

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



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ**

**ПМд.05 Производство непрерывнолитой заготовки стали  
квадратного, прямоугольного и круглого сечений**

**МДК.05.01 Технология разливки стали на МНЛЗ**

**для обучающихся специальности**

**22.02.01 Metallurgy of black metals (Blast production)**

Магнитогорск, 2022

## **ОДОБРЕНО**

Предметно-цикловой комиссией  
«Металлургия и обработка  
металлов давлением»  
Председатель О.В. Шелковникова  
Протокол 10 от 22.06.2022 г.

Методической комиссией МпК  
Протокол № 6 от 29.06.2022 г.

### **Разработчик:**

преподаватель ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» Многопрофильный  
колледж  
Ирина Валерьевна Решетова

Методические указания по выполнению практических и лабораторных работ разработаны на основе рабочей ПМд05 «Производство непрерывнолитой заготовки стали квадратного, прямоугольного и круглого сечений».

Содержание практических работ ориентировано на формирование общих и профессиональных компетенций по основной профессиональной образовательной программе по специальности 22.02.01 Metallургия черных металлов. Доменное производство: МДК.05.01 Технология разлива стали на МНЛЗ.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

- 1 Введение
- 2 Методические указания
- Практическая работа 1
- Практическая работа 2
- Практическая работа 3
- Практическая работа 4
- Практическая работа 5
- Практическая работа 6
- Практическая работа 7
- Практическая работа 8

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки студентов составляют практические занятия и лабораторные работы.

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

Ведущей дидактической целью *практических занятий* является формирование практических умений - профессиональных (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности).

В соответствии с рабочей программой ПМд05 «Производство непрерывнолитой заготовки стали квадратного, прямоугольного и круглого сечений» МДК.05.01 Технология разлива стали на МНЛЗ

В результате их выполнения, обучающийся должен:

*уметь:*

- У 5.1.01 управлять стопорами промежуточного устройства;
- У 5.1.02 осуществлять ломку футеровки сталеразливочных и промежуточных ковшей;
- У 5.1.03 осуществлять зачистку и засыпку кристаллизаторов, очистку воронок, коллекторов, маслосмазки и подготавливать их к разливу плавки;
- У 5.1.04 подготавливать материалы и технологический инструмент к разливу;
- У 5.1.05 выполнять предварительную смазку кристаллизаторов;
- У 5.1.06 выявлять и устранять неисправности в работе обслуживаемого оборудования;
- У 5.2.01 управлять самоходной тележкой для промежуточных ковшей;
- У 5.2.02 производить погрузочно-разгрузочные работы;
- У 5.2.03 производить подготовку к разливу основного и резервного промежуточного ковша;
- У 5.2.04 производить установку промежуточного ковша на тележку промковша или на подъемно-поворотный стол;
- У 5.2.05 осуществлять заделку зазоров между затравками и кристаллизатором;
- У 5.2.06 осуществлять подачу шлаковых чаш;
- У 5.2.07 подготавливать к выпуску плавки крышек, графита, люнкерита, кислородных баллонов, трубок и необходимого инструмента;

У 5.2.08 оценивать качество подготовки сталеразливочных составов;

Содержание практических работ ориентировано на формирование общих компетенций по профессиональному модулю основной профессиональной образовательной программы по специальности:

- ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.
- ОК 02 Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.
- ОК 03 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях.
- ОК 07 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.
- ОК 09 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.

И овладению профессиональными компетенциями:

ПК 5.1 Проверять техническое состояние кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок и подготавливать его к разливке.

ПК 5.2 Выполнять техническое обслуживание и ремонт машины непрерывного литья заготовок.

Выполнение студентами *практических работ* по программой ПМд05 «Производство непрерывнолитой заготовки стали квадратного, прямоугольного и круглого сечений» МДК.05.01 Технология разливки стали на МНЛЗ

направлено на:

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

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

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

Продолжительность выполнения практической работы составляет не менее двух академических часов и проводится после соответствующего занятия, которое обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### Тема 1 Теоретические основы разливки стали

#### Практическая работа №1

#### Изучение внутреннего строения стальной непрерывнолитой заготовки

##### Формируемые компетенции:

ПК 5.1 Проверять техническое состояние кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок и подготавливать его к разливке.

ПК 5.2 Выполнять техническое обслуживание и ремонт машины непрерывного литья заготовок.

##### Цель работы:

Изучить внутреннее строение стальной непрерывнолитой заготовки

##### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

проводить макроанализ стальных заготовок

**Материальное обеспечение:** методические указания для выполнения практических работ, стальные темплеты

**Оборудование:** не требуется

##### Задание:

Изучить внутреннее строение непрерывнолитой заготовки по имеющимся темплетам

2 При изучении темплета, вырезанного из слитка спокойной стали, на эскизе следует показать расположение границ кристаллических зон. Рядом с эскизом должны быть изображены характерные для каждой кристаллической зоны кристаллы. Кристаллические зоны на эскизе следует пометить цифрами, а их названия указать в подрисуночном тексте

3. Ответить на вопросы

##### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомится с методическими указаниями по практическому заданию.

2. Выполнить задание.

### 3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

#### Теоретический материал

Важной составной частью структуры стальных слитков является их кристаллическое строение. Независимо от степени раскисленности металла в стальных слитках в общем случае имеются четыре кристаллические зоны:

- зона мелких равноосных кристаллов, расположенная непосредственно у поверхности слитка и имеющая вид тонкого слоя шероховатого металла, в котором невооруженным глазом не удастся различить отдельные кристаллы;

- зона столбчатых кристаллов, расположенная за предыдущей зоной и состоящая из кристаллов, сильно вытянутых в направлении, примерно перпендикулярном поверхности слитка;

- зона крупных (обычно размером 10 мм и более) разориентированных кристаллов, главные оси которых не имеют строго определенной ориентации в пространстве;

- конус осаждения, состоящий из равноосных снежинкообразных кристаллов размером 2...5 мм.

С кристаллическим строением связаны другие составные части структуры стального слитка, такие как дендритная и зональная химическая неоднородность, а также загрязненность металла неметаллическими включениями.

По степени раскисленности металла различают сталь спокойную, полуспокойную и кипящую.

Спокойную сталь раскисляют так, что практически весь растворенный в металле кислород связывается в прочные оксиды. Поэтому при затвердевании такой стали углерод не окисляется и газовые пузыри не образуются. Все нарушения сплошности металла в слитке спокойной стали имеют усадочное происхождение: они вызваны уменьшением объема металла при переходе из жидкого состояния в твердое. Уменьшение объема стали при затвердевании ведет к образованию в верхней (головной) части слитка большого нарушения сплошности металла воронкообразной формы, называемого усадочной раковинной. Ниже усадочной раковины могут располагаться относительно мелкие нарушения сплошности металла, называемые усадочной рыхлостью. При прокатке слитка усадочная раковина трансформируется в так называемый раслой. После прокатки головная часть раската с раслоем отрезается. Величина головной обрезки для слитков спокойной стали в зависимости от условий разлива составляет 12...20 %.

В полуспокойной и особенно кипящей стали после раскисления остается растворенный кислород, не связанный в прочные оксиды.

При затвердевании металла он вступает в химическую реакцию с углеродом, в результате чего образуются газовые пузыри. Часть газовых пузырей остается в слитке, в большей или меньшей степени компенсируя уменьшение объема металла при затвердевании. Это ведет к снижению объема и количества нарушений сплошности металла усадочного происхождения или полному их устранению.

Полуспокойную сталь обычно раскисляют так, что объем остающихся в слитке газовых пузырей примерно соответствует уменьшению объема металла при затвердевании. Поэтому в слитке полуспокойной стали есть относительно небольшая усадочная раковина и газовые пузыри трех видов: головные, сотовые и поверхностные. Все пузыри имеют удлиненную форму: они вытянуты в направлении затвердевания металла. Головные пузыри расположены в верхней части слитка над усадочной раковиной. Сотовые пузыри находятся в верхней части слитка у его боковой поверхности. Высота зоны сотовых пузырей обычно составляет 150...300 мм, а их длина – 30...50 мм. Ниже сотовых пузырей вдоль всей боковой поверхности слитка расположены поверхностные пузыри, имеющие длину 3...5 мм.

При прокатке слитков полуспокойной стали усадочная раковина, как правило, заваривается и величина головной обреза составляет 3...5 %. Такая головная обрезь обеспечивает удаление в отходы металла, содержащего незаварившиеся головные и сотовые пузыри.

Слой металла с поверхностными пузырями в процессе нагрева слитка перед прокаткой обычно превращается в окалину. Однако, если длина поверхностных пузырей превышает 5 мм, то на поверхности заготовок появляется дефект, называемый "волосовины".

В кипящей стали после раскисления остается много растворенного кислорода. Поэтому затвердевание такой стали сопровождается интенсивным газовыделением и приходится принимать меры для его прекращения.

Существует два способа прекращения газовыделения, называемые механическим и химическим закупориванием слитка. Механическое закупоривание осуществляется путем накрывания слитка массивной чугунной крышкой через некоторое время после наполнения изложницы жидким металлом. В таком слитке усадочная раковина отсутствует, но в большом количестве имеются газовые пузыри трех видов: головные, сотовые и вторичные.

Головные пузыри располагаются в верхней части слитка кипящей стали. Сотовые пузыри находятся в нижней его половине на некотором расстоянии от поверхности. Слой металла, отделяющий сотовые пузыри

от поверхности, называется поверхностной коркой плотного металла. Вторичные пузыри расположены также вдоль боковой поверхности слитка за исключением его нижней части, но на несколько большем удалении от нее. Расстояние от боковой поверхности слитка до вторичных пузырей определяется длительностью кипения металла в изложнице до закупоривания слитка.

Химическое закупоривание слитков кипящей стали осуществляется путем введения какого-либо сильного раскислителя, обычно алюминия, на поверхность жидкого металла вскоре после наполнения изложницы. В таком слитке также имеются головные, сотовые и вторичные пьзыри. Кроме того, вверху на оси слитка может быть небольшая усадочная раковина. Над усадочной раковиной и головными пузырями располагается так называемый мост плотного металла. Количество газовых пузырей и их размеры в химически закупоренном слитке меньше, чем в механически закупоренном слитке.

При прокатке слитков кипящей стали большинство газовых пузырей заваривается. Величина головной обрезки находится в пределах 3...10 %. Причем при химическом закупоривании обрезь несколько меньше, чем при механическом способе закупоривания.

Качество поверхности проката из слитков кипящей стали зависит от толщины поверхностной корки плотного металла. Если толщина корки плотного металла меньше 10 мм, то на поверхности заготовок появляется дефект "сотовая рвань", для устранения которого поверхность заготовок приходится зачищать.

### **Ответьте на вопросы:**

1. Что входит в понятие "кристаллическое строение" стального слитка?
2. Что такое "кристаллическая зона" стального слитка?
3. Какие кристаллические зоны имеются в стальных слитках и как они располагаются?
4. Что входит в понятие "макроструктура стального слитка"?
5. Что такое усадочная раковина и какова причина ее образования?
6. В каких слитках может быть усадочная раковина и где она располагается?
7. В каких слитках усадочная раковина отсутствует и почему?
8. В каких слитках имеются газовые пузыри и почему они образуются?
9. Какие газовые пузыри имеются в слитке кипящей стали и как они расположены?
10. В чем отличие макроструктуры слитков кипящей стали при механическом и химическом закупоривании?

11. Что происходит с газовыми пузырями слитка кипящей стали при прокатке?

12. Какую макроструктуру имеет слиток полуспокойной стали?

13. Что происходит с различными нарушениями сплошности металла при прокатке слитка полуспокойной стали?

14. Почему после прокатки стальных слитков головная часть раската отрезается?

15. Какова величина головной обреза при прокатке стальных слитков?

### **Форма представления результата:**

Отчет о выполненной работе в тетради для практических занятий

### **Критерии оценки:**

– «Отлично» - работа выполнена точно в срок и в соответствии с требованиями, ошибок нет.

– «Хорошо» - допускаются небольшие неточности или некоторые ошибки в работе.

– «Удовлетворительно» - в работе отсутствуют значительные элементы по содержанию работы, допущено ошибок более 50% от работы.

– «Неудовлетворительно» - работа полностью не соответствует требованиям, все задания выполнены не верно.

## **Тема 1 Теоретические основы разливки стали**

### **Практическая работа №2 Изучение дефектов стального слитка**

#### **Формируемые компетенции:**

ПК 5.1 Проверять техническое состояние кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок и подготавливать его к разливке.

ПК 5.2 Выполнять техническое обслуживание и ремонт машины непрерывного литья заготовок.

#### **Цель работы:**

Изучить дефекты стального слитка

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

определять основные дефекты стальных слитков

**Материальное обеспечение:** методические указания для выполнения практических работ

**Оборудование:** не требуется

**Задание:**

- 1 Изучить теоретический материал
- 2 Ответить на вопросы

**Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомится с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.
3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

### **Теоретический материал**

**Кристаллическая структура** непрерывнолитой заготовки похожа на структуру слитков, отлитых в изложницы, и характеризуется наличием трех зон:

- зоны мелких равноосных кристаллов, расположенной непосредственно у поверхности заготовки толщиной, как правило, 10...20 мм;
- зоны столбчатых кристаллов, главные оси которых вытянуты в направлении, перпендикулярном поверхности заготовки;
- зоны крупных равноосных кристаллов с различной ориентацией в пространстве.

В непрерывнолитой заготовке ширина зоны мелких равноосных и зоны столбчатых кристаллов, как правило, (при одинаковых размерах сечения и температуре кристаллизующегося металла) больше, а зоны равноосных кристаллов меньше, чем в обычном слитке, отлитом в изложницу. Кристаллы столбчатой зоны непрерывнолитой заготовки тоньше, длиннее, более плотно упакованы, что связано с большей интенсивностью охлаждения.

В мелких сортовых заготовках высоколегированной, как правило, хромоникелевой стали столбчатые кристаллы могут расти до встречи друг с другом на оси заготовки, образуя транскристаллическую структуру.

В заготовках, отлитых на машинах с изогнутой (радиальной или криволинейной) технологической осью, наблюдается несимметричность структуры. Ширина зоны столбчатых кристаллов по большому радиусу

заготовки обычно меньше, чем по ее малому радиусу. Это объясняется оседанием на нижнюю сторону кристаллизующейся заготовки крупных равноосных кристаллов, зарождающихся в объеме жидкого металла.

Металл зоны столбчатых кристаллов обладает пониженной прочностью и пластичностью, поэтому целесообразно уменьшение ее ширины и расширение зоны равноосных кристаллов. Для этого необходимо снижать температуру разливаемого металла, уменьшать интенсивность вторичного охлаждения, осуществлять электромагнитное перемешивание жидкой фазы заготовки.

С кристаллическим строением заготовки неразрывно связаны другие составные части ее структуры: макроструктура, дендритная и зональная химическая неоднородность, а также загрязненность металла неметаллическими включениями.

**Макроструктура** непрерывнолитой заготовки в целом характеризуется плотным строением. Усадочная раковина образуется лишь в самом конце заготовки и отрезается на агрегате резки. Однако, в центральной части заготовки обычно располагается осевая пористость. Причиной ее возникновения является наличие в кристаллизующейся заготовке очень глубокой и узкой лунки жидкого металла. Образование в лунке “моста” из сросшихся кристаллов ведет к появлению больших по протяженности зон, в которых металл кристаллизуется без доступа жидкой стали сверху, и, следовательно, к появлению пустот усадочного происхождения. Особенно сильно осевая пористость проявляется в квадратных и круглых заготовках. На продольном темплете осевая пористость имеет V-образную форму, что объясняется ферростатическим давлением столба жидкого металла на объемы жидкой фазы, затвердевающие в последнюю очередь. В плоских заготовках осевая пористость развита значительно слабее, так как усадка металла здесь рассредоточена по продольной оси поперечного сечения заготовки. Осевая пористость заметно усиливается при увеличении температуры разливаемой стали и повышении скорости вытягивания заготовки, иногда переходя в осевые усадочные пустоты.

Наличие осевой пористости предопределяет развитие в непрерывнолитой заготовке осевой **химической неоднородности**. По длине заготовки располагаются отдельные участки с увеличенным содержанием примесей, что объясняется скоплением ликвирующих примесей в пустотах под сросшимися кристаллами осевой части заготовки. Чередование участков по оси слябовой заготовки с повышенным и пониженным содержанием примесей называется шнуровой ликвацией.

Наиболее ярко в непрерывнолитой заготовке выражены поверхностная и осевая зоны химической неоднородности. Развитие

поверхностной зоны отрицательной ликвации во многом определяется интенсивностью струйно-циркуляционных потоков, зависящих от способа подачи металла в кристаллизатор и конструктивных параметров погружного стакана. Положительная ликвация в осевой зоне заготовки тем интенсивнее, чем глубже лунка жидкого металла (больше скорость вытягивания заготовки, выше температура разливаемого металла, больше толщина заготовки, меньше интенсивность охлаждения). Ликвация примесей может усиливаться при отклонениях в системе поддерживающих устройств зоны вторичного охлаждения (неправильная выставка, изношенные ролики, увеличение расстояния между ними и т.д.). Содержание примесей в зоне положительной ликвации может в 4...5 раз превышать их содержание в исходном жидком металле.

Непрерывнолитая заготовка отличается от обычного слитка меньшей **загрязненностью неметаллическими включениями** и более равномерным их распределением. В заготовках, отлитых на машинах с изогнутой технологической осью, содержание неметаллических включений у верхней грани обычно выше, чем в других частях вследствие их всплытия.

Наиболее распространенным **дефектом** непрерывнолитой заготовки являются поверхностные и внутренние трещины (рисунок).

*Продольные поверхностные трещины на гранях заготовки* (рисунок, 7) имеют длину до 1...1,5 м и более и глубину до 10...15 мм. Такие трещины появляются вследствие сочетания усадочных сжимающих напряжений, в результате которых тон-

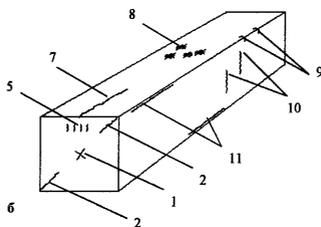
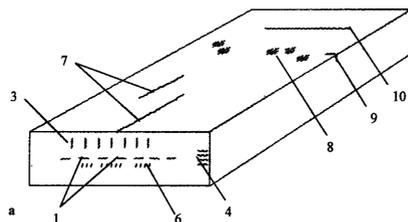


Схема расположения трещин в слябовой (а) и сортовой (б) заготовках. Внутренние трещины: 1-осевые; 2-диагональные; 3, 4-перпендикулярные широким и узким граням сляба соответственно; 5-в промежуточной зоне; 6-гнездообразные. Поверхностные трещины: 7-продольные на гранях; 8-паукообразные и сетчатые; 9-поперечные в углах; 10-поперечные на гранях; 11-продольные по ребрам (углам)

кая корка затвердевшего металла отходит от стенок кристаллизатора, и растягивающих напряжений вследствие ферростатического давления жидкого металла, из-за которых корка прижимается к стенкам кристаллизатора. Вероятность возникновения продольных трещин повышается при увеличении температуры разливаемой стали, скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора, ширины слябовой заготовки, содержания серы в металле, а также при снижении отношения  $[Mn] / [S]$ . При прочих равных условиях продольные трещины чаще всего образуются в нелегированной стали, содержащей от 0,18 до 0,25 % углерода. Появление трещин усиливается при неравномерном теплоотводе и короблении стенок кристаллизатора, размывании затвердевшей корки струей жидкого металла, плохой работе шлакообразующей смеси, подаваемой на поверхность жидкого металла в кристаллизаторе.

*Продольные трещины по ребрам (углам)* (рисунок, б, 11) чаще образуются в сортовых квадратных заготовках при искажении профиля в кристаллизаторе – ромбичности заготовки. Причинами этого могут являться неравномерное охлаждение различных граней заготовки в кристаллизаторе, несоосное расположение с кристаллизатором опорных роликов. В слябовых заготовках такие трещины обычно возникают на расстоянии примерно 350 мм от уровня металла в кристаллизаторе при отходе затвердевшей корки от узкой стенки кристаллизатора из-за ее износа или изменении угла ее наклона вследствие неправильной установки кристаллизатора.

*Поперечные поверхностные трещины на гранях* (рисунок, 10) возникают при нахождении заготовки в кристаллизаторе вследствие усиленного трения (недостаточная смазка стенок) и при заисании корки (наличие на стенках кристаллизатора царапин и вмятин). Такие трещины также могут образовываться при изгибании или выпрямлении заготовки на машине с изогнутой осью. *Поперечные трещины в углах заготовки* (рисунок, 9) могут также появляться в результате чрезмерно интенсивного вторичного охлаждения.

*Паукообразные и сетчатые трещины* (рисунок, 8) выявляются после удаления окалины с поверхности заготовки. По внешнему виду они схожи между собой и могут быть в виде локальных округлых участков,

когда одна трещина распространяется из центра в нескольких направлениях (паукообразные), или в виде сетки, когда сочетаются сразу нескольких трещин (сетчатые). Паукообразные трещины возникают в местах плотного прилегания корки заготовки к стенкам кристаллизатора вследствие сильного охлаждения и наличия легкоплавких прослоек меди или других цветных металлов. Пораженность этими трещинами снижается при разливке с легкоплавкой шлакообразующей смесью, выполняющей роль смазки между коркой заготовки и стенками кристаллизатора. Сетчатые трещины образуются в зоне вторичного охлаждения при температурах поверхности заготовки 700...900 °С в результате чередования участков с охлаждением и нагревом поверхности (охлаждение у форсунок и разогрев за счет внутреннего тепла заготовки при ее движении между форсунками). Количество таких трещин существенно снижается при переходе от жесткого водяного к более мягкому водовоздушному охлаждению. Сетчатые трещины чаще всего находятся на поверхности заготовки по ее малому радиусу. Эти трещины возникают из-за неудовлетворительной работы форсуночного водовоздушного охлаждения, а также утечки воды в неработающих зонах.

Появление ряда поверхностных дефектов связано с неудовлетворительной организацией процесса разливки. *Пояс* представляет собой завернувшуюся внутрь корку окисленного металла, охватывающую весь периметр заготовки. Он образуется вследствие перерыва в подаче металла в кристаллизатор. *Ужимины* – поперечные углубления на поверхности заготовки, возникающие в результате резкого изменения напора струи жидкого металла и колебаний уровня металла в кристаллизаторе, при местном размывании корки струей металла и в участках неплотного прилегания корки к стенкам кристаллизатора. *Шлаковые включения* на поверхности заготовки появляются при заливке жидким металлом прилипших к стенкам кристаллизатора частиц шлака или размытых огнеупоров.

Многообразные внутренние трещины образуются в результате совместного воздействия усадочных и термических напряжений в кристаллизующейся заготовке, а также механических усилий от опорных, тянущих и изгибающих роликов.

*Осевые трещины* в слябовой заготовке (рисунк, а, 1) располагаются по ее большой оси в зоне смыкания фронтов кристаллизации. Эти трещины образуются в результате усадки стали, если она не компенсируется сжимающими усилиями опорных роликов. Особенно сильно трещины проявляются при выпучивании широких граней, когда сжимающие усилия явно недостаточны. В заготовках

квадратного сечения, в которых усадка стали сконцентрирована в центре, *осевая трещина* имеет другую форму (рисунок, б, 1).

Широко распространены *внутренние трещины, перпендикулярные широким граням слябовой заготовки* (рисунок, а, 3). Основной причиной их возникновения является механическое воздействие роликов на затвердевшую корочку заготовки из-за неправильной настройки роликовой проводки и непостоянства расстояния между роликами. Такие трещины также могут образовываться из-за термических напряжений при неравномерном вторичном охлаждении, например, при разогреве поверхности после интенсивного охлаждения.

*Гнездообразные трещины* (рисунок, а, 6) представляют собой скопления мелких, схожих с трещинами, перпендикулярных широким граням, но располагающихся ближе к центру заготовки. Такие трещины образуются при разгибании заготовки с жидкой сердцевинной.

*Трещины, перпендикулярные узким граням сляба*, (рисунок, а, 4) возникают при выпучивании широких граней заготовки из-за недостаточного поддерживания затвердевшей оболочки опорными устройствами.

*Трещины в промежуточной зоне* (рисунок, б, 5) поперечного сечения заготовки располагаются в зоне столбчатых кристаллов и возникают вследствие интенсивного вторичного охлаждения и последующего разогрева, например, из-за большого расстояния между форсунками.

*Диагональные трещины* (рисунок, б, 3) образуются на стыке кристаллов, растущих от двух смежных граней и встречаются чаще в заготовках квадратного сечения при искажении профиля (ромбичности) в тупых углах.

*Газовые пузыри* в корковом слое заготовки возникают при недостаточном раскислении металла, высоком содержании в нем водорода или азота, повышенном содержании влаги в шлакообразующей смеси.

### **Ответьте на следующие вопросы:**

1. Какие кристаллические зоны имеются в непрерывнолитой заготовке и как они располагаются?
2. Что представляет собой структура транскристаллизации и для каких заготовок она характерна?
3. Каким образом при изучении поперечного темплета определяются стороны малого и большого радиусов заготовки, отлитой на МНЛЗ с изогнутой технологической осью?

4. В чем схожесть макроструктуры сортовой и слябовой непрерывнолитых заготовок?

5. В чем отличие макроструктуры сортовой и слябовой непрерывнолитых заготовок?

6. Как отличается металл, отлитый непрерывным и обычным способами, по химической неоднородности?

7. Каковы причины отличия химической неоднородности металла непрерывнолитой заготовки и обычного слитка?

8. Какие элементы зональной химической неоднородности наиболее характерны для непрерывнолитой заготовки?

9. Какие поверхностные дефекты может иметь непрерывнолитая заготовка?

10. Каковы причины возникновения каждого вида поверхностных дефектов?

11. Какие внутренние дефекты может иметь непрерывнолитая заготовка?

12. Каковы причины образования каждого вида внутренних дефектов?

### **Форма представления результата:**

Отчет о выполненной работе в тетради для практических занятий

### **Критерии оценки:**

– «Отлично» - работа выполнена точно в срок и в соответствии с требованиями, ошибок нет.

– «Хорошо» - допускаются небольшие неточности или некоторые ошибки в работе.

– «Удовлетворительно» - в работе отсутствуют значительные элементы по содержанию работы, допущено ошибок более 50% от работы.

– «Неудовлетворительно» - работа полностью не соответствует требованиям, все задания выполнены не верно.

## **Тема 1 Теоретические основы разливки стали**

### **Практическая работа №3 Расшифровка марок стали**

### **Формируемые компетенции:**

ПК 5.1 Проверять техническое состояние кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок и подготавливать его к разливке.

ПК 5.2 Выполнять техническое обслуживание и ремонт машины непрерывного литья заготовок.

**Цель работы:**

Научиться расшифровывать марки стали

**Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

расшифровывать марки стали

**Материальное обеспечение:** методические указания для выполнения практических работ

**Оборудование:** не требуется

**Задание:**

1 Расшифровать марки стали, согласно своему варианту

**Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомится с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.
3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

## Теоретический материал

### 1 Марки стали и их классификация

Сталь - деформируемый (ковкий) сплав железа с углеродом (до 2,14%) и другими элементами. Получают, главным образом, из шихты состоящей из чугуна и стального лома в кислородных конвертерах, мартеновских печах или ДСА, и электропечах.

Сплав - однородный по структуре и характеристикам материал, состоящий из двух или более химических элементов и имеющий металлические свойства. Металл - вещество, характеризующееся особыми свойствами: высокими прочностными показателями, электро- и теплопроводностью, ковкостью, блеском и кристаллическим строением. Металлическими свойствами обладают 80 химических элементов и множество сплавов. Железо (Fe) - основной химический элемент в составе стали - блестящий металл серебристо-белого цвета, занимающий четвертое место по распространенности в природе.

Стали промышленного производства являются сложными по химическому составу сплавами железа и углерода. Кроме этих основных

элементов, а также легирующих компонентов в легированных сталях, материал содержит постоянные и случайные примеси. От процентного содержания этих компонентов и зависят основные характеристики и свойства стали (см. таблицу 1).

Таблица 1 — Влияние химического элемента на свойство стали

№ п/п	Элемент	Влияние
1	Углерод	Ключевой элемент, который определяет основные технические характеристики. Чем больше его в составе, тем прочнее и тверже становится металл, но при этом значительно уменьшаются показатели пластичности и вязкости.
2	Кремний	Является хорошим раскислителем, растворяясь в феррите повышает прочность, особенно предел текучести, но при этом наблюдается некоторое снижение пластичности, что в свою очередь уменьшает способность стали к вытяжке.
3	Марганец	Повышает прочность, не снижая пластичности и резко снижает красноломкость стали, вызванную влиянием серы. Он способствует уменьшению содержания сульфида железа FeS, так как образует с серой соедините сульфид марганца MnS. Частицы сульфида марганца располагаются в виде отдельных включений, которые деформируются и оказываются вытянутыми вдоль направления прокатки.
4	Фосфор	Растворяясь в феррите, искажает кристаллическую решетку и увеличивает предел прочности и предел текучести, но снижает пластичность и вязкость. Располагаясь вблизи зерен, увеличивает температуру перехода в хрупкое состояние, вызывает хладноломкость.
5	Сера	Вредная примесь, при взаимодействии с железом образует химическое соединение (FeS), которое, в свою очередь, образует с железом легкоплавкую эвтектику. При нагреве под прокатку или ковку эвтектика плавится, нарушаются связи между зернами. При деформации в местах расположения эвтектики возникают надрывы и трещины. Сера снижает механические свойства, особенно ударную вязкость и пластичность, а так же предел выносливости. Она ухудшает свариваемость и коррозионную стойкость.
6	Хром	Повышает прокаливаемость, способствует получению высокой и равномерной твердости.

7	Никель	Эффективно снижает порог хладноломкости и способствует увеличению температурного запаса вязкости.
8	Ниобий	Имеет большее сродство к углероду, чем хром. Поэтому при добавлении в сталь ниобия обязательно образуется карбид ниобия. Легированная ниобием сталь приобретает высокие антикоррозионные свойства и не теряет своей пластичности.
9	Титан	Способствует измельчению зерна
10	Молибден	В хромистой стали увеличивает прокаливаемость, снижает порог хладноломкости увеличивает статическую, динамическую и усталостную прочность, стали, устраняет склонность к внутреннему окислению. Кроме того, молибден снижает склонность к отпускной хрупкости сталей, содержащих никель.
11	Ванадий	Измельчает зерно и повышает прочность и вязкость.

## 2 Общие принципы классификации марок стали

### 2.1 Классификация стали производится:

- по степени раскисления;
- по химическому составу;
- по структурному составу;
- по качеству;
- по назначению.

По степени раскисления стали бывают спокойными, полуспокойными и кипящими.

Раскислением называют операцию удаления из жидкой стали кислорода, который провоцирует хрупкое разрушение материала при горячих деформациях. Чтобы показать способ раскисления стали, существуют особые буквенные обозначения:

- сп — спокойная сталь;
- пс — полуспокойная сталь;
- кп — кипящая сталь.

По химическому составу стали подразделяют на углеродистые и легированные. По массовой доле углерода и первая, и вторая группы сталей делят на:

- низкоуглеродистые (массовая доля С - менее 0,3%);
- среднеуглеродистые (массовая доля С - пределах 0,3-0,7%);
- высокоуглеродистые (массовая доля С - более 0,7%).

Легированными называются стали, содержащие, помимо постоянных примесей, добавки, вводимые для повышения механических свойств. В качестве легирующих добавок используют хром, марганец,

никель, кремний, молибден, вольфрам, титан, ванадий и многие другие, а также сочетание этих элементов в различных процентных соотношениях.

В легированных сталях их классификация по химическому составу определяется суммарным процентом содержания легирующих элементов:

- низколегированные - менее 2,5%;
- среднелегированные - 2,5...10%;
- высоколегированные - более 10%.

По структурному составу разделяют стали в отожженном (равновесном) состоянии и нормализованном:

- в отожженном состоянии - доэвтектоидный, заэвтектоидный, ледебуритный (карбидный), ферритный, аустенитный;
- в нормализованном состоянии - перлитный, мартенситный и аустенитный.

К перлитному классу относят углеродистые и легированные стали с низким содержанием легирующих элементов, к мартенситному - с более высоким и к аустенитному - с высоким содержанием легирующих элементов.

По качеству, то есть по содержанию примесей, стали делятся на четыре группы:

- обыкновенного качества;
- качественные;
- высококачественные;
- особовысококачественные.

По назначению стали классифицируются на:

- конструкционные, наиболее обширный класс, который предназначается для изготовления строительных конструкций, деталей приборов и машин. В свою очередь, конструкционные стали подразделяют на рессорно-пружинные, улучшаемые, цементуемые и высокопрочные.

- инструментальные, различают в зависимости от назначения произведенного из них инструмента: мерительного, режущего, штампов горячей и холодной деформации.

- стали с особыми физическими и химическими свойствами, разделяют на несколько групп: коррозионностойкие (или нержавеющей), жаростойкие, жаропрочные, электротехнические.

Строительные стали

К строительным сталям относятся углеродистые стали обыкновенного качества, а также низколегированные стали. Основное требование к строительным сталям - их хорошая свариваемость. Например: С255, С345Т, С390К, С440Д.

### Цементируемые стали

Цементируемые стали применяют для изготовления деталей, работающих в условиях поверхностного износа и испытывающих при этом динамические нагрузки. К цементируемым относятся малоуглеродистые стали, содержащие 0,1-0,3% углерода (такие, как 15, 20, 25), а также некоторые легированные стали (15X, 20ХН 12ХНЗА, 18Х2Н4МА, 18ХГТ).

### Улучшаемые стали

К улучшаемым сталям относят стали, которые подвергают улучшению - термообработке, заключающейся в закалке и высоком отпуске. К ним относятся среднеуглеродистые стали (35, 40, 45, 50), хромистые стали (40X, 50X), хромистые стали с бором (30ХРА, 40ХР), хромоникелевые, хромокремниемарганцевые, хромоникельмолибденовые стали.

### Высокопрочные стали

Высокопрочные стали - это стали, у которых подбором химического состава и термической обработкой достигается предел прочности примерно вдвое больший, чем у обычных конструкционных сталей.

### Пружинные стали

Пружинные (рессорно-пружинные) стали сохраняют в течение длительного времени упругие свойства, поскольку имеют высокий предел упругости, высокое сопротивление разрушению и усталости. К пружинным относятся углеродистые стали (65, 70) и стали, легированные элементами, которые повышают предел упругости - кремнием, марганцем, хромом, вольфрамом, ванадием, бором (60С2, 50ХГС, 60С2ХФА, 55ХГР).

### Износостойкие стали

Износостойкие стали применяют для деталей, работающих в условиях абразивного трения, высокого давления и ударов (крестовины железнодорожных путей, траки гусеничных машин, щеки дробилок, ковши экскаваторов и др.)

### Автоматные стали

Автоматные стали используют для изготовления неотвественных деталей массового производства (винты, болты, гайки и др.) обрабатываемых на станках-автоматах. Эффективным металлургическим приемом повышения обрабатываемости резанием является введение в сталь серы, селена, теллура, а также свинца, что способствует образованию короткой и ломкой стружки, а также уменьшает трение между резцом и стружкой. Недостаток автоматных сталей - пониженная пластичность. К автоматным сталям относятся такие стали, как А12, А20, А30.

#### Подшипниковые стали

Подшипниковые (шарикоподшипниковые) стали имеют высокую прочность, износоустойчивость, выносливость. К подшипниковым предъявляют повышенные требования на отсутствие различных включений, макро- и микропористости. Обычно шарикоподшипниковые стали характеризуются высоким содержанием углерода (около 1%) и наличием хрома (ШХ9, ШХ15).

#### Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали

Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали - легированные стали с большим содержанием хрома (не менее 12%) и никеля.

Изделия из собственно коррозионностойких сталей (лопатки турбин, клапаны гидравлических прессов, пружины, карбюраторные иглы, диски, валы, трубы и др.) работают при температуре эксплуатации до 550°C.

#### Жаропрочные стали

Жаропрочные стали способны работать в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени и при этом обладают достаточной жаростойкостью. Данные стали и сплавы применяются для изготовления труб, клапанных, паро и газотурбинных деталей (роторы, лопатки, диски и др.).

Рабочие температуры современных жаропрочных сталей составляют примерно 45-80% от температуры плавления.

#### Углеродистые инструментальные стали

Углеродистые инструментальные стали содержат 0,65-1,32% углерода. Например, стали марок У7, У7А, У13, У13А. К данной группе, помимо нелегированных углеродистых инструментальных сталей, условно относят также стали с небольшим содержанием легирующих элементов, которые не сильно отличаются от углеродистых.

#### Легированные инструментальные стали

В данную группу сталей входят стали, содержащие легирующие элементы в количестве от 1% до 3%. Легированные инструментальные стали имеют повышенную (по сравнению с углеродистыми инструментальными сталями) теплостойкость - до +300°C.

#### Быстрорежущие стали

Быстрорежущие стали применяют для изготовления различного режущего инструмента, работающего на высоких скоростях резания, так как они обладают высокой теплостойкостью - до +650°C. Наибольшее распространение получили быстрорежущие стали марок Р9, Р18, Р6М5.

#### Стали для измерительных инструментов

Инструментальные стали для измерительных инструментов (плиток, калибров, шаблонов) помимо твердости и износостойкости

должны сохранять постоянство размеров и хорошо шлифоваться. Обычно применяют стали У8...У12, Х12Ф1. Измерительные скобы, шкалы, линейки и другие плоские и длинные инструменты изготавливают из листовых сталей 15, 15Х. Для получения рабочей поверхности с высокой твердостью и износостойкостью инструменты подвергают цементации и закалке.

#### Стали для режущих инструментов

Стали для режущих инструментов должны быть способными сохранять высокую твердость и режущую способность продолжительное время, в том числе и при нагреве. В качестве сталей для режущих инструментов применяют углеродистые и легированные стали.

#### Стали для холодной штамповки

Для холодной штамповки применяют листовой прокат из низкоуглеродистых и особонизкоуглеродистых качественных марок стали 08Ю, 08пс, 0061F и др.

#### Штамповые стали

Штамповые стали обладают высокой твердостью и износостойкостью, прокаливаемостью и теплостойкостью.

Должны иметь высокие при повышенных температурах и обладать износостойкостью, окалиностойкостью, разгаростойкостью и высокой теплопроводностью.

#### Валковые стали

Применяют для рабочих, опорных и прочих валков прокатных станов, бандажей составных опорных валков, ножей для холодной резки металла, обрезных матриц и пуансонов.

### Варианты для выполнения работы

1	14ХГСН2МА	08кп	Ст.2кп
2	17Н3МА	10кп	Ст.3кп
3	40ХН2МА	15кп	Ст.2пс
4	Ст.3кп	20кп	Ст.3пс
5	Ст.2пс	10	Ст.5пс
6	Ст.18ГФпс	15	Ст.2сп
7	4Х5В2ФС	20	Ст.3сп
8	30Х2М1Ф1Н	25	Ст.5.сп
9	25Х2М1Ф	30	Ст.6.сп
10	У7А	35	Ст.3Гпс
11	У10	40	30Г
12	У12А	45	35Х
13	5ХНМ2	50	17ГС
14	80Х4В3М3Ф2	55	25ГС

15	30X2МФН	60	35ГС
16	27X2Н2МВФ	08кп	09Г2С

### **Форма представления результата:**

Отчет о выполненной работе в тетради для практических занятий

### **Критерии оценки:**

- «Отлично» - работа выполнена точно в срок и в соответствии с требованиями, ошибок нет.
- «Хорошо» - допускаются небольшие неточности или некоторые ошибки в работе.
- «Удовлетворительно» - в работе отсутствуют значительные элементы по содержанию работы, допущено ошибок более 50% от работы.
- «Неудовлетворительно» - работа полностью не соответствует требованиям, все задания выполнены не верно.

## **Тема 2 Оборудование разливки стали на МНЛЗ**

### **Практическая работа №4**

#### **Изучение устройства и принципа действия МНЛЗ на тренажере «Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»**

### **Формируемые компетенции:**

ПК 5.1 Проверять техническое состояние кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок и подготавливать его к разливке.

ПК 5.2 Выполнять техническое обслуживание и ремонт машины непрерывного литья заготовок.

### **Цель работы:**

Изучить устройство и принцип действия МНЛЗ

### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

определять основные конструктивные элементы МНЛЗ

**Оборудование:** ПК, Мультимедийный тренажер Sike «Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»

### **Задание:**

1 Изучить устройство основных элементов МНЛЗ

### **Порядок выполнения работы:**

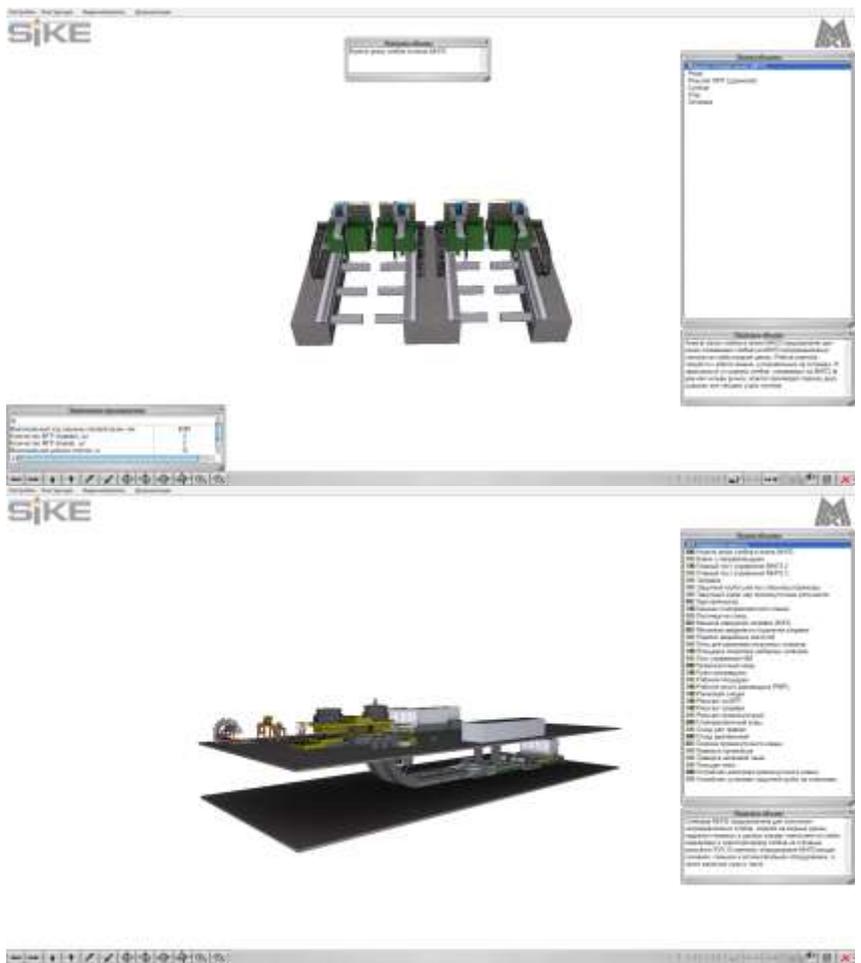
1. Ознакомится с методическими указаниями по практическому заданию.

2. Выполнить задание.

1 Зайти в программу «Разливщик стали МНЛЗ ККЦ» в раздел 1. Конструкция основных узлов и агрегатов МНЛЗ



2. Ознакомится с конструктивными особенностями всех представленных элементов, используя возможности программы, а также дополнительные справочные материалы



3. Выполните тестирование по элементу МНЛЗ



### **Форма представления результата:**

Экран компьютера

### **Критерии оценки**

Оценка за выполненную практическую работу выставляется по оценке, полученной за режим тестирования соответствующего раздела тренажера «Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»

## **Тема 2 Оборудование разливки стали на МНЛЗ**

### **Практическая работа №5**

#### **Изучение устройства кристаллизатора МНЛЗ на тренажере «Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»**

### **Формируемые компетенции:**

ПК 5.1 Проверять техническое состояние кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок и подготавливать его к разливке.

ПК 5.2 Выполнять техническое обслуживание и ремонт машины непрерывного литья заготовок.

### **Цель работы:**

Изучить устройство и принцип действия кристаллизатора МНЛЗ

**Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

определять основные конструктивные элементы кристаллизатора МНЛЗ

**Оборудование:** ПК, Мультимедийный тренажер Sike «Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»

**Задание:**

1 Изучить устройство основных элементов кристаллизатора МНЛЗ

**Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомится с методическими указаниями по практическому заданию.

2. Выполнить задание.

1 Зайти в программу ««Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»  
в раздел 1. Конструкция основных узлов и агрегатов МНЛЗ



2. Ознакомится с конструктивными особенностями всех представленных элементов, используя возможности программы, а также дополнительные справочные материалы



3. Выполните тестирование по элементу кристаллизатор МНЛЗ



**Форма представления результата:**

Экран компьютера

**Критерии оценки**

Оценка за выполненную практическую работу выставляется по оценке, полученной за режим тестирования соответствующего раздела тренажера «Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»

## Тема 2 Оборудование разливки стали на МНЛЗ

### Практическая работа №6

#### Изучение устройства промковша на тренажере «Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»

##### Формируемые компетенции:

ПК 5.1 Проверять техническое состояние кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок и подготавливать его к разливке.

ПК 5.2 Выполнять техническое обслуживание и ремонт машины непрерывного литья заготовок.

##### Цель работы:

Изучить устройство и принцип действия промковша МНЛЗ

##### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

определять основные конструктивные элементы промковша МНЛЗ

**Оборудование:** ПК, Мультимедийный тренажер Sike «Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»

##### Задание:

1 Изучить устройство основных элементов промковша МНЛЗ

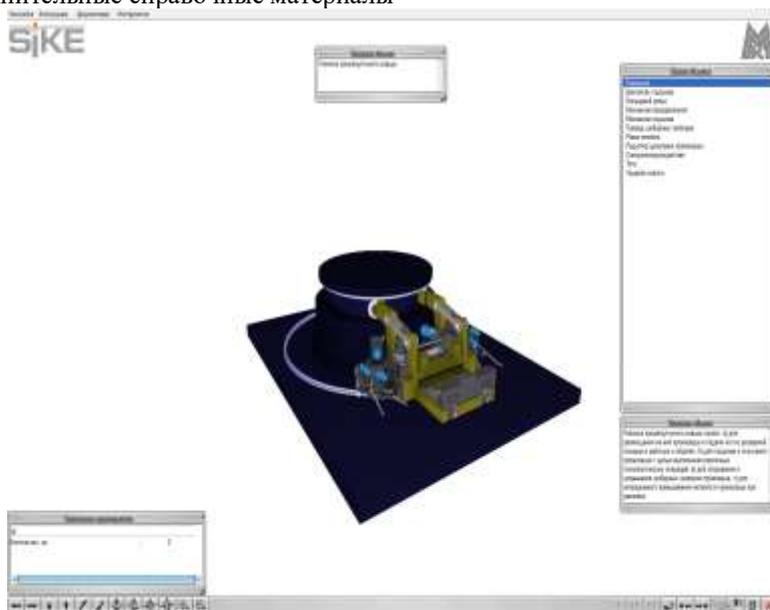
##### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомится с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.

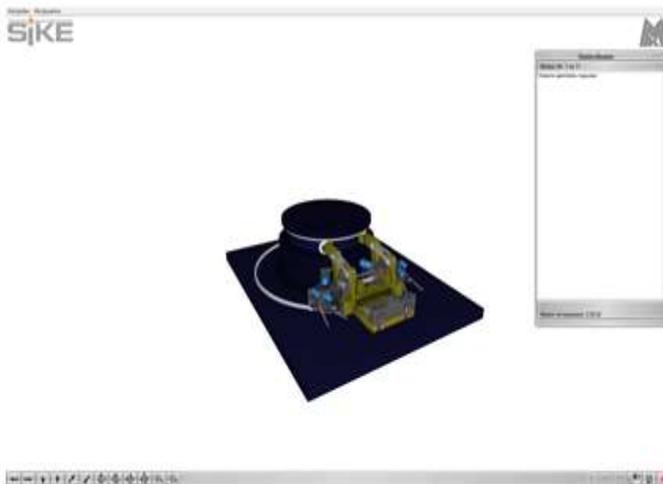
1 Зайти в программу ««Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»» в раздел 1. Конструкция основных узлов и агрегатов МНЛЗ



2. Ознакомится с конструктивными особенностями всех представленных элементов, используя возможности программы, а также дополнительные справочные материалы



3. Выполните тестирование по элементу МНЛЗ



### **Форма представления результата:**

Экран компьютера

### **Критерии оценки**

Оценка за выполненную практическую работу выставляется по оценке, полученной за режим тестирования соответствующего раздела тренажера «Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»

## **Тема 2 Оборудование разливки стали на МНЛЗ**

### **Практическая работа №7**

### **Расчет параметров МНЛЗ**

#### **Формируемые компетенции:**

ПК 5.1 Проверять техническое состояние кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок и подготавливать его к разливке.

ПК 5.2 Выполнять техническое обслуживание и ремонт машины непрерывного литья заготовок.

#### **Цель работы:**

Научиться рассчитывать основные параметры МНЛЗ

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

рассчитывать основные параметры МНЛЗ

**Материальное обеспечение:** методические указания для выполнения практических работ

**Оборудование:** не требуется

**Задание:**

1 Рассчитать основные параметры МНЛЗ согласно своему варианту

**Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомится с методическими указаниями по практическому заданию.

2. Выполнить задание.

3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

## **Расчет основных параметров МНЛЗ**

### **1 Выбор вида и типоразмера МНЛЗ**

В зависимости от характера литой заготовки машины для разливки стали подразделяются на два вида:

— слябовые – для получения заготовки прямоугольного сечения (слябов) и используемой на производство листового проката и ленты;

— сортовые – для получения квадрата (блюмов) или близкого к нему сечения заготовки и используемой на производство сортового проката.

По конструкции МНЛЗ подразделяются на вертикальные и криволинейные. Наибольшее распространение в цехах большой мощности получили криволинейные, к достоинству которых относится высокая единичная мощность и сравнительно небольшая высота установок и здания для их размещения. МНЛЗ вертикального типа применяются лишь в случаях отливки [7, 8]:

— полых трубных заготовок и трубных заготовок большого диаметра, разливки автоматной стали и любой другой, склонной к трещинообразованию;

— заготовок из высоколегированной и электродной стали (ГОСТ 5632-6).

В зависимости от характера выполнения криволинейной зоны, МНЛЗ подразделяются на радиальные (кристаллизатор и криволинейная зона выполнены под одним радиусом) и овальные (под 3 – 4 радиусами, которые постепенно увеличиваются). Последние имеют меньшую высоту и самую высокую производительность. Они легко вписываются в существующие здания сталеплавильных цехов при замене обычной разливки непрерывной. Для получения сортовой заготовки, а также повышенном требовании к качеству, предпочтение следует отдавать криволинейным и радиальным МНЛЗ.

Прочие конструктивные разновидности МНЛЗ (вертикальные с изгибом затвердевшей заготовки, криволинейные с прямолинейной зоной первичного охлаждения и др.) выбираются по литературным источникам в зависимости от условий проектирования и решаемых задач.

Количество ручьев (одновременно отливаемых заготовок) на существующих МНЛЗ колеблется от 1 до 8 [7, 8]:

- слябовые МНЛЗ – 1 и 2-х ручьевые;
- сортовые (криволинейные) – 2, 4 и 6-и ручьевые;
- сортовые (вертикальные) – 2, 4, 6 и 8-и ручьевые.

К установке необходимо принимать МНЛЗ с минимально возможным числом ручьев. Они проще в эксплуатации и по конструкции, меньше занимают в цехе места и надежней в работе. Выход годной литой заготовки на них выше. Многоручьевые машины следует принимать лишь в случаях, когда длительность разливки на одно или двухручьевых превышает допустимые значения. В современных конвертерных цехах большой мощности обычно используются для

получения литых слябов двухручьевые и сортовой заготовки четырех и, реже, шестиручьевые машины. В электросталеплавильных цехах или при разливке относительно небольшого объема металла применяются одноручьевые. Выбор машины с тем или иным количеством ручьев уточняются в процессе расчета.

## **2 Параметры жидкого металла**

Действующие стандарты, определяющие требования к химическому составу металла, допускают довольно высокое содержание вредных примесей – серы и фосфора (обычно до 0,040 – 0,050 %). Непрерывная разливка металла с повышенным содержанием вредных примесей сопряжена с рядом трудностей. Так, например, повышенное содержание серы требует снижения скорости разливки. В противном случае НЛЗ оказываются

пораженными различными дефектами (чаще всего поверхностными и внутренними трещинами). Кроме того, при разливке такого металла возможно возникновение аварийных ситуаций, связанных с прорывами затвердевшей корки.

Обычно верхний предел содержания серы и фосфора в стали, разливаемой на МНЛЗ, устанавливается в интервале от 0,015 до 0,025 %. Выбор конкретного значения предельного содержания вредных примесей определяется возможностями технологии выплавки и ковшевой обработки металла в сталеплавильном цехе. С учетом приведенной выше информации необходимо принять предельные значения допустимых содержаний серы и фосфора в металле.

Температура разливаемого металла оказывает существенное влияние, как на технологию непрерывной разливки, так и на качество получаемой заготовки. Наилучшие результаты получаются в том случае, когда металл в промежуточном и сталеразливочном ковшах имеет оптимальный перегрев над температурой ликвидус, поэтому температура стали в промежуточном и сталеразливочном ковшах определяется по формулам:

$$\begin{aligned} t_{\text{пр.к}} &= t_{\text{ликв}} + \Delta t_{\text{пр.к}}; \\ t_{\text{ст.к}} &= t_{\text{пр.к}} + \Delta t_{\text{ст.к}}. \end{aligned} \quad (1)$$

где  $t_{\text{пр.к}}$  – температура металла в промежуточном ковше, °С;  $t_{\text{ст.к}}$  – температура металла в сталеразливочном ковше, °С;  $t_{\text{ликв}}$  – температура ликвидус, °С;

$\Delta t_{\text{пр.к}}$  – перегрев металла в промежуточном ковше над  $t_{\text{ликв}}$ , °С;  $\Delta t_{\text{ст.к}}$  – перегрев металла в сталеразливочном ковше над  $t_{\text{пр.к}}$ , °С

Состав стали принимается из справочной литературы по заданной марке стали. Данные о влиянии некоторых легирующих на температуру плавления стали ( $\Delta t_{\text{ликв}}$ )

i

представлены в таблице 1.

$$t_{\text{ликв}} = 1539 - \sum_{i=1}^n [E]_i \cdot \Delta t_{E_i}^{\text{ликв}}, \quad (2)$$

Таблица 1 – Снижение температуры ликвидус ( $t_{\text{ликв}}$ ) при введении

i

в сталь 1 % элементов [9]

Элемент $E_i$	$t_{E_i}^{\text{ликв}}, ^\circ\text{C}$	Элемент $E_i$	$\Delta t_{E_i}^{\text{ликв}}, ^\circ\text{C}$
Углерод	73	Хром	1
Кислород	65	Молибден	3
Сера	30	Вольфрам	1
Кремний	12	Алюминий	3
Марганец	3	Ванадий	2
Фосфор	28	Титан	18
Медь	7	Кобальт	1,8
Никель	3,5		

Перегрев металла над температурой ликвидус в промежуточном ковше ( $\Delta t_{\text{пр.к}}$ ) определяется в основном продолжительностью разливки плавки и способом подачи металла в кристаллизатор. В зависимости от условий разливки величина оптимального перегрева изменяется от 15 – 25  $^\circ\text{C}$  при разливке плавки закрытой струей в течение до одного часа, до 30 – 40  $^\circ\text{C}$  при разливке плавки открытой струей в течение более одного часа. В большинстве случаев на современных МНЛЗ применяется подача металла в кристаллизатор закрытой струей, а продолжительность разливки плавки не превышает 60 минут, поэтому оптимальный перегрев металла над температурой ликвидус в промежуточном ковше следует выбирать из диапазона 15 – 30  $^\circ\text{C}$ .

Температура металла в сталеразливочном ковше должна быть минимальной, но обеспечивать заданный температурный уровень металла в промковше на протяжении разливки всей плавки с учетом теплотеря. Оптимальный перегрев металла в сталеразливочном ковше над температурой в промковше ( $t_{\text{ст.к}}$ ) составляет 40 – 50  $^\circ\text{C}$ , поэтому, обычно, температура металла в сталеразливочном ковше на 70 – 80  $^\circ\text{C}$  превышает температуру ликвидус стали.

Пользуясь формулами (1) и (2), необходимо определить допустимое значение температуры в промежуточном и сталеразливочном ковшах для заданной марки стали.

### **Форма представления результата:**

Отчет о выполненной работе в тетради для практических занятий

### **Критерии оценки:**

- «Отлично» - работа выполнена точно в срок и в соответствии с требованиями, ошибок нет.
- «Хорошо» - допускаются небольшие неточности или некоторые ошибки в работе.
- «Удовлетворительно» - в работе отсутствуют значительные элементы по содержанию работы, допущено ошибок более 50% от работы.
- «Неудовлетворительно» - работа полностью не соответствует требованиям, все задания выполнены не верно.

## **Тема 2 Оборудование разливки стали на МНЛЗ**

### **Практическая работа №8**

#### **Проведение виртуальной разливки стали на слябовой МНЛЗ на тренажере «SIKE. Разливка стали на слябовой МНЛЗ»**

### **Формируемые компетенции:**

ПК 5.1 Проверять техническое состояние кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок и подготавливать его к разливке.

ПК 5.2 Выполнять техническое обслуживание и ремонт машины непрерывного литья заготовок.

### **Цель работы:**

Провести виртуальную разливку стали на слябовой МНЛЗ

### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

выполнять виртуальную разливку стали на слябовой МНЛЗ

**Оборудование:** ПК, тренажер «SIKE. Разливка стали на слябовой МНЛЗ»

### **Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомится с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.

1 Зайти в программу «Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»  
в раздел 1. Конструкция основных узлов и агрегатов МНЛЗ



**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА**  
**для проведения виртуальной**  
**разливки стали на слябовой МНЛЗ**

## 2.

1. Ознакомиться с общими теоретическими сведениями об устройстве МНЛЗ и технологии разливки стали на МНЛЗ (см. Раздел 2).

2. Выбрать целевую марку стали, задать сечение и мерную длину заготовки на вкладке «Практикум» (Рисунок 4).

3. Руководствуясь сценарием выполнить разливку стали на слябовой МНЛЗ при помощи виртуальной системы управления технологическим процессом.

**SIKE**  
СИСТЕМЫ ИМИТАЦИИ

ТРЕНАЖЕР-ИМИТАТОР  
"РАЗЛИВКА СТАЛИ НА СЛЯБОВОЙ МНЛЗ"

Практикум      Результаты тестирования

1. Изучите лабораторную работу

2. Задайте целевую марку стали

Марка стали:

Температура и химический состав стали с отделения внепечной обработки

Масса, т	T, °C	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Сu	N	Al
343	1558	0,163	0,169	0,508	0,028	0,022	0,020	0,219	0,200	0,005	1,040

3. Задайте сечение заготовки, мм

1350 x 220

Ширина: 750 ————— 2000      Длина: 200 ————— 250

4. Задайте мерную длину заготовки, м

4,9 ————— 12

8,4

5. Выплавите сталь в режиме  или

Рисунок 4. Вкладка «Практикум»

## 4.1. Понятие сценария

Сценарий обучения является **пошаговой инструкцией** по разливке стали на МНЛЗ и освещает основные этапы разливки стали.

В режиме «**Обучение**», в отличие от режима «**Тестирование**», для заданий сценария доступны описания по их выполнению (какую кнопку нажать, какое значение ввести и т.д.).

Задания сценария делятся на 2 типа:

1. задания, которые пользователь выполняет самостоятельно;
2. информационные сообщения, которые по ходу ведения разливки либо будут уведомлять об операциях, которые будут происходить в автоматическом режиме, либо выдавать рекомендации по ведению процесса (переход к следующему заданию для данного типа сообщения происходит при нажатии на кнопку «Подтвердить выполнение»).

## 4.2. Пример выполнения сценария

1. На вкладке «Практикум» выберите следующую целевую марку стали и параметры заготовки (Рисунок 5).

1. Изучите [лабораторную работу](#)

2. Задайте целевую марку стали

Марка стали:

Температура и химический состав стали с отделения внепечной обработки

Масса, т	T, °C	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	M	Al
345	1549	0,152	0,255	0,434	0,023	0,024	0,023	0,255	0,276	0,008	0,020

3. Задайте сечение заготовки, мм

1350 x 250

Ширина:    Толщина:

4. Задайте мерную длину заготовки, м

4,8

5. Выплавите сталь в режиме  или

Рисунок 5. Начальные и целевые параметры

## Форма представления результата:

Экран компьютера

## Критерии оценки

Оценка за выполненную практическую работу выставляется по оценке, полученной за режим тестирования соответствующего раздела тренажера «Разливщик стали МНЛЗ ККЦ»