № 4

Сравнительная характеристика основных способов производства стали

Цель:

- 1) ознакомиться с исходными материалами для производства стали;
- 2) привить умения и навыки самостоятельной работы с учебником и дополнительной литературой.

Выполнив работу, Вы будете:**уметь:**

- У1 подбирать технологическое оборудование для ремонта и эксплуатации электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем, определять оптимальные варианты его использования;
- У2 эффективно использовать материалы и оборудование;
- У3 принимать и реализовывать управленческие решения;
- У4 составлять планы размещения оборудования и осуществлять организацию рабочих мест;
- У5 распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте;
- У6 анализировать задачу и/или проблему и выделять её составные части;
- У7 определять этапы решения задачи;
- У8 выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы;
- У9 определить необходимые ресурсы;
- У10 владеть актуальными методами работы в профессиональной и смежных сферах;
- У11 реализовать составленный план;
- У12 оценивать результат и последствия своих действий (самостоятельно или с помощью наставника)
- У13 определять задачи для поиска информации;
- У14 определять необходимые источники информации;
- У15 организовывать работу коллектива и команды;
- У16 взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами в ходе профессиональной деятельности
- У17 грамотно излагать свои мысли и оформлять документы по профессиональной тематике на государственном языке, проявлять толерантность в рабочем коллективе;
- У18 описывать значимость своей специальности

Материальное обеспечение:

индивидуальный раздаточный материал на данную тему

Задание:

1. Изучить основные стадии производства стали.
2. Ответить на вопросы, характеризующие особенности производства стали.

Краткие теоретические сведения:

Стали - железоуглеродистые сплавы, содержащие практически до 2,14 % углерода, при большем его содержании значительно увеличиваются твёрдость и хрупкость сталей и они не

находят широкого применения. Основными исходными материалами для производства стали являются перекрученный чугун и стальной лом.

Способы выплавки стали.

Чугун переделывается в сталь в различных по принципу действия металлургических агрегатах: мартеновских печах, кислородных конвертерах, электрических печах.

Производство стали в мартеновских печах.

Мартеновский процесс (1864-1865, Франция). В период до семидесятых 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.

Продолжительность плавки составляет 3...6 часов, для крупных печей - до 12 часов. Печи работают непрерывно, до остановки на капитальный ремонт - 400...600 плавов. В зависимости от состава шихты, используемой при плавке, различают разновидности мартеновского процесса:

- скрап-процесс, при котором шихта состоит из стального лома (скрапа) и 25...45 % чушкового перекрученного чугуна, процесс применяют на заводах, где нет доменных печей, но много металлолома.

- скрап-рудный процесс, при котором шихта состоит из жидкого чугуна (55...75 %), скрапа и железной руды, процесс применяют на металлургических заводах, имеющих доменные печи.

Футеровка печи может быть основной и кислой.

В основных мартеновских печах выплавляют стали углеродистые конструкционные, низко- и среднелегированные (марганцовистые, хромистые), кроме высоколегированных сталей и сплавов, которые получают в плавильных электропечах. В кислых мартеновских печах выплавляют качественные стали. Применяют шихту с низким содержанием серы и фосфора. Сталь содержит меньше водорода и кислорода, неметаллических включений. Следовательно, кислая сталь имеет более высокие механические свойства, особенно ударную вязкость и пластичность, их используют для особо ответственных деталей: коленчатых валов крупных двигателей, роторов мощных турбин, шарикоподшипников.

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. В настоящее время способ является основным в массовом производстве стали. Кислородный конвертер - сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный основным кирпичом. Вместимость конвертера - 130-350 т жидкого чугуна. В процессе работы конвертер может поворачиваться на 360° для загрузки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака. Шихтовыми материалами кислородно-конвертерного процесса являются жидкий перекрученный чугун, стальной лом (не более 30%), известь для наведения шлака, железная руда, а также боксит и плавиковый шпат для разжижения шлака.

После очередной плавки стали выпускное отверстие заделывают огнеупорной массой и осматривают футеровку, ремонтируют. В кислородных конвертерах выплавляют стали с различным содержанием углерода, кипящие и спокойные, а также низколегированные стали. Легирующие элементы в расплавленном виде вводят в ковш перед выпуском в него стали. Плавка в конвертерах вместимостью 130-300 т заканчивается через 25-30 минут.

Производство стали в электропечах.

Плавильные электропечи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами: легко регулировать тепловой процесс, изменяя параметры тока, получать высокую температуру металла, а так же раскислять металл с образованием минимального

количества неметаллических включений. Электropечи используют для выплавки конструкционных, высоколегированных, инструментальных, специальных сплавов и сталей. Различают дуговые и индукционные электropечи.

Дуговая плавильная печь.

Дуговая печь питается трёхфазным переменным током. Имеет три цилиндрических электрода из графитизированной массы, закреплённых в электрододержателях, к которым подводится электрический ток по кабелям. Между электродом и металлической шихтой возникает электрическая дуга. Корпус печи имеет форму цилиндра. Вместимость печей составляет 0,5-400 тонн. В металлургических цехах используют электropечи с основной футеровкой, а в литейных - с кислой. В основной дуговой печи осуществляется плавка двух видов: на шихте из легированных отходов (методом переплава) и на углеродистой шихте (с окислением примесей).

Плавку на шихте из легированных отходов ведут без окисления примесей. После расплавления шихты из металла удаляют серу, при необходимости науглероживают и доводят металл до заданного химического состава. Проводят диффузионное раскисление, подавая на шлак измельченные алюминий, молотый кокс. Так выплавляют легированные стали из отходов машиностроительных заводов. Плавку на углеродистой шихте применяют для производства конструкционных сталей. В печь загружают шихту: стальной лом, чушковый передельный чугун, электродный бой или кокс, для науглероживания металлов и известь. Опускают электроды, включают ток. Шихта под действием электродов плавится, металл накапливается в подине печи.

Во время плавления шихты кислородом воздуха, оксидами шихты и окислами окисляются железо, кремний, фосфор, марганец, частично, углерод. Оксид кальция из извести, и оксид железа образуют основной железистый шлак, способствующий удалению фосфора из металла. После нагрева до 1500-1540 °C загружают руду и известь, проводят период «кипения» металла, происходит, а после удаляют шлак. Затем приступают к удалению серы и раскислению металла заданного химического состава. Конечное раскисление проводят алюминием, выпускают сталь в ковш. При выплавке легированных сталей в дуговых печах в сталь вводят легирующие элементы в виде ферросплавов. В дуговых печах выплавляют высококачественные углеродистые стали - конструкционные, инструментальные, жаростойкие и жаропрочные.

Индукционные тигельные плавильные печи.

Выплавляют наиболее качественные коррозионно-стойкие, жаропрочные и другие стали и сплавы. Вместимость от десятков килограммов до 30 тонн. Печь состоит из водоохлаждаемого индуктора, внутри которого находится тигель (основные или кислые огнеупорные материалы) с металлической шихтой, через индуктор от генератора высокой частоты проходит однофазный переменный ток повышенной частоты (500-2000 Гц). Под действием электромагнитного поля индуктора при плавке происходит интенсивная циркуляция жидкого металла, что способствует ускорению химических реакций, получению однородного по химическому составу металла, быстрому всплыванию неметаллических включений, выравниванию температуры. В индукционных печах выплавляют сталь и сплавы из легированных отходов методом переплава, или из чистого шихтового железа и скрапа с добавкой ферросплавов методом сплавления. После расплавления шихты на поверхность металла загружают шлаковую смесь для уменьшения тепловых потерь металла и уменьшения угара легирующих элементов, защиты его от насыщения газами. При плавке в кислых печах, после расплавления и удаления плавильного шлака, наводят шлак из боя стекла. Для окончательного раскисления перед выпуском металла в ковш вводят ферросилиций, ферромарганец и алюминий. В основных печах раскисление проводят смесью из порошкообразной извести, кокса, ферросилиция, ферромарганца и алюминия.

В основных печах выплавляют высококачественные легированные стали с высоким содержанием марганца, титана, никеля, алюминия, а в печах с кислой футеровкой - конструкционные, легированные другими элементами стали. В печах можно получать стали

с незначительным содержанием углерода и безуглеродистые сплавы, так как нет науглероживающей среды. При вакуумной индукционной плавке индуктор, тигель, дозатор шихты и изложницы, помещают в вакуумные камеры. Получают сплавы высокого качества с малым содержанием газов, неметаллических включений и сплавы, легированные любыми элементами.

Порядок выполнения работы:

- 1 Законспектировать теоретические основы.
- 2 Отрастить в виде таблицы краткую характеристику и особенности каждого способа производства стали.
- 3 Ответить на вопросы, характеризующие особенности производства стали.

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе.

Тема 2.1 Технология получения чугуна

Лабораторное занятие № 1

Оценка прочностных характеристик сырых и обожженных окатышей

Цель:

- 1) ознакомиться с технологией производства окатышей и оценкой их прочностных характеристик;
- 2) привить умения и навыки самостоятельной работы с учебником и дополнительной литературой.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- У1 подбирать технологическое оборудование для ремонта и эксплуатации электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем, определять оптимальные варианты его использования;
- У2 эффективно использовать материалы и оборудование;
- У3 принимать и реализовывать управленческие решения;
- У4 составлять планы размещения оборудования и осуществлять организацию рабочих мест;
- У5 распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте;
- У6 анализировать задачу и/или проблему и выделять её составные части;
- У7 определять этапы решения задачи;
- У8 выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы;
- У9 определить необходимые ресурсы;
- У10 владеть актуальными методами работы в профессиональной и смежных сферах;
- У11 реализовать составленный план;
- У12 оценивать результат и последствия своих действий (самостоятельно или с помощью наставника)
- У13 определять задачи для поиска информации;
- У14 определять необходимые источники информации;
- У15 организовывать работу коллектива и команды;
- У16 взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами в ходе профессиональной деятельности
- У17 грамотно излагать свои мысли и оформлять документы по профессиональной тематике на государственном языке, проявлять толерантность в рабочем коллективе;
- У18 описывать значимость своей специальности

Материальное обеспечение:

индивидуальный раздаточный материал на данную тему

Задание:

1. Изучить основы технологии производства окатышей.
2. Ответить на вопросы, характеризующие особенности производства стали.

Краткие теоретические сведения:

При подготовке железных руд для глубокого обогащения получают концентраты с размером частиц менее 0,1 мм, использование которых в доменной плавке практически невозможно из-за плохой газопроницаемости. Производство окатышей является одним из

основных способов окатывания, который заключается в изготовлении из увлажненных тонкоизмельченных концентратов шариков диаметром 10-25 мм с последующей их сушкой и обжигом при температуре 1250-1350 °С, в процессе которого они приобретают высокую механическую прочность.

Получение сырых окатышей включает в себя следующие операции:

- 1 дозирование компонентов шихты для обеспечения заданного химического состава;
- 2 перемешивание шихты с целью получения однородной смеси;
- 3 увлажнение шихты и окатывание ее в гранулы во вращающемся тарельчатом или барабанном окомкователе;
- 4 выдача сырых окатышей диаметром 10-25 мм и транспортировка их к обжиговым машинам.

Производят два вида окатышей – неофлюсованные и офлюсованные. В состав шихты при производстве неофлюсованных окатышей входят концентрат, возврат и бентонит; офлюсованных – те же компоненты плюс известняк. Все эти материалы имеют крупность менее 0,1 мм. Известняк вводят в шихту для полного или частичного вывода из доменной шихты сырого известняка. Бентонит (тонкодисперсная глина) вводят в шихту в небольших количествах (0,5-1,0%) с целью улучшения условий формирования окатышей в грануляторах за счет повышения пластических свойств окомковываемой шихты.

После перемешивания шихты (в барабанных или шнековых смесителях) производят ее окатывание совместно с увлажнением (в тарельчатых и барабанных окомкователях). Увлажнение шихты способствует слипанию тонкоизмельченных частиц материалов, а при перемешивании увлажненной шихты происходит формирование окатыша за счет накатывания на первичные «зародыши» новых слоев шихты.

Сырые окатыши должны обладать прочностью, обеспечивающей их целостность при транспортировке и загрузке на обжиговую машину.

Прочность окатышей определяют по результатам лабораторных испытаний на раздавливание и сопротивление удару. За прочность на раздавливание принимают среднюю вертикальную нагрузку на один окатыш в килограммах (ньютонх), при которой в окатыше появляется трещина.

За сопротивление удару принимают количество сбрасываний окатыша с высоты 300 мм на стальную плиту до появления в нем трещины. Кондиционные сырые окатыши выдерживают нагрузку 13-15 Н/окатыш и более 10 сбрасываний без образования трещин. Обжиг окатышей производят обычно на конвейерных ленточных машинах типа агломерационной. В ленточных машинах в соответствии с технологическим режимом обжига существует пять зон: сушки, подогрева, обжига, рекуперации, охлаждения.

Окатыши обжигают горячим газом-теплоносителем, просасываемым через их слой сверху вниз мощными дымососами. Газ-теплоноситель получают сжиганием в горне над слоем окатышей газообразного или жидкого топлива. Необходимые температуры над слоем в зонах сушки 300-400 °С, подогрева 900-1100 °С, обжига 1250-1350 °С создают сжиганием топлива с избытком воздуха. В зоне охлаждения атмосферный воздух продувают снизу вверх. Нагретый воздух из зоны охлаждения, а также продукты горения, отсасываемые из зон подогрева, обжига, рекуперации используют для сжигания топлива в горне машины. Зона рекуперации служит для выравнивания температуры окатышей по высоте слоя. Это достигается тем, что в ней через слой окатышей просасывается горячий воздух из зоны охлаждения. В связи с тем, что температура его на 400-500 °С ниже температуры окатышей верхних горизонтов, он нагревается, охлаждая их, и переносит тепло в нижние горизонты слоя, нагревая находящиеся там окатыши. Охлажденные окатыши подвергаются грохочению для выделения из них товарных (годных) окатышей, постели и возврата (класс 0-5 мм). Окатыши, предназначенные для постели, загружают на колосники и к бортам обжиговых тележек перед загрузкой на них слоя сырых окатышей. Донная и бортовая постели предназначены для предохранения обжиговых тележек от воздействия высоких температур.

Возврат – продукт разрушения окатышей, который добавляют (возвращают) в шихту или отправляют на аглофабрику. Окатыши должны иметь максимальное содержание железа, высокую механическую прочность (в сыром и обожженном состояниях, а также при восстановлении в доменной печи), минимальные содержание вредных примесей и мелочи, оптимальную основность и ситовый состав.

На прочностные свойства окатышей влияет ряд технологических факторов. Из них основным является температура обжига, которая в значительной степени интенсифицирует процесс спекания, благоприятно влияя на свойства расплава, образующегося при обжиге. Температурная зависимость прочности имеет экстремальный характер. При превышении температурного оптимума (не одинакового для различных окатышей) наблюдается некоторое снижение прочности. Причинами этого явления считают диссоциацию гематита с образованием неоднородной структуры окатышей, а также образование чрезмерного количества расплава.

Определенную роль в упрочнении играет и время пребывания окатышей при температуре обжига. Наиболее интенсивно упрочнение протекает в первые 5—20 мин. Затем этот процесс замедляется и возможно даже некоторое снижение прочности окатышей, что объясняется рекристаллизацией зерен оксидов железа, приводящей к уменьшению протяженности межзеренных границ.

Воздействие на прочностные свойства окатышей оказывает и скорость охлаждения. При высоких скоростях охлаждения (более 100-150 °С/мин) прочность окатышей снижается, что обусловлено развитием термических напряжений.

Порядок выполнения работы:

- 1 Законспектировать теоретические основы.
- 2 Отрастить в виде перечня факторы, влияющие на прочностные характеристики окатышей.
- 3 Ответить на вопросы, характеризующие особенности производства стали.

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе.

Тема 2.3 Технология получения стали

Лабораторное занятие № 2

Определение количества агломерационной шихты и основных показателей аглопроцесса

Цель:

- 1) изучение основных закономерностей агломерационного процесса;
- 2) усвоение студентами методики расчета агломерационной шихты и основных показателей аглопроцесса.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- У1 подбирать технологическое оборудование для ремонта и эксплуатации электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем, определять оптимальные варианты его использования;
- У2 эффективно использовать материалы и оборудование;
- У3 принимать и реализовывать управленческие решения;
- У4 составлять планы размещения оборудования и осуществлять организацию рабочих мест;
- У5 распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте;
- У6 анализировать задачу и/или проблему и выделять её составные части;
- У7 определять этапы решения задачи;
- У8 выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы;
- У9 определить необходимые ресурсы;
- У10 владеть актуальными методами работы в профессиональной и смежных сферах;
- У11 реализовать составленный план;
- У12 оценивать результат и последствия своих действий (самостоятельно или с помощью наставника)
- У13 определять задачи для поиска информации;
- У14 определять необходимые источники информации;
- У15 организовывать работу коллектива и команды;
- У16 взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами в ходе профессиональной деятельности
- У17 грамотно излагать свои мысли и оформлять документы по профессиональной тематике на государственном языке, проявлять толерантность в рабочем коллективе;
- У18 описывать значимость своей специальности

Материальное обеспечение:

индивидуальный раздаточный материал на данную тему

Задание:

1. Изучить основные закономерности агломерационного процесса.
2. Ответить на вопросы, характеризующие особенности агломерационного процесса.

Краткие теоретические сведения:

Высокое содержание железа в железорудном сырье доменной плавки является основой высоких технико-экономических показателей работа доменных печей: большой производительности при низком удельном расходе кокса. Увеличение содержания железа в

железородном сырье доменной плавки достигается путем его обогащения. Эффективность обогащения (содержание железа в концентрате, извлечение железа в концентрат) повышается с увеличением степени измельчения обогащаемой руды. Полученные в результате обогащения тонкие концентраты, а также мелкие руды не могут непосредственно проплавляться в доменной печи вследствие низкой газопроницаемости и большого выноса их из печи в виде пыли. Поэтому перед использованием в доменной плавке тонкоизмельченные концентраты и рудную мелочь окусковывают, то есть получают из них железородное сырье с размерами кусков, обеспечивающих нормальное течение доменного процесса. Одним из наиболее распространенных способов окускования железородных материалов является агломерация. Агломерацией называется процесс окускования мелких руд и тонких концентратов путем их расплавления с последующей кристаллизацией расплава в прочный пористый сросток – агломерат. Агломерацию осуществляют прососом воздуха через слой горячей шихты, представляющей собой тщательно перемешанную, увлажненную до оптимальных пределов и окомкованную смесь разнородных по химическому составу и крупности материалов. В агломерационной шихте используют руду крупностью 0-8 мм, возврат 0-10 мм, коксик 0-3 мм, флюс (известняк, доломитизированный известняк, обожженный известняк) 0-3 мм, концентрат 0-0,1 мм и добавки других мелких материалов – отходов металлургических производств (колошниковая пыль, окалина, пиритные огарки, шламы и др.) с целью утилизации содержащихся в них железа и углерода. Флюс вводят в шихту в количествах, обеспечивающих полный или частичный вывод из шихты доменных печей сырого известняка. Агломерат в этом случае называют офлюсованным. Агломерат, полученный из шихт без добавки известняка, называют неофлюсованным.

Возвратом называют оборотный продукт агломерационного производства, представляющий собой плохо спеченный, мелкий, непрочный с повышенным содержанием серы, углерода и с пониженным закиси железа агломерат. Агломерационная шихта приблизительно содержит железородных материалов 60-70, возврата 15-40, коксика 4-9, флюса 6-12 и не более 5-10 % отходов металлургических производств.

Производство агломерата включает в себя следующие операции:

1. Дозировка компонентов шихты в массовых соотношениях, обеспечивающих получение агломерата заданного химического состава.
2. Перемешивание шихты естественной влажности с целью получения агломерата более однородного качества.
3. Окомкование шихты, увлажненной до оптимального предела, обеспечивающего хорошую газопроницаемость вследствие образования мелких зерен, смоченных водой.
4. Загрузка шихты специальным питателем на колосниковую решетку спекательных тележек (паллет) агломерационной машины.
5. Зажигание с помощью зажигательного горна, работающего на газообразном и жидком топливе, коксика верхнего слоя шихты и протекание процесса агломерации.
6. Выдача (сбрасывание с рабочей ветви агломашины) аглоспека, его дробление и грохочение с целью выделения возврата, охлаждение и транспортировка в доменный цех.

Агломерационный процесс начинается с момента зажигания шихты и заканчивается с подходом зоны горения к колосниковой решетке. Спустя некоторое время после зажигания в спекаемом слое шихты можно выделить ряд зон, частично перекрывающих друг друга и расположенных в следующем порядке (сверху вниз):

- а) готового агломерата;
- б) горения топлива, в которой благодаря протеканию реакции горения углерода коксика ($C + O_2 = CO_2 + 394,5 \text{ МДж}$ и $2C + O_2 = 2CO + 222,5 \text{ МДж}$) достигаются температуры 1350-1550 °С и происходит образование расплава;
- в) подогрева (кроме подогрева протекают процессы диссоциации карбонатов и гидратов, окисления железа и серы и др.);
- г) сушки (испарения гигроскопической влаги);

д) переувлажнения, в которой содержание влаги на 20-30 % выше, чем в шихте, приготовленной к спеканию, вследствие конденсации водяных паров газового потока;

е) конденсации, в которой температура горячего газового потока при соприкосновении с холодной шихтой понижается ниже точки росы (5055 °С), вследствие чего происходит конденсация водяного пара, выносимого газовым потоком из зон подогрева (гидратная влага) и сушки (гигроскопическая влага). Перемещаясь вниз зона конденсация после себя оставляет зону переувлажнения, в которой конденсации водяных паров не происходит, так как газы в ней не охлаждаются ниже точки росы;

ж) шихты, не претерпевшей никаких, кроме усадки, изменений. Усадка аглошихты происходит под действием разности между атмосферным давлением воздуха над поверхностью спекаемого слоя и давлением отсасываемых продуктов горения в вакуум-камере, которая равна разрежению в вакуум-камере.

Эти зоны после их возникновения продвигаются в спекаемом слое по направлению к колосниковой решетке со скоростью спекания и исчезают в обратной последовательности, в результате чего на колосниковой решетке остается только агломерат. Скорость спекания определяет делением высоты загруженного на колосники слоя шихты в мм на время от начала спекания (момента зажигания) до его конца в минутах.

Таким образом, скорость процесса агломерации выражают величиной средней скорости перемещения зоны горения от поверхности слоя до колосников. Скорость спекания, в зависимости от конкретных условий, изменяется в широких пределах (от 10 до 40 мм/мин).

Образующиеся в зоне горения газообразные продукты, нагретые до 1350-1550 °С, проходя через нижележащую шихту, отдают ей свое тепло и благодаря совершенным условиям теплообмена (газ встречает огромную поверхность холодной шихты) выходят из-под колосниковой решетки длительное время с температурой 50-70 °С, обусловленной наличием зоны переувлажнения. Температура отсасываемых из-под колосниковой решетки газов начинает расти после исчезновения зоны переувлажнения. При подходе зоны горения к постели (так называют слой крупного возврата, загружаемый на колосники для предохранения их от непосредственного контакта с зоной горения, предотвращения припекания нижней части аглоспека к колосникам, сохранения живого сечения колосниковой решетки устранением забивания мелкими зернами шихты зазоров между колосниками, уменьшения запыленности газового потока, отсасываемого в вакуум-камеры) температура отсасываемого газа быстро поднимается до 400-600 °С, а затем падает. Момент начала падения температуры газа под колосниковой решеткой свидетельствует об исчезновении зоны горения и окончании процесса агломерации.

Расчет агломерационной шихты

Расчет агломерационной шихты заключается в определении расхода материалов, используемых в опыте, на основании задания, выдаваемого преподавателем. В задании указывается расход на опыт железорудной смеси и ее состав, а также задаются условия по основности шихты и содержанию в ней углерода. По этим исходным данным определяют расход на опыт железосодержащих материалов, известняка и коксика. Ниже представлен пример расчета.

Исходные данные:

- расход на опыт сухой железорудной смеси 1500 г;
- содержание в железорудной смеси руды 90% и возврата 10%;
- содержание углерода в шихте - 4%;
- основность по отношению $B = CaO/SiO_2 = 1,3$;
- химический состав материалов аглошихты приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Неполный химический состав материалов аглошихты

Материал	Влажность, %	Содержание, %				
		Fe	FeO	CaO	SiO ₂	C
Руда	4,5	57,8	23,4	4,2	7,3	-

Возврат	1,5	54,3	13,5	8,4	6,5	0,5
Известняк	1,0	0,3	-	52,1	1,2	-
Зола коксика	-	12,0	-	2,6	48,5	-
Коксик	16,0	-	-	Золы 13,8%		83,5

Расход сухих компонентов железорудной смеси составляет, г:

руды $1500 \cdot 90 / 100 = 1350$;

возврата $1500 \cdot 10 / 100 = 150$.

Ими вносятся в шихту, г:

CaO $1350 \cdot 4,2 / 100 + 150 \cdot 8,4 / 100 = 69,3$;

SiO₂ $1350 \cdot 7,3 / 100 + 150 \cdot 6,5 / 100 = 108,3$.

Для получения агломерационной шихты заданной основности необходимо, чтобы известняк внес в нее дополнительно CaO на офлюсование кремнезема рудной части шихты в количестве $108,3 \cdot 1,3 - 69,3 = 71,49$ г, где 108,3 и 69,3 - соответственно количества SiO₂ и CaO, вносимые железорудной смесью, г.

Расход известняка можно рассчитать, предварительно определив его флюсующую способность (Ф, %)

$\Phi = \text{CaO} - \text{В} \cdot \text{SiO}_2 = 52,1 - 1,2 \cdot 1,3 = 50,54$ %, где CaO = 52,1 и SiO₂ = 1,2 - содержания CaO и SiO₂ в известняке, %.

Расход известняка на офлюсование руды и возврата составит $71,49 \cdot 100 / 50,54 = 141,45$ г.

На офлюсование SiO₂ 1г коксика требуется известняка

$13,8 \cdot (48,5 \cdot 1,3 - 2,6) / (100 \cdot 50,54) = 0,163$ г, где 13,8 - содержание золы в коксике, %; 48,5 и 2,6 - содержание соответственно SiO₂ и CaO в золе коксовой мелочи, %.

Для определения расхода коксика составляется уравнение по заданному содержанию углерода в сухой шихте

$$\frac{83,5 \cdot K + 0,5 \cdot 150}{1500 + 141,45 + K + 0,165 \cdot K} = 4,0,$$

где 83,5 и 0,5 - содержание углерода соответственно в коксике и возврате, %; K - расход коксика; 4,0 - заданное содержание углерода в сухой шихте, %.

Решение этого уравнения относительно K дает расход сухого коксика равным 82,32 г.

На офлюсование SiO₂ золы коксика потребуется дополнительно известняка в количестве

$0,163 \cdot 82,32 = 13,41$ г.

Всего расход известняка составит $141,45 + 13,41 = 154,86$ г.

Для проверки правильности расчета по основности шихты составляется балансовая таблица 2.2, в ней же приведен расход влажных материалов.

Таблица 2.2 - Баланс аглошихты по основности и расход компонентов

Компонент	Масса, г		Компоненты вносят			
	сухого	влажного	CaO		SiO ₂	
			%	г	%	г
Руда	1350,0	1413,61	4,20	56,70	7,30	98,55
Возврат	150,0	152,28	8,40	12,60	6,50	9,75
Известняк	154,86	156,43	52,10	80,68	1,20	1,86
Коксик	82,32	98,00	-	-	-	-
Зола коксика	11,36	-	2,60	0,30	48,50	5,51
Итого шихта естеств. влажности	1737,18	1820,33		150,28		115,67

Расход влажного материала (P_в, г) по известному определяют по уравнению расхода сухого (P_с, г)

$$P_B = \frac{P_c}{100 - W} \cdot 100,$$

где W - влажность материала, %.

Количество компонента, вносимого материалом, определяют по сухой массе материала и содержанию в ней компонента.

По данным таблицы 2.2 основность шихты по отношению $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ составляет:
 $150,36/115,67 = 1,3$ т.е. равна заданной.

Проверку расчета по содержанию углерода в сухой шихте делают по количеству углерода, вносимого коксиком и возвратом. Эти материалы вносят углерода

$$82,33 \cdot \frac{83,5}{100} + 150 \cdot \frac{0,5}{100} = 69,5 \text{ г.}$$

Содержание углерода в сухой шихте составляет

$$\frac{69,5}{1737,36} \cdot 100 = 4,0 \%,$$

то есть равно заданному.

Таким образом, расход известняка и коксика определены правильно. Отклонение расчетных величин от заданных допускается в пределах $\pm 1,0 \%$ (относительный).

Порядок выполнения работы:

- 1 Законспектировать теоретические основы.
- 2 Отобразить расчеты агломерационной шихты.
- 3 Ответить на вопросы, характеризующие особенности агломерационного процесса.

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе.

Тема 2.3 Технология получения стали

Лабораторное занятие № 3

Анализ усадочных процессов при кристаллизации стали в изложницах

Цель:

- 1) изучение влияния различных технологических факторов на глубину усадочной раковины и выход годного металла;
- 2) привить умения и навыки самостоятельной работы с учебником и дополнительной литературой.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- У1 подбирать технологическое оборудование для ремонта и эксплуатации электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем, определять оптимальные варианты его использования;
- У2 эффективно использовать материалы и оборудование;
- У3 принимать и реализовывать управленческие решения;
- У4 составлять планы размещения оборудования и осуществлять организацию рабочих мест;
- У5 распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте;
- У6 анализировать задачу и/или проблему и выделять её составные части;
- У7 определять этапы решения задачи;
- У8 выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы;
- У9 определить необходимые ресурсы;
- У10 владеть актуальными методами работы в профессиональной и смежных сферах;
- У11 реализовать составленный план;
- У12 оценивать результат и последствия своих действий (самостоятельно или с помощью наставника)
- У13 определять задачи для поиска информации;
- У14 определять необходимые источники информации;
- У15 организовывать работу коллектива и команды;
- У16 взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами в ходе профессиональной деятельности
- У17 грамотно излагать свои мысли и оформлять документы по профессиональной тематике на государственном языке, проявлять толерантность в рабочем коллективе;
- У18 описывать значимость своей специальности

Материальное обеспечение:

индивидуальный раздаточный материал на данную тему

Задание:

1. Изучить основы основ кристаллизации слитков.
2. Ответить на вопросы, характеризующие факторы, влияющие на глубину усадочной раковины.

Краткие теоретические сведения:

По степени раскисления и характеру затвердевания стали классифицируют на спокойные, полуспокойные и кипящие.

Раскисление - процесс удаления из жидкого металла кислорода, проводимый для предотвращения хрупкого разрушения стали при горячей деформации.

Спокойные стали раскисляют марганцем, кремнием и алюминием. Они содержат мало кислорода и затвердевают спокойно, без газовыделения. Кипящие стали раскисляют только марганцем. Перед разливкой в них содержится повышенное количество кислорода, который при затвердевании, частично взаимодействуя с углеродом, удаляется в виде СО. Выделение пузырей СО создает впечатление кипения стали, с чем и связано ее название. Кипящие стали дешевы, их производят низкоуглеродистыми и практически без кремния ($Si < 0,07 \%$), но они содержат повышенное количество газообразных примесей.

Полуспокойные стали по степени раскисления занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими. Залитая в изложницу сталь отдает теплоту ее стенкам, поэтому затвердевание стали начинается у стенок изложницы. Толщина закристаллизовавшейся корки непрерывно увеличивается, при этом между жидкой сердцевиной слитка и твердой 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 кристаллов древовидной формы - дендритов. Размеры и форма дендритов зависит от условий кристаллизации. На строение стального слитка большое влияние оказывает степень раскисленности металла.

Спокойная сталь (рис.1,а,г) затвердевает без выделения газов, в верхней части слитка образуется усадочная раковина 1, а в средней - усадочная осевая рыхлость.

Для устранения усадочных дефектов слитки спокойной стали отливают с прибылью, которая образуется надставкой 8 (рис.1,б) со стенками, футерованными огнеупорной массой 9 малой теплопроводности. Поэтому сталь в прибыли долгое время остается жидкой и питает слиток, а усадочная раковина располагается в прибыли. Слиток спокойной стали (рис.1,а) имеет следующее строение: тонкую наружную корку А из мелких равноосных кристаллов; зону Б крупных столбчатых кристаллов (дендритов); зону В крупных неориентированных кристаллов; конус осаждения Г - мелкокристаллическую зону у донной части слитка. Стальные слитки неоднородны по химическому составу. Химическая неоднородность, или ликвация, возникает вследствие уменьшения растворимости примесей в железе при его переходе из жидкого состояния в твердое. Ликвация бывает двух типов -дендритная и зональная.

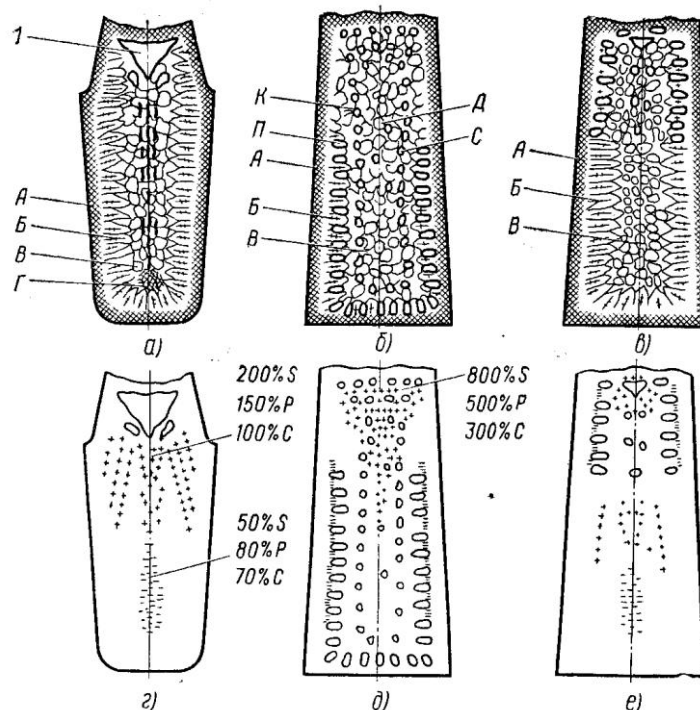


Рис.1 – Схема строения стальных слитков

Дендритная ликвация- неоднородность стали в пределах одного кристалла (дендрита) - центральной оси и ветвей. Например, при кристаллизации стали содержание серы на границах дендрита по сравнению с содержанием в центре увеличивается в 2 раза, фосфора - в 1,2 раза, а углерода уменьшается почти на половину.

Зональная ликвация - 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 (рис.1,г), а в нижней части - уменьшается. Зональная ликвация приводит к отбраковке металла вследствие отклонения его свойств от заданных. Поэтому прибыльную и подприбыльную части слитка, а также донную его часть при прокатке отрезают.

В слитках кипящей стали(рис.1,б,д) не образуется усадочная раковина: усадка стали рассредоточена по полостям газовых пузырей, возникающих при кипении стали в изложнице. При прокатке слитка газовые пузыри завариваются. Кипение стали влияет на зональную ликвацию в слитках, которая развита в них больше, чем в слитках спокойной стали. Углерод, сера и фосфор потоком металла выносятся в верхнюю часть слитка, от чего свойства стали в этой части - ухудшаются. Поэтому при прокатке отрезают только верхнюю часть слитка, так как в донной ликвация мала. Для уменьшения ликвации кипение после заполнения изложницы прекращают, накрывая слиток металлической крышкой (механическое закупоривание), либо раскисляют металл алюминием или ферросилицием в верхней части слитка (химическое закупоривание).

Слиток кипящей стали имеет следующее строение (рис.1,б,д): плотную наружную корку А без пузырей, из мелких кристаллитов, зону сотовых пузырей П, вытянутых к оси слитка и располагающихся между кристаллитами Б, зону В неориентированных кристаллов, промежуточную плотную зону С, зону вторичных круглых пузырей К и среднюю зону Д с отдельными пузырями, которых больше в верхней части слитка.

Полуспокойная сталь(рис.1,в,е) сохраняет преимущества спокойной и кипящей стали и не имеет их недостатков. Она частично раскисляется в печи и ковше, а частично в изложнице. Слиток полуспокойной стали имеет в нижней части структуру спокойной стали, а в верхней части - кипящей. Ликвация в верхней части слитков полуспокойной стали меньше, чем у кипящей, и близка к ликвации спокойной стали, но слитки полуспокойной стали не имеют усадочной раковины.

Порядок выполнения работы:

- 1 Законспектировать теоретические основы.
- 2 Отрастить в виде перечня факторы, влияющие на глубину усадочной раковины.
- 3 Ответить на вопросы, характеризующие особенности усадочных процессов при кристаллизации стали в изложницах.

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе.

Тема 2.3 Технология получения стали

Лабораторное занятие № 4

Исследование процесса затвердевания стальных слитков

Цель:

- 1) изучение влияния различных факторов на процесс кристаллизации слитка;
- 2) привить умения и навыки самостоятельной работы с учебником и дополнительной литературой.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- У1 подбирать технологическое оборудование для ремонта и эксплуатации электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем, определять оптимальные варианты его использования;
- У2 эффективно использовать материалы и оборудование;
- У3 принимать и реализовывать управленческие решения;
- У4 составлять планы размещения оборудования и осуществлять организацию рабочих мест;
- У5 распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте;
- У6 анализировать задачу и/или проблему и выделять её составные части;
- У7 определять этапы решения задачи;
- У8 выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы;
- У9 определить необходимые ресурсы;
- У10 владеть актуальными методами работы в профессиональной и смежных сферах;
- У11 реализовать составленный план;
- У12 оценивать результат и последствия своих действий (самостоятельно или с помощью наставника)
- У13 определять задачи для поиска информации;
- У14 определять необходимые источники информации;
- У15 организовывать работу коллектива и команды;
- У16 взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами в ходе профессиональной деятельности
- У17 грамотно излагать свои мысли и оформлять документы по профессиональной тематике на государственном языке, проявлять толерантность в рабочем коллективе;
- У18 описывать значимость своей специальности

Материальное обеспечение:

индивидуальный раздаточный материал на данную тему

Задание:

1. Изучить основы кристаллизации слитков.
2. Ответить на вопросы, характеризующие процесс кристаллизации.

Краткие теоретические сведения:

Кристаллизация – это процесс фазового превращения жидкого расплава в сросшиеся друг с другом твёрдые кристаллы. Кристаллизация стабильно протекает только при наличии в расплаве переохлаждения, то есть когда температура расплава ниже температуры начала

кристаллизации – температуры ликвидус. По современным представлениям о механизме кристаллизации процесс формирования любого кристалла имеет две стадии развития.

Первая стадия – образование в переохлаждённом расплаве небольшого по размерам зародыша кристалла – центра кристаллизации.

На второй стадии происходит рост центра кристаллизации до кристалла макроскопического размера. Форма и размер кристаллов зависят от соотношения двух скоростей: – скорости зарождения центров кристаллизации $V_{зц}$ (характеризует количество центров кристаллизации, возникающих в единице объёма расплава за единицу времени); – линейной скорости роста кристаллов $V_{рк}$ (характеризует увеличение линейных размеров кристалла в единицу времени).

Обе эти скорости, в свою очередь, зависят от величины переохлаждения расплава (рисунок 1.1).

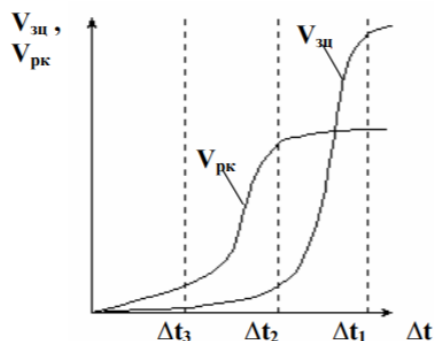


Рисунок 1.1 – Зависимость скорости зарождения центров кристаллизации ($V_{зц}$) и линейной скорости роста кристаллов ($V_{рк}$) от величины переохлаждения расплава (Δt)

Наибольшая величина переохлаждения – Δt_1 характерна для расплава, непосредственно контактирующего со стенками изложницы. При таком переохлаждении (см. рисунок 1.1) скорость зарождения центров кристаллизации значительно превышает линейную скорость роста кристаллов. Поэтому одновременно зарождается множество кристаллов, вследствие чего затвердевший металл узкой периферийной зоны слитка имеет мелкокристаллическую структуру.

После образования на стенках изложницы слоя затвердевшего металла интенсивность отвода тепла из расплава снижается, что вызывает уменьшение величины переохлаждения расплава около фронта кристаллизации.

При меньшем переохлаждении Δt_2 скорость зарождения центров кристаллизации резко снижается (см. рисунок 1.1) при сохранении высокой линейной скорости роста кристаллов. В таких условиях быстро растут ранее зародившиеся кристаллы, а новые кристаллы практически не успевают образоваться. Так как тепло в основном отводится через боковые поверхности изложницы, то кристаллы растут преимущественно вглубь слитка в направлении, перпендикулярном его боковой поверхности. Такие кристаллы получили название столбчатых кристаллов (промежуточная часть).

По мере утолщения слоя затвердевшего металла сопротивление отводу тепла возрастает, в результате чего величина переохлаждения снижается. При малом переохлаждении Δt_3 резко уменьшается линейная скорость роста кристаллов, которая уже ненамного превышает скорость зарождения центров кристаллизации (см. рисунок 1.1). В этих условиях формируется зона крупных неориентированных в пространстве кристаллов (центральная часть слитка). В процессе кристаллизации возможно также зарождение кристаллов в объёме расплава, в основном на посторонних включениях. Под действием силы тяжести эти кристаллы медленно опускаются в нижнюю часть слитка, успевая немного подрасти и приобретая форму крупных равноосных кристаллов. Они формируют сужающуюся сверху зону – конус осаждения.

В целом же в классическом стальном слитке имеется четыре кристаллические зоны: – поверхностная зона мелких равноосных кристаллов; – зона столбчатых кристаллов; – зона

крупных разориентированных кристаллов; – зона крупных равноосных кристаллов (конус осаждения).

Методы исследования процесса затвердевания стальных слитков подразделяются на разрушающие (требующие отбраковки или порезки слитков) и неразрушающие.

К первой группе методов относятся: термический анализ металла внутри изложницы или в ее стенке, опрокидывание изложницы (выливание жидкого остатка), ввод индикатора и т.п.

Определенные возможности для изучения процесса формирования крупных слитков предоставляют неразрушающие методы дифференцированного и горизонтального зондирования, предложенные в работах С.Я.Скобло и Е.А.Казачкова. Сущность первого метода состоит в погружении в слиток стального прута с дифференцируемым усилием (в начале - без усилия, а затем - с максимальным нажимом). Такой прием позволяет определять высоту твердой, двухфазной и жидкой зоны, а также усадку. Металл, намороженный на прут, после очистки от окалины используется для оценки изменения химического состава по высоте незатвердевшей зоны слитка. Серьезным недостатком метода является субъективность в фиксировании усилий проникновения стального прута в жидко-твердой зоне. При этом твердо-жидкая зона воспринимается экспериментатором как твердая.

Метод горизонтального зондирования заключается в измерении угла отклонения стального прута от вертикали при соприкосновении с фронтом горизонтального затвердевания. Очевидно, таковым является граница жидко-твердой зоны. При измерении этим методом на верхнюю часть изложницы или прибыльной надставки помещают приспособление, позволяющее измерять угол отклонения от вертикали стального прута, поворачивающегося в специальном гнезде приспособления. Точность измерения угла отклонения зонда составляет 0,5 градуса, что соответствует погрешности измерения толщины затвердевшего слоя в 6%. Недостатком метода является погрешность, вызываемая намораживанием металла на прут, а также деформация последнего. Вместо стального прута возможно использование металлокерамического щупа (сплав молибдена с оксидом циркония, который почти не подвергается воздействию жидкой стали при температуре до 1800 °С и очень плохо смачивается сталью).

Видимо, наиболее полная информация о процессе затвердевания стального слитка может быть получена при одновременном использовании нескольких экспериментальных методов. Однако, такой подход чрезвычайно усложняет и удорожает экспериментальную часть исследования в случае работы с крупными слитками.

Рассмотренные выше прямые экспериментальные методы исследования процесса затвердевания стальных слитков достаточно трудоемки и связаны в большинстве случаев со значительными материальными затратами и потерями металла. Поэтому при конструировании крупных стальных слитков для предварительных исследований пользуются методами моделирования.

Порядок выполнения работы:

- 1 Законспектировать теоретические основы.
- 2 Отразить в виде перечня описанные методы.
- 3 Ответить на вопросы, характеризующие особенности кристаллизации стали в изложницах.

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе.