

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(национальный исследовательский университет)»  
Факультет заочный  
Кафедра «Литейное производство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой.  
д. т. н. профессор  
/Б. А. Кулаков  
«\_\_»\_\_\_\_\_2019г.

Технология производства на МНЛЗ стальной непрерывно литой  
заготовки с профилем сечения 100x100

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ-22.03.02.2019.537.00.00 ПЗ ВКР

Нормоконтролер  
доцент, к.т.н.  
А.В. Карпинский  
«\_\_»\_\_\_\_\_2019г.

Руководитель проекта  
доцент, к.т.н.  
Ердаков И.Н.  
«\_\_»\_\_\_\_\_2019г.

Автор проекта  
студент группы  
ПЗ-537  
А.С. Берсенева  
«\_\_»\_\_\_\_\_2019г.

## АННОТАЦИЯ

Берсенов А. С. Технология производства на МНЛЗ стальной непрерывной литой заготовки с профилем сечения 100x100. – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ – 537, 2019, 70 с., 5 ил., библиогр. список – 14 наим., 1 лист чертежей ф. А0, 2 листа чертежей ф. А1, 2 плаката ф. А1.

В выпускной квалификационной работе необходимо разработать технологию производства на МНЛЗ стальной блюмы с профилем сечения 100x100 из стали СтЗпс.

В технологической части был подробно рассмотрен технологический процесс МНЛЗ, проведены расчеты по основным параметрам работы МНЛЗ.

Специальная часть посвящена методике диагностирования зависания корочки слитка в кристаллизаторе, также были рассмотрены вопросы безопасной работы в цехе.

					<i>22.03.02.2019.813.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Берсенов А.С.</i>				<i>Технология производства на МНЛЗ стальной непрерывной литой заготовки с профилем сечения 100x100</i>	<i>Лит.</i>	<i>Листов</i>	<i>Лист</i>
<i>Провер.</i>	<i>Ердаков И.Н.</i>					<i>В</i>	<i>70</i>	<i>3</i>
<i>Т.конт.</i>						<i>ЮУрГУ Кафедра ЛП</i>		
<i>Н.конт.</i>	<i>Карпинский А.В.</i>							
<i>Утв.</i>	<i>Кулаков Б.А.</i>							

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	6
2 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВКИ.....	14
2.1 Анализ продукции.....	14
2.2 Материал отливки.....	14
2.3 Назначение выплавляемого сплава.....	15
2.4 Технологический цикл производства стали марки СтЗпс.....	16
2.4.1 Оборудование для производства стали.....	16
2.4.2 Шихтовые материалы для производства стали.....	19
2.4.3 Технологическая схема выплавки с указанием режимов работы оборудования.....	20
2.5 Расчетная часть.....	22
2.5.1 Подготовка МНЛЗ к разливке.....	26
2.5.2 Подготовка промежуточных ковшей, металлопровода и отсекающих желобов.....	32
2.5.3 Разливка стали.....	35
2.5.4 Параметры жидкого металла.....	36
2.5.5 Продолжительность затвердевания НЛЗ.....	38
2.5.6 Скорость вытягивания заготовки.....	39
2.5.7 Параметры качания кристаллизатора.....	43
2.5.8 Расчет количества охлаждающей воды на один ручей МНЛЗ.....	45
3 МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЗАВИСАНИЯ КОРОЧКИ СЛИТКА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ.....	50
3.1 Основные аварийные ситуации и возможные неполадки при непрерывной разливке стали.....	50
3.2 Методика диагностирования зависания корочки слитка в кристаллизаторе.....	53
4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	57
4.1 Общие положения.....	57
4.2 Санитарно-гигиенические требования.....	60
4.3 Электробезопасность.....	61
4.4 Правила пожарной безопасности.....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	68
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	69

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

4

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной техники и промышленности основано, главным образом, на применении металла. Получение достаточных количеств металла, обладающего необходимыми механическими, физическими и физико-химическими свойствами, позволяет сооружать мощные гидроэлектростанции, атомные реакторы, строительные конструкции и многое другое. То есть новая техника XXI века – техника высоких давлений и температур, больших скоростей и сильных химических воздействий – потребовала новых материалов для машин, аппаратов и другую металлических изделий. Такими материалами и явились высококачественные специальные стали и сплавы.

Таким образом, черная металлургия – одна из важнейших отраслей современной промышленности не только России, но и многих других стран.

Внедрение инноваций и использование энерго-, ресурсо- и трудосберегающих технологий практически на всех металлургических переделах должны обеспечивать повышение конкурентоспособности производств и продукции.

Непрерывное литье является высокоэффективным методом получения заготовок. Непрерывно литая заготовка необходима для получения длинномерного проката и паковок, которые затем используют в различных отраслях машиностроения. На блюмовых машинах непрерывного литья обеспечивают получение заготовки прямоугольного или квадратного сечения с минимальным размером стороны свыше 140 мм. Соотношение между сторонами, как правило, не превышает 1:1,5.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

5

# 1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Предприятия черной металлургии России и других стран СНГ являются одними из крупнейших поставщиков сортовой заготовки и длинномерного проката на мировой рынок, динамика развития которого характеризуется заметным повышением конкуренции и требований к качеству продукции. В последние два десятилетия наблюдается значительный прогресс в конструкционном оснащении и технологическом оформлении машин непрерывного литья сортовых заготовок. Это позволило адаптировать процесс непрерывного литья к различным технологическим построениям и видам продукции, которые в максимальной степени учитывают конъюнктуру рынка.

За это время номинальная производительность типовых сортовых МНЛЗ возросла, по крайней мере, в 2...2,5 раза. Это создало предпосылки для расширения сортамента разливаемых марок стали, снижения удельных затрат на разливку и сокращения обслуживающей инфраструктуры. При этом объем капитальных вложений при строительстве МНЛЗ возрос в значительно меньшей степени, чем ее производительность, что обеспечивает уменьшение реальных инвестиций на тонну разливаемой стали.

В стандартах большинства стран мира под сортовой заготовкой (billet) подразумевается квадратная (или близкая к квадрату) заготовка, полученная при разливке на МНЛЗ или путем прокатки из слитка на блюминге с сечением, как правило, от 100x100 мм до 160x160 мм (встречается также сечение 180x180 мм). Кроме того, к сортовым заготовкам относится круглая заготовка (round) диаметром от 100 до 180 мм и специальные фасонные профили, например, типа «собачья кость» (dog sholder) (рисунок 1.1). Между тем, в металлургической практике не существует строгого разграничения между предельными размерами сечения блюмов и сортовых заготовок. Большинство специалистов считает, что сортовой заготовкой является та заготовка, которая перекачивается в конечную продукцию за один этап. Следуя этой концепции, можно говорить о том, что граница раздела

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

6

между блюмовой и сортовой заготовкой находится в пределах размеров 220x220 мм или 240x240 мм. В то же время в практике ряда стран (в т.ч. и США) обычно максимальное сечение сортовой заготовки определяется как квадрат 160x160 мм.

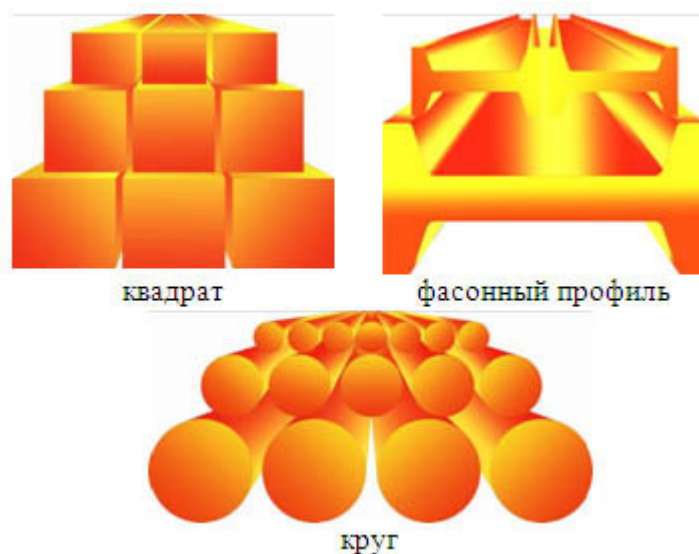


Рисунок 1.1 – Основные виды сортовых заготовок

Конкуренция на мировом рынке сортовой заготовки непрерывно ужесточается, что является неизбежным следствием быстрого наращивания производственных мощностей в КНР и Индии, а также появлением большого количества металлургических мини-заводов во многих развивающихся странах. Достаточно отметить, что только за последнее десятилетие производство непрерывнолитой сортовой заготовки было освоено более чем на двух десятках металлургических заводов СНГ.

С другой стороны, обострение конкуренции на мировом рынке сортовой заготовки стимулирует процесс совершенствования системы стандартов, регламентирующей качество металлопродукции. В большинстве случаев производители и покупатели сортовой заготовки предпочитают ее сертификацию в системе стандартов ИСО9001 или ИСО9002. При этом предпочтение отдается следующим международным сертификационным бюро: TUV-CERT, Det Norske Veritas, Lloyd's Register, Germanischer Lloyd, Bureau Veritas и т.д. Качество заготовки, используемой, например, в США, регламентируется стандартом

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

7

ASTM: A 615/A 615M, который допускает выплавку стали в конвертерах и дуговых сталеплавильных печах.

Высокопроизводительные сортовые МНЛЗ устанавливаются как в конвертерных, так и в электросталеплавильных цехах. Весьма характерным при этом является то, что в группе длинномерной продукции наблюдается как бы «смесь» из крупных производств на интегрированных металлургических заводах и гибких металлургических предприятий сравнительно небольшой годовой производительности (металлургических мини- и микро-заводов). Однако и для одних, и для других производств не существует гарантированно надежной технологической схемы, обеспечивающей оптимальный результат и гарантированную конкурентоспособность.

Значительная часть непрерывнолитой сортовой заготовки производится на мини металлургических заводах, которые в силу их концептуального построения являются сравнительно гибкими технологическими системами, обеспечивающими низкие удельные расходы энергии и труда, а также минимальные капитальные вложения. Примером такого построения является ЗАО «Донецкий электрометаллургический завод», в состав которого входит высокомогущая дуговая сталеплавильная печь емкостью 120 т (введена в эксплуатацию в 2000 г.), установка ковш-печь (УКП) (пущена в эксплуатацию в 1999 г.), вакууматор VD/VOD (пущен в эксплуатацию в 2001 г.) и шестиручьевая МНЛЗ (производительность 1 млн. т/год). Сталь разливают в квадратную заготовку со стороной 100, 120, 125, 150 мм и круглую трубную заготовку диаметром 120, 130, 150, 180 мм. Такое технологическое оформление ЭСПЦ позволило значительно повысить конкурентоспособность продукции предприятия и впервые для украинских производителей сертифицировать сортовую заготовку в международном бюро «TUV-NORD» на соответствие требованиям международным стандартам ИСО 9002.

Другим весьма эффективным технологическим построением для производства сортовой заготовки является ее получение в конвертерных цехах интегрированных металлургических заводов. Само по себе производство сортовой заготовки по

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

схеме «доменная печь – конвертер – установка для внепечной доводки стали – сортовая высокопроизводительная МНЛЗ» является весьма привлекательным, поскольку обеспечивает получение сортовой заготовки высокого качества за счет чистоты первичного металлического сырья (в сравнении с мини-заводами).

Вместе с тем гарантированно высокое качество сортовой заготовки может быть достигнуто при перекате непрерывнолитых блюмов, поскольку в этом случае достигается высокая химическая и физическая однородность металла. Кроме того, разливка блюмов на МНЛЗ предполагает защиту металла от вторичного окисления на всех этапах технологических переливов.

В целом анализ работы находящихся в эксплуатации блюмовых МНЛЗ показывает, что в последнее десятилетие строительство новых машин носит весьма ограниченный характер и направлено на получение высококачественной заготовки, что, вероятно, объясняется насыщенностью рынка блюмовой заготовки в большинстве регионов мира. В то же время основные производители блюмовой заготовки акцентируют все больше внимания на реконструкцию и модернизацию действующих МНЛЗ. Вместе с тем, принимая во внимание сложившуюся в мире конъюнктуру, можно принять, что технология переката непрерывнолитого блюма до сортовой заготовки, реализуемой на экспорт, может иметь экономическую целесообразность, в первую очередь, в части получения высококачественной квадратной заготовки, а также для круглой заготовки, используемой при производстве труб. Дополнительно следует отметить, что такая технология сопряжена с заметным удлинением технологического цикла и определенными дополнительными затратами энергии и снижением выхода годного в сравнении с непрерывнолитой сортовой заготовкой. Например, выход годного проката при переходе с блюма крупного сечения на сортовую заготовку может быть повышен в среднем на 3...5 %, а общая экономия энергии составляет 2...3 ГДж/т.

В конструкционном плане машины для разливки на сортовые заготовки представляют собой, главным образом, радиальные МНЛЗ, что объясняется их простотой и высокой функциональностью (рисунок 1.2). Для высокопроизводительных сортовых МНЛЗ количество ручьев колеблется в

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9



пределах от 4 до 8 единиц. При этом распространение 7...8 ручьевых МНЛЗ в мире носит все же ограниченный характер (всего несколько десятков машин). Основными разработчиками высокопроизводительных сортовых МНЛЗ являются фирмы «Concast Standard», «SMS-Demag», «Danieli», «Siemens-VAI». Некоторые другие крупные машиностроительные фирмы также занимаются разработкой и изготовлением сортовых МНЛЗ. Так, на ряде металлургических предприятий стран СНГ хорошо зарекомендовали себя сортавые МНЛЗ ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод».

Базовый радиус скоростных сортовых МНЛЗ обычно составляет 6...9 м. Зона вторичного охлаждения имеет, как правило, 4...5 секций, которые оборудованы форсунками для разбрызгивания воды (для последних секций это может быть также водовоздушная смесь).

Как правило, отечественные сортавые машины обеспечивают разливку квадратной заготовки нескольких сечений с размером стороны в диапазоне 100...160 мм. В ряде случаев сортавые машины охватывают более широкий спектр сечений, и, в том числе, позволяют, например, разливать круглую заготовку диаметром до 180...200 мм.

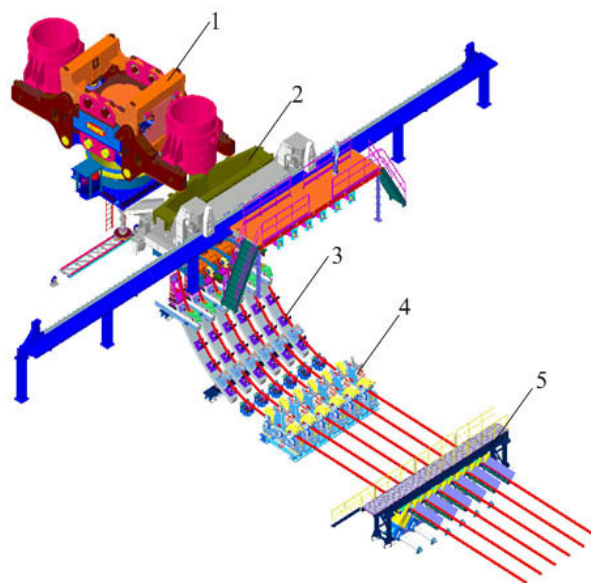


Рисунок 1.2 – Схема 6-ти ручьевого сортового МНЛЗ: 1 – поворотный стенд со сталеразливочными ковшами; 2 – промковш; 3 – разливочная дуга и ЗВО; 4 – тянуще-правильная машина; 5 – устройство для порезки заготовки

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

10

Качественные трубные марки сталей разливаются преимущественно на радиальных или криволинейных МНЛЗ с многоточечным загибом и разгибом заготовки, что позволяет получать заготовки диаметром 300...450 мм (максимально до 600 мм, завод «ELLWOOD STEEL», Бельгия). Базовый радиус на этих машинах колеблется в пределах 12...14 м в зависимости от максимального диаметра отливаемой заготовки. В целом, говоря о непрерывной разливке круглых стальных заготовок, можно отметить, что в последнее время полностью оформилась тенденция создания комбинированных МНЛЗ, которые позволяют разливать несколько различных сечений блюмов, а также круглых заготовок. Примером такого подхода является четырехручьева радиальная МНЛЗ-1 с диаметром круглой заготовки 430 мм на Нижнетагильском металлургическом комбинате (Россия). Она представляет собой четырехручьевую машину криволинейного типа с базовым радиусом 12 м и радиальным кристаллизатором. Скорость разливки 0,45...0,50 м/мин для круглой заготовки. Кроме того, машина позволяет разливать блюм сечением 300x360 мм со скоростью до 0,6 м/мин.

В 2006 г. на Таганрогском металлургическом заводе (Россия) вступила в эксплуатацию комбинированная пятиручьева МНЛЗ для получения круга диаметром 150...400 мм.

При этом МНЛЗ позволяет также разливать квадратную заготовку сечением от 150x150 мм до 340x340 мм. Проектная производительность машины составляет 950 тыс. т в год.

Аналогичная МНЛЗ поставлена фирмой «SMS-Deag» на Северском трубном заводе.

В 2008 г. на мини-заводе ЗАО «Азовэлектросталь» (г. Мариуполь) в электросталеплавильном цехе запущена в эксплуатацию двухручьева комбинированная блюмовая МНЛЗ, обеспечивающая производство квадрата 250x250 мм и круга диаметром 400 мм. Качество стали обеспечивается ее обработкой на установке ковш-печь и вакууматоре.

Непрерывная разливка фасонных заготовок получила широкое распространение в мире, особенно на металлургических заводах США, Японии и

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

11

Южной Кореи. В основном эти МНЛЗ расположены в электросталеплавильных цехах, большая часть из которых работает с использованием шихты прямого восстановления. Практически все МНЛЗ (их число на сегодняшний день превышает 60 единиц) для производства балочных фасонных заготовок в конструкционном плане являются комбинированными, что предполагает разливку на них прямоугольных заготовок.

На территории СНГ в 2000 г. на Нижнетагильском металлургическом заводе была введена в эксплуатацию двухручьевая МНЛЗ-3 с базовым радиусом 12 м для отливки фасонной заготовки нескольких типоразмеров, предназначенной для прокатки колонных профилей и крупных широкополочных балок с высотой 600...1000 мм. На машине отливают также прямоугольные заготовки сечением 200х(500...600) мм.

В целом же следует ожидать, что новые металлургические комплексы с разливкой стали на фасонную заготовку будут сооружаться в быстро развивающихся регионах мира (например, КНР, Латинская Америка и пр.). При этом дополнительным стимулирующим фактором будет ограничение применения в строительстве материалов на основе древесины.

В целом мировому развитию и тотальному применению метода непрерывной разливки сортовой заготовки способствовали следующие основные достижения [1]:

- усовершенствование основных конструктивных элементов МНЛЗ и улучшение их функциональных параметров;
- применение гидроприводов для обеспечения возвратно–поступательного движения кристаллизатора;
- внедрение комплексной системы автоматизации процесса разливки в совокупности с широким применением аппаратов для контроля отдельных параметров работы машины в течение всего цикла разливки;
- освоение технологии непрерывной разливки сортовой заготовки с использованием защиты стали от вторичного окисления и электромагнитного перемешивания металла в кристаллизаторе;

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

12

- кардинальное повышение качества непрерывнолитой заготовки за счет обработки стали в промковше, использования метода мягкого обжатия заготовки с жидкой сердцевиной, автоматизации процесса разливки и оптимизации химического состава, а также эксплуатационных показателей расходуемых и огнеупорных материалов;
- повышение выхода годного за счет увеличения серийности разливки, снижения отходов стали при отрезании головной и концевой частей непрерывнолитой сортовой заготовки, а также уменьшения отходов металла с остатком в промковше, выводимом из эксплуатации;
- повышение производительности МНЛЗ до уровня блюмовых за счет увеличения числа ручьев (до 6...8) при повышении скорости вытяжки заготовки до 5...6 м/мин;
- создание и конструктивное оформление концепции универсальных высокоэффективных технологических модулей (мини-заводов), объединяющих высокопроизводительный плавильный агрегат (мощную дуговую сталеплавильную печь), агрегат для комплексной доводки стали в ковше («ковш-печь») и высокопроизводительную многоручьевую МНЛЗ.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

13

## 2 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВКИ

### 2.1 Анализ продукции

Блюм (от англ. bloom, также блюмс, блум, обжатая болванка) – полупродукт металлургического производства – стальная заготовка сечения, близкого к квадратному. Блюм получается из слитков прокаткой на блюминге или, с 1960-х годов, из жидкого металла на машинах непрерывного литья. Дальнейшая переработка блюмов производится прокаткой. Фото блюма 100x100 представлен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Фото блюма 100x100

### 2.2 Материал отливки

Химический состав стали марки Ст3пс (ГОСТ 380-2005) % представлен в таблице 2.1. В таблице 2.2 представлены механические свойства стали марки Ст3сп [2].

Таблица 2.1 – Химический состав стали марки Ст3пс ГОСТ 380-2005

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	As	Cu	Fe
0,14...0,22	0,1...0,3	0,4...0,65	до 0,3	до 0,05	до 0,04	до 0,3	до 0,08	до 0,3	ост.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

14

Таблица 2.2 – Механические свойства стали марки СтЗсп

$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа	$\delta_5$ , %	КСУ, Дж/м <sup>2</sup>	НВ 10 <sub>-1</sub> , МПа
372	245	23	–	–

Углерод – находится в стали в виде химического соединения Fe<sub>3</sub>C, называемого цементитом. С увеличением содержания углерода до 1,2 % твердость, прочность и упругость стали увеличиваются, но пластичность и сопротивление удару понижаются, а обрабатываемость ухудшается, ухудшается и свариваемость.

Кремний – если он содержится в стали в небольшом количестве, особого влияния на ее свойства не оказывает. (Полезная примесь; вводят в качестве активного раскислителя и остается в стали в количестве 0,4 %)

Марганец – как и кремний, содержится в обыкновенной углеродистой стали в небольшом количестве и особого влияния на ее свойства также не оказывает. (Полезная примесь; вводят в сталь для раскисления и остается в ней в кол-ве 0,3...0,8 %. Марганец уменьшает вредное влияние кислорода и серы.

Сера – является вредной примесью. Она находится в стали главным образом в виде FeS. Это соединение сообщает стали хрупкость при высоких температурах, например при ковке, – свойство, которое называется красноломкостью. Сера увеличивает истираемость стали, понижает сопротивление усталости и уменьшает коррозионную стойкость. В углеродистой стали допускается серы не более 0,06...0,07 %. ( От красноломкости сталь предохраняет марганец, который связывает серу в сульфиды MnS).

Фосфор – также является вредной примесью. Снижает вязкость при пониженных температурах, то есть вызывает хладноломкость. Обрабатываемость стали фосфор несколько улучшает, так как способствует отделению стружки.

### 2.3 Назначение выплавляемого сплава

Данная марка стали СтЗпс является конструкционной углеродистой сталью обыкновенного качества, которую применяют для изготовления несущих и

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

ненесущих элементов для сварных и несварных конструкций, а также деталей, работающих при положительных температурах. Листовой и фасонный прокат – для несущих элементов сварных конструкций предназначенных для эксплуатации в диапазоне положительных температур при переменных нагрузках [3].

## 2.4 Технологический цикл производства стали марки СтЗпс

### 2.4.1 Оборудование для производства стали

Производство стали марки СтЗпс в условиях электросталеплавильного цеха имеет следующую технологическую схему: производство полупродукта в основной электродуговой печи ДСП-100, рафинирование и доводка стали до требуемого химического состава на агрегате печь-ковш, разливка на машине непрерывного литья заготовки.

Выплавка стали в дуговой сталеплавильной печи осуществляется по технологии с непрерывной загрузкой горячей шихты в сталеплавильную печь. Система непрерывной загрузки лома в печь позволяет сократить время отключений печи, а также повысить ее производительность. При непрерывной загрузке лома расход энергии сокращается примерно на 20 %, так как устраняются потери тепла, вызываемые открытием свода печи для завалки лома бадьями [4].

Преимущества непрерывной загрузки шихты:

- уменьшение времени отключений;
- уменьшение потребления электроэнергии;
- улучшение экономических показателей работы печи;
- сокращение объема технического обслуживания;
- уменьшения неблагоприятного воздействия на окружающую среду;
- повышение безопасности операторов;
- сокращение числа операций в сталеплавильном цехе;
- уменьшение количества электромостовых кранов и сталевозов;

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

16

- быстрая окупаемость инвестици;
- снижение производственных затрат.

Сущность процесса состоит в том, что скрап через конвейерный туннель непрерывно загружается в дуговую сталеплавильную печь (ДСП) через специальное загрузочное окно в кожухе печи. Навстречу движению скрапа через окно в туннель идет поток горячих печных газов, которые нагревают скрап перед загрузкой в ДСП. Конвейерная система соединяет скрапной двор с ДСП.

Предварительный подогрев шихты позволяет значительно сократить расход технологической электроэнергии на расплавление. При средней температуре подогрева скрапа от 400 до 600 °С и полноте расплавления от 70 до 80 % массы завалки экономия энергии колеблется от 80 до кВт/ч на тонну жидкой стали на выпуске.

Основное технологическое оборудование цеха: дуговая сталеплавильная печь (ДСП-100) с технологией загрузки шихты; агрегат ковш-печь (АКП-100); машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) слябовая, мостовые крана; сталевозы; сталеразливочные ковши.

ДСП-100 с основной футеровкой, номинальная садка печи имеет 100 тонн, с учётом допустимого перегруза – 140 тонн, на выпуске – 100 тонн (остальной металл остаётся в печи в качестве «болота»).

Основные технические характеристики оборудования дуговой сталеплавильной печи приведены в таблице 2.3.

Агрегат ковш-печь, также называется агрегатом комплексной обработки стали (АКОС) – это звено в единой технологической схеме с дуговой печью, для доведения металла в ковше, после его выпуска из плавильного агрегата, до заданной температуры и химического состава.

В агрегате проводятся операции окончательного раскисления, десульфурации, легирования и модифицирования. Ковш накрывается водоохлаждаемым сводом с отверстиями для введения графитированных электродов, подачи присадок и контроля процесса, наводят свежий высокоосновный шлак, обладающий высокой десульфурующей способностью и защищающий металл от вторичного

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		17



окисления окружающей атмосферой. Технические характеристики АКП-100 представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.3 – Общие характеристики агрегата ДСП-100

Тип печи	переменного тока с полной платформой
Система загрузки шихты	система непрерывной загрузки
Вид выпуска жидкого металла	эркерный
Выпуск стали	100 т
Диаметр кожуха	6800 мм
Внутренний диаметр	6900 мм
Тип панелей	стальные и медные (нижние) трубы
Угол выпуска	20°
Тип электродных консолей	проводные
Круговой диаметр расположения электродов	1250 мм
Диаметр электрода	610 мм
Длина электрода	2700 мм
Емкость корзины для лома	85 м <sup>3</sup>

Таблица 2.4 – Технические характеристики агрегата ковш-печь

Наименование параметра	Норма	
	Номинальная	Допустимая
Емкость ковша, т	100	100
Диаметр кожуха ковша, мм	3700	–
– в верхней части	3375	–
– в нижней части		
Высота ковша, мм	3950	–
Мощность трансформатора, МВА	18	–
Напряжение трансформатора, В	10000	± 5 %
– высокое напряжение	318,5...132,5	
– низкое напряжение		
Номинальный ток, кА	32,6	–
Число фаз	3	–
Напряжение цепей управления, В	220; 24	–
Напряжение силовых цепей приводов, В	380	–
Диаметр графитированных электродов, мм	400	–

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

18

Продолжение таблицы 2.4

Наименование параметра	Норма	
	Номинальная	Допустимая
Диаметр распада электродов, мм	700	700±5
Ход электрода, мм	2500	2500...20
Скорость перемещения трех электродов одновременно вверх, мм/с	75	–
Скорость нагрева металла, °С/мин	3...4	–
Расход охлаждающей воды, м³/ч		
– на свод	160	–
– на вторичный токопровод	60	–
Расход аргона на продувку металла, м³/ч	5...25	30
Расход азота на газодинамические уплотнители, нм³/ч	2100	2500
Давление аргона на продувку, МПа	0,6	1,6
Масса агрегата ковш-печь, кг	168000	–

#### 2.4.2 Шихтовые материалы для производства стали

Основными составляющими металлошихты являются привозной и оборотный металлолом, а также чугуны. Качество металлической шихты, ферросплавов, окислителей, заправочных шлакообразующих материалов, используемых при выплавке стали, должно соответствовать требованиям нормативно-технической документации. Не допускается к использованию шихта, загрязненная цветными металлами.

Шихтовые материалы должны удовлетворять следующим требованиям:

- количество крупной шихты не должно превышать 40 % завалки;
- размер прессованных пакетов не более 500×500×600 мм,
- плотность прессованных пакетов не менее 2 г/см³;

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

19

- размер кусков возврата:
- толщина куска 50...300 мм,
- ширина не более 1000 мм,
- длина не более 1500 мм;
- стружка без масла и воды длиной 50...100 мм;
- содержание примесей, не удаляемых в процессе плавки, не должно превышать значений, установленных химическим составом выплавляемой стали, с учетом примесей, вносимых ферросплавами.

Для производства СтЗпс используются шихтовые материалы:

- отход Б-76;
- отход У-13;
- ферромарганец (ФМн78);
- ферросилиций (ФС65);
- алюминиевая болванка (А97);
- кокс;
- известь;
- плавиковый шпат.

2.4.3 Технологическая схема выплавки с указанием режимов работы оборудования

Шихтовые материалы перед использованием на плавку должны быть взвешены. Шлакообразующие и заправочные материалы допускается готовить на плавку в специальной тарированной емкости. В качестве тарированной емкости разрешается использовать также мульды, не имеющие наваров, прогаров, деформаций, приводящих к искажению внутреннего объема.

Шихта должна состояться из углеродистых отходов, чистых по хрому, никелю и меди.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

20

В печь перед завалкой шихты и во время её плавления должны присаживаться шлакообразующие материалы: известь (или известняк) и шамот в соотношении 2 : 1 в количестве 1,0...1,5 % от массы шихты.

Далее стальной лом загружают в ДСП-100 системой непрерывной загрузки лома в печь, который представляет собой новый технологический процесс, применимый к существующим или новым печам постоянного или переменного тока и позволяющий сократить время отключений печи, а также повысить ее производительность.

После этого свод печи надвигается на ванну, имеющую форму чаши. Электроды опускают через отверстия свода до возникновения короткого замыкания с шихтой и зажигают электрические дуги. Плавление и нагрев осуществляются за счёт теплоты электрических дуг, возникающих между электродами через жидкий металл или металлическую шихту.

После расплавления шихты в печи образуется слой жидкого металла и шлака. Путем добавок в жидкую сталь раскислителей и легирующих добавок добиваются нужного состава стали. Готовую сталь и шлак выпускают через сливной желоб, наклоня рабочее пространство. Рабочее окно, закрываемое заслонкой, предназначено для контроля заходом плавки, ремонта пода, загрузки материалов и промежуточного выпуска шлака (в окислительный период). Температура жидкой стали при выпуске на 120...150 °С выше температуры ликвидус и составляет 1550...1650 °С. В конце плавки уровень углерода понижается до требуемого для стали марки СтЗпс значения. Металл сливают в ковш и подвергают внепечной обработке на АКП.

Агрегат печь-ковш используется для получения требуемой марки стали и усреднения химического состава стали.

В предварительно разогретый тигель-ковш заливают металл из сталеразливочного ковша. При переливе стали как можно тщательнее отделяется шлак, образовавшийся в сталеплавильной печи и имеющий повышенное содержание фосфора (лучше, если в сталеплавильной печи не прошла стадия раскисления во избежание обратного перехода фосфора из шлака в сталь). Далее в

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

21

тигель–ковш вводят ферросплавы, требуемые для доводки стали до нужного химсостава, и вводят шлакообразующие. После этого тигель-ковш помещают под водоохлаждаемый свод, через отверстие в котором проходят три графитированных электрода. Электроды опускаются ниже верхнего уровня шлака для экранирования футеровки от излучения дуг и начинается дуговой нагрев. Для исключения попадания в рабочее пространство кислорода и поддержания восстановительной атмосферы под свод дополнительно вводят инертный газ. Одновременно с нагревом или немного раньше начинают продувку металла аргоном через пористую пробку в днище тигельковша. Благодаря этому образующийся основной шлак интенсивно перемешивается с металлом, ускоряя процессы раскисления стали и удаления серы. Через технологическое отверстие в своде проводятся замеры температуры, отбор проб, наблюдение за ходом процесса и добавка легирующих для точной доводки химического состава стали. Полная длительность обработки стали в этой ковшовой печи 60...90 минут, из них в течение 10...30 минут циклически может происходить дуговой нагрев. После окончания каждого цикла нагрева электроды поднимаются. После окончания рафинирующих операций сталь из тигель–ковша через шиберный затвор выливается в обычный сталеразливочный ковш, из которого уже поступает на МНЛЗ. В результате обработки не только обеспечивается получение заданного химсостава и температуры стали, но и происходит улучшение основных показателей, в частности, содержание серы снижается с 0,004...0,01 % до 0,001...0,002 %, кислорода – с 0,01...0,03 % до 0,001...0,003 %. [5]

## 2.5 Расчетная часть

МНЛЗ оборудована шестью водоохлаждаемыми кристаллизаторами, укомплектованными конусными гильзами длиной 1000 мм для квадратного и 780 мм для круглого сечения. Гильзы изготовлены из специального сплава меди (99,9 %) с серебром с внутренним износостойким покрытием, водоохлаждаемая рубашка кристаллизатора – из коррозионностойкой стали с механически обработанной

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

22

Таблица 2.5 – Основные технические характеристики МНЛЗ-3,4 (справочная)

Параметр		Техническая характеристика
1		2
Тип МНЛЗ		Сортовые радиальные
Количество ручьев, шт.		6
Радиус МНЛЗ, м		8
Радиусы разгиба, м		9...16
Расстояние между ручьями, мм		1200
Металлургическая длина, м		24,20
Минимальные размеры заготовки, мм		квадрат 100, круг .120
Максимальные размеры заготовки, мм		квадрат 180, круг 180
Опора сталеразливочного ковша		Подъемно-поворотный стенд
Рабочий уровень металла в промковше		800 мм или 26 т
Контроль уровня металла в промковше		Тензодатчики на тележке промковша
Опора промковша		Тележка, оборудованная подъемной системой
Гильза кристаллизатора квадратного сечения с длиной стороны квадрата 100 мм (100 мм <sup>2</sup> )		С изгибом длиной 1000 мм; толщина стенки гильзы – 10 мм; радиус закругления углов – 4 мм; ,4-х конусная
Гильза кристаллизатора квадратного сечения с длиной стороны квадрата 180 мм (180 мм <sup>2</sup> )		С изгибом длиной 1000 мм; толщина стенки гильзы – 17 мм; радиус закругления углов – 6 мм; 4-х конусная
Гильза кристаллизатора круглого сечения диаметром 150 мм (кр. 150 мм)		С изгибом длиной 780 мм; толщина стенки гильзы – 12 мм; цилиндрическая
Регулирование потока стали между промковшом и кристаллизатором	Открытая струя	Система быстрой смены стаканов-дозаторов
	Закрытая струя	Стопор-моноблок
Смазка кристаллизатора для разливки открытой струей		МобиН Formrex 7610, Волтес-МНЛЗ и др.
Шлаковое покрытие металла в кристаллизаторе для разливки закрытой струей		Шлакообразующая смесь (ШОС)

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

23

Продолжение таблицы 2.5

Параметр		Техническая характеристика
Контроль уровня стали в кристаллизаторе		Датчик радиоактивного типа
Перемешивание металла		Устройства электромагнитного перемешивания (ЭМП) в кристаллизаторе и в ЗВО (на МНЛЗ-4)
Механизм качания		Гидравлический стационарного типа
Параметры качания	Частота качания,	25...350
	Амплитуда,	0...16
Охлаждение в ЗВО		Водяное
Выпрямление заготовки		Пятивалковый модуль – три приводных ролика
Минимальная скорость вытягивания, м/мин		0,0
Максимальная скорость вытягивания, м/мин		6,0
Резка заготовки Длина порезанных заготовок для сечения К8. 100 мм, м		Газокислородная 9...12
Длина порезанных заготовок для сечения кв. 180 мм, м		6...12
Тип затравки		Жесткая
Система разгрузки		Боковой шлеппер, холодильник с шагающими балками и накопительная платформа
Система горячего транзита на МНЛЗ-3		Передаточный рольганг на 6 заготовок, боковой шлеппер, накопительная платформа
Маркировка заготовок		Маркировщики на холодильниках (МНЛЗ-3,4); Маркировщик на передаточном рольганге (только на МНЛЗ-3)

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

24

внутренней поверхностью. В процессе разливки стали кристаллизаторы находятся в возвратнопоступательном движении. Амплитуда и частота качания кристаллизатора автоматически регулируются в зависимости от скорости вытягивания заготовок [6].

Охлаждение кристаллизатора обеспечивается водяной рубашкой, образующейся в зазоре между гильзой и внешним корпусом.

Параметры воды для охлаждения кристаллизатора:

- давление воды на входе, Па (бар)  $8 \cdot 10^5 \dots 12 \cdot 10^5$  (8...12);
- температура воды на входе, °С, не более 35;
- перепад температуры воды на входе и выходе из кристаллизатора, °С 5...12;
- водяной зазор между рубашкой кристаллизатора и гильзой, мм 3,25;
- кислотность воды, рН 7...9;
- жесткость по кальцию, CaCO<sub>3</sub> мг/л 0...60;
- жесткость по магнию. MgCO<sub>3</sub> мг/л 0...20;
- щелочности CaCO<sub>3</sub> мг/л 20...200;
- концентрация хлоридов, Cl мг/л, не более 50;
- концентрация сульфатов, SO<sub>4</sub> мг/л, не более 40;
- концентрация железа, Fe мг/л, не более 0,5;
- концентрация кремнезема, SiO<sub>2</sub> мг/л, не более 10;
- общая концентрация растворенных твердых веществ, мг/л, не более 500;
- общая концентрация взвесей, мг/л 10...20;
- размер взвешенных твердых веществ, мкм, не более 50;
- концентрация масла, мг/л, не более 1.

Поддержание уровня металла в кристаллизаторе производится с помощью автоматической системы регулирования:

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

25



- при разливке открытой струей – изменением скорости вытягивания заготовки валками ТПА;
- при разливке закрытой струей под уровень – изменением позиции стопора относительно разливочного стакана.

Допускаемое отклонение уровня при разливке закрытой струей под уровень составляет  $\pm 2,0$  мм, при разливке открытой струей  $\pm 3,0$  мм. Уровень металла в кристаллизаторе квадратного сечения контролируется на участке гильзы длиной 240 мм. 100 % уровня металла в кристаллизаторе соответствует расстоянию 40,5 мм от верхнего торца гильзы, 0 % уровня металла в кристаллизаторе соответствует расстоянию 280,5 мм от верхнего торца гильзы. Вторичное охлаждение заготовок на МНЛЗ производится с помощью форсуночной системы. Система включает в себя автономные секции охлаждения, состоящие из стояков (коллекторов), оснащённых круглофакельными форсунками.

Вытягивание заготовок осуществляется тянуще-правильными агрегатами (ТПА) с индивидуальными приводами на каждый ручей. Порезка заготовок на мерные длины выполняется на машине газовой резки (МГР).

### 2.5.1 Подготовка МНЛЗ к разливке

#### *Подготовка кристаллизаторов. Демонтаж и монтаж*

Не допускается установка на МНЛЗ гильз кристаллизаторов с дефектами согласно. В дополнение к этому не допускается использование гильз с износом в нижней части более 0,5 % (1 мм) для разливки стали с массовой долей углерода более 0,35 % на заготовку сечением 180 мм<sup>2</sup> с требованиями к качеству макроструктуры.

Монтаж, демонтаж и другие операции по обслуживанию радиоактивных источников системы контроля уровня металла в кристаллизаторах должны выполняться работниками специализированной подрядной организации. При неполадках в работе, например, при переливе металла через кристаллизатор или прогаре промковша необходимо немедленно проверить функционирование

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		26

механизма закрытия экрана. При обнаружении повреждения экранирующего контейнера или воздействия на него металла необходимо немедленно сообщить об этом ответственному за радиационную защиту.

Если в процессе разливки произошла потеря ручья из-за обрыва или прорыва, после окончания разливки и перемещения тележки с промежуточным ковшом в позицию парковки необходимо произвести извлечение «чулка» из гильзы.

Демонтаж производить в следующем порядке:

- удостовериться в том, что оборудование находится в безопасном состоянии;
- с главного пульта управления заблокировать контур охлаждения кристаллизатора и контур вторичного охлаждения с водоструйными форсунками;
- очистить плитный настил и крышки кристаллизаторов от скрапа, шлака и мусора;
- снять краном кожухи и ограждения с корпуса кристаллизатора;
- сжатым воздухом обдуть рабочие поверхности гильз кристаллизаторов с удалением с них твердых частиц;
- рабочие стенки гильз тщательно протереть войлочным шомполом;
- проверить состояние гильз кристаллизаторов; нагар от смазки, а также капли металла в районе мениска вручную зачистить мелкой наждачной бумагой и повторно обдуть сжатым воздухом;
- проверить состояние верхних фланцев кристаллизаторов (наличие прогаров и наплывов металла, влияющих на равномерность подачи масла на стенки гильзы, не допускается);
- при необходимости замены кристаллизатора отсоединить кабели, используемые для автоматической системы регулирования уровня стали в кристаллизаторе, и трубу подвода смазочного масла к кристаллизатору (при разливке открытой струей); снять болты, крепящие корпус кристаллизатора к столу качания;
- краном снять корпус кристаллизатора, установить на стенд и передать на специализированный участок по ремонту кристаллизаторов.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

27

Перед установкой корпуса кристаллизатора очистить посадочную поверхность передвижного стенда от посторонних предметов. Кристаллизатор подлежит замене в случае обнаружения и невозможности устранения на месте следующих дефектов и нарушений:

- задигов, трещин, раковин глубиной 0,5 мм и более на рабочей поверхности гильз на расстоянии до 300 мм от верхнего торца кристаллизатора;
- повышенной разности диагоналей квадратных заготовок или овальности (см. технические требования в ТКВР или СТЛ) круглых заготовок при разливке предыдущих плавов, если нет других причин для появления указанных дефектов,
- угловых и продольных трещин на квадратных заготовках и продольных трещин на круглых заготовках;
- после двух подряд прорывов металла под кристаллизатором или в ЗВО №1 на одном и том же ручье, не связанных с нарушениями технологии разливки;
- после разливки от 100 до 120 плавов со времени последней ревизии;
- течи воды в рабочую полость кристаллизатора;
- перепада значений температуры воды в процессе разливки на входе и выходе из кристаллизатора более 12 °С;
- прогаров и наплывов на внутреннем торце верхнего фланца;
- неравномерная подача масла по периметру гильзы.

Перед установкой нового кристаллизатора:

- провести его тщательный осмотр;
- выполнить обдув поверхностей стола качания сжатым воздухом
- с помощью крана установить «новый» кристаллизатор на МНЛЗ,
- устанавливая кристаллизатор на стол качания, проверить правильность его центровки относительно стола качания с помощью направляющих штифтов;
- установить крепежные устройства корпуса кристаллизатора в требуемое положение на столе качания;
- проверить подачу масла: на пульте разливщика нажать кнопку «проверка смазки» и после появления масла по всему периметру гильзы кристаллизатора

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

28

нажать на эту кнопку вторично для прекращения его подачи; специальным войлочным шомполом очистить стенки гильзы от поступившего масла;

- подсоединить кабель, используемый для автоматической системы регулирования уровня стали в кристаллизаторе;
- открыть контуры водяного охлаждения, проверить отсутствие утечек из стыков гибких частей системы охлаждения;
- сжатым воздухом обдуть корпус кристаллизатора от отложений и пыли;
- установить защитные кожухи и ограждения на корпус кристаллизатора.

#### *Подготовка системы вторичного охлаждения*

- проверить и откорректировать выставку коллекторов вдоль предполагаемой продольной оси заготовки;
- после проверки выставки коллекторов проверить и откорректировать расход воды по всем ручьям в соответствии с установленными нормами.

#### *Период подготовки МНЛЗ к очередной серии плавков:*

- проверить и откорректировать работу элементов зоны вторичного охлаждения одачей воды по всем секторам; работу форсунок каждого сектора проверить отдельно при заданных режимах охлаждения;
- визуально, по «факелу» распыления воды, определить пригодность форсунок, распыление должно быть равномерным по граням и не перекрываться;
- визуально проверить отсутствие течи воды в местах крепления коллекторов к зодоподводящим стоякам, из заглушек коллекторов, а также в подводящих шлангах и из-под нижней части корпусов рам прижимных роликов;
- после визуальной оценки состояния прочищенных, а также вновь устанавливаемых форсунок произвести их испытание с контролем расхода воды в соответствии с расходной характеристикой данного типа форсунки.

#### *Подготовка ручьев*

После каждой серии плавков дежурный механик должен выполнять осмотр опорных и прижимных роликов.

Основные требования к работе роликов:

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		29

- ролики должны легко вращаться и не иметь люфтов;
- на поверхности роликов не должно быть выбоин и вмятин;
- между роликами и на их поверхности не должно быть скрапин.

В случае обнаружения заклинивания роликов., появления люфтов, расфиксаций осей и невозможности устранения этих неполадок на месте ролики заменяются. Технологическая ось ручья МНЛЗ подлежит проверке специальным шаблоном после замены роликов ЗВО и при смене разливаемого сечения заготовок, но не реже одного раза в месяц. При проверке технологической оси шаблон должен одновременно касаться трех роликов. Зазор между шаблоном и роликами МНЛЗ должен быть: не более 0,5 мм для нижних роликов кристаллизатора и 1-го, 2-го, 3-го роликов ЗВО и 1 мм для 4-го ролика ЗВО. При значениях зазоров, превышающих указанные в данном пункте, требуется настройка относительного положения роликов.

Разливка стали через погружной стакан (закрытой струей) производится с применением шлакообразующей смеси (ШОС), без нанесения смазки на стенки гильз кристаллизаторов. Для ввода ШОС в кристаллизатор на каждый ручей устанавливается по одному дозирующему устройству. ШОС в кристаллизатор подается в автоматическом режиме. Перед началом работы МНЛЗ необходимо проверить работоспособность дозирующих устройств.

При отдаче ШОС в кристаллизатор в ручном режиме коробка с ШОС наполняются шлакообразующей смесью, предназначенной для разливки заданного сортамента, и после установки промежуточного ковша в рабочее положение ставятся на крышки кристаллизаторов. Не допускается смешивание различных типов ШОС.

Вне зависимости от способа разливки, как открытой, так и закрытой струей, зеркало металла в промковше должно быть закрыто шлакообразующей смесью.

Смесь (ШОС) использовать в состоянии поставки при наличии сертификата или другого сопровождающего документа. При поступлении новой партии ШОС, вне зависимости от назначения (промежуточный ковш, кристаллизатор), производится отбор одной пробы для определения полного химического состава и

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>30</i>

влажности. Не более, чем за 3 суток до начала выполнения заказа на разливку стали закрытой струей дополнительно отбирается 2...3 пробы смеси для кристаллизаторов. Пробы сдаются в лабораторию для определения влажности. Результаты анализов заносятся в журнал учета влажности. Смесь при необходимости подвергается сушке.

*Общая проверка готовности МНЛЗ к разливке*

Дежурному персоналу произвести осмотр и проверку механического и электрического оборудования, систем гидравлики и энергоснабжения, связи, компьютерного обеспечения и промышленного телевидения с записью о готовности к разливке оборудования и систем в агрегатном журнале. При отклонении параметров от нормативных показателей на действующем оборудовании операторы проводят осмотр и проверку оборудования совместно с дежурным персоналом соответствующих служб. При обнаружении неисправности необходимо поставить в известность сменного мастера МНЛЗ и принять меры к ее устранению.

Сменному персоналу МНЛЗ проверить готовность следующих узлов, механизмов и систем:

- поворотного станда, в том числе системы его аварийного разворота;
- тележки промежуточного ковша;
- управления стопором (при разливке закрытой струей);
- основного гидравлического оборудования;
- первичного контура охлаждения;
- вторичного контура охлаждения;
- контура охлаждения оборудования;
- механизма качания;
- тянуще-правильного агрегата;
- машины газовой резки;
- устройства парковки затравок;
- промежуточного и транспортного рольгангов;

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

31

- разгрузочного рольганга и его оборудования;
- шлеппера;
- холодильника с шагающими балками;
- системы смазки оборудования;
- датчика уровня металла в кристаллизаторе;
- системы смазки кристаллизатора;
- устройства перемешивания металла в кристаллизаторе;
- клеймителей.

#### 2.5.2 Подготовка промежуточных ковшей, металлопровода и отсекающих желобов

После окончания разливки последней плавки в серии:

- отсоединить шлейфы управления стопорными механизмами;
- поднять промежуточный ковш на тележке в верхнюю позицию;
- переместить пульт разливщика в исходное положение;
- промежуточный ковш на тележке переместить из позиции разливки в позицию парковки;
- краном снять промежуточный ковш с тележки и переместить его на горизонтальный стенд для охлаждения на участке подготовки промежуточных ковшей.

На горизонтальном стенде подключить воздух для охлаждения стопорных механизмов. После застывания металла в ковше, но не ранее чем через 6 часов после окончания разливки краном снять стопорные механизмы и установить их в вертикальном положении на специальном стенде. Далее с промежуточного ковша снять отсечные ножи (вручную) и крышки (краном). Отбойным молотком или кувалдой разбить стопора и извлечь резьбовые шпильки для повторного использования. После полного застывания остатков металла, не ранее чем через

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

32

24 часа после окончания разливки промежуточный ковш установить на стенде опрокидывания и заблокировать гидроцилиндрами.

При наличии в остатках бункеров удаление «козла» произвести краном, после чего повернуть промковш на 180 градусов вдоль продольной оси для удаления осыпавшейся части футеровки.

В случае отсутствия в «козле» бункеров необходимо повернуть промежуточный ковш на 180 градусов вдоль продольной оси и удалить из ковша скрап и обрушившиеся части футеровки. Развернуть промежуточный ковш в исходное положение и разблокировать его. С помощью крана траверсой снять промежуточный ковш со стенда для опрокидывания и переместить его на огнеупорный участок для ремонта арматурного слоя и торкретирования.

Проверить:

- состояние корпуса, металлоконструкций и цапф промежуточного ковша;
- состояние наливной футеровки и, если необходимо, выполнить ремонт;
- состояние крышек промежуточного ковша и, если необходимо, выполнить ремонт в соответствии с технологической инструкцией для УОР;
- отремонтированные части наливной футеровки промежуточного ковша и крышек высушить в соответствии с технологической инструкцией для УОР.

Выдержать промежуточный ковш в течение 1 часа, затем установить переносную горелку и произвести предварительную сушку торкрет слоя. Краном установить промежуточный ковш на стенд установки стаканов дозаторов и установить гнездовые блоки. Вставить стаканы-дозаторы для разливки. Зазоры между стенкой стакана и блоком заполнить мастикой. Перемещая блоки с установленными стаканами выровнять оси стаканов с помощью отвеса по шаблону (имитация осей ручьев на МНЛЗ). Отклонения от оси не более  $\pm 5$  мм (контроль визуальный). Закрыть отверстия в стаканах заглушками, зазор между гнездовым блоком и наливной футеровкой с нанесенным торкрет-слоем набить муллитокорундовой массой.

Установить промежуточный ковш без стопоров на стенд сушки и высушить в соответствии с заданным режимом. Сушка торкрет слоя не менее 4 часов до

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

33



температуры 450 °С. Установить промежуточный ковш на стенд установки стопоров. Проверить работу аварийных отсечных ножей, пылесосом очистить ковш, от мусора. Электрику и механику проверить работоспособность стопорных механизмов.

Краном или вручную поднять на промежуточный ковш стопора. Установить их в вилки стопорных механизмов и отрегулировать, открывая и закрывая стопора с пультов, перекрытие стаканов-дозаторов путем смещения положения шпилек стопоров относительно вилок. Стопора должны быть отцентрированы относительно стаканов-дозаторов строго по центру (без отбоя).

Промежуточный ковш передать на стенд разогрева с закрытыми стопорами (в случае установки стопоров на специальном стенде). Вилки стопорных механизмов и шпильки стопоров-моноблоков изолировать теплоизоляционным материалом. Перед разогревом промковша стопора открыть.

#### *Разогрев промежуточных ковшей и погружных стаканов*

Подготовленный промежуточный ковш устанавливается на разливочную тележку в позицию парковки для разогрева.

Перед началом разогрева:

- проверить чистоту металлопроводов;
- при подготовке ковша для разливки закрытой струей тумблером на пульте управления поднять выставленные Стопора в верхнее положение, выполнить подсоединение гидроцилиндров механизмов аварийного перекрытия ручьев, проверить наличие и исправность отсечного «ножа» в механизмах аварийного перекрытия ручьев; подсоединить подачу воздуха на охлаждение стопорных механизмов.

Температура футеровки промковша перед выдачей на разливку должна быть в пределах от 1100 °С до 1200 °С, температура кожуха – не менее 60 °С. Температура нагрева кожуха обеспечивается выполнением технологии разогрева промежуточного ковша. Промежуток времени между отключением горелок разогрева и началом наполнения промковша металлом [7]:

- для разливки стали открытой струей – не более 10 минут;
- для разливки стали закрытой струей – не более 4 минут.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

34

### 2.5.3 Разливка стали

Металл подается на МНЛЗ после его обработки на агрегате ковш–печь (АКП), корректировки по температуре и химическому составу и модифицирования продуктов раскисления (неметаллических включений). Обработка металла на АКП должна обеспечивать однородность его по химическому составу и температуре. Содержание химических элементов в стали перед разливкой должно соответствовать требованиям НД для конкретной марки. Температура стали первой в серии плавки в сталеразливочном ковше на АКП перед выдачей на разливку на МНЛЗ должна быть на 5...10 °С выше, чем при разливке последующих плавок. Время между последним измерением температуры металла на АКП и началом разливки плавки (открытием шиберов) не должно превышать 25 минут. С целью снижения потерь тепла металлом в процессе разливки ковш после окончания обработки на АКП накрывается крышкой, футерованной огнеупорным материалом.

Сталеразливочный ковш с металлом установить на поворотный стенд. При установке промежуточного ковша в позицию разливки выполнить центрирование дозирующих узлов ковша над кристаллизаторами ручьев, с использованием отвесов. Засыпку стартовой смеси в каналы стаканов производить сверху с помощью трубы и мерной емкости. Уровень засыпки в разливочном узле должен быть на 2...3 см выше верхнего торца стакана-дозатора (контроль визуальный). По команде сменного мастера МНЛЗ развернуть сталеразливочный ковш на поворотном стенде в позицию разливки. Разворот должен сопровождаться звуковой сигнализацией. С помощью специального манипулятора навесить на стакан-коллектор талеразливочного ковша защитную трубу. Максимально открыть шиберный затвор. В случае не поступления металла в промежуточный ковш при открытом шиберном затворе снять защитную трубу и прожечь канал сталеразливочного ковша кислородной трубкой до появления металла, затем снова навесить защитную трубу.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

35

Запрещается разливать металл без использования защитной трубы, за исключением 5...10 минут до и после стыковки. Разливка металла без защитной трубы при стопорной разливке категорически запрещается.

По ходу разливки защитная труба должна быть заглублена в металл, находящийся в промежуточном ковше. Заглубление защитной трубы под уровень металла должно составлять не менее 100 мм (контроль визуальный).

С началом поступления металла в промежуточный ковш оператор главного пульта объявляет по громкоговорящей связи: «Металл в промежуточном ковше».

После открытия всех ручьев и набора металла в промежуточном ковше не менее 10 тонн «верховой» разливщик должен ввести на «зеркало» металла в промежуточном ковше ШОС. Присадку ШОС производить через отверстия для горелок, стенов разогрева в крышке промковша или соответствующие отверстия для стопоров; мешки с ШОС поставить над указанными отверстиями до полного высыпания смеси через прогоревшее дно мешка; запрещается проталкивать мешки со смесью в указанные отверстия, чтобы не допускать попадания больших порций смеси локально.

#### 2.5.4 Параметры жидкого металла

Температура стали в промежуточном и сталеразливочном ковшах определяется по формулам:

$$t_{\text{пр.к}} = t_{\text{ликв}} + \Delta t_{\text{пр.к}}, \quad (2.1)$$

$$t_{\text{ст.к}} = t_{\text{пр.к}} + \Delta t_{\text{ст.к}},$$

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

Температуру ликвидус стали рекомендуется определять в зависимости от ее химического состава по формуле:

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

36

$$t_{\text{ликв}} = 1539 - \sum_{i=1}^n [E]_i \cdot \Delta t_{E_i}^{\text{ликв}}, \quad (2.2)$$

где 1539 – температура затвердевания чистого железа, °С;

[E]<sub>i</sub> – среднее содержание растворенного элемента в стали, %;

$\Delta t_{E_i}^{\text{ликв}}$  – величина снижения температуры затвердевания железа при введении в него 1 % соответствующего элемента, °С.

Состав стали принимается из справочной литературы по заданной марке стали. Данные о влиянии некоторых легирующих на температуру плавления стали

( $\Delta t_{E_i}^{\text{ликв}}$ ) представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Снижение температуры ликвидус ( $\Delta t_{E_i}^{\text{ликв}}$ ) при введении в сталь 1 % элементов [8]

Элемент E <sub>i</sub>	$\Delta t_{E_i}^{\text{ликв}}$ , °С	Элемент E <sub>i</sub>	$\Delta t_{E_i}^{\text{ликв}}$ , °С
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		

Таблица 2.7 – Химический состав стЗпс

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	As	Cu	Fe
0,14...0,22	0,15...0,3	0,4...0,65	до 0,3	до 0,05	до 0,04	до 0,3	до 0,08	до 0,3	ост.
0,18	0,22	0,52	0,3	0,05	0,04	0,30	0,8	0,3	

$$t_{\text{ликв}} = 1539 - (0,18 \cdot 73 + 0,22 \cdot 12 + 0,52 \cdot 3 + 0,05 \cdot 30 + 0,04 \cdot 28) = 1539 - 20 = 1519 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

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 °С при разливке плавки закрытой струей в течение до одного часа, до 30...40 °С 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 °С

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

$$t_{пр.к} = 1519 + 30 = 1549 \text{ °С} ,$$

$$t_{ст.к} = 1549 + 70 = 1619 \text{ °С} .$$

### 2.5.5 Продолжительность затвердевания НЛЗ

Главными факторами, определяющими продолжительность затвердевания НЛЗ, являются размеры ее поперечного сечения: толщина  $a$  и ширина  $b$ . С достаточной точностью продолжительность затвердевания заготовки можно определить по формуле:

$$\tau_z = K_\phi \cdot \left( \frac{a}{2 \cdot k} \right)^2, \quad (2.3)$$

где  $a$  – толщина заготовки, мм;

$\tau_z$  – продолжительность затвердевания, мин;

$K_\phi$  – коэффициент формы поперечного сечения заготовки;

$k$  – коэффициент затвердевания, мм/мин<sup>1/2</sup>.

Численное значение коэффициента формы  $K_\phi$  принимается следующим образом:

$$K_\phi = 1, \text{ если } b/a \geq 2,$$

$$K_\phi = 0,5 + 0,25 \cdot \text{если } b/a < 2.$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

38

Величину коэффициента затвердевания  $k$  рекомендуется принимать в пределах 24...28 мм/мин<sup>1/2</sup> для всех марок спокойной стали (с увеличением величины перегрева металла в промежуточном ковше коэффициент затвердевания уменьшается: от 27...28 мм/мин<sup>1/2</sup> при перегреве  $\Delta t_{\text{пр.к}} = 15...20$  °С, до 24...25 мм/мин<sup>1/2</sup> при перегреве  $\Delta t_{\text{пр.к}} = 30...40$  °С).

$$\tau_3 = 0,5 \cdot \left( \frac{100}{2 \cdot 26} \right)^2 = 1,85 \text{ мин.}$$

### 2.5.6 Скорость вытягивания заготовки

Установление скоростного режима заключается в определении диапазона допустимых скоростей вытягивания заготовки и рабочей скорости вытягивания.

Рабочая скорость вытягивания НЛЗ определяется индивидуально для каждой МНЛЗ, сечения заготовки и марки разливаемой стали, что связано с особенностями кристаллизации различных марок сталей и особенностями формирования поверхности слитка.

В качестве рабочей принимается такая скорость вытягивания, при которой обеспечивается сочетание высокого качества заготовки с достаточно высокой производительностью МНЛЗ. Обычно рабочая скорость вытягивания назначается с учетом многих факторов: марки стали, размеров поперечного сечения отливаемой заготовки, температуры металла в промежуточном ковше, содержания в стали вредных примесей и др. Если температура разливаемого металла и содержание вредных примесей в ней соответствуют требованиям, то рабочая скорость вытягивания может быть рассчитана по формуле [9].

$$v_p = k_v \cdot \frac{a + b}{a \cdot b}, \quad (2.4)$$

где  $v_p$  – рабочая скорость вытягивания заготовки, м/мин;

$k_v$  – коэффициент скорости вытягивания, м<sup>2</sup>/мин;

$a, b$  – толщина и ширина заготовки, м.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

39

Значения коэффициента скорости вытягивания  $k_v$  для блюмовых заготовок (толщиной более 200 мм) приведены в таблице 2.8. Так как нормативных значений, ограничивающих скорость вытягивания блюмовых и сортовых заготовок нет, то она принимается равной расчетной.

Таблица 2.8 – Значения коэффициента скорости вытягивания  $k_v$  для блюмовых заготовок

Марка стали, назначение	$k_v$
Сталь углеродистая обыкновенного качества	0,14
Сталь углеродистая и низколегированная конструкционная; для судостроения, котлостроения, мостостроения и трубная	0,13
Сталь углеродистая конструкционная кипящая	0,11
Сталь легированная и конструкционная. Сталь высоколегированная и сплавы для электродов	0,11
Сталь инструментальная углеродистая, легированная и ШХ	0,10

$$v_p = 0,14 \cdot \frac{0,1 + 0,1}{0,1 \cdot 0,1} = 2,8 \text{ м/мин.}$$

Рабочая скорость вытягивания заготовки является базовой для определения диапазона допустимых скоростей вытягивания:

$$v_{\text{мин}} = 0,5 \cdot v_p, \quad (2.5)$$

$$v_{\text{макс}} = 1,5 \cdot v_p. \quad (2.6)$$

Максимально допустимая скорость вытягивания заготовки ( $v_{\text{макс}}$ ) является основанием для расчета параметров качания и охлаждения кристаллизатора. Ее значение должно обеспечивать формирование минимально допустимой толщины корочки металла на выходе из кристаллизатора ( $\xi_{\text{мин}}$ ), которая составляет 0,01...0,02 м (большие значения толщин корочки металла соответствуют большему сечению заготовки). Поэтому, определив максимальную скорость вытягивания по уравнению (2.6) необходимо проверить ее приемлемость с точки зрения

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

40

обеспечения корочки достаточной толщины. Для этого необходимо рассчитать толщину затвердевшей корочки металла на выходе из кристаллизатора из выражения:

$$\xi_{\text{кр}} = k \cdot \sqrt{\frac{\tau_{\text{кр}}}{K_{\text{ф}}}}, \quad (2.7)$$

где  $\xi_{\text{кр}}$  – толщина корочки металла на выходе из кристаллизатора, мм;

$\tau_{\text{кр}}$  – продолжительность затвердевания заготовки в кристаллизаторе, мин;

$K_{\text{ф}}$  – коэффициент формы поперечного сечения заготовки (0,25);

$k$  – коэффициент затвердевания, который для спокойной стали в зависимости от ее состава и условия затвердевания изменяется в пределах 24...28 мм/мин<sup>1/2</sup>.

$$v_{\text{мин}} = 0,5 \cdot 2,8 = 1,4 \text{ м/мин},$$

$$v_{\text{макс}} = 1,5 \cdot 2,8 = 4,2 \text{ м/мин},$$

$$\xi_{\text{кр}} = 26 \cdot \sqrt{\frac{1,85}{0,25}} = 70,7 \text{ мм}.$$

Продолжительность пребывания НЛЗ в кристаллизаторе ( $\tau_{\text{кр}}$ ) можно определить из выражения:

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{h_{\text{кр}}}{v_{\text{макс}}}, \quad (2.8)$$

где  $h_{\text{кр}}$  – рабочая (активная) высота кристаллизатора, то есть уровень металла в кристаллизаторе с учетом недолива, м;

$v_{\text{макс}}$  – максимальная скорость вытягивания НЛЗ, м/мин.

Рабочая высота кристаллизатора определяется длиной кристаллизатора и величиной недолива жидкого металла до верхнего края медной гильзы кристаллизатора:

$$h_{\text{кр}} = H_{\text{кр}} - h_{\text{недолив}}, \quad (2.9)$$

где  $H_{\text{кр}}$  – высота кристаллизатора, м;

$h_{\text{недолив}}$  – величина недолива жидкого металла до верхнего края медной гильзы кристаллизатора, м

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

41



Длина (высота) кристаллизатора зависит от сечения разливаемых слитков и в общем случае может изменяться от 300 до 1200 мм. Практический опыт эксплуатации современных МНЛЗ показал, что надежная работа машины при удовлетворительном качестве слитков может обеспечиваться кристаллизатором длиной 800...1000 мм.

Недолив металла в кристаллизатор обеспечивает безаварийную работу, а также позволяет проводить разливку под шлакообразующими смесями. В зависимости от организационно-технических возможностей его поддерживают на уровне 0,05...0,15 м.

В случае если полученная толщина корочки на выходе из кристаллизатора ( $\xi_{кр}$ ) меньше минимально допустимой толщины ( $\xi_{min} = 0,01...0,02$  м), необходимо ограничить максимальную скорость вытягивания до значений, обеспечивающих формирование корочки, исключая возникновения аварийных прорывов жидкого металла.

$$h_{кр} = 1000 - 100 = 900 \text{ мм} ,$$

$$\tau_{кр} = \frac{0,9}{4,2} = 0,21 \text{ мин} .$$

Внутри вытягиваемой из кристаллизатора заготовки находится лунка жидкого металла, длина которой определяется по формуле:

$$L_{ж} = \tau_{з} \cdot v, \quad (2.10)$$

Для определения максимальной протяженности жидкой фазы на МНЛЗ существует уточненная формула:

$$L'_{ж} = K \cdot a^2 \cdot v_{max} , \quad (2.11)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от отношения ширины заготовки к толщине;

$a$  – толщина наиболее толстой заготовки, отливаемой на машине, м.

Значения коэффициента  $K$  приведены в таблице 2.9.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

42

Таблица 2.9 – Значение коэффициента К для расчета протяженности жидкой фазы

Отношение b/a	Профиль заготовки	К
1,0	блюд	240
1,1	блюд	245
1,2	блюд	250
1,3	блюд	255
1,4	блюд	260
1,5	блюд	265
1,6	блюд	270
1,7	блюд	275
1,8	блюд	280
1,9	блюд	285

$$L'_{\text{ж}} = 240 \cdot 0,1^2 \cdot 4,2 = 10,08 \text{ м.}$$

Обязательным условием получения плотной осевой зоны НЛЗ является соблюдение соотношения:

$$\frac{L_{\text{ж}}}{L_{\text{м}}} \leq 0,9, \quad (2.12)$$

где  $L_{\text{м}}$  – металлургическая длина МНЛЗ (расстояние по оси заготовки от уровня жидкого металла в кристаллизаторе до последнего поддерживающего ролика), м.

$$\frac{10,1}{12} = 0,84 \leq 0,9.$$

### 2.5.7 Параметры качания кристаллизатора

Зная максимальную скорость вытягивания слитка, можно определить параметры качания кристаллизатора, к которым относятся амплитуда и частота качания. Необходимость качания кристаллизатора вызвана тем, что в процессе непрерывной разливки корочка затвердевающего в кристаллизаторе слитка по мере его движения вниз претерпевает усадку и отходит от стенок. Зона плотного контакта корочки со стенками очень мала и находится в верхней части кристаллизатора, вблизи мениска жидкого металла. При определенных условиях в этой зоне происходит прилипание тонкой корочки к стенкам кристаллизатора. Это

может привести к разрыву корочки в местах ее отхода от стенок. Если кристаллизатор неподвижен, а слиток вытягивается с постоянной скоростью, то прилипшая часть корки остается на месте (зависает), а нижняя часть будет двигаться вниз. В результате происходит прорыв – выход жидкого металла из сердцевины слитка. Для предотвращения прорывов необходимо сообщать кристаллизатору возвратно-поступательное движение. Причем скорость опускания кристаллизатора задается несколько большей, чем скорость движения слитка. Допустимое время опережения ( $\tau_{\text{оп}}$ ), необходимое для сваривания (залечивания) разрывов корочки слитка, должно составляет 0,1...0,3 с. Перемещение кристаллизатора осуществляется в направлении его оси. Необходимое время опережения при разных скоростях вытягивания достигается изменением частоты ( $\nu$ ) и амплитуды ( $\delta$ ) качания кристаллизатора путем синхронизации со скоростью вытягивания слитка. Произведение оптимальной частоты качания на время опережения называется критерием оптимального опережения ( $K_{\text{опт}}$ ). Для синусоидального закона качания  $K_{\text{опт}} = 0,274$ , а при трапециальном законе с циклом 3:1 –  $K_{\text{опт}} = 0,71...0,75$ .

Таким образом, частоту качания кристаллизатора можно определить по формуле:

$$\nu = \frac{K_{\text{опт}}}{\tau_{\text{оп}}} \cdot 60, \quad (2.13)$$

где  $\nu$  – частота качания кристаллизатора,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$\tau_{\text{оп}}$  – допустимое время опережения, с.

$$\nu = \frac{0,274}{0,3} \cdot 60 = 54,8 \text{ мин}^{-1}.$$

Оптимальную амплитуду качания выбирают только для максимальной скорости вытягивания слитка с учетом топ и принимают ее постоянной для всех скоростей вытягивания, меньших максимальной:

$$\delta = 14,8 \cdot \nu_{\text{макс}} \cdot \tau_{\text{оп}}, \quad (2.14)$$

где  $\nu_{\text{макс}}$  – максимальная скорость вытягивания заготовки, м/мин;

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

44

$\tau_{оп}$  – опустимое время опережения, с.

$$\delta = 14,8 \cdot 4,2 \cdot 0,3 = 18,7 \text{ мм.}$$

Необходимую частоту качания кристаллизатора можно также определить исходя из рабочей скорости вытягивания и амплитуды качания по уравнению:

$$v = k_v \cdot \frac{v_p}{\delta} \cdot 10^3, \quad (2.15)$$

где  $v_p$  – рабочая скорость вытягивания заготовки, м/мин;

$v$  – частота качания кристаллизатора, мин<sup>-1</sup>;

$k$  – коэффициент частоты (обычно принимают  $k = 0,25 \dots 0,75$ );

$\delta$  – амплитуда качания кристаллизатора, мм.

$$v = 0,5 \cdot \frac{2,8}{18,7} \cdot 10^3 = 75 \text{ мин}^{-1}.$$

## 2.5.8 Расчет количества охлаждающей воды на один ручей МНЛЗ

Плотность теплового потока через твердую корочку заготовки

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot (T_c - T_n), \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}), \quad (2.16)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности стали, Вт/м К;

$d$  – толщина корочки, м;

$T_c$  и  $T_n$  – температура поверхности заготовки и температура солидуса данной марки стали, К.

Учитывая, что со временем происходит кристаллизация и остывание слитка, изменение плотности теплового потока во времени можно выразить в виде эмпирической зависимости

$$q = K \cdot \tau^{-0,5}, \quad (2.17)$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности.

Проинтегрировав это выражение по времени, получим

$$q = \frac{1}{\tau_k} \int_0^{\tau_1} K \cdot \tau^{-0,5} \cdot d\tau = 2K \cdot \tau^{-0,5}.$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

45

Рост толщины корочки с достаточной точностью описывается законом квадратного корня:

$$d = K_3 \cdot \sqrt{\tau} = K_3 \cdot \sqrt{\frac{L_a}{v}}, \quad (2.18)$$

где  $K_3$  – коэффициент затвердевания,  $K_3 = 27 \dots 33$  мм/мин<sup>0,5</sup>;

$L_a$  – активная высота кристаллизатора, м;

$v$  – скорость разливки, м/мин.

Зависимость плотности теплового потока от скорости разливки

$$q = A \cdot v^m, \quad (2.19)$$

где  $A$  и  $m$  – постоянные коэффициенты, для наиболее распространенных криволинейных МНЛЗ  $A = 953$ ,  $m = 1/3$ .

$$q = 953 \cdot 2,8^{1/3} = 1,3 \cdot 10^3$$

Решая совместно приведенные выше уравнения, можно получить уравнение температуры поверхности заготовки на выходе из кристаллизатора:

$$T_{\text{п}} = T_{\text{с}} - \frac{A \cdot v^m}{2\lambda} \cdot K_3 \cdot \left(\frac{L_a}{v}\right)^{0,5}. \quad (2.20)$$

Температуру солидуса конкретной марки стали можно найти в соответствующей справочной литературе.  $T_{\text{с}} = 1753$  К,  $\lambda = 27 \cdot 10^{-3}$ ,  $T_{\text{пл}} = 1630$  °С,  $c_m = 0,67$  кДж/ °С.

Тогда температура поверхности заготовки на выходе из кристаллизатора

$$T_{\text{п}} = 1753 - \frac{953 \cdot 2,8^{1/3}}{2 \cdot 27 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,030 \cdot \left(\frac{0,7}{2,8}\right)^{0,5} = 1706 \text{ К, или } 1433 \text{ °С.}$$

Температура рабочей поверхности стенки кристаллизатора со стороны слитка:

$$T_{\text{рп}} = T_{\text{вп}} + q \cdot L_{\text{ст}} / \lambda_{\text{ст}}, \text{ град}, \quad (2.21)$$

где  $T_{\text{вп}}$  – температура внутренней поверхности стенки кристаллизатора со стороны охлаждающей воды, град;

$q$  – плотность теплового потока;

$\lambda_{\text{ст}}$  – коэффициент теплопроводности стенки кристаллизатора, Вт/м град (для меди при 200 °С  $\lambda = 370$  Вт/(м·К));

$L_{\text{ст}}$  – толщина стенки, м.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

46

Температура внутренней поверхности:

$$T_{\text{вп}} = T_{\text{вых}} + q / \alpha_{\text{в}}, \text{ град}, \quad (2.22)$$

где  $\alpha_{\text{в}} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией от стенки кристаллизатора воде;

$T_{\text{вых}}$  – температура воды на выходе из кристаллизатора (примем  $T_{\text{вых}} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

$$T_{\text{вп}} = 45 + 953 \cdot 1,3 \cdot 10^3 / (20 \cdot 10^3) = 106 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$T_{\text{рп}} = 106 + 953 \cdot 1,3 \cdot 10^3 \cdot 0,03 / 370 = 188 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Такая температура рабочей поверхности допустима, так как не превышает температуры рекристаллизации меди ( $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

В основу данного расчета положены граничные условия 3-го рода, согласно которым температура окружающей среды принята постоянной, а теплообмен с окружающей средой осуществляется в соответствии с законом Ньютона-Рихмана:

$$q = a_{\Sigma} \cdot (T_{\text{п}} - T_{\text{в}}) \cdot F, \quad (2.23)$$

где  $q$  – удельный тепловой поток,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$a_{\Sigma}$  – коэффициент теплоотдачи с поверхности литой заготовки,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{K})$ ;

$T_{\text{п}}$  и  $T_{\text{в}}$  – средняя температура поверхности слитка на данном участке и температура охлаждаемой воды,  $\text{K}$ ;

$F$  – площадь поверхности слитка,  $\text{м}^2$ .

Точно определить коэффициент теплоотдачи, зависящий от большого числа параметров (скорости воды, толщины пленки стекающей воды и т.п.), затруднительно, поэтому методика расчета строится на определении энтальпии слитка в начале и в конце рассматриваемого участка и определении по изменению энтальпии слитка среднего коэффициента теплоотдачи на участке.

$$q = G \cdot (H_{\text{н}} - H_{\text{к}}), \quad (2.24)$$

где  $G$  – массовая скорость выхода заготовки,  $\text{кг}/\text{с}$ ;

$H_{\text{н}}$ ,  $H_{\text{к}}$  – энтальпия в начале и в конце участка (необходимо знать температуру заготовки),  $\text{Дж}$ .

Толщина твердой корочки на выходе из кристаллизатора:

$$d_{\text{ТВ}} = 0,030 \cdot \sqrt{\frac{0,9}{2,8}} = 0,017 \text{ м,}$$

а жидкой части (определяется по разности полутолщины заготовки и твердой корочки).

$$d_{\text{ж}} = 0,10 / 2 - 0,017 = 0,033 \text{ м.}$$

Зная температуру на выходе из кристаллизатора и толщину твердого и жидкого слоя можно определить энтальпию заготовки при входе в ЗВО:

$$H_{\text{н}} = c_{\text{ст}} \cdot \frac{T_{\text{п}} + T_{\text{пл}}}{2} \cdot \frac{d_{\text{т}}}{b/2} + \frac{d_{\text{ж}}}{b/2} \cdot \left( L + c_{\text{ст}} \cdot \frac{T_{\text{п}} + T_{\text{пл}}}{2} \right), \quad (2.25)$$

где  $c_{\text{ст}}$  – теплоемкость стали, кДж/(кг·К);

$L$  – теплота кристаллизации кДж/кг;

$T_{\text{пл}}$  – температура плавления стали, К;

$b$  – толщина заготовки, м;

$d_{\text{т}}$  и  $d_{\text{ж}}$  – толщина твердой и жидкой фаз,

$$H_{\text{н}} = 0,67 \cdot \frac{1433 + 1520}{2} \cdot \frac{0,017}{0,10/2} + \frac{0,033}{0,10/2} \cdot \left( 284 + 0,67 \cdot \frac{1433 + 1520}{2} \right) = 1176,4 \text{ кДж/кг.}$$

Энтальпия заготовки на выходе из ЗВО при температуре поверхности заготовки 1050°C.

$$H_{\text{к}} = c_{\text{ст}} \cdot \frac{T_{\text{п}} + T_{\text{пл}}}{2} = 0,67 \cdot \frac{1433 + 1520}{2} = 989,3 \text{ кДж/кг.}$$

Тогда количество тепла, отводимое от 100 кг заготовки,

$$\Delta H_{\text{к}} = (1176,4 - 989,3) \cdot 100 = 18710 \text{ кДж, или } 18,71 \text{ МДж.}$$

Средняя температура поверхности заготовки в ЗВО

$$T_{\text{ср}} = (1433 + 1050) / 2 = 1242 \text{ °С.}$$

Определим площадь заготовки в зоне вторичного охлаждения. Если сечение заготовки 100х100 мм, то периметр заготовки

$$P = 100 \cdot 4 = 4 \text{ м,}$$

а площадь всей заготовки в ЗВО (длина всей зоны вторичного охлаждения принята 4 м.)

$$F = P \cdot L = 4 \cdot 4 = 16 \text{ м}^2.$$

Перейдем от линейной скорости вытягивания (2,8 м/мин) к массовой:

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		48

$$G = b^2 \cdot \rho \cdot v, \quad (2.26)$$

где  $G$  – массовая скорость выхода заготовки на одном ручье, кг/мин;

$b$  – площадь сечения заготовки, м<sup>2</sup>;

$\rho$  – плотность металла, кг/м<sup>3</sup>;

$v$  – линейная скорость выхода, м/мин,

$$G = 0,1^2 \cdot 7650 \cdot 2,8 / 60 = 3,6 \text{ кг / с.}$$

Тогда средний коэффициент теплоотдачи в ЗВО при температуре воды на входе 20 °С

$$a = \frac{G \cdot (H_n - H_k)}{F \cdot (T_{cp} - T_b)} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}, \quad (2.27)$$

$$a = \frac{3,6 \cdot (1176,4 \cdot 10^3 - 989,3 \cdot 10^3)}{16 \cdot (1242 - 20)} = 345 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Зная средний коэффициент теплоотдачи в ЗВО, можно определить удельный расход воды, потребной на охлаждение непрерывной заготовки, из экспериментально найденного соотношения

$$a_{\Sigma} = a_0 + B \cdot g, \quad (2.28)$$

где  $a_{\Sigma}$  – средний коэффициент теплоотдачи в ЗВО;

$a_0 = 120 \dots 160 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  – начальное значение коэффициента теплоотдачи;

$B$  – опытный коэффициент, для криволинейных и радиальных МНЛЗ  
 $B = 34 \dots 40 \text{ Дж/(м}^2 \cdot \text{К)}$ ;

$g$  – плотность орошения поверхности заготовки (удельный расход воды), м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч).

Отсюда удельный расход воды при  $a_0 = 140 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  и  $B = 37 \text{ Дж/(м}^2 \cdot \text{К)}$

$$g = (a_{\Sigma} - a_0) / B = (345 - 140) / 37 = 5,5 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

*Общий расход количества охлаждающей воды*

С учетом удельного расхода воды в ЗВО на один ручей МНЛЗ и площади заготовки расход воды в ЗВО МНЛЗ составит:

$$G_b = g \cdot F = 5,5 \cdot 16 = 388 \text{ м}^3 / \text{ч}. \quad (2.29)$$



### 3 МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЗАВИСАНИЯ КОРОЧКИ СЛИТКА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

#### 3.1 Подвисяние корочки слитка в кристаллизаторе

Одним из основных факторов, определяющих производительность машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), является коэффициент ее использования. Повышение значения коэффициента ее использования прямо связано и сокращением времени простоя МНЛЗ на ремонт и ликвидации последствий аварий. С целью сокращения времени простоя машины на современных машинах непрерывнолитых заготовок применяют системы технического диагностирования и контроля непрерывной разливки стали, позволяющие на ранней стадии выявлять нарушения технологии и оперативно в автоматическом режиме устранять причины их появления, предотвращая возникновение аварий.

Одним из двух основных факторов, влияющих на зависание корочки слитка в кристаллизаторе является подача масла. Для уменьшения вероятности прилипания корочки непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) к внешней поверхности гильзы необходимо следить за «Уставкой» расхода масла, которая должна соответствовать требованиям технологической инструкции. Смазка способствует уменьшению усилий сопротивления вытягивания заготовки. В условиях температур жидкой стали масло в месте контакта металла и стенки гильзы сгорает и остатки продуктов сгорания заполняют зазор между ними, что снижает величину сил трения. При разливке стали открытой струей используют синтетические или рапсовые масла. Выбор качества смазывающих веществ оценивается по трем параметрам:

- температура вспышки масла не ниже 230 °С;
- массовая доля влаги и летучих веществ;
- массовая доля механических (нежировых) примесей (не более 0,015 %).

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

50

Не менее важный фактор влияющий на стабильность процесса разливки, является равномерность подачи масла на грани гильзы. При неравномерной подаче или отсутствии смазки на участке контакта стенок гильзы с корочкой слитка может возникнуть режим сухого трения. Силы трения на данном участке резко возрастают, что может стать причиной зависания корочки НЛЗ на стенке гильзы и обрыва заготовки при выходе из кристаллизатора.

Использование качественных масел для непрерывной разливки стали обеспечивает стабильность процесса разливки, повышения качества заготовок, продление службы гильзы кристаллизатора, уменьшение объема работ по техническому обслуживанию и сокращению времени простоев.

В настоящее время для смазывания стенок гильзы кристаллизатора, используется масло Волтес-МНЛЗ.

Таблица 3.1 – «Уставки» расхода масла для разливки НЛЗ кв.100 мм

Скорость литья, м/мин	Необходимый расход масла для кв.100 мм. г/мин
3,6	32
3,9	34
4,2	36
4,5	38
4,8	40
5,1	42
5,4	44
5,7	46
6,0	48

Второй основной фактор, влияющий на зависание корочки слитка в кристаллизаторе является качание стола кристаллизатора. Основной эффект от качания кристаллизатора был достигнут за счет выбора таких параметров осцилляции, в которых в определенный период времени кристаллизатор, двигаясь в том же направлении, что и заготовка, опережает ее. Этот промежуток времени называется периодом отрицательного разведения слитка. В настоящее время используют синусоидальный закон движения кристаллизатора. Характеристика параметров качания оказывает влияние на глубину складок (следов качания).

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

51

Например, увеличение частоты качания с 90 до 190 кач/мин уменьшило глубину следов качания с 0,45 до 0,20 мм. Изменение шага качания в пределах 4...10 мм показало, что при большей величине шага качания глубина проникновения заворотов увеличивается, что способствует уменьшению времени затвердевания. Помимо выбора параметров качания, на качество заготовки так же влияет техническое состояние стола-качания кристаллизатора. Изменение характера скорости кристаллизатора приводит к изменению времени опережения, в результате чего во время разливки образуются более глубокие следы качания и образуется более тонкая корочка. Это увеличивает риск возникновения разрыва корочке слитка на выходе из кристаллизатора [9].

Шаг качания варьируется от 5 до 8 мм, в зависимости от марки стали (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Параметры качания кристаллизатора при разливке стали на заготовку кв. 100 мм

Скорость, м/мин	Частота, кач/мин
3,6	134
3,9	145
4,2	156
4,5	167
4,8	178
5,1	180
5,4	180
5,7	180
6,0	180

На рисунке 3.1 схематически показаны стадии зависания корочки слитка.

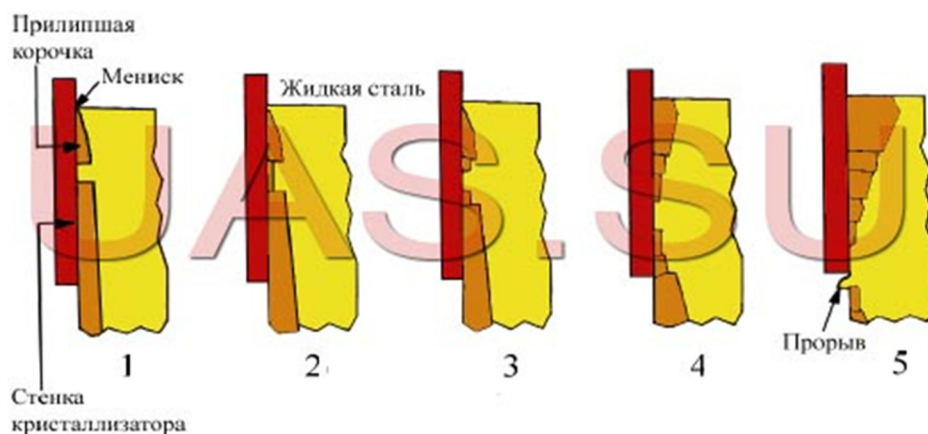


Рисунок 3.1 – Стадии зависания корочки слитка

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

52

На рисунке 3.2 представлены фотографии результата зависания корочки слитка.



Рисунок 3.2 – Результат зависания корочки слитка

### 3.2 Методика диагностирования зависания корочки слитка в кристаллизаторе

С учетом технологии непрерывной разливки стали разработана методика расчета минимального времени темпа остановки электроприводов машины. Определены технологические требования к электроприводам основных механизмов МНЛЗ. Предложена функциональная схема системы автоматического управления [10].

Прорыв корочки слитка является одним из самых распространенных и тяжелых видов аварии на МНЛЗ. До 80 % процентов прорывов корочки слитка происходит из-за «приваривания» участка корочки слитка к стенке кристаллизатора (зависания корочки слитка). Прорыв корочки слитка приводит к разливу жидкого металла, температура которого составляет более 1500 °С, вынужденной остановке машины и потере плавки. Экономические потери от одного прорыва металла с учетом затрат на восстановление оборудования и потерь производства могут достигать 1 млн рублей [11].

С целью предотвращения прорыва корочки слитка на большинстве отечественных и зарубежных МНЛЗ применяют системы раннего выявления зависания корочки слитка в кристаллизаторе. На большинстве МНЛЗ, установленных на территории Российской Федерации, используется система

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

53

«Термовизор» производства НПП «Техноап» (г. Москва). Диагностическая информация от системы «Термовизор» (13) поступает на пульт (14) главного поста управления (ГПУ) МНЛЗ (см. рис. 3.2) в виде визуальных и звуковых предупреждающих сигналов, на основании которых оператор разливки, согласно технологической инструкции, в случае диагноза о зависании корочки слитка в кристаллизаторе сообщает об опасности прорыва на разливочную площадку и в ручном режиме снижает скорость разливки до 4 м/мин. После этого персонал на разливочной площадке визуально проверяет достоверность диагноза о зависании корочки слитка и, в случае подтверждения диагноза, даёт команду на ГПУ на остановку машины. Далее оператор ГПУ в ручном режиме останавливает МНЛЗ. В случае ложного диагноза оператор главного поста выполняет разгон МНЛЗ до рабочей скорости вытягивания слитка [12,13].

В результате анализа работы системы «Термовизор» выявлен следующий её недостаток: высокое количество (до 70 %) ложных диагнозов о зависании корочки слитка в кристаллизаторе, которые являются причиной неоправданных снижений скорости вытягивания слитка и, как следствие, снижения производительности МНЛЗ, ухудшения качества слябов из-за нарушения технологии непрерывной разливки и нарушения ритмичности работы смежных технологических агрегатов.

Указанный недостаток не позволяет реализовать предотвращение прорыва корочки слитка средствами автоматизированных электроприводов МНЛЗ. Поэтому задача разработки системы диагностирования зависания корочки слитка в кристаллизаторе, обладающей высокой достоверностью диагнозов, и на, её основе, системы автоматического управления электроприводами механизмов МНЛЗ, позволяющей снизить вероятность прорыва корочки слитка, является актуальной.

На основе анализа характеристических признаков изменения температур участков медных стенок в области зависания корочки разработана методика диагностирования зависания корочки слитка в кристаллизаторе. В результате статистического анализа временных диаграмм изменения температур стенок

кристаллизатора определены числовые значения указанных диагностических признаков. Разработаны алгоритмы диагностирования, разработана и внедрена в АСУ ТП МНЛЗ №1, 5 ОАО «ММК» программа раннего выявления зависания корочки слитка в кристаллизаторе. За время эксплуатации (с 24.04.2009 г.) система показала высокую достоверность диагнозов о зависании корочки слитка (100 %) при низком количестве (до 4 в месяц) ложных сигналов и была рекомендована специалистами ОАО «ММК» к использованию в системе автоматического управления электроприводами МНЛЗ.

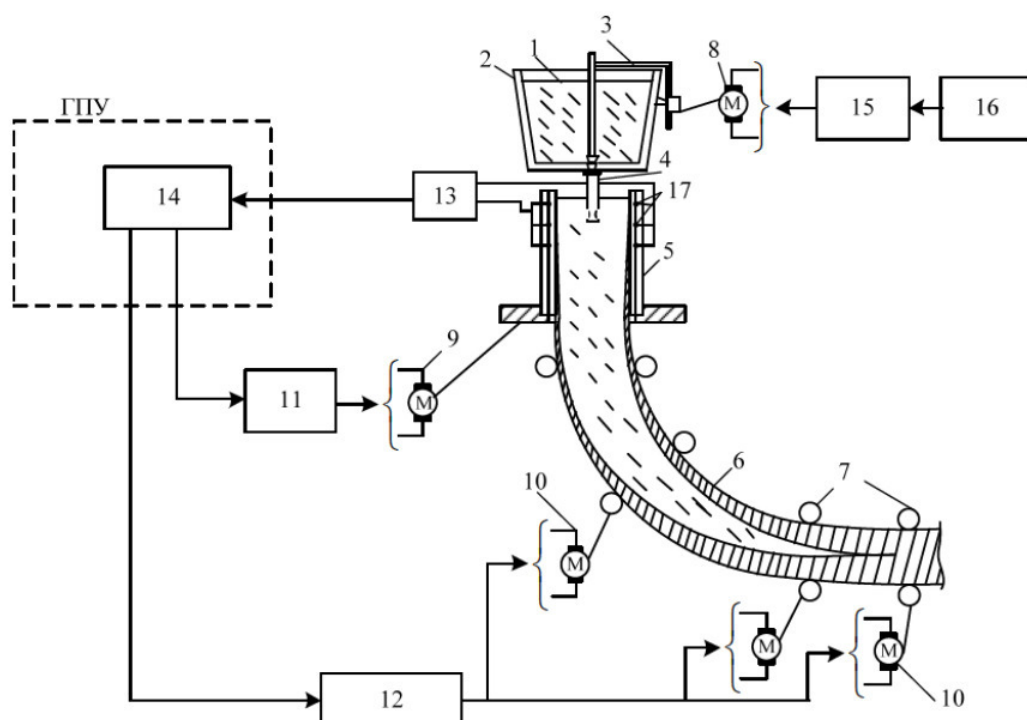


Рисунок 3.2 – Система управления электроприводами механизмов МНЛЗ:

1 – жидкий металл; 2 – промежуточный ковш; 3 – стопорный механизм;  
 4 – погружной стакан; 5 – кристаллизатор; 6 – сляб; 7 – тянущие ролики;  
 8 – электродвигатель стопорного механизма; 9 – электродвигатель механизма качания кристаллизатора; 10 – электродвигатели тянущих роликов; 11 – система управления электродвигателем механизма качания кристаллизатора; 12 – система управления электродвигателями тянущих роликов; 13 – блок системы «Термовизор»; 14 – пульт управления ГПУ; 15 – система управления электродвигателем стопорного механизма; 16 – пульт управления разливщика

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

55

На основании проведенных исследований с учетом технологических особенностей разливки стали на МНЛЗ криволинейного типа предложена методика расчета минимально-допустимых значений темпов торможения электроприводов тянущих роликов, механизма качания кристаллизатора и темпа закрытия стопорного механизма промежуточного ковша с позиции предотвращения прорывов металла, вызванных зависанием корочки слитка в кристаллизаторе. Определены технологические требования к указанным электроприводам МНЛЗ [12].

Электроприводы тянущих роликов и механизма качания кристаллизатора должны иметь возможность согласованно, за минимальное время, рассчитанное по предложенной методике, осуществлять останов механизмов. Согласованно с темпом уменьшения скорости вытягивания слитка электропривод стопорного механизма промежуточного ковша должен обеспечить закрытие стопора и гарантированно обеспечить прекращение подачи металла в кристаллизатор.

Система управления электроприводами тянущих роликов, механизма качания кристаллизатора и стопорного механизма промежуточного ковша должна обеспечить режим останов в течение 20 секунд.

В системе управления электроприводами механизма качания кристаллизатора, тянущих роликов и стопорного механизма промежуточного ковша должна быть предусмотрена возможность электроприводов осуществить регламентированный согласно технологической инструкции разгон указанных механизмов до скорости вытягивания слитка 0,2 м/мин и поддерживать данную скорость до момента выхода участка слитка с поврежденной корочкой из кристаллизатора.

Далее управление электроприводами МНЛЗ передаётся АСУ ТП машины.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

56

## 4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНИДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 4.1 Общие положения

#### *Обучение и допуск к самостоятельной работе*

Каждый трудящийся должен знать и выполнять общие требования безопасности, относящиеся к выполняемой работе.

Все вновь принятые на работу должны пройти вводный инструктаж в методическом кабинете отдела охраны труда комбината, общий инструктаж у начальника цеха и первичный инструктаж на рабочем месте с подробным ознакомлением их с будущей работой, опасными местами в цехе, вредными производственными факторами.

Для приучения соответствующей квалификации вновь принятые или переведенные рабочие должны пройти обучение по профессии Приказом по цеху вновь принятый рабочий на период обучения закрепляется за преподавателем теоретического обучения и инструктором производственного обучения. Срок обучения устанавливается в соответствии с утвержденной программой обучения по профессии.

Рабочие вновь принятые или переведенные из одного цеха в другой на работу «о своей специальности, допускаются к самостоятельной работе после получения Инструктажа, прохождения установленного срока стажировки (от 2 до 14 смен) и проверки знаний по ОТ в комиссии под председательством начальника цеха или его заместителя Результаты проверки оформляются протоколом.

Рабочие меняющие свою профессию, допускаются к самостоятельной работе только после их обучения по профессии и получения свидетельства по профессии.

Работники, обслуживающие объекты, подведомственные Ростехнадзору должны сдать экзамен на знание Правил Ростехнадзора.

Повторно-периодический инструктаж по ОТ трудящимся проводится в установленные сроки, а объеме 6ТИ-00-01. по программе первичного инструктажа и общих правил безопасности для всех трудящихся.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

57



Внеочередной инструктаж по ОТ и инструктаж на рабочем месте проводится в случаях:

- перевода с одной работы на другую или при изменении технологического процесса;
- после несчастного случая;
- при изъятии талона из личной книжки инструктажа;
- при перерывах в работе более 30 дней.

Все виды вышеуказанных инструктажей, а также допуск к самостоятельной работе, производятся и оформляются соответствующими записями в личной книжке инструктажа работника.

Периодическая проверка знаний правил и инструкций по ОТ проводится цеховыми комиссиями один раз в год в январе месяце с оформлением протокола.

Если при проверке будет установлено, что проверяемый имеет неудовлетворительные знания, он должен быть подвергнут повторной проверке не позднее 1 месяца. До повторной проверки знаний рабочий не допускается к самостоятельной работе.

Лица, допустившие нарушения правил и инструкций по ОТ должны подвергаться внеочередной комиссионной проверке знаний в комиссии под председательством начальника цеха.

Перевод с одной работы на другую и совмещение профессий оформляются цеховым приказом и соответствующими записями в личной книжке инструктажа о проведенном инструктаже на новом рабочем месте.

Рабочий должен выполнять только те работы, которые ему поручены и которым он обучен.

*Требования безопасности при движении по территории комбината, цеха*

Все участники движения обязаны быть внимательными к окружающей обстановке и её изменением, не создавать помех движению.

Пешеходам разрешается ходить только по тротуарам или пешеходным дорожкам, а где их нет – по левой стороне проезжей части.

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		58

Переходить дорогу разрешается в местах, где имеются обозначенные линии проходов или указатели «Пешеходный переход». Где этих обозначений нет – переходить дорогу необходимо там, где она хорошо просматривается в обе стороны, под прямым углом. При этом необходимо убедиться в отсутствии приближающегося транспорта. При наличии пешеходных тоннелей или мостиков пешеходы должны пользоваться только ими в местах, где движение регулируется, пешеходы обязаны руководствоваться сигналами светофора или регулировщика.

При переходе через железнодорожный путь около стоящего состава необходимо убедиться в отсутствии его движения. В этом случае переход через ж/д путь нужно производить на расстоянии не менее  $S$  метров от ближайшего вагона. Запрещается пролазить под автосцепками ж/д. состава и над ними.

Проходя по цеху, необходимо обращать внимание на предупредительные сигналы, беречься движущихся механизмов и машин, смотреть под ноги, остерегаться травмирования об острые предметы (гвозди в досках, обрезки металла, стружки, скрапа).

Проходить по цеху разрешается только по установленным проходам и пешеходным мостикам.

#### *Спецодежда и средства индивидуальной защиты (СИЗ)*

Рабочие должны приступать к работе аккуратно одетыми и обутыми. Спецодежда должна быть исправной и заправленной таким образом, чтобы не явилась причиной несчастного случая.

Каждый рабочий должен работать в предусмотренной нормами спецодежде и пользоваться средствами индивидуальной защиты.

При работе с жидким металлом, при наблюдении за технологическим процессом выплавки и разлива металла необходимо пользоваться защитными очками со светофильтрами.

При замере температуры металла – отбора проб, работе с пневмоинструментом, обдуве оборудования, работе при порезке и зачистке металла резакон необходимо пользоваться защитными очками или защитным лицевым щитком.

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		59

В нерабочее время спецодежда должна храниться в специальном шкафу бытового помещения.

Опасные места в отделении непрерывной разливки стали:

- разливочный пролет;
- пролет АКП;
- агрегат ковш-печь;
- железнодорожные пути;
- железнодорожные и автомобильные ворота;
- водопроводные тоннели, тоннели гидросмыва окалины и кабельный тоннель;
- зона вторичного охлаждения заготовок;
- зона газокислородной резки;
- зона работы холодильника;
- зона работы шлеппера;
- линия горячего всада;
- стенд обдува сталеразливочных ковшей;
- стенды сушки, и разогрева промежуточных ковшей.

#### 4.2 Санитарно-гигиенические требования

Прием пищи должен осуществляться в специально отведенных для этого местах (столовых, комнатах приема пищи). Перед едой необходимо тщательно мыть руки.

Для обеспечения питьевой водой в цехе предусмотрены места, оборудованные питьевыми установками. Рабочим «горячих» цехов предусмотрена выдача чая.

Во избежание сквозняков, ворота и двери в производственные помещения должны закрываться.

По окончании работы, необходимо вымыться в душевой и переодеться в домашнюю одежду.

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		60

### 4.3 Электробезопасность

Производственному неэлектротехническому персоналу, выполняющему работы, при которых может возникнуть опасность поражения электрическим током присваивается 1 группа по электробезопасности. Перечень профессий и рабочих мест' требующих присвоения 1 группы, определяет руководитель предприятия.

Присвоение группы по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного Опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы и оказания первой помощи при поражении электрическим током в соответствии с «Межотраслевой инструкцией по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве». Оформление присвоения группы по электробезопасности осуществляется записью в журнале установленной формы с подписью проверяемого и проверяющего.

Присвоение 1 группы по электробезопасности проводится при допуске к самостоятельной работе вновь принятых трудящихся и периодически не реже 1 раза в год.

Руководство участков, кому непосредственно – подчиняется неэлектротехнический персонал, несет ответственность за своевременную проверку знаний у персонала основ электробезопасности, настоящей инструкции, за проведение периодических инструктажей персоналу с 1 группой по электробезопасности.

*Во время работы персонал:*

На рабочем месте:

- управляет оборудованием ключами, кнопками и другими аппаратами управления;
- визуально контролирует работу оборудования по приборам и его нагрев;
- проверяет наличие и состояние видимого заземления электрооборудования;
- проверяет наличие соответствующих надписей на аппаратах управления и оборудовании;

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		61

- пользуется электроинструментом (класса II или III); выданным только инструментальной кладовой по спискам в соответствии с приказом по цеху.

Следит за исправностью и наличием:

- кожухов электрооборудования и аппаратов управления;
- защитных ограждений;
- предупредительной и предупусковой сигнализации;
- приборов освещения рабочего места;
- блокировок безопасности;
- ключ-бирок и аварийных выключателей;

Отключает оборудование при:

- остановке на планово-предупредительный ремонт;
- появлении дыма из электродвигателей и другого электрооборудования;
- появлении резких посторонних звуков;
- большой вибрации механизмов и электродвигателей;
- попадании воды на электрооборудование;
- наличии признаков действия электрического тока при прикосновении к оборудованию;

Персоналу запрещается:

- эксплуатировать оборудование при наличии оголенных токоведущих частей, доступных для прикосновения;
- производить ремонт электрооборудования;
- применять не разрешенные к применению бытовые приборы, светильники, не проверенные электрослужбой, не имеющих соответствующих бирок или инвентарных номеров;
- убирать и перекладывать электрические кабели, провода;
- передавать электроинструмент, ручные электрические светильники и электроприборы другим лицам;
- работать с приставных лестниц электроинструментом;

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

62

- эксплуатировать переносные и передвижные электроприемники класса 0 в особо неблагоприятных условиях, особо опасных помещениях и помещениях с повышенной опасностью.

При поражении электрическим током необходимо пострадавшему оказать первую медицинскую помощь в соответствии с «Инструкцией по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве» РД 153-34-03.702-99 сообщить о случившемся сменному мастеру МНЛЗ и вызвать скорую медицинскую помощь

#### 4.4 Правила пожарной безопасности

Ответственность за соблюдение правил пожарной безопасности возлагается на начальника цеха, начальников участков, начальников служб, старших сменных мастеров и рабочих.

В каждом помещении на видном месте должна находиться краткая инструкция по пожарной безопасности с указанием фамилии работника, ответственного за пожарную безопасность цеха, участка, а возле телефонных аппаратов должна быть табличка с номерами телефонов пожарных команд.

Руководители и все трудящиеся цеха должны постоянно соблюдать установленный противопожарный режим работы в цехе, на участке и рабочем месте. Принимать меры к своевременному выполнению противопожарных мероприятий, предписываемых органами пожарной охраны.

Не следует допускать загромождения проездов к зданиям, пожарным гидрантам и стационарным лестницам, помещениям и складам.

Не допускается оборудования различного рода перегородок, кладовок и пристроек без согласования с пожарной охраной.

Пожарный инвентарь содержать в постоянной готовности к действию.

Систематически очищать производственные площадки от горючих материалов и мусора, не допускать хранения легковоспламеняющихся веществ вблизи открытого огня и оборудования на расстоянии не менее 10 м.

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		63

Не допускать в эксплуатацию неисправного оборудования и нагревательных приборов.

Все материалы в складских помещениях должны храниться на стеллажах или в штабелях, сложенных по роду материалов. Между штабелями материалов должны быть свободные проходы шириной не менее 0,5 м, а от стен здания – 0,7 м, ширина центрального прохода должна составлять не менее 1 м.

Выключение внутреннего электрического освещения после закрытия склада должно производиться рубильником (выключателем), расположенным вне складского помещения на несгораемой стене.

Снаружи у входа в помещение, где хранятся легко воспламеняющиеся жидкости и огнеопасные материалы или газы в баллонах, должны быть вывешены надписи: «огнеопасно», «курить и применять открытый огонь запрещается».

Применяемые в цехах легко воспламеняющиеся и горючие жидкости должны храниться в закрытых емкостях и несгораемых кладовых.

Курение и применение открытого огня допускается только в специально отведенных и оборудованных местах.

Постоянные огневые работы производятся согласно технологическим инструкциям, утвержденным в установленном порядке.

Места проведения сварочных и других огневых работ проводятся по наряду допуску, согласованному с пожарной службой комбината.

Места проведения огневых работ через каждые два часа работы и после их окончания должны быть тщательно проверены руководителями работ на отсутствие возможных очагов загорания и других нарушений.

В случае разлива легковоспламеняющихся веществ, место разлива нужно засыпать песком, который затем убрать в специально отведенное для сбора мусора место.

Лица, заметившие пожар или его признаки (появление запаха, дыма, гари и т.п.), обязаны сразу сообщить об этом в пожарную часть. До прибытия пожарной команды приступить к тушению источников возгорания имеющимися средствами пожаротушения.

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		64

### *Требования безопасности при использовании бирочной системы*

При эксплуатации, ремонте, обслуживании агрегатов, имеющих бирки необходимо руководствоваться БТИ-00-02.

Бирочная система предусматривает применение двух типов бирок: жетон-бирка и ключ-бирка.

В основу бирочной системы положен принцип: воспрепятствовать случайному запуску механизма, не допустить производства на агрегате каких-либо работ без ведома согласия лиц, непосредственно обслуживающих агрегат или лишить права последних управлять агрегатом при нахождении на нем ремонтного персонала. При этом бирочная система предусматривает организацию четкого и согласованного порядка начала и окончания каких-либо работ на данном агрегате, определяет круг ответственных лиц.

Жетон-бирка применяется на всех механизмах и служит для допуска к работам, выполнение которых требует разборки силовой и оперативных цепей механизма.

Ключ-бирка устанавливается на механизмах, имеющих посты управления, и представляющих опасность для обслуживающего персонала и служит для:

- предупреждения случайного пуска механизма;
- осуществление допуска к управлению механизмом.

Список механизмов и агрегатов, оборудованных ключ-бирками, в отделении непрерывной разливки стали, находится на главном пульте управления.

Во время работы механизма, при собранных электрических схемах, ключ-бирки должны находиться в блок-замках, а жетон-бирки – в местах их хранения.

Ключ-бирка должна находиться у оператора:

- при ведении эксплуатационных работ самим оператором;
- во, всех случаях остановки механизма.

Ответственность за сохранность жетон-бирки во время работы механизма несет лицо, обслуживающее панель управления электроприводом механизма (дежурный электромонтер).

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

*22.03.02.2019.81300.00 ПЗ*

лист

65



Ключ-бирки на механизмах должны передаваться по смене лично через сменного мастера МНЛЗ с записью в журнале приема-передачи смен.

В случае утери жетон-бирки работа на механизме должна быть прекращена и организовано расследование причин утери. На продолжение работ должен быть выдан дубликат. Выдача дубликата производится по распоряжению начальника цеха или сменного руководителя.

Ответственность за сохранность ключ-бирки от действующих механизмов возлагается на оператора, обслуживающего механизм.

Ответственность за сохранность ключ-бирок от неработающих механизмов возлагается на руководителей, назначенных ответственными за их хранение.

Требования безопасности при работе с газами.

Настоящие требования распространяются на БТИ 11-14 (3...5) – 2011.

В отделении непрерывной разливки стали применяются следующие газы: природный, кислород, аргон, азот.

Характеристики газов:

Природный газ – не имеет вкуса, цвета, запаха, удушлив, легче воздуха, содержит до 98,5 % метана. Для придания запаха на газораспределительных пунктах к газу добавляется пахучее вещество с запахом перегоревшего чеснока. Предел взрываемости природного газа в % объема от воздуха от 5 до 15 %. Природный газ может накапливаться в неветилируемых помещениях. На организм человека природный газ действует удушающе.

Кислород – бесцветный газ, без запаха, не горит, но активно поддерживает горение, тяжелее воздуха, хорошо и устойчиво впитывается в поры тканей. Удельный вес кислорода – 1,43 кг/м<sup>3</sup>. Кислород обладает высокой химической активностью и способен вступать в соединение почти со всеми химическими элементами, кроме золота, платины, серебра и инертных газов. В среде кислорода и азотно-кислородных смесях, содержащих повышенное по сравнению с воздухом количество кислорода, интенсивно горит большинство материалов, в том числе металлы. Смазочные материалы, а также их пары и продукты разложения

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

66

способны окисляться при соприкосновении с чистым кислородом, при определенных условиях самовоспламеняются.

Аргон инертный газ, без цвета, вкуса, запаха, не токсичен и не взрывоопасен, не горит и не поддерживает горение, не соединяется ни с одним из элементов, удушлив. Аргон тяжелее воздуха, его удельный вес составляет 1,78 кг/м<sup>3</sup>. Так как газообразный аргон тяжелее воздуха: он может накапливаться в слабо вентилируемых помещениях у пола и в приятках, а также во внутренних объемах оборудования, предназначенного для получения; хранения и транспортировки газообразного аргона.

Азот – газ без цвета, вкуса и запаха, не токсичен, не взрывоопасен, не горит и не поддерживает горение, не активен, легче воздуха, удушлив. Удельный вес азота составляет 1,25 кг/м<sup>3</sup>. Увеличение концентрации азота в воздухе снижает содержание кислорода в нем, в результате чего создается удушливая атмосфера.

При вдыхании чистого аргона или азота, человек быстро теряет сознание. Если при этом он продолжает находиться в атмосфере аргона или азота, то может наступить смерть.

Порядок работы в газоопасных местах регламентируется утвержденным перечнем газоопасных мест в отделении с подразделением их на группы, в зависимости от загазованности.

Администрация цеха обязана ознакомить всех поступающих в цех рабочих с порядком производству работ в зависимости от группы.

Все газоопасные места в отделении обозначаются надписями «опасно газ» с указанием группы. Места возможного выделения природного газа, азота, аргона относятся к 4 группе газоопасных мест [14].

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

67

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе была разработана технология производства на МНЛЗ стальной непрерывной литой заготовки с профилем сечения 100x100.

В технологической части был подробно рассмотрен технологический процесс МНЛЗ, проведены расчеты по основным параметрам работы МНЛЗ.

Специальная часть посвящена методике диагностирования зависания корочки слитка в кристаллизаторе, также были рассмотрены вопросы безопасной работы в цехе.

					<i>22.03.02.2019.81300.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>68</i>

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайт «В мире металлургии». – <https://steeltimes.ru/books/casting/sortccm/11/11.php>.
2. Сайт «Марочник стали и сплавов». – [http://www.splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=215](http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=215).
3. Егоров, А.В. Электроплавильные печи черной металлургии: учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1985. – 280 с.
4. Кудрин, В. А. Теория и технология производства стали / В.А. Кудрин. – Учебник для вузов. – М.: Мир, ООО Издательство АСТ, 2003. – 186 с.
5. Валуев, Д.В. Внепечные и ковшовые процессы обработки стали в металлургии: учебное пособие / Д.В. Валуев. – Томск: ТПУ, 2009. – 206 с.
6. Особенности технологии высокоскоростной разливки стали на сортовых МНЛЗ ОАО «ЧМК» / С.А. Ботников, Г.Г. Михайлов, В.Н. Артюшов, и др. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». Вып. 12. – Челябинск: изд. ЮУрГУ – 2009. – №14 (147) – С. 35 – 38.
7. Непрерывная разливка стали на МНЛЗ–2 ЭСПЦ. Технологическая инструкция ТИ ЭС6-09-2013.
8. Самарин, А.М. Сталеплавильное производство: справочник / А.М. Самарин. – М.: Металлургия, 1964. – 476 с.
9. «Основные аварийные ситуации и возможные неполадки при непрерывной разливке стали». – <http://uas.su/books/mnlz/7.3/razdel73.php>.
10. Лукьянов, С.И. Электропривод тянущеправильного устройства МНЛЗ: монография / С.И. Лукьянов. – Магнитогорск: МГТУ, 2002. – 100 с.
11. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет / Л.В. Буланов и др. М.: ГУП-ПИК «Идеал-Пресс», 2003. – 299 с.
12. Анализ существующей системы предотвращения прорыва корочки слитка и ее взаимосвязь с электроприводом ТПУ МНЛЗ / С.И. Лукьянов др. – Магнитогорск: «Магнитогорск. гос. техн. ун-т». 2008. – 14 с.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2019.81300.00 ПЗ

лист

69

13. Определение требований к системе управления электроприводом ТПУ с позиций предотвращения прорыва корочки слитка / С.С. Красильников и др. – Оптимизация режимов работы электротехнических систем: межвуз. сб. науч. тр. Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2008. – 160 – 163 с.

14. Сборник инструкций по охране труда и промышленной безопасности для огнеупорщиков УРМП, работающих на огнеупорном участке ККЦ – Челябинск: 2005. – 58 с.

<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>

*22.03.02.2019.81300.00 ПЗ*

*лист*

*70*