

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Институт открытого и дистанционного образования  
Кафедра «Техника, технологии и строительство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой,  
\_\_\_\_\_ К.М. Виноградов  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Технология производства конструкционных легированных сталей в  
дуговой сталеплавильной печи на примере стали марки 14Г2АФ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР

Руководитель работы,  
к.х.н., доцент  
\_\_\_\_\_ А.В. Мохова  
\_\_\_\_\_ 2021г.

Автор работы  
студент группы ДО-512  
\_\_\_\_\_ В.Е. Феоктистов  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Нормоконтролер,  
преподаватель О.С. Микерина  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 2021г.

Челябинск 2021

## АННОТАЦИЯ

Феоктистов, В.Е. Технология производства конструкционных легированных сталей в дуговой сталеплавильной печи на примере стали марки 14Г2АФ: Челябинск: ЮУрГУ ИОДО каф. ТТС гр. ДО-512, 2021г. 65с., 15ил., библиогр. список – 35 наим., 6 листов чертежей ф.А.1.

Работа включает шесть частей: технологическую, расчетную, возможные дефекты конечного продукта производства, зарубежный опыт производства подобной продукции, возможные направления модернизации производства, охрана труда и техника безопасности.

В технологической части рассмотрены основные свойства стали 14Г2АФ, описана технологическая схема производства, проведен анализ выбранного оборудования, рассмотрен порядок введения легирующих элементов и контроль качества продукции.

В расчетной части произведен расчет материального баланса плавки.

Третьей части рассмотрены возможные дефекты при выплавке стали. Подробно рассмотрены трещины на кромках.

В четвертой части рассмотрен опыт производства подобной продукции в Китае.

В пятой части рассмотрены возможности модернизации плавки стали в АПК за счет внедрения порошковой проволоки.

В разделе охраны труда и техники безопасности произведен анализ опасных и вредных производственных факторов металлургических предприятий.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разработал</i>	Феоктистов				Технология производства конструкционных легированных сталей в дуговой сталеплавильной_печи на примере стали марки 14Г2АФ	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>	Мохова						4	65
<i>Н. Контр.</i>	Микерина					<i>ЮУрГУ ИОДО каф. ТТС группа ДО-512</i>		
<i>Утверд.</i>	Виноградов							

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	8
1.1 Описание стали 14Г2АФ.....	8
1.2 Назначение выплавляемой стали 14Г2АФ.....	8
1.3 Технологическая схема производства стали 14Г2АФ.....	9
1.4 Выбор оборудования для выплавки.....	10
1.4.1 Характеристика ДСП -120.....	10
1.4.2 Характеристика АКП.....	13
1.4.3 Характеристика МНЛЗ.....	14
1.5 Порядок введения легирующих элементов.....	15
1.6 Контроль качества продукции.....	16
2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ.....	17
2.1 Материальный баланс плавки.....	17
2.1.1 Расчет металлошихты для плавки стали марки 14Г2АФ.....	17
2.1.1.1 Расчет соотношения Б-53 и У-13.....	18
2.1.1.2 Расчет легирующих компонентов.....	20
2.1.2 Расчет состава пылегазовых выбросов.....	21
2.1.2.1 Период плавления. Расчет количества шлака и газа.....	21
2.1.2.2 Расчет количества подсосанного воздуха.....	23
2.1.2.3 Состав пыли.....	25
2.1.2.4 Состав шлака.....	26
2.1.2.5 Период окисления.....	26
2.1.2.6 Расчет пылегазовых выбросов в АКОС.....	32
2.1.3 Материальный баланс плавки.....	33
3 ВОЗМОЖНЫЕ ДЕФЕКТЫ КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА ПРОИЗВОДСТВА.....	34
3.1 Общие сведения о дефектах конечного продукта производства.....	34
3.2 Виды дефектов сталеплавильного происхождения.....	37
3.3 Трещины на кромках.....	40
4 ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ПОДОБНОЙ ПРОДУКЦИИ...	44
5 ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА	46
6 ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ.....	47
6.1 Анализ опасных производственных факторов.....	49
6.2 Анализ вредных производственных факторов.....	54
6.3 Шум в производственном помещении, его влияние на деятельность человека.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	63

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы

На мировом рынке, в условиях современной конкуренции черной металлургии, главным условием существования и получения хорошей прибыли на Ашинском метзаводе является применение инновационных технологий в производстве, которые помогут снизить себестоимость и поднять качество.

В связи с этим в 2004 г началась поэтапная реконструкция мартеновского цеха с последующим выходом на современный технологический уровень. В 2007 г было пущено отделение непрерывной разливки стали, в которое вошли агрегат «ковш-печь» и слябовая МНЛЗ. Строительством электросталеплавильного цеха было завершено в 2010 г. В здании нового электросталеплавильного цеха установлена дуговая сталеплавильная печь (ДСП-120 + «CONSTEEL») с конвейерной загрузкой металлошихты.

Современная технология производства стали в дуговой сталеплавильной печи позволяет существенно снизить себестоимость производимой продукции. Внепечная обработка в установке ковш-печь позволяет получать металл высокого качества. Использование современных технологий при разливке стали на машине непрерывного литья заготовки также позволяет повысить качество и снизить себестоимость производимой заготовки.

Для выпуска 970 тыс.т жидкой стали в ЭСПЦ – 2 установлено следующее оборудование:

Выплавляется сталь в ДСП-120 фирмы «Danieli», которая работает на 100 % твердого скрапа. Благодаря системе «CONSTEEL» загрузка скрапа в печь осуществляется непрерывно. Погорев скрапа осуществляется при его транспортировке отходящими газами от печи.

Преимущества данной технологии (выплавка стали в ДСП с непрерывной загрузкой скрапа) – выплавка стали современным способом, который позволяет механизировать и автоматизировать все технологические операции, поднять производительность примерно в 3 раза;

КПД ДСП в двое выше чем у мартеновской, а это колоссальная экономия энергоресурсов;

– в несколько раз уменьшаются вредные выбросы в атмосферу;

– применение зонта над ДСП и зонта над АКП (вместо фонаря) позволяет уловить неорганизованные выбросы от АКП и от печи при завалке и выпуске плавки и отправить их на газоочистку;

– технология «CONSTEEL» значительно экономит электроэнергию. Кроме того постоянная загрузка металлолома в печь не большими порциями не дает больших скачков в электросети печного трансформатора, что позволяет установить более простые и дешевые фильтровальнокомпенсационные устройства в сети 35 кВ.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		6

Цель выпускной квалификационной работы: разработка технологии производства конструкционных легированных сталей в дуговой сталеплавильной печи на примере стали марки 14Г2АФ.

Задачи проекта:

- рассмотреть особенности стали марки 14Г2АФ;
- провести анализ технологии выплавки стали;
- рассмотреть технологические характеристики выбранного оборудования;
- рассмотреть порядок введения легирующих элементов;
- рассчитать материальный баланс плавки;
- рассмотреть возможные дефекты конечного продукта;
- рассмотреть зарубежный опыт производства продукции;
- рассмотреть вопросы охраны труда и техники безопасности.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
						7
Изм.	Лист	№ Документа_	Подпись_	Дата		

# 1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Описание стали 14Г2АФ

Сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций.

Сталь марганцово-ванадиевая с азотом. По ГОСТ 27772-88 соответствует стали для строительных конструкций С390.

Согласно классификации строительных сталей, 14Г2АФ при содержании азота в пределах 0,025% относится к дисперсионно-твердеющим, качественным (серы и фосфора не более 0,04%), спокойным (кремния до 0,6%), прочным и хорошо свариваемым. Комплексное микролегирование в сочетании с контролируемой прокаткой позволяет увеличить порог хладноломкости. Из всех методов термообработки рекомендована нормализация с контролем скорости охлаждения (аналогично и при выполнении сварки). Наряду с присадками, обеспечивающими стойкость к коррозии (медь, хром и никель), в состав введен ванадий, благодаря которому материал приобретает хорошую сопротивляемость ударам. Небольшое количество мышьяка (до 0,08%) усиливает сопротивляемость атмосферной коррозии [1].

В таблице 1.1 приведен химический состав стали марки 14Г2АФ [1].

Таблица 1.1 - Химический состав в % стали марки 14Г2АФ

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	N	Cu	Fe
0,12÷0,18	0,3÷0,6	1,2÷1,6	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,4	0,07÷0,12	0,015÷0,025	до 0,3	≈96

Механические свойства стали представлены в таблице 1.2 [1].

Таблица 1.2 - Механические свойства при T=20oC материала 14Г2АФ

Сортамент	Размер	Напр.	s <sub>B</sub>	s <sub>T</sub>	d <sub>5</sub>	y	KCU	Термообр.
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м <sup>2</sup>	-
Лист, ГОСТ 19282-73	5 - 9		550	400	20			
Лист, Класс прочности 390, ГОСТ 19281-2014	до 50		510	390	19			
Прокат	4		550		20			Нормализация

## 1.2 Назначение выплавляемой стали 14Г2АФ

Марганцовованадиевая с азотом низколегированная конструкционная сталь 14Г2АФ применяется для промышленного выпуска нагружаемых сварных изделий сложной конфигурации, эксплуатируемых на открытом воздухе [1].

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		8

С повышением температуры металл марки 14Г2АФ постепенно теряет упругость и его теплоемкость также понижается, что ограничивает сферу применения изделий из него естественными климатическими условиями. Применяется для изготовления металлоконструкций промышленных зданий, подкрановых ферм мостовых кранов.

### 1.3 Технологическая схема производства стали 14Г2АФ

Производство стали 14Г2АФ в условиях электросталеплавильного цеха имеет следующую технологическую схему: производство полупродукта в основной электродуговой печи ДСП-120, рафинирование и доводка стали до требуемого химического состава на агрегате ковш-печь, разливка на одноручьевой слябовой машине непрерывного литья заготовки (рисунок 1.1).

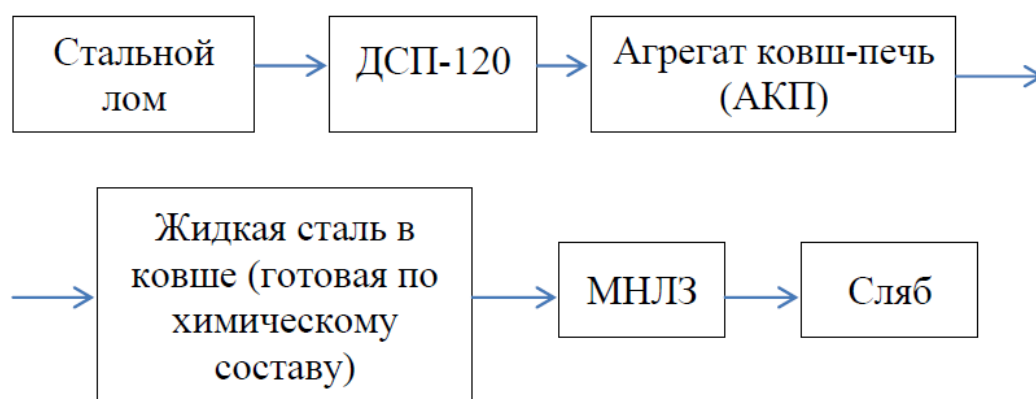


Рисунок 1.1 – Технологическая схема

Сталь в дуговой печи выплавляется по двум вариантам [29]:

- с завалкой металлошихты на «болото» (40 – 50 т металла предыдущей плавки);

- с завалкой металлошихты на «сухую» подину, очищенную от остатков шлака и металла от предыдущей плавки. Проводятся: после холодного ремонта подины в течение первых двух плавки подряд. При превышении температуры подины в одной из нескольких замеряемых точек более чем 300°C. По указанию старшего мастера печного участка с целью контроля за состоянием футеровки подины печи.

Плавку стали 14Г2АФ производят с «болотом».

Выплавка полупродукта производится при удовлетворительном твердом состоянии подины и откосов, с защитным гарнисажом на водоохлаждаемых панелях стен и свода, с хорошо очищенным и засыпанным эркерным отверстием, целыми электродами, при исправном состоянии и надежной работе охлаждающей системы, механизмов, электроаппаратуры и газоочистки. После холодного ремонта стен выплавляется две плавки стали общего назначения.

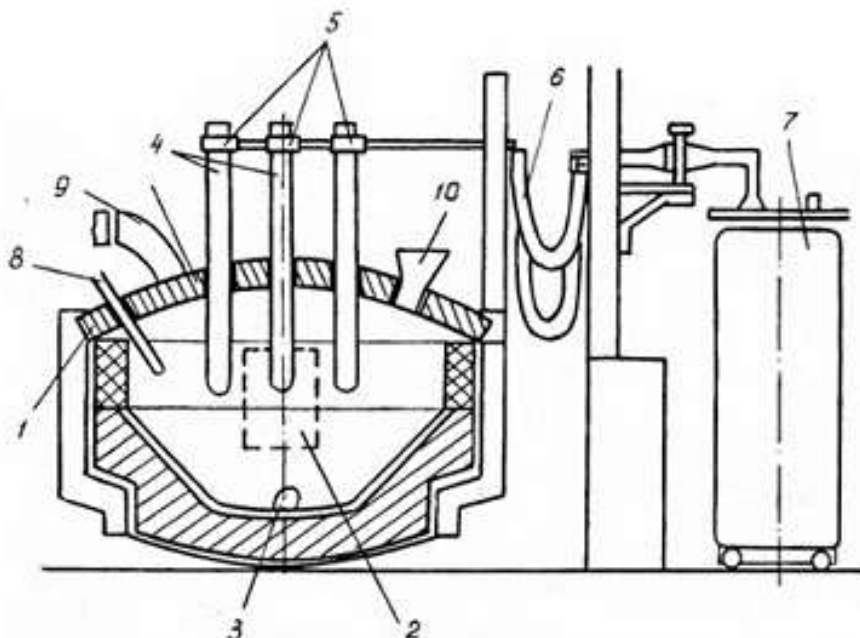
После замены подины выплавляется 3 плавки стали общего назначения по специально утвержденному начальником цеха электрическому режиму.

## 1.4 Выбор оборудования для выплавки

### 1.4.1 Характеристика ДСП -120

Дуговые сталеплавильные печи (ДСП) обладают вместимостью в 1,5 - 300т. ДСП с малым объемом распространены в литейном производстве и они преимущественно выполнены с кислой футеровкой [29]. Чаще всего в промышленности используются ДСП с вместимостью свыше 50 т. Объем ДСП на современных заводах, использующих следующую последовательность узлов: ДСП – установка печь-ковш – МНЛЗ, составляет от 80 до 150 т.

На рисунке 1.2 показана конструкция комплекса ДСП.



Основные элементы комплекса ДСП: 1 – свод; 2 – рабочее окно; 3 – стальное выпускное отверстие; 4 – электроды; 5 – электродержатели; 6 – короткая сеть; 7 – трансформатор; 8 – кислородная фурма; 9 – отвод отходящих газов; 10 – загрузочная воронка

Рисунок 1.2 - Конструкция комплекса ДСП

Под номером 1 обозначен свод печи, на него приходится наибольшая функциональная нагрузка. Большинство ДСП оснащены сводом, который приподнимается и поворачивается в сторону, благодаря чему упрощается загрузка шихты.

В отверстиях, расположенных в центральной части свода, находятся три электрода (4), которые с помощью электродержателей (5) и короткой сети (6) соединены с трансформатором (7). Расположен трансформатор в изолированном помещении.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		10



По высоковольтным линиям с напряжением 35-220 кВ электроэнергия поступает в электросталеплавильный цех, где с помощью печного трансформатора (7) напряжение падает до 100-1000 В. Такой ток и поступает к ДСП, имея при этом силу в короткой цепи (6) равную десяткам тысяч ампер.

В данной электрической системе установлены измерительные, предохранительные, разъединительные, а также регулирующие устройства. Это дает возможность поддерживать необходимые электрические режимы во время плавки.

Также через свод осуществляется отвод отходящих газов, с помощью трубопровода (9), опускание фурмы (8) и подача сыпучих материалов через воронку (10).

Корпус ДСП наклоняется до 40° в сторону сталевыпускного отверстия (3) либо в противоположную сторону, где находится рабочее окно (2). Это позволяет осуществлять регулировку слива шлака в процессе плавки и выпуск металла.

Для футеровки подины печи, её стен и свода применяются основные огнеупоры (магнезитохромитовые и хромомagneзитовые), а в литейном производстве встречается ещё и кислая футеровка. Наиболее подверженной износу является футеровка свода, срок службы которой составляет до 150 плавов. После чего свод подлежит замене. Срок службы подины печи составляет 1000-1500 плавов.

Водоохлаждение свода и футеровка только центральной части, где расположены электроды, позволили повысить стойкость сводов современных печей до 5000-6000 плавов. Благодаря успешному опыту эксплуатации водоохлаждаемых сводов были разработаны и водоохлаждаемые стены печи. Однако, нижние зоны остаются футерованными.

Отсечка шлака при выпуске осуществляется с помощью эркерного или донного сталевыпускного отверстия с применением шиберных затворов.

Установка стеновых и горелок на стенках свода позволяет ускорить процессы нагрева и плавления шихты, а установка сводовых и глубинных кислородных фурм интенсифицировать обезуглероживание. Благодаря этому длительность плавки сокращается до 40-60 мин., а производительность печи приближается к конвертерной.

Основное оборудование ДСП включает в себя:

- Газоход
- Свод
- Электроды
- Электродержатели
- Водоохлаждаемый корпус печи
- Заслонка рабочего окна
- Наклонная платформа с люльками
- Сменный кожух и подина печи
- Загрузочный конвейер ДСП

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР					

На рисунке 1.3 показаны основные узлы дуговой сталеплавильной печи.



Рисунок 1.3 – Дуговая сталеплавильная печь

В таблице 1.3 приведены основные характеристики печи [29].

Таблица 1.3 – Общая характеристика агрегата: дуговая электросталеплавильная печь (ДСП – 120)

Наименование	Показатели
Тип печи	переменного тока с полной платформой
Система загрузки скрапа	система непрерывной загрузки – CONSTEEL
Тип выпуска жидкого металла	эркерный
Сталь на выпуске	120т
Диаметр кожуха наружный	6,1м
Длина рабочей площадки	7,5м
Ширина рабочей площадки	11,7м
Охлаждаемая поверхность ДСП	45м <sup>2</sup>

## 1.4.2 Характеристика АКП

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, схема изображена на рисунке 1.4 [30].

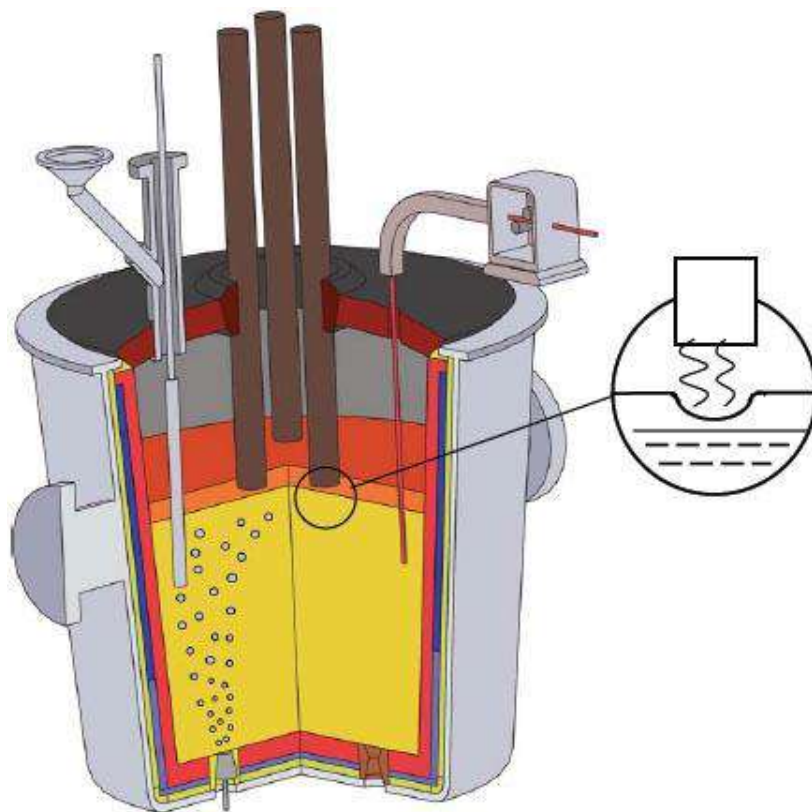


Рисунок 1.4 – Агрегата ковш – печь

Основное оборудование АКП включает в себя:

- консоли с электрододержателями и электродами;
- водоохлаждаемая крышка с газопроводом;
- система хранения, дозирования и подачи сыпучих материалов (бункера-питатели, тракт подачи);
- трайб-аппараты для ввода в металл алюминиевой катанки или порошковой проволоки с различными видами наполнителей;
- система донной продувки металла аргоном;
- манипулятор аварийной верхней фурмы;
- манипулятор для измерения температуры и отбора проб металла;
- стенд наращивания электродов;
- самодвижущийся стелевоз.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		13

### 1.4.3 Характеристика МНЛЗ

На рисунке 1.5 представлена схема радиальной МНЛЗ.

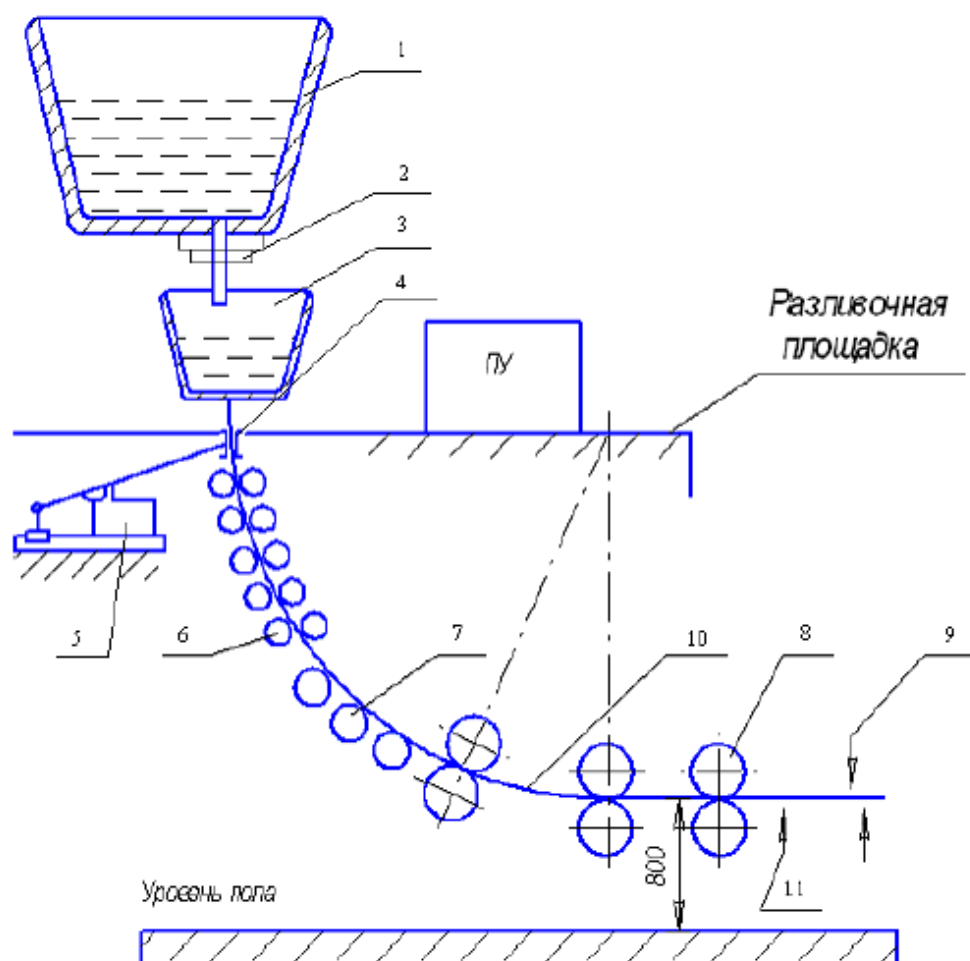


Рисунок 1.5 – Схема МНЛЗ:

- 1- стальковш; 2- шиберный затвор; 3-промежуточный ковш;  
4-кристаллизатор; 5-механизм качания кристаллизатора;  
6-секции вторичного охлаждения; 7-поддерживающие роликовые секции; 8-  
тянуще-правильная машина (ТПМ); 9-режущее устройство;  
10-заготовка; 11-механизм отделения затравки.

Стальковш, наполненный жидкой сталью, произведенной в конвертере с помощью специального сталеразливочного крана поднимают на рабочую площадку МНЛЗ и устанавливают на стенд. Открывают шибер и наполняют промковш до заданного уровня, после чего шиберную заслонку закрывают, открывают стопор промковша и подают металл в кристаллизатор.

Предварительно дно кристаллизатора закрыто головкой затравки, представляющей собой длинный стержень, состоящий из звеньев, соединенных между собой шарнирами. Хвостовая часть затравки удерживается в валках тянуще – правильной машины [30].

Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата

После заполнения кристаллизатора металлом до заданного уровня включают тянущее – правильную машину на вытягивание затравки и одновременно включают механизм качания, который сообщает кристаллизатору движение по технологической линии машины с малым ходом и большой частотой, что позволяет снизить трение между стенками кристаллизатора и корочкой затвердевающей заготовки.

В кристаллизаторе осуществляется первичное, закрытое охлаждение слитка через контакт с холодной медной стенкой, интенсивно омываемой водой по предусмотренным в ней каналам. Постепенно скорость вытягивания доводят до номинальной. Заготовка в двухфазном состоянии (сердцевина жидкая) попадает в зону вторичного охлаждения, где охлаждается в расчетном режиме открытой подачей воды с помощью форсунок.

Когда место стыка головки затравки и заготовки выходит за ось последнего вала ТПМ, затравка отделяется от заготовки с помощью механизма отделения затравки и далее заготовка перемещается в зону режущего устройства, где осуществляется порезка на мерные длины.

Преимущества радиальных МНЛЗ перед вертикальными следующие: меньшая высота машины, высокая скорость разливки, что увеличивает производительность, горизонтальная выдача заготовки на холодильник и пр.

### 1.5 Порядок введения легирующих элементов

Порядок введения легирующих элементов в сталь зависит от того, большим или меньшим сродством к кислороду обладает легирующий элемент, чем железо.

Никель и молибден (в виде ферромolibдена или молибдата кальция), обладающие меньшим сродством к кислороду, чем железо, вводят в печь при завалке или в окислительный период плавки.

Хром в виде феррохрома загружают в электропечь в восстановительный период или после удаления окислительного шлака, хром при этом усваивается на 97—98%. При выплавке мартеновской стали, легированной хромом, феррохром вводят после предварительного раскисления. В США для легирования хромом и марганцем применяют экзотермические сплавы, которые вводят в ковш до выпуска металла. При расплавлении сплавов выделяется значительное количество тепла в результате взаимодействия содержащихся в них Si и  $\text{NaNO}_3$ .

Вольфрам в виде ферровольфрама при электроплавке вводят в начале восстановительного периода. Усвоение вольфрама — до 92%. Применяют также лигатуры — сплавы вольфрама с кремнием, алюминием и др., имеющие более низкую температуру плавления, что ускоряет процесс растворения в жидком металле [31].

Ванадий сравнительно легко окисляется, поэтому феррованадий добавляют в конце восстановительного периода, за 30—40 мин. до выпуска; усвоение ванадия — 95%.

Титан, обладающий большим сродством к кислороду, чем железо, вводят в виде ферротитана обычно в ковш. Угар титана составляет 40—60%.

Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата



## 1.6 Контроль качества продукции

Главным методом контроля сталей всех назначений и в любом состоянии поставки является ее тщательный анализ и проверка соответствия их состава марочному, установленному в ГОСТе, несоответствие марочному химическому составу является браковочным признаком. Важность строгого соблюдения химического состава оправдана. Во-первых, содержание каждого из элементов, входящих в сталь, обуславливает вполне определенные ее свойства. Во-вторых, для получения готового изделия сталь во многих случаях приходится подвергать горячей обработке давлением (штамповке, ковке и т.д.) при сварке. При этом химический состав играет первостепенную роль, так как он предопределяет рациональные температуры нагрева, нижний уровень температуры, при которой еще можно производить обработку давлением, и другие технологические данные. И, наконец, в третьих, большинство готовых стальных изделий подвергается термической обработке, режимы проведения которой (температура нагрева, выдержки, скорости охлаждения) и, самое главное, получаемые результаты по структуре и свойствам стали находятся в прямой и непосредственной зависимости от ее химического состава.

Механические свойства контролируются и гарантируются для многих групп стали. Наиболее часто в ГОСТе оговариваются величина твердости, временного сопротивления разрыву, относительное сужение, относительное удлинение, удельная ударная вязкость. В сталях специального назначения обычно контролируют их основные эксплуатационные свойства. Многие группы сталей, за исключением стали неотчетственного назначения, контролируют по макро - и микроструктуре. Наиболее распространенными контролируруемыми показателями макроструктуры являются разного рода ликвация, пористость, пузыри, трещинки, глубина обезуглероженного слоя. Многие из них количественно оцениваются по шкалам ГОСТов [32].

Выводы по первому разделу: в данном разделе рассмотрены основные сведения о стали 14Г2АФ, выбрано оборудование для ее производства, рассмотрены порядок введения легирующих элементов при производстве стали 14Г2АФ и контроль качества, полученной продукции.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		16

## 2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Материальный баланс плавки

#### 2.1.1 Расчет металлошихты для плавки стали марки 14Г2АФ

В таблице 2.1 приведен расчетный состав металлошихты.

Таблица 2.1 - Расчетный состав металлошихты %.

Материал	Содержание элементов										Сумма
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	V	Cu	Fe	
Б-53	0,22	1,1	1,1	0,035	0,04	0,6	0,3	0,08	0,5	95,995	100
У-13	1,3	0,25	0,25	0,016	0,016	0,1	0,125	0	0,125	97,818	100

Б-53 – лом и отходы низколегированных сталей, содержащих медь.

У-13 – лом и отходы конструкционных сталей [34].

В таблице 2.2 представлен состав шлакообразующих и огнеупорных материалов.

Таблица 2.2 - Состав шлакообразующих и огнеупорных материалов %.

Материал	Содержание %								
	CaO	SiO	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Известь	86,00	1,80	6,00	-	-	-	-	0,06	0,10
Агломерат	0,10	5,25	0,30	-	4,10	-	-	-	-
Электроды	0,11	0,565	-	-	0,317	-	90,00	0,10	0,15

В таблице 2.3 приведен состав легирующих добавок и раскислителей.

Таблица 2.3 - Состав легирующих добавок и раскислителей.

Материал	Va	C	Ni	Si	Mn	P	S	Си	As	Cr	Al	Fe
ФС75	-	-	-	65,0	0,40	0,05	0,02	-	-	0,40	2,00	32,13
FeV80	75,0	0,3	0,15	2,0	0,50	0,06	0,05	0,01	0,06	-	1,50	20,93
-85												
ФМн78	-	7,0	-	6,00	78,0	0,05	0,02	-	-	-	-	8,93

В таблице 2.4 представлены значения коэффициентов усвояемости элементов

Таблица 2.4 - Значения коэффициентов усвоения элементов

Элемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe
Кусв%	90	85	90	95	97	96

В таблице 2.5 представлены технологические параметры печи.

Таблица 2.5 -Технологические параметры печи.

Параметр	Ширина, мм	Высота, мм	Площадь, м <sup>2</sup>	Высота до пят свода, мм
Размеры рабочего окна	1450	1045	1,52	2070

### 2.1.1.1 Расчет соотношения Б-53 и У-13

Расчет для выплавки стали 14Г2АФ в печи вместимостью 120 т. Усредненный состав стали представлен в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Усредненный состав стали %

С	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	N	Cu	Fe
0.16	0.50	1.50	0.20	0.03	0.03	0.30	0.10	0.02	0.20	96.90

Для обеспечения дегазации расплава необходимо, чтобы в период расплавления окислилось 0,3% углерода, в период окисления 0,9%. Итого за время плавки должно окислиться 1,2% углерода. Следовательно, с учетом того, что в металле к концу плавки должно остаться 0,16% углерода. Угар составляет 20 %.

Если доля Б-53 в шихте составляет  $x$ , то с учетом содержания углерода в Б-53 и У-13 количество углерода составит:

$$Б - 53: 68\%; У - 13: 32\%$$

Состав шихты в заделке представлен в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Состав шихты в заделке %.

Материал	Содержание элементов										
	Доля%	С	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	V	Cu	Fe
Б-53	68	0,150	0,748	0,748	0,024	0,027	0,408	0,408	0,054	0,340	65,249
У-13	32	0,416	0,08	0,08	0,005	0,005	0,032	0,04	0	0,040	31,302
Завалка	100	0,566	0,828	0,828	0,029	0,032	0,440	0,448	0,054	0,380	96,395

Для успешной дефосфорации обеспечивается основность шлака на уровне  $2 \div 3$ . В окислительный период в ванну присаживаем  $1,5 \div 2\%$  извести от массы шихты [34].

Необходимое количество шихты для получения 120 т готового металла:

$$\frac{96,90}{96,395 - 4} \cdot 120 = 125,85 \text{ т}$$

где 96,9% - содержание железа в готовой стали;

(96,395-4)% - содержание железа в шихте за вычетом окислившихся 4% за время плавки.



Для обеспечения раннего шлакообразования, предохраняющего металл от окисления и для дефосфорации, в процессе плавания в завалку подается известь в количестве 22 кг/т и агломерата в количестве 1,5%.

Состав завалки представлен в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Состав завалки

Материал	Содержание	Масса, кг
Б-53	68%	85578
У-13	32%	40272
Итого	100%	125850
Агломерат	1,5%	1890
Известь	22 кг/т	2770

В таблице 2.9 приведен расход материалов на плавку.

Таблица 2.9 - Расход материалов на плавку

Материал	Количество, кг	Количество элемента вносимой каждой составляющей шихты, кг										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	V	Cu	Fe
Б-53	85578	188,78	941,36	941,36	30,20	33,98	513,47	513,47	12,59	67,96	427,89	82115,86
У-13	40272	523,54	100,68	100,68	6,29	6,29	40,27	50,34	-	-	50,34	39393,57
Итого, кг	125850	712,32	1042,04	1042,04	36,49	40,27	553,74	563,81	12,59	67,96	478,23	121509,43
Итого, %	100	0,566	0,828	0,828	0,029	0,032	0,440	0,448	0,01	0,054	0,380	96,395

Расчетный состав металла на конец периода расплавления представлен в таблице 2.10.

Таблица 1.11 - Расчетный состав металла на конец периода расплавления

Количество элемента вносимой каждой составляющей шихты, кг											Сумма
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	V	Cu	Fe	
В шихте											
712,32	1042,04	1042,04	36,49	40,27	553,74	563,81	12,59	67,96	478,23	121509,43	125850
Окислилось %											
23	50	10	53	0	10	0	100	0	0	1	
Окислилось, кг											
163,83	521,02	104,2	19,34	0	53,37	0	12,59	0	0	1215,09	
Осталось, кг											
548,49	521,02	937,84	17,15	40,27	500,37	563,81	0	67,96	478,23	120294,34	123960,48
Осталось, %											
0,442	0,420	0,756	0,014	0,032	0,404	0,433	0	0,055	0,386	97,04	100

Расчетный состав металла на конец периода окисления представлен в таблице 2.11.

Таблица 2.11 - Расчетный состав металла на конец периода окисления

Количество элемента вносимой каждой составляющей шихты, кг											Сумма
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	V	Cu	Fe	
В шихте											
548,49	521,02	937,84	17,15	40,27	500,37	563,81	0	67,96	478,23	120294,34	123960,48
Окислилось %											
66	100	70	25	33	11	20	0	0	4	3	
Осталось, кг											
141,34	0	281,35	12,96	26,98	445,33	450,43	0	67,96	459,10	116685,51	118723,96
Осталось %											
0,11	0	0,237	0,011	0,023	0,375	0,427	0	0,06	0,387	98,4	100

Выход годного составляет

$$R = \frac{Q_{\text{мет}}}{Q_{\text{ших}}} 100\% \quad (2.1)$$

где  $Q_{\text{мет}}$  – масса полученного металла;

$Q_{\text{мет}}$  – масса шихты;

$$R = \frac{118723,96}{125850} 100\% = 94,34\%$$

Потери шихты со шлаком и пылью составляют 5,66 %.

#### 2.1.1.2 Расчет легирующих компонентов

Расход ферросплавов [35]

$$Q_{\phi} = \frac{m_0(\mathcal{E}_i - \mathcal{E}'_i)}{AB} 100\% \quad (2.2)$$

где  $m_0$  – вместимость печи;

$\mathcal{E}_i$  – содержание легирующего элемента в готовом материале;

$\mathcal{E}'_i$  – содержание легирующего элемента в металле перед присадкой ферросплавов;

A – содержание легирующего элемента в ферросплаве;

B – коэффициент усвоения легирующего элемента;

Расход ФС75

$$Q_{\text{ФС75}} = \frac{120000(0,5 - 0)}{65 \cdot 85} 100 = 1085,97 \text{ кг}$$

Расход FeV80

$$Q_{\text{FeV80}} = \frac{120000(0,08 - 0,06)}{80 \cdot 90} 100 = 33,33 \text{ кг}$$

Расход ФМн78

$$Q_{\text{ФМн78}} = \frac{120000(1,5 - 0,15)}{78 \cdot 90} 100 = 2307,69 \text{ кг}$$

Количество элемента (кг), внесенного ферросплавом

$$Q_{\text{э}} = Q_{\text{ф}} \cdot \frac{\text{Э}_{\text{ф}}}{100} \cdot \frac{K_{\text{усв}}}{100} \quad (2.3)$$

где  $\text{Э}_{\text{ф}}$  – содержание элемента в ферросплаве;

$K_{\text{усв}}$  - коэффициент усвоения элемента;

Результаты расчета представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 - Расчетный химический состав металла после АКОС

Материал	Колич., кг	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	V	Cu	Fe
Жидкий металл	118723,96	141,34	0	281,35	12,96	26,98	445,33	450,43	0	67,96	459,10	116685,51
ФС75	1085,97	-	605,88	4,34	0,54	0,22	4,34	-	21,72	-	-	348,92
FeV80	33,33	0,10	6,67	0,17	0,02	0,02	-	0,05	0,50	25,00	0,003	6,79
ФМн78	2307,69	61,54	138,46	1700,00	1,15	0,46	-	-	-	-	-	206,08
Итого, кг	122150,95	202,98	751,01	1985,86	14,67	27,68	449,67	450,48	22,22	92,96	459,103	117041,22
Итого, %	100	0,16	0,6	1,6	0,01	0,02	0,36	0,3	0,02	0,08	0,3	95,8

Расчетный химический состав металла после АКОС представлен в таблице 2.13.

Таблица 2.13 - Расчетный химический состав металла

Материал	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	V	Cu	Fe
Итого, %	0,16	0,6	1,59	0,01	0,02	0,36	0,3	0,02	0,08	0,3	95,8
Марочный	0,12÷0,18	0,3÷0,6	1,2÷1,6	до 0,035	до 0,04	до 0,4	до 0,3	до 0,08	0,07÷0,12	до 0,3	≈96

Как следует из таблицы 2.13 по завершении выплавки и внепечной обработки расчетный состав металла соответствует марочному.

## 2.1.2 Расчет состава пылегазовых выбросов

### 2.1.2.1 Период плавления. Расчет количества шлака и газа

Количество окисляющихся элементов, а также количественный состав металла по окончанию периода плавки представлен в таблице 2.14.

Таблица 2.14 - Расчетный состав металла на конец периода расплавления

Количество элемента вносимой каждой составляющей шихты, кг											Сумма
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	V	Cu	Fe	
В шихте											
712,32	1042,04	1042,04	36,49	40,27	553,74	563,81	12,59	67,96	478,23	121509,43	125850
Окислилось %											
23	50	10	53	0	10	0	100	0	0	1	
Окислилось, кг											
163,83	521,02	104,2	19,34	0	53,37	0	12,59	0	0	1215,09	
Осталось, кг											
548,49	521,02	937,84	17,15	40,27	500,37	563,81	0	67,96	478,23	120294,34	123960,48
Осталось, %											
0,442	0,420	0,756	0,014	0,032	0,404	0,433	0	0,055	0,386	97,04	100

Окислившейся углерод переходит в газовую фазу в виде CO (80%) и CO<sub>2</sub> (20%). Остальные компоненты переходят в шлак (85%) и пылевые выбросы (15%). В таблице 2.15 приведено расчетное количество образующихся продуктов реакции (шлак, газ, пыль). Расход электродов принят 3 кг/т.

На окисление углерода, в том числе электродов и других примесей металлошихты, потребуется 1758,75 кг кислорода. На окисление компонентов шихты расходуется 1143,19 кг кислорода. Для интенсификации окисления углерода и примесей осуществляется продувка ванны технологическим кислородом с содержанием O<sub>2</sub> 99,5%.

Таблица 2.15 - Расчетное количество образующихся продуктов реакции (шлак, газ, ПЫЛЬ)

Компонент	Окислится, кг	Требуется кислорода, кг	Образуется		
			шлак	газ	ПЫЛЬ
1	2	3	4	5	6
$C + \frac{1}{2}O_2 = CO$	$0.8 * 263.41 = 210.73$	$\frac{210.73 * 16}{12} = 280.97$	0	$\frac{210.73 * 28}{12} = 491.70$	0
$C + O_2 = CO_2$	$0.2 * 263.41 = 52.68$	$\frac{52.68 * 32}{12} = 105.36$	0	$\frac{52.68 * 44}{12} = 193.16$	0
$Si + O_2 = SiO_2$	313.20	$\frac{313.2 * 32}{28} = 357.94$	$\frac{313.2 * 60}{28} * 0.85 = 570.47$	0	$\frac{313.2 * 60}{28} * 0.15 = 100.67$
$Mn + \frac{1}{2}O_2 = MnO$	58.64	$\frac{58.64 * 16}{55} = 17.06$	$\frac{58.64 * 71}{55} * 0.85 = 64.34$	0	$\frac{58.64 * 71}{55} * 0.15 = 11.36$
$2P + \frac{5}{2}O_2 = P_2O_5$	14.04	$\frac{14.04 * 80}{62} = 18.12$	$\frac{14.04 * 142}{62} = 32.16$	0	0
$2Cr + \frac{3}{2}O_2 = Cr_2O_3$	31.20	$\frac{31.2 * 48}{104} = 14.40$	$\frac{31.2 * 152}{104} * 0.85 = 38.76$	0	$\frac{31.2 * 152}{104} * 0.15 = 6.84$
$Fe + \frac{1}{2}O_2 = FeO$	$0.8 * 1166.82 = 933.46$	$\frac{933.46 * 16}{62} = 240.89$	$\frac{933.46 * 72}{62} = 1200.16$	0	0
$2Fe + \frac{3}{2}O_2 = Fe_2O_3$	$0.2 * 1166.82 = 233.36$	$\frac{233.16 * 48}{112} = 100.01$	$\frac{233.36 * 160}{112} * 0.85 = 283.37$	0	$\frac{233.36 * 160}{112} * 0.15 = 50.01$

Окончание таблицы 2.15

1	2	3	4	5	6
Из электродов					
$CO$	$0.7 \cdot 360$ $= 252$	$\frac{252 \cdot 16}{12} = 336$	0	$\frac{252 \cdot 28}{12}$ $= 588$	0
$CO_2$	$0.3 \cdot 360$ $= 108$	$\frac{108 \cdot 32}{12} = 288$	0	$\frac{108 \cdot 44}{12}$ $= 396$	0
Итого	2207,31	1758,75 (из них на прохождение реакции 1143,19)		2189,26	1668,86

2.1.2.2 Расчет количества подсосанного воздуха

Размеры рабочего окна:

- ширина 1450 мм;
- высота 1045 мм;
- площадь 1,52 м<sup>2</sup>;
- высота до пят свода 2070 мм.

Среднее значение разрежения в середине открытого рабочего окна

$$p = \left| P_{\text{свод}} - 9,81 \left( \frac{H_{\text{ст}}}{1000} - \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{1000} \cdot \frac{k}{100} \right) \left( \frac{\rho_{\text{в}} \cdot 273}{t_{\text{в}} + 273} - \frac{\rho_{\text{в}} \cdot 273}{t_{\text{г}} + 273} \right) \right| \quad (2.4)$$

где  $P_{\text{свод}} = 5$  Па – давление под сводом;

$H_{\text{ст}}$  – высота до пят свода;

$h$  – высота рабочего окна;

$\rho_{\text{в}} = 1,29$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воздуха при нормальных условиях;

$k=30\%$  - степень открытия рабочего окна в период плавления;

$t_{\text{в}} = 20^{\circ}\text{C}$  - температура окружающего воздуха;

$t_{\text{г}} = 1540^{\circ}\text{C}$  - температура в рабочем пространстве печи в период плавления.

$$p = \left| 5 - 9,81 \left( \frac{2700}{1000} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1045}{1000} \cdot \frac{30}{100} \right) \left( \frac{1,29 \cdot 273}{20 + 273} - \frac{1,29 \cdot 273}{1540 + 273} \right) \right| = 20,14 \text{ Па}$$

Объем воздуха, всасываемого в рабочее пространство печи в период окисления

$$V_{\text{в(плавка)}} = 60nSk \cdot 0.01 \cdot \frac{273}{t_{\text{в}} + 273} \sqrt{\frac{2p}{\rho_{\text{в}} \cdot 273} \cdot (t_{\text{в}} + 273)} \quad (2.5)$$

где  $n=0.8$  – коэффициент расхода газа для толстых стенок;

$S=1.52$  м<sup>2</sup> – площадь рабочего окна.

$$V_{\text{в(плавка)}} = 60 \cdot 0,8 \cdot 1,52 \cdot 30 \cdot 0,01 \cdot \frac{273}{20 + 273} \sqrt{\frac{2 \cdot 20,14}{1,29 + 273} (20 + 273)}$$

$$= 113,682 \frac{\text{м}^3}{\text{мин}}$$

Продолжительность периода плавления составляет 50 минут.

Объем воздуха, подсасываемого в рабочее пространство печи в период плавления

$$V_{\text{в}} = V_{\text{в(плавка)}} \tau \quad (2.6)$$

$$V_{\text{в}} = 113,682 \cdot 50 = 5684,1 \text{ м}^3$$

Объем кислорода в воздухе

$$V_{\text{O}_2} = 5684,1 \cdot 0,21 = 1193,661 \text{ м}^3$$

Масса кислорода

$$M_{\text{O}_2} = 1193,661 \cdot \frac{32}{22,4} = 1705,23 \text{ кг}$$

Объем азота в воздухе

$$V_{\text{N}_2} = 5684,1 \cdot 0,78 = 4\,433,598 \text{ м}^3$$

Масса азота

$$M_{\text{N}_2} = 4\,433,598 \cdot \frac{28}{22,4} = 5\,541,996 \text{ кг}$$

Количество азота, подаваемого в уплотнители электродных отверстий

$$V_{\text{N}_2(\text{ЭО})} = V(\text{N}_2) m_0 \tau \quad (2.7)$$

где  $V(\text{N}_2) = 0,2 \text{ м}^3/\text{мин}$  – удельный расход азота, подаваемого в уплотнители электродных отверстий

$$V_{\text{N}_2(\text{ЭО})} = 0,2 \cdot 120 \cdot 50 = 1200 \text{ м}^3$$

Масса азота

$$M_{\text{N}_2} = 1200 \cdot \frac{28}{22,4} = 1500 \text{ кг}$$

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		24

Суммарное количество азота

Масса азота

$$M_{\Sigma N_2} = 5\,541,996 + 1500 = 7\,041,996 \text{ кг}$$

Принимается, что углерод электродов окисляется кислородом воздуха

Масса кислорода

$$M_{O_2} = 1705,23 - 336 - 288 = 1081,23 \text{ кг}$$

С технологическим кислородом вносится азот в количестве

$$0,005 \cdot 1143,19 = 5,716 \text{ кг}$$

30% CO, образующихся в результате окисления углерода шихты, в рабочем пространстве печи окисляются до CO<sub>2</sub> кислородом воздуха. Для этого потребуется кислорода

$$0,3 \cdot 280,97 = 83,291 \text{ кг}$$

при этом образуется диоксид углерода

$$210,73 \cdot 0,3 \cdot \frac{44}{12} = 231,803 \text{ кг}$$

Состав и количество образующихся газов представлены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 - Состав и количество образующихся газов

Компонент	Масса, кг	Содержание, %
CO	$491,70 + 588 - 231,803 = 847,90$	7,38
CO <sub>2</sub>	$193,16 + 396 + 231,80 = 820,96$	7,15
O <sub>2</sub>	$1143,19 + 1705,23 - 83,29 = 2765,13$	24,08
N <sub>2</sub>	$5\,541,996 + 1500 + 5,72 = 7\,047,716$	61,38
Итого	11 481,71	100

### 2.1.2.3 Состав пыли

В таблице 2.17 представлен состав и количество образующейся пыли.

Таблица 2.17 - Состав и количество пыли

Компонент	Масса, кг	Содержание, %
SiO <sub>2</sub>	100,67	59,61
MnO	11,36	6,73
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,84	4,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50,01	29,61
Итого	168,88	100

## 2.1.2.4 Состав шлака

Для расчета состава и количества шлака по окончанию периода плавления принимаем следующие составы шлакообразующих материалов (таблица 2.18).

Таблица 2.18 - Состав и количество шлакообразующих материалов, %.

Материал	Содержание %								
	CaO	SiO	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Известь	86,00	1,80	6,00	-	-	-	-	0,06	0,10
Агломерат	0,10	5,25	0,30	-	4,10	-	-	-	-
Электроды	0,11	0,565	-	-	0,317	-	90,00	0,10	0,15

При расчете состава и количества шлака (таблица 2.19) принимаем:

- содержание золы в электродах 0,001%;
- расход электродов 3 кг/т.

Агломерат используется в качестве шлакообразующего и весь переходит в шлак.

Таблица 2.19 - Состав и количество шлака

Источник поступления	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Σ
Металл (таблица 2.17)	-	570,47	-	38,76	-	283,37	1200,16	64,34	32,16	2189,26
Известь	2270,40	47,52	158,40	-	-	-	-	-	2,64	2478,96
Агломерат	1,80	94,5	5,4	0	73,80	-	1620	-	0	1800
Зона электродов	0,06	0,18	0	0	0,12	0	0	0	0	0,36
Итого, кг	2272,26	712,67	163,80	38,76	73,92	283,37	2820,16	64,34	34,80	6468,58
Итого, %	35,13	11,02	2,53	0,60	1,14	4,38	43,60	1,00	0,54	100

## 2.1.2.5 Период окисления

В таблице 2.20 представлено количество окислившихся примесей за период окисления.

Принимается, что 70% железа переходит в шлак (80% в виде FeO и 20% в виде Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и 30% теряется вместе с газами в виде Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (таблица 2.21).



Таблица 2.20 - Расчетный состав металла на конец периода окисления.

Количество элемента вносимой каждой составляющей шихты, кг											Сумма
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	V	Cu	Fe	
В шихте											
548,49	521,02	937,84	17,15	40,27	500,37	563,81	0	67,96	478,23	120294,34	123960,48
Окислилось %											
66	100	70	25	33	11	20	0	0	4	3	
Осталось, кг											
141,34	0	281,35	12,96	26,98	445,33	450,43	0	67,96	459,10	116685,51	118723,96
Осталось %											
0,11	0	0,237	0,011	0,023	0,375	0,427	0	0,06	0,387	98,4	100

Таблица 2.21 - Расчет оксидов железа, переходящих в шлак, %.

Реакция	Fe	O <sub>2</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
шлак $Fe + \frac{1}{2}O_2 = FeO$	1166,82 * 0,7 * 0,8 = 653,42	$\frac{653,42 * 16}{12}$ = 871,23	$\frac{653,42 * 72}{56}$ = 840,11	-
$2Fe + \frac{3}{2}O_2 = Fe_2O_3$	1166,82 * 0,7 * 0,2 = 163,36	$\frac{163,36 * 48}{112}$ = 70,01	-	$\frac{163,36 * 160}{112}$ = 233,37
газ $2Fe + \frac{3}{2}O_2 = Fe_2O_3$	1166,82 * 0,3 = 350,05	$\frac{350,05 * 48}{112}$ = 150,02	-	$\frac{350,05 * 160}{112}$ = 500,07

В таблице 2.22 приведено количество кислорода, требующегося для окисления примесей, окислившихся элементов и образующихся продуктов реакции (газ, пыль, шлак).

Принимаем расход электродов на плавку 7,5 кг/т (40% окисляется в период расплавления (3 кг/т) по 30% в период окисления и в агрегате ковш-печь (2,25 кг/т)).

Расход углерода на вспенивание шлака составляет 6 кг/т.

Таблица 2.22 - Расчетное количество образующихся продуктов реакции (шлак, газ, пыль).

Компонент	Окислится, кг	Требуется кислорода, кг	Образуется		
			шлак	газ	пыль
1	2	3	4	5	6
$C + \frac{1}{2}O_2 = CO$	0.8 * 493.85 = 395.08	$\frac{395.08 * 16}{12}$ = 526.77	0	$\frac{395.08 * 28}{12}$ = 921.85	0
$C + O_2 = CO_2$	0.2 * 493.85 = 98.77	$\frac{98.77 * 32}{12}$ = 263.39	0	$\frac{98.77 * 44}{12}$ = 362.16	0
$Si + O_2 = SiO_2$	313.20	$\frac{313.2 * 32}{28}$ = 357.94	$\frac{313.2 * 60}{28} * 0.85$ = 570.47	0	$\frac{313.2 * 60}{28} * 0.15$ = 100.67

Окончание таблицы 2.22

1	2	3	4	5	6
$Mn + \frac{1}{2}O_2 = MnO$	397.43	$\frac{397.43 * 16}{55} = 115.62$	$\frac{397.43 * 71}{55} * 0.85 = 436.09$	0	$\frac{397.43 * 71}{55} * 0.15 = 76.96$
$2P + \frac{5}{2}O_2 = P_2O_5$	3.11	$\frac{3.11 * 80}{62} = 4.01$	$\frac{3.11 * 142}{62} * 0.5 = 3.56$	0	$\frac{3.11 * 142}{62} * 0.5 = 3.56$
$2Cr + \frac{3}{2}O_2 = Cr_2O_3$	30.29	$\frac{30.29 * 48}{104} = 13.98$	$\frac{30.29 * 152}{104} * 0.85 = 37.63$	0	$\frac{30.29 * 152}{104} * 0.15 = 6.64$
$Fe + \frac{1}{2}O_2 = FeO$	653.42	70.01	840.11	0	0
$2Fe + \frac{3}{2}O_2 = Fe_2O_3$	163.36 + 350.05 = 513.41	150.02	233.37	0	500.07
$Ni + \frac{1}{2}O_2 = NiO$	21.72	$\frac{21.72 * 16}{59} = 5.89$	0	0	$\frac{21.72 * 75}{59} = 27.61$
Из электродов					
CO	$0.7 * 270 = 189$	$\frac{189 * 16}{12} = 252$	0	$\frac{189 * 28}{12} = 441$	0
CO <sub>2</sub>	$0.3 * 270 = 81$	$\frac{81 * 32}{12} = 108$	0	$\frac{81 * 44}{12} = 297$	0
Итого	3416.43	2867.63	2121.23	4202.08	215.44

Расход подсосанного воздуха [34]

$$p = \left| 5 - 9,81 \left( \frac{2072}{1000} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1045}{1000} \cdot 1 \right) (1,29 - 0,3) \right| = 10,029 \text{ Па}$$

$$V_{\text{в(плавка)}} = 60 \cdot 0,8 \cdot \frac{1450 \cdot 1045}{1000 \cdot 1000} \cdot 1 \cdot \frac{273}{20 + 273} \sqrt{\frac{2 \cdot 10,029}{1,29}} = 267,23 \frac{\text{м}^3}{\text{мин}}$$

где 1 – степень раскрытия рабочего окна (100%).

За период окисления

$$V_{\text{в}} = 267,23 \cdot 20 = 5344,66 \text{ м}^3$$

Объем кислорода в воздухе

$$V_{O_2} = 5344,66 \cdot 0,21 = 1122,40 \text{ м}^3$$

Масса кислорода

$$M_{O_2} = 1122,40 \cdot \frac{32}{22,4} = 1603,30 \text{ кг}$$

Объем азота в воздухе

$$V_{N_2} = 5344,66 \cdot 0,78 = 4168,90 \text{ м}^3$$

Масса азота

$$M_{N_2} = 4168,90 \cdot \frac{28}{22,4} = 5211,06 \text{ кг}$$

На окисление углерода и других примесей металлошихты, а так же углерода, поступающего из электродов и вдуваемого для вспенивания шлака, требуется 2867,63 O<sub>2</sub>. Для этого осуществляется продувка ванны технологическим кислородом с содержанием кислорода 99,5% в количестве 1,25 м<sup>3</sup>/(т×мин), или 30 м<sup>3</sup>/т за весь период окисления. С технологическим кислородом в печь поступает азот в количестве 0,5%.

$$V_{O_2\text{прод}} = 30 \cdot 102,5 \cdot 0,995 = 3059,625 \text{ м}^3$$

$$M_{O_2\text{прод}} = 3059,625 \cdot \frac{32}{22,4} = 4370,893 \text{ кг}$$

$$V_{N_2\text{прод}} = 30 \cdot 102,5 \cdot 0,005 = 15,375 \text{ м}^3$$

$$M_{N_2\text{прод}} = 15,375 \cdot \frac{28}{22,4} = 19,219 \text{ кг}$$

В уплотнители электродных отверстий подается азот в количестве

$$V_{N_2(\text{ЭО})} = 0,2 \cdot 120 \cdot 20 = 480 \text{ м}^3$$

Масса азота

$$M_{N_2} = 480 \cdot \frac{28}{22,4} = 600 \text{ кг}$$

Всего в печь поступает

- кислород

$$M_{O_2} = 1603,30 + 4371,00 = 5974,30 \text{ кг}$$

- азота

$$M_{N_2} = 5211,06 + 19,22 + 600,00 = 5830,28 \text{ кг}$$

Принимаем, что 30% СО дожигается в рабочем пространстве печи кислородом воздуха до СО<sub>2</sub>.

$$\Sigma_{CO} = 921,85 + 441 + 1680 = 3042,85 \text{ кг}$$

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		29

$$\Sigma_{CO_2} = 362,16 + 297 = 659,16 \text{ кг}$$

Для дожигания CO до CO<sub>2</sub> потребуется кислорода в количестве

$$(921,85 + 441 + 1680)0,3 = 912,855 \text{ кг}$$

Всего для окисления всех элементов и дожигания CO до CO<sub>2</sub> потребуется кислорода

$$912,855 + 5974,30 = 6887,15 \text{ кг}$$

а оставшийся кислород в количестве

$$6887,15 - 4780,49 = 2106,66 \text{ кг}$$

уйдет с отходящими газами.

В таблице 2.23 приводится состав и количество образующихся газов.

Таблица 2.23 - Состав и количество образующихся газов

Компонент	Масса, кг	Содержание, %
CO	2129,95	18,30
CO <sub>2</sub>	1572,01	13,51
O <sub>2</sub>	2106,66	18,10
N <sub>2</sub>	5830,28	50,09
Итого	11 638,9	100

В таблице 2.24 приводится состав и количество образующейся пыли

Таблица 2.24 - Состав и количество образующейся пыли

Компонент	Масса, кг	Содержание, %
SiO	100,67	14,07
MnO	76,96	10,76
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,56	0,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	500,07	69,89
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,64	0,93
NiO	27,61	3,86
Итого	715,51	100

При расчете состава и количества шлака по окончании периода окисления принимаются следующие условия:

- шлак в период плавления сливается на 50%;
- основность шлака должна быть 2,5÷3,5 (для расчетов принимаем 3);

- содержание золы электродов составляет 0,225 кг;
- расход футеровки составляет 0,3 кг/т.

Футеровка представляет собой магнезитовый кирпич обычной плотности. Поскольку 50% шлака сливается, то его количество составит

$$\frac{2189,26 + 2121,23}{2} = 2155,25 \text{ кг}$$

В том числе содержание

$$\sum_{SiO_2} = \frac{570.47 + 570.47}{2} = 570.47 \text{ кг}$$

Из основности шлака определяем его количество

$$\frac{CaO}{SiO_2} = 3$$

откуда

$$CaO = 3 \cdot 570.47 - n = 1711.41 - n$$

где  $n$  – количество  $CaO$  в шлаке.

Следовательно, нужно добавить  $CaO$  в количестве

$$CaO = 1711.41 - \frac{2640}{2} = 391.41 \text{ кг}$$

Содержание  $CaO$  в извести 93%, тогда расход извести в период окисления равен

$$\frac{391,41}{0,93} = 420,87 \text{ кг}$$

В таблице 2.25 приводится состав и количество шлака в период окисления.

Таблица 2.25 - Состав и количество шлака в период окисления.

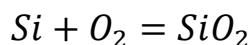
Источник поступления	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Σ
Металл	840.11	233.37	436.09	357.94	0	0	0	3.56	37.63	1908.70
Шлак	614.80	622.60	31.60	302.40	15.10	1066.10	40.60	28.40	16.10	2737.70
Электроды	0	0	0	0.13	0.07	0.03	0	0	0	0.23
Футеровка	0	0.60	0	1.19	0.29	1.50	32.42	0	0	0.36
Известь	0	0	0	2.77	1.10	420.87	3.66	0.22	0	428.62
Итого, кг	1454.91	856.57	467.69	664.43	16.56	1488.50	76.68	32.18	53.73	5075.63
Итого, %	28.66	16.87	9.21	13.09	0.33	29.33	1.51	0.63	1.06	100

### 2.1.2.6 Расчет пылегазовых выбросов в АКОС

В АКОС не улавливается лишь кремний (0,15%). Остается он в количестве

$$0,0015 \cdot 844,34 = 1,267 \text{ м}^3$$

окисляясь по реакции

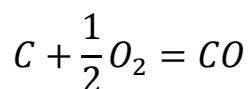


Кремний переходит в оксид кремния в количестве

$$1,267 \cdot \frac{60}{28} = 2,715 \text{ кг}$$

15% которого попадают в пыль  $0,15 \cdot 2,715 = 0,407$  кг на 120 т металла, а остальная часть переходит в шлак.

В печи-ковше, во время работы дуг, происходит окисление электродов в количестве 2,25 кг/т. В печи на 120 т металла окисляется 270 кг углерода в атмосфере печи по реакции



В результате этой реакции образуется CO в количестве

$$270 \cdot \frac{28}{12} = 630 \text{ кг}$$

25% которого дожигается до CO<sub>2</sub>, т.е. образуется

$$630 \cdot 0,25 = 157,50 \text{ кг}$$

и CO

$$630 \cdot 0,75 = 472,50 \text{ кг}$$

Т.к. В АКОС идет продувка аргоном с расходом 0,27 м<sup>3</sup>/т (0,48 кг/т) стали, то состав пылегазовых выбросов входят компоненты

	кг/т	кг/120 т
SiO <sub>2</sub>	0.0035	0.42
CO <sub>2</sub>	0.131	15.72
CO	0.394	47.28
Ar	0.48	57.60

### 2.1.3 Материальный баланс плавки

В таблице 2.26 представлен материальный баланс плавки

Таблица 2.26 - Материальный баланс плавки

Внесено, кг		Получено, кг	
Б-53	85578	Металл	118724
У-13	40272	Шлак	7 196
Агломерат	1890	Газ	10726
Известь	2770	Пыль	884
Футеровка	36		
Электроды	630		
Воздух	5344		
Аргон	57		
ФМн78	2307		
ФС75	1085		
FeV80	33,33		
Итого	140 002	Итого	137 529

Невязка

$$\frac{140002 - 137529}{140002} = 0,017$$

Таким образом, получено, что удельные выбросы пыли из печи составляют  $\frac{884}{120} = 7,37$  кг на 120 т стали, CO – 23,2 кг/т, CO<sub>2</sub> – 21,9 кг/т.

Содержание CO в выбросах составит

$$\frac{2129}{10726} \cdot 100\% = 19,84\%$$

Поскольку в газовых выбросах допускается содержание CO не более 1% CO, то излишек окисляем до CO<sub>2</sub> в камере дожигания.

Для снижения выбросов пыли в атмосферу их улавливают в рукавных или электрических фильтрах и утилизируют. Запыленность выбрасываемых в атмосферу газов не должна превышать 100 мг/м<sup>3</sup>, минимально допустимые показатели – 2 мг/м<sup>3</sup>.

Выводы по разделу два: в данном разделе рассчитан материальный баланс плавки. Невязка составляет 1,7%.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		33

### 3 ВОЗМОЖНЫЕ ДЕФЕКТЫ КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА ПРОИЗВОДСТВА

#### 3.1 Общие сведения о дефектах конечного продукта производства

В зависимости от возможного влияния на служебные свойства детали дефекты могут быть критическими, значительными и малозначительными.

При классификации учитывают характер, размеры, место расположения дефекта на детали, особенности деталей и изделий, их назначение, условия использования (эксплуатации).

Дефекты подразделяют на явные, скрытые, критические, значительные и малозначительные, исправимые и неисправимые.

Явные поверхностные дефекты выявляют глазом, а внутренние скрытые и поверхностные, неразличимые глазом, – специальными средствами.

Критическим называют дефект, при наличии которого использование продукции по назначению невозможно или исключается из-за несоответствия безопасности или надежности.

Значительный – дефект, который существенно влияет на использование продукции по назначению и (или) на ее долговечность, но не является критическим.

Малозначительный – дефект, который не оказывает влияния на использование продукции по назначению и (или) на ее долговечность.

По происхождению дефекты изделий подразделяют: на производственно-технические, металлургические, возникающие при отливке и прокатке; технологические, возникающие при изготовлении и ремонте деталей (сварке, наплавке, механической и термической обработках, калибровке и др.); эксплуатационные, возникающие после некоторой наработки изделия в результате усталости металла деталей, коррозии, охрупчивания под действием радиации, изнашивания и т.д., а также неправильного технологического обслуживания в эксплуатации [8].

Классификация дефектов.

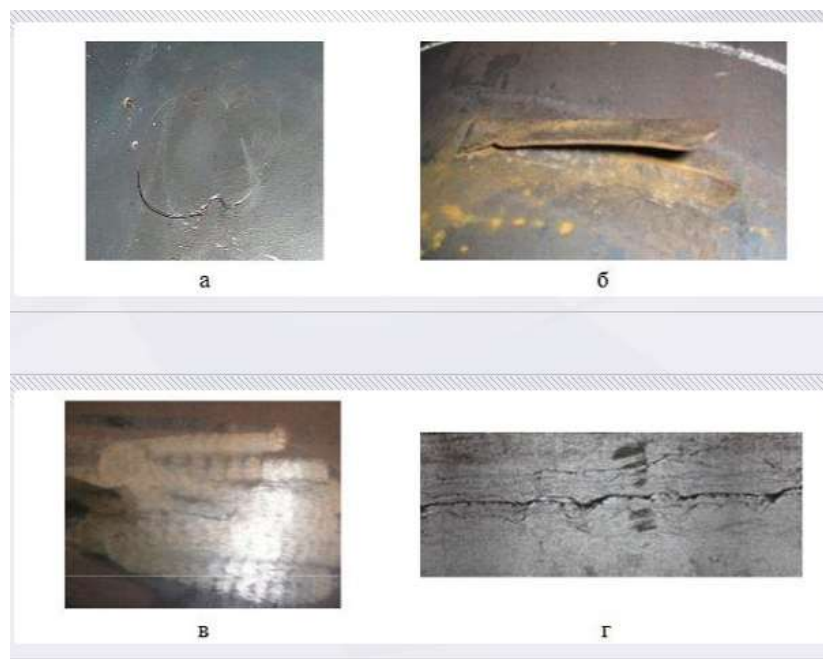
Дефекты стальных слитков. Дефекты сталеплавильного происхождения являются следствием нарушения или несовершенства технологии при производстве слитков при выплавке и разливке, а также при их дальнейшей переработке в блюм и катанную заготовку[6].

Виды: газовые пузыри, заворот корки, инородные металлические включения, подтеки, сетка разгара.

1. Дефекты проката и труб (рисунок 3.1). Дефекты прокатного происхождения являются следствием нарушения или несовершенства технологии прокатки, настройки станков нагрева металла перед прокаткой при производстве блюмов, катанной заготовки, а также при их дальнейшей переработке в трубы[6].

Виды: раскатная трещина, пузырь-вздутие, плена, прикромочные закаты,





а - пузырь-вздутие, б – плена, в - раскатанная трещина, г - прикромочные закаты

Рисунок 3.1 - Дефекты проката и труб

2. Дефекты термической обработки. Наиболее распространенными дефектами термической обработки являются дефекты вызванные несоблюдением или несовершенством режимов нагрева или охлаждения [7].

Виды: окисление, обезуглероживание, перегрев и пережог металла, трещины, деформации и коробление.

Перегрев приводит к росту зерен, а при очень сильном перегреве образуется

Перегрев можно исправить путём повторного уже нормального отжига с соблюдением всех норм процесса.

Пережог возникает в случае, когда сталь была нагрета до температуры, которая близка к температуре плавления, в результате чего по границам зерна происходит окисление, что делает сталь достаточно хрупкой. Данный вид дефектов исправить нельзя.

Образование окалины приводят к неравномерности твёрдости металла, вызывает необходимость дополнительной его обработки, а так же дополнительной потери металла.

Результатом действия обезуглероживания является резкое снижение твёрдости и выносливости на поверхностях металла. Для предотвращения данных неблагоприятных последствий, необходимо использовать печи с контролируемой атмосферой [10].

### 3. Дефекты сварки плавлением.

Виды: трещины (рисунок 3.2), пора (рисунок 3.3), свищ (рисунок 3.4), поверхностная пора (рисунок 3.5).

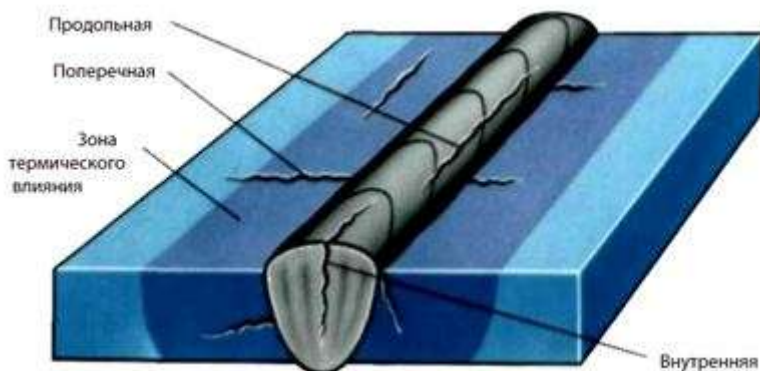


Рисунок 3.2 - Трещины

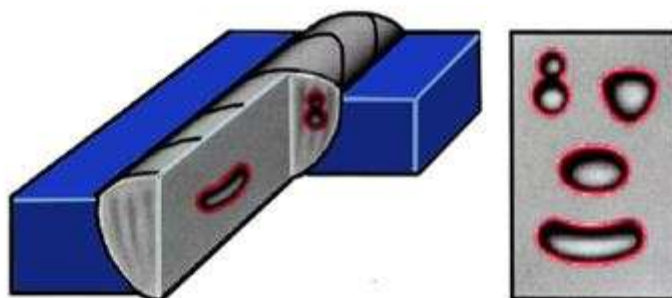


Рисунок 3.3 - Пора

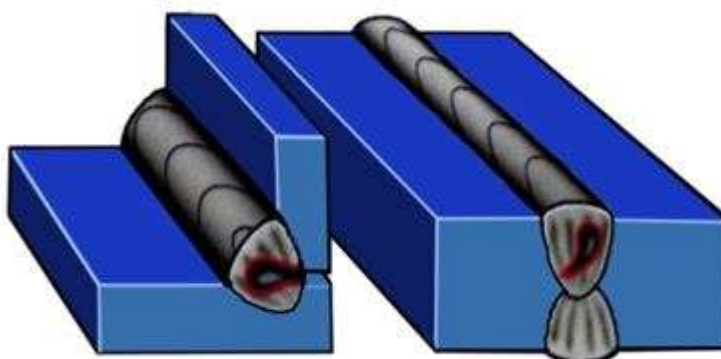


Рисунок 3.4 - Свищ

Изм.	Лист	№ Документа_	Подпись_	Дата

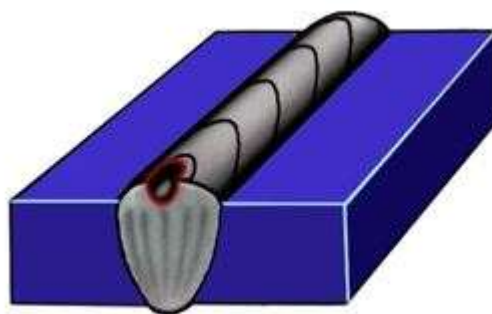


Рисунок 3.5 – Поверхностная пора

Наличие дефектов в сварных соединениях еще не означает потерю их работоспособности. Но дефекты могут существенно снижать работоспособность конструкций и при определенных условиях привести к их разрушению. Следовательно, для определения надежности сварных конструкций и установления требований, предъявляемых к качеству сварных соединений, необходимо располагать сведениями о влиянии наиболее вероятных дефектов на прочность соединений. Наибольшую опасность для конструкций представляют внутренние дефекты, так как их надо обнаружить, не разрушая сварного соединения [9].

4. Эксплуатационные дефекты. Эксплуатационные дефекты возникают в процессе эксплуатации трубопроводов. К ним относятся коррозионные повреждения на внутренней и наружной поверхностях трубопровода, плотные отложения. Для трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие среды, кроме язвенной коррозии, характерны водородные расслоения и сероводородное растрескивание металла [5].

Виды: водородные расслоения, почвенная коррозия, язвенная коррозия, коррозионное растрескивание.

5. Дефекты паяных соединений.

Виды: продольная трещина, поперечная трещина, пора и газовая раковина, пузырь, непрой, неспай, наплыв пайки [8].

### 3.2 Виды дефектов сталеплавильного происхождения

К важнейшим характеристикам металла, определяющим его качество, относятся состояние поверхности и структура металла, а также пороки, связанные с процессами производства стали, ее разливкой, кристаллизацией слитков и непрерывно литой заготовки (далее-НЛЗ), условиями их деформации и отделки на всех этапах получения изделий из металлов.

Дефекты, представляющие нарушения сплошности металла и отклонения от нормальной заданной макро и микроструктуры, существенно снижают технологическую пластичность металла в условиях его обработки и эксплуатационную стойкость.

Наличие пороков (дефектов), их вид и количество определяются не только совершенством технологий производства, но и степенью их соблюдения на заводах-изготовителях. В связи с этим в задачи установления причин неудовлетворительного качества металлопродукции входит не только выявление дефектов, но и установление их природы и причин возникновения.

По расположению дефекты литого металла (слитков, непрерывно литых заготовок) делят на две основные группы: дефекты наружной поверхности и дефекты центральной (осевой) зоны слитка (НЛЗ), сортового проката и внутренней поверхности гильз, труб. Основные группы делят по природным (генетическим и морфологическим) признакам на подгруппы: пороки наружной поверхности металлопродукции, металлургического (сталеплавильного, прокатного) и трубного переделов. К порокам трубного передела относятся дефекты трубопрокатного происхождения, формы, отделки, термообработки, дефекты труб с высаженными концами и приварными замками [11–14].

Дефекты сталеплавильного происхождения являются следствием нарушения или несовершенства технологии при производстве слитков при выплавке и разливке, а также при их дальнейшей переработке в блюм и катанную заготовку.

Виды дефектов.

*Усадочные раковины* – открытые или закрытые сравнительно большие полости произвольной формы с грубой шероховатой, иногда окисленной, поверхностью, находящиеся в теле отливки. Образуются вследствие неравномерной усадки металла при затвердевании в верхней части слитка или в утолщенных частях отливки, где металл затвердевает в последнюю очередь. Усадочные раковины находятся между сердцевинной и коркой отливки[8].

*Рыхлота* – местное скопление мелких усадочных раковин при крупнозернистой структуре металла. Часто встречается рыхлота, расположенная над усадочной раковиной.

*Пористость* – местное скопление мелких газовых или усадочных раковин. Газовая пористость обычно наблюдается в большом объеме отливки или отдельных ее участках. Усадочная пористость часто располагается под концентрированной усадочной раковиной, являясь ее продолжением или продолжением подусадочной рыхлоты.

*Газовые пузыри* представляют собой отверстия круглой или овальной формы на поверхности слитков, направленные вглубь в виде капсул. Вызваны выделением газов из жидкого металла в процессе охлаждения и кристаллизации, а также попаданием газов в металл при разливке.

Применение обезвоженной негустой смазки, наносимой относительно тонким слоем равномерно на поверхность изложницы, способствует устранению такого дефекта металла. Подкорковые пузыри могут образоваться и при заливании окислившихся брызг или корочки (при сифонной разливке) металла. Окислы железа, покрывающие капельки стали, прилипшие к поверхности изложницы, взаимодействуют с углеродом, растворенным в жидкой стали.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		38

Пузыри окиси углерода частично могут остаться в подкорковом слое слитка. Поэтому меры, устраняющие плены и завороты корочки, одновременно способствуют получению качественного слитка[7].

*Горячая (кристаллизационная) трещина* представляет узкий, слегка извилистый, прерывистый разрыв металла с неровными, сильно окисленными стенками, суживающийся вглубь, расположены перпендикулярно поверхности, образующийся при кристаллизации в поверхностных слоях слитка. Трещины могут быть на углах и на гранях, продольными, поперечными и косорасположенным, что зависит от направления растягивающих напряжений, возникающих в процессе кристаллизации и вызывающих их образование наряду с низкой пластичностью стали, вызванной большим содержанием серы.

Наружные трещины в зависимости от их направления относительно образующей слитка делят на продольные и поперечные. Поперечные трещины появляются в результате неравномерного подвешивания слитка стали в изложнице в процессе его затвердевания вследствие затекания металла в трещины и местные углубления в стенках изложниц, а также в зазор между верхним торцом изложницы и прибыльной надставкой. Для устранения таких дефектов как поперечные трещины, ликвидируют торможения при свободной усадке металла, проводя своевременно ремонт или отбраковку изложниц и обеспечивая плотную хорошо отцентрированную установку прибыльной надставки на изложницу. Продольные горячие трещины образуются в результате тангенциальных напряжений, возникающих из-за неодинаковой деформации различных слоев металла при кристаллизации слитка, а также под действием ферростатического давления жидкого металла на тонкую твердую корочку слитка толщиной 5-20 мм, образующуюся в первые 20-40 с[7].

*Инородные металлические включения* представляют собой частицы огнеупорного материала, шлака, утеплительной смеси, попадающие в металл при разливке. Инородные неметаллические включения могут быть разной формы и размеров, они расположены в металле произвольно, чаще всего в виде скоплений.

*Заворот корки* представляет поперечное подворачивание окисленной корки металла в тело слитка по всему периметру или его части. Как правило, эти дефекты имеют групповое расположение поперек слитка и могут образовываться по всей высоте слитка или его части параллельно друг другу. В месте расположения заворота корки (в местах подворачивания) нет щелей, разрывов, извилистых и других зигзагообразных трещин, так как подвернувшаяся часть корки плотно прилегает к верхнему слою слитка. Этот дефект наблюдается при всех способах разливки, но более характерен для слитков, полученных сифонной разливной металла с низкой температурой и скоростью.

Наиболее известным практическим приемом ликвидации образования заворота корочки, а, следовательно, и дефектов металла, связанных с ней, является увеличение скорости разливки и температуры металла.

Однако в этом случае увеличивается опасность образования на слитках продольных трещин.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		39

Поэтому, в конечном счете, оптимальную скорость разливки выбирают так, чтобы обеспечить получение наиболее качественного слитка с хорошей поверхностью и без продольных трещин[7].

*Подтеки* представляют наплывы металла зигзагообразной формы, приварившиеся к телу слитка и расположенные по периметру на разной высоте. Нередко подтеки наблюдаются на тех же слитках, на которых имеются завороты корки, но они расположены выше последних. Возникают вследствие затекания жидкого металла между изложницей и слитком при разрыве зеркала корки отливки в результате повышения скорости разливки.

*Сетка* разгара представляет невысокие выступы на поверхности слитка, расположенные в виде сетки, которые могут сопровождаться большим количеством газовых пузырей, включениями теплоизолирующих материалов, иногда трещинами поперечной ориентации. Расположение сетки разгара произвольно по периметру и высоте слитка и зависит от расположения и размеров дефектов изложниц, являющихся причиной появления сетки разгара на слитке.

*Бугор* представляет выпуклость на поверхности слитка, расположенную, как правило, на грани. Размеры участков с буграми бывают различные от нескольких десятков до нескольких сотен миллиметров по длине и ширине. Высота бугров может быть до нескольких десятков миллиметров. Расположение и размеры бугров на поверхности слитка соответствуют местам и размерам раковин на внутренней поверхности стенок изложницы [6].

*Плены.* Основным поверхностным дефектом при разливке сверху являются плены, образующиеся вследствие заплескивания брызг металла на поверхность изложницы при ударе струи о дно. Окислившиеся брызги в дальнейшем не свариваются с основной массой слитка. Разбрызгивание возрастает с увеличением кинетической энергии струи, которая определяется массовой скоростью истечения металла из ковша и высотой его падения в изложницу. Уменьшение массовой скорости истечения металла, особенно в начале разливки, а также использование промежуточных емкостей (ковшей, воронок), устанавливаемых между сталеразливочным ковшом и изложницей для снижения ферростатического давления стали, обеспечивают улучшение поверхности слитков[7].

*Пригар* – неравномерные утолщения из формовочной или стержневой смеси, пропитанные металлом, располагающиеся в местах ее соприкосновения с наиболее горячими участками формы[8].

### 3.3 Трещины на кромках

Сталь 14Г2АФ - Сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций.

Некоторые химические элементы, присутствующие в металле в виде примесей, могут являться причиной образования поверхностных трещин [11]: Cu, As.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		40



Трещина поперечная угловая (кромочная) (рисунок 3.6)– появляется при подвешивании слитка в углах кристаллизатора, наличии усадочных напряжений в продольном направлении (переохлаждение рёбер слитка), разрыве слишком холодной корочки слитка (перпендикулярно ребрам) при его выпрямлении. При значительном развитии может привести к прорыву жидкого металла.

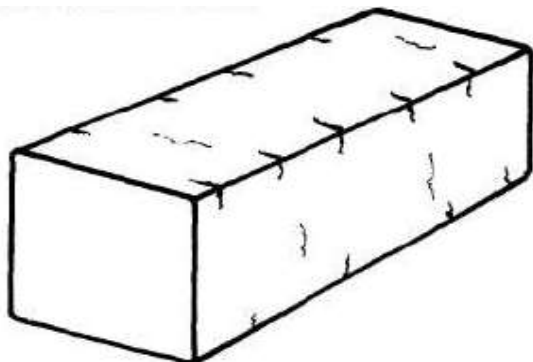


Рисунок 3.6– Трещина поперечная угловая

При развитии поперечной угловой трещины непрерывнолитой заготовки необходима:

- проверка первичного и вторичного охлаждения;
- проверка форсунок;
- проверка смазки кристаллизатора (расход и качество масла);
- проверка механизма и амплитуды качания, возможное смещение или зазоры стола качания;
- выдержка времени опережения стола качания в пределах 0,09...0,23 секунд;
- использование маловязкой ШОС для кристаллизатора

Причины образования [14]:

- сгибание или разгибание заготовки при температуре менее 950 °С;
- подвешивание корки слитка к стенкам кристаллизатора в силу недостаточной или неравномерной смазки (некачественная шлакообразующая смесь (ШОС) или неравномерная подача масла при открытой разливке);
- Неудовлетворительное качание кристаллизатора по причине проблем механического характера;
- Неправильно выполненная центровка кристаллизатора по отношению к роликам;
- некачественная ШОС для кристаллизатора или перенасыщение ШОС  $Al_2O_3$  – комкование шлака в районе углов;
- неорганизованная струя в кристаллизаторе (колебания уровня металла в кристаллизаторе);
- высокая конусность гильзы;
- деформированная гильза на вогнуто-выпуклом участке.

Трещины продольные в угловом участке (кромке) (рисунок 3.7)– располагаются вдоль направления движения слитка на уровне углов и прилегающих к ним зон граней. Могут сопровождаться искажением профиля слитка, одновременным раздутием перпендикулярных граней заготовки, продольными «ужиминами», а также внутренними приугловыми трещинами (или быть их развитием), являются предварительной ступенью для образования прорывов жидкого металла.



Рисунок 3.7 - Трещины продольные в угловом участке

При развитии продольной трещины в углах непрерывнолитой заготовки необходима:

- замена гильзы;
- проверка геометрии гильзы;
- проверить температуру стали после внепечного агрегата;
- проверить центровку гильзы;
- очистка внешней поверхности гильзы;
- увеличить расход ШОС в кристаллизатор [11] .

Выводы по разделу три: в данном разделе рассмотрены дефекты, которые могут возникнуть при получении стали 14Г2АФ, а так же способы их устранения.



## 4 ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ПОДОБНОЙ ПРОДУКЦИИ

Зарубежные аналоги стали представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Зарубежные аналоги стали 14Г2АФ [1]

Наименование	Страна - производитель	ГОСТ (Стандарт)
15MnVN	Китай	Стандарт: GB 1591
13220	Чехия	Стандарт: CSN 413220

### 15MnVN

Первые две цифры в начале маркировки указывают на % содержание углерода, умноженное на 10000. Основные компоненты сплава (легирующие элементы) обычно указываются в процентах, но если содержание компонента <1,5%, то обычно записывается только символ химического элемента [2].

90,2 % стали в Китае получают кислородно-конвертерным способом [3].

Рассмотрим подробнее данный способ получения стали.

В 2005 году производство конвертерной стали в Китае превысило 300 миллионов тонн. Сегодня в стране выплавляется более 40 % всего мирового производства конвертерной стали.

Характерной особенностью развития конвертерного производства в Китае является быстрое увеличение количества конвертеров при их сравнительно небольшой единичной емкости. Между тем в Китае в последние десятилетия построен ряд конвертерных цехов с агрегатами 200-300 тонн.

Основными тенденциями развития конвертерного производства в Китае являются повышение эффективности работы конвертеров за счет применения комбинированной продувки (реконструкция действующих конвертерных цехов), широкое внедрение автоматических систем контроля производства, снижение удельных расходов энергии, огнеупоров (за счет технологии набрызгивания шлака на стены конвертера), радикальное повышение чистоты стали, расширение объемов природоохранных мероприятий и рециклинга промышленных отходов [4].

Кислородно-конвертерный процесс заключается в продувке жидкого чугуна кислородом. Сталь, полученная этим способом, наиболее дешевая и не уступает по качеству мартеновской. (рисунок 4.1).

Устройство кислородного конвертера достаточно простое. По внешней форме конвертер выглядит как большой сосуд. Сверху он заканчивается сужающейся горловиной. Такая форма верхней части позволяет обеспечивать благоприятные условия для организации верхней продувочной системы. Вся загрузка компонентов в конвертер осуществляется сверху.

Принцип работы кислородного конвертера заключается в следующем: в него заливают расплавленный чугун (он служит топливом для кислородного конвертера), засыпают металлический лом, загружают дополнительные материалы. В центральной части металлического корпуса конвертера располагается механизм поворота.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		43

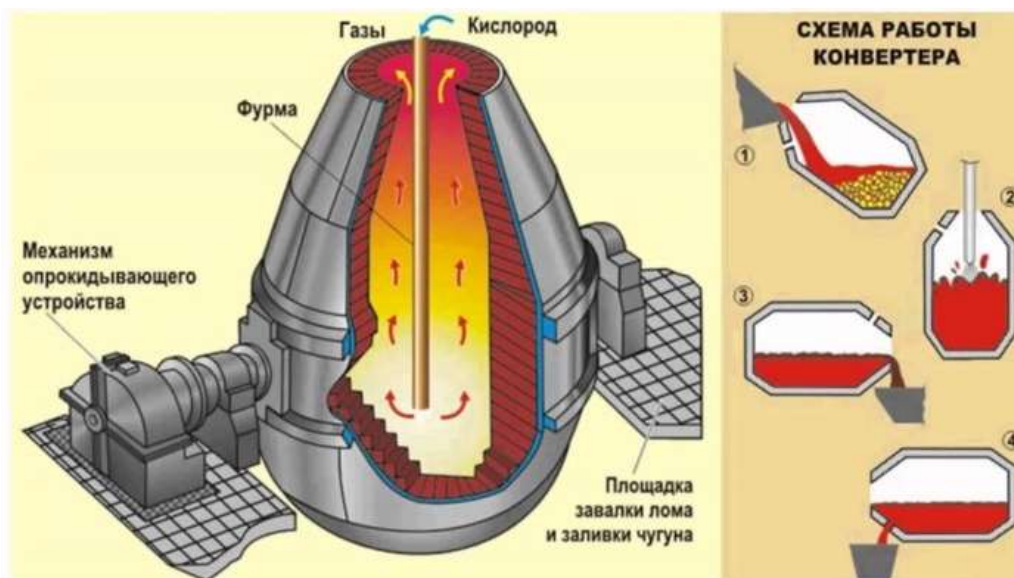


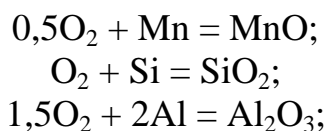
Рисунок 4.1 – Кислородно-конверторный способ получения стали

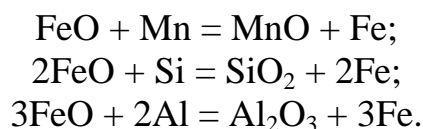
С его помощью происходит наклон конвертера для слива готовой стали. В конвертерах, у которых объём превышает 200 тонн, применяют мощный двухсторонний привод. Для этого используют четыре мощных электрических двигателя, по два с каждой стороны.

Конвертеры изготавливают емкостью на 100—350 т жидкого чугуна. Общий расход технического кислорода на получение 1 т стали составляет 50—60 м<sup>3</sup>.

Перед началом работы конвертер поворачивают на цапфах вокруг горизонтальной оси и с помощью завалочной машины загружают до 30 % объема металлоломом, затем заливают жидкий чугун, нагретый до температуры 1250—1400 °С, возвращают конвертер в исходное вертикальное положение, подают кислород и добавляют шлакообразующие материалы: известь, плавиковый шпат и железную руду, которая ускоряет процесс окисления. При продувке конвертера техническим кислородом углерод и другие примеси окисляются в процессе дутья и благодаря присутствию в руде оксида железа FeO. При этом образуется химически активный шлак с необходимым содержанием окиси кальция CaO, благодаря чему происходит удаление серы. В момент, когда содержание углерода достигает количества, заданного для выплавляемой стали определенной марки, подачу кислорода прекращают, конвертер поворачивают и выливают вначале сталь, а затем шлак.

Для уменьшения содержания кислорода в стали при выпуске из конвертера ее раскисляют, т. е. вводят в нее элементы с большим, чем у железа, сродством к кислороду — Mn, Si, Al. Взаимодействуя с кислородом и оксидом железа FeO, забирая у него кислород, они образуют нерастворимые оксиды MnO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, переходящие в шлак:





По степени раскисления различают сталь кипящую (кп), спокойную (сп) и полуспокойную (пс). Кипящая сталь — наименее (слабо) раскисленная. В такой стали реакция образования окиси углерода  $\text{C} + \text{O} = \text{CO}$  не прекращается до ее полного отверждения: во время разливки металл продолжает «кипеть» из-за выделения пузырей CO. В слитке образуются газовые раковины, которые завариваются впоследствии при обработке стали давлением. Выход годного металла при производстве кипящей стали выше, чем при производстве других сталей, так как в этом случае не образуется усадочной раковины, а сама сталь обходится дешевле. Спокойная сталь получается при полном раскислении, когда выделение CO прекращается. Эта сталь наиболее качественная, но и наиболее дорогая. В верхней части слитка образуются большая усадочная раковина и рыхлота, что уменьшает выход годного металла. Полуспокойная сталь получается при неполном раскислении.

Производительность кислородного конвертера емкостью 300 т достигает 400—500 т/ч, в то время как производительность мартеновских и электрических печей не превышает 80 т/ч. Благодаря высокой производительности, простоте устройства, отсутствию необходимости в топливе и малой металлоемкости кислородно-конвертерный способ становится основным способом производства стали [5].

Выводы по разделу четыре: в данном разделе рассмотрен опыт получения стали в Китае.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		45

## 5 ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Как уже было рассмотрено выше выплавка полупродукта производится в дуговой сталеплавильной печи, а доводка стали до химического состава на агрегате Печь – ковш. Остановимся более подробно на этом агрегате.

Порошковая проволока решает проблему дозированного ввода реагентов, обеспечивает высокое и стабильное их усвоение и, тем самым, является основой прецизионной обработки жидкого металла, включающей:

- управление окисленностью расплава, составом, формой и количеством неметаллических включений (модифицирование);
- удаление вредных примесей (рафинирование);
- ввод легирующих и корректировку содержания химических элементов в узких заданных пределах (микролегирование);
- обеспечение разливаемости стали;
- обеспечение нормируемых технологических и служебных свойств металла;
- улучшение качества готовой металлопродукции.

Применение порошковой проволоки с различными наполнителями становится одним из основных технологических инструментов получения стали с минимальными затратами на агрегате ковш-печь. При этом повышается общий уровень технологии в связи с возможностью более точно управлять процессом производства стали и обеспечивать повышенные требования к готовой металлопродукции.

Применения микролегирования проволокой в свою очередь это приводит к выводу, что наличия качественной проволоки и оборудования для ее подачи в расплав, используя общие технологические положения, еще недостаточно.

Для достижения оптимальных результатов необходимо уточнение технологии с учетом специфических особенностей конкретного предприятия, марочного сортамента, требований потребителя.

Поэтому одной из основных задач на ближайшую перспективу остается совершенствование технологии внепечной обработки порошковыми проволоками, включая подготовку расплава (жидкая сталь должна быть максимально подготовлена к процессам модифицирования и микролегирования, т.е. иметь определенный уровень окисленности, чистоту по неметаллическим включениям, газам, температуру), оперативную оценку состояния расплава, определение регламента ввода материалов и др.

В зависимости от целей обработки и требуемых качественных показателей и служебных характеристик готовой продукции, выбирается вид и состав наполнителя проволоки, при этом немаловажным фактором является обеспечение экономичности процесса производства обрабатываемой стали в целом.

Вывод по разделу пять: в данном разделе рассмотрены вопросы модернизации внепечной обработки стали порошковыми проволоками в АПК.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		46

## 6 ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Металлургическое производство – объект повышенной опасности, где использование правил охраны труда не просто важно, а жизненно необходимо. Ряд мероприятий и инструктажа обеспечивают не только высокий уровень производства, но и благоприятные условия для профессиональной деятельности на производствах такого типа.

Охрана труда – это система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Охрана труда в металлургии включает в себя ряд обязательных видов инструктажей по технике безопасности в той или иной ситуации (не только непосредственно при производстве). А именно: по пожарной безопасности, технологические инструкции (по охране труда), по эксплуатации, очистке и ремонту используемого оборудования, по эксплуатации и очистке объектов газового снабжения, по охране труда для каждого отдельного вида деятельности на объекте [15].

Охрана труда работников металлургической отрасли имеет целый ряд особенностей. Остановимся на наиболее важных, на наш взгляд, ее аспектах.

Во-первых, осуществление трудовой функции при работе на предприятиях металлургической промышленности органически связано с опасностью для здоровья работающих, которая возникает, прежде всего, вследствие высокотемпературных технологических процессов. В металлургических и прокатных цехах воздух в рабочих помещениях достигает 35 - 50 град. Цельсия. На микроклиматические условия труда влияют мощные источники выделения тепла - раскаленный металл, остатки шлака, печи и другое технологическое оборудование.

Высокая температура воздуха в рабочей зоне производственных помещений, особенно при тяжелой физической работе, оказывает отрицательное воздействие на сердечно-сосудистую систему, дыхание, водный и солевой баланс организма. В результате этого температура тела может повышаться до 38 - 39 град. Цельсия, потери воды в горячих цехах в отдельных случаях достигают 5 - 8 л за смену (7 - 10% массы тела) [16, с. 28].

Во-вторых, в качестве опасных и вредных факторов в металлургии выступают микроклиматические условия (большое количество производственной пыли с включениями различных примесей, перегревание, повышенная влажность и др.), чрезмерные шум, ультразвук и вибрация, действие различных видов излучения (электромагнитное, тепловое, ультрафиолетовое, ионизирующее и др.), механические и электрические факторы.

Кроме того, вредное и опасное воздействие окружающей среды на работников, занятых в металлургической промышленности, может существенно усиливаться вследствие неблагоприятных общесанитарных условий труда, таких как недостаточное освещение, отсутствие необходимых бытовых условий,

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		47

неправильная планировка помещений и зданий, оборудование рабочего места, а также организация трудового процесса, связанная с нарушением режима труда, нервно-психической нагрузкой, рабочей позой, монотонностью, темпом и ритмом труда [17, с. 100; 18, с. 98].

В этой связи, несмотря на общий возраст трудовой правосубъектности в 16 лет, установленный в ТК РФ (ч. 1 ст. 63), законодатель устанавливает ряд исключений для работников, занятых на вредных и (или) опасных работах. Так, Постановлением Правительства РФ от 25.02.2000 N 163 (ред. от 20.06.2001) утвержден Перечень тяжелых работ и работ с вредными или опасными условиями труда, при выполнении которых запрещается применение труда лиц моложе 18 лет. К числу таких работ были, в частности, отнесены работы в черной и цветной металлургии.

В ранее действовавших Основах законодательства Российской Федерации от 06.08.1993 об охране труда допускалось привлечение работников к выполнению тяжелых работ и работ с вредными и опасными условиями труда лишь с 21 года.

Женский труд в металлургии.

Определенные ограничения существуют и при регулировании женского труда в металлургическом производстве. Так, Постановлением Правительства РФ от 25.02.2000 N 162 утвержден Перечень тяжелых работ и работ с вредными или опасными условиями труда, при выполнении которых запрещается использование труда женщин. Однако, несмотря на свое название, данный Перечень не запрещает использование труда женщин на перечисленных в нем работах. Работодатели вправе применять труд женщин на указанных работах при условии создания безопасных условий труда, которые подтверждаются результатами аттестации рабочих мест, при положительном заключении государственной экспертизы условий труда и службы Госсанэпиднадзора соответствующего субъекта.

Следовательно, женщина обязана приступить к работе после письменного ознакомления с документами, подтверждающими создание работодателем безопасных условий труда. Полагаем, что данная норма существенно снижает уровень правовых гарантий защиты прав работников-женщин, учитывая их социальную функцию в обществе. Более того, считаем, что необходимо принять норму, запрещающую принимать женщин детородного возраста на подобные работы в металлургическом производстве.

Одно из ответвлений охраны труда – это техника безопасности. Основная задача правил техники безопасности – обеспечить защиту жизни и здоровья работника от опасных факторов производства путем проведения организационных мероприятий и использования технических приспособлений. Ответственность за организацию собраний и обеспечение безопасных условий труда возложены на инженерно-технический персонал предприятия, а вспомогательный надзор находится в ведении профсоюзов.

Меры организационного характера включают: профессиональное обучение и инструктаж новых работников принятым на производстве техникам и приемам

										Лист
										48
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР					

безопасной работы; разъяснение правил обращения со средствами безопасности; подготовка и реализация распорядка труда и отдыха.

Мероприятия технического свойства:

- выполнение предварительных работ по расчету, проектировке; производству и планированию расстановки оборудования с целью обеспечения безопасности и удобства осуществления технологического процесса;
- монтаж защитных ограждений и предохранительных приспособлений;
- сборка и установка сигнализаторов опасности и размещение предупредительной разметки;
- обеспечение работников средствами индивидуальной защиты [19].

На каждом металлургическом предприятии должны быть разработаны и утверждены работодателем шесть видов инструкций (на базе типовых положений охраны труда):

- технологические руководства по ОТ;
- охрана труда каждого вида работ и каждой профессии;
- инструкции по эксплуатации и техобслуживанию имеющегося оборудования;
- руководство относительно ремонта и очистки оборудования;
- требования к пожарной безопасности;
- правила эксплуатации и ремонта объектов газового хозяйства [20].

### 6.1 Анализ опасных производственных факторов

В процессе труда человек вступает во взаимодействие с различными предметами, другими людьми. Кроме этого на него воздействуют параметры производственной обстановки (температура, влажность, подвижность воздуха, шум и т.д.). Это характеризует определенные условия, в которых протекает труд человека. От условий труда в большой степени зависят здоровье и работоспособность человека, его отношение к труду.

При плохих условиях резко снижается производительность, и создаются предпосылки для возникновения травматизма и профессиональных заболеваний.

Опасным производственным фактором (ОПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному резкому ухудшению здоровья.

Травма - это повреждение тканей организма и нарушение его функций внешним воздействием. Травма является результатом несчастного случая на производстве, под которым понимают случай воздействия опасного производственного фактора на работающего при выполнении им трудовых обязанностей или заданий руководителя работ [22].

С помощью инструментальных измерений в процессе аттестации рабочих мест оцениваются: физические, химические, биологические факторы, а также тяжесть и напряженность трудового процесса.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		49

В металлургическом производстве к опасным физическим факторам относят:

- замкнутое пространство;
- источники энергии, движущиеся машины и механизмы, в частности краны и подъемники;
- отлетающие частицы обрабатываемого материала;
- повышенная температура поверхностей оборудования и обрабатываемых материалов;
- электрический ток и др. [23]

1. Замкнутое пространство. Замкнутое пространство – это такое пространство, которое достаточно велико, чтобы работник мог поместиться там целиком, имеющее ограниченные возможности входа или выхода, не предназначенное для постоянного пребывания работника, а также способное накапливать присутствующие в нем опасные вещества. Примеры такого временного пребывания: выполнение ремонтных работ в печи.

Работодатели должны обращать особое внимание на любые вопросы техники безопасности в замкнутом пространстве, в первую очередь – на возможность скопления токсичных или воспламеняющихся газов, вытеснение кислорода и заваливание. Замкнутое пространство требует дополнительных мер безопасности и охраны здоровья, поскольку его конфигурация препятствует нормальной деятельности того работника, который должен входить туда, работать, а затем покидать данное место. В замкнутом пространстве часто ухудшается качество воздуха. Кроме того, нередки смертельные случаи среди персонала спасательной службы, который откликается на вызов без соответствующего планирования и защиты.

В черной металлургии и сталелитейной промышленности многие литейные производства имеют замкнутые пространства, в которых концентрации вредных агентов в воздухе могут подниматься значительно выше разрешенных уровней воздействия опасного фактора в случае, если средства контроля на рабочем месте неадекватны. Как операторы печей, так и персонал, занимающийся техническим обслуживанием, сталкиваются с повышенным риском воздействия опасного фактора в замкнутых пространствах [24].

2. Опасные источники энергии. В черной металлургии и сталелитейной промышленности постоянно используются источники различных видов энергии (электрической, механической, гидравлической, пневматической и т. д.). Надежный энергетический контроль должен быть отражен в технологических правилах и проводиться подготовленным персоналом в соответствии с природой источников энергии и отличительными особенностями данного производства. Насколько это возможно, следует изолировать источник энергии, а не контролирующей механизм.

Источники энергии для оборудования должны выключаться, отсоединяться или обесточиваться, а выключатель – запирается или снабжаться предупреждающей надписью.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		50



Работодатели должны разрабатывать и применять на практике конкретные правила контроля опасных источников энергии. Эти правила должны описывать:

- подготовку к останову;
- останов;
- изоляцию оборудования;
- отключение, либо вывешивание предупредительных плакатов;
- высвобождение накопленной энергии и безопасное расположение работников

в этот момент;

- проверка изоляции;
- соответствующие инструменты и средства защиты;
- выполнение работы;
- план подачи энергии;
- учет подвергающихся воздействию работников;
- удаление размыкателя/предупредительных плакатов [24].

3. Повышенная температура поверхностей оборудования и обрабатываемых материалов. На многих этапах производства стали могут случиться ожоги: от расплавленного металла или шлака – перед печью во время выпуска плавки; от спелей, всплесков или выбросов жидкого чугуна из ковшей или конвертеров во время его обработки, разливки или транспортировки; а также от контакта с горячим металлом при получении из него конечного продукта.

Вероятность травм в обращении с расплавленным металлом должна быть оценена на всех стадиях технологического процесса. Сюда входят целостность, устойчивость и режим эксплуатации печей и транспортных ковшей, характер и режим эксплуатации транспортных средств/кранового транспорта, а также применяемая на данном производстве система разливки расплавленного металла[24].

Наиболее характерные опасные производственные факторы металлургического производства представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Наиболее характерные опасные производственные факторы в металлургическом производстве

№ п/п	Производственные факторы	Прокатное производст во	Доменное производст во	Электростале-плавильное производство
1	2	3	4	5
Физические факторы				
1	Движущиеся, вращающиеся части оборудования	+	+	+
2	Высокая температура поверхностей	+	+	+
3	Раскаленный металл, шлак		+	+

Окончание таблицы 6.1

1	2	3	4	5
4	Электрический ток	+	+	+
5	Острые кромки металла	+		
6	Возможность возгорания	+	+	+
7	Взрывоопасность	+	+	
8	Несоответствие параметров микроклимата	+	+	+
Психофизиологические факторы				
9	Высокая интенсивность процесса, нервно-психические перегрузки	+	+	+

Меры предупреждения.

Для защиты работников от движущихся частей оборудования, нагретых поверхностей и брызг раскалённого металла основные меры включают в себя установку ограждений, экранов и предупредительных знаков, сигнальную окраску движущихся частей оборудования. Ограждения должны полностью предотвращать доступ людей в опасную зону, возможность зацепления одежды и попадания других посторонних предметов.

В целях предупреждения поражений электрическим током также должны использоваться предупредительные знаки. Узлы электропроводки должны быть закрыты, доступ к ним должен быть возможен только для квалифицированного обслуживающего персонала. Для предотвращения несчастных случаев, связанных с нарушением требований электробезопасности среди работников должен проводиться регулярный инструктаж.

Температура поверхности оборудования должна быть не выше 45 градусов. При невозможности таких температур вблизи источников тепловых излучений предусматривается защита работающих. Для этого нагревающиеся поверхности или кабины для персонала обдувают холодным воздухом или распыляют воду. Для уменьшения вредного воздействия необходимо обустройства зон отдыха с благоприятными микроклиматическими условиями недалеко от рабочего места.

В металлургии часто применяются токи высокой частоты. Образовавшееся при этом в оборудовании электромагнитное поле распространяется в окружающем пространстве и воздействует на ткани человеческого тела. Основным средством защиты от такого воздействия является экранирование. Экраны должны выполняться из листового (толщиной не менее 0,5 мм) металла с большой электропроводностью и тщательно заземляться.

Для лучшего результата экраны должны выстраиваться в несколько ступеней - сначала у первичного источника, затем на весь агрегат, и, по возможности, на самом рабочем месте.

Также нужно уменьшить время пребывания работающих рядом с установками и размещать приборы управления в отдалении от установок.

Психофизические факторы производства оказывают многообразное отрицательное влияние на здоровье и работоспособность. Физические факторы связаны с необходимостью передвижения, перемещения тяжёлых грузов, другой тяжёлой физической работой, работой в вынужденной позе и пр. Физиологический дискомфорт создает работа в респираторах, специальных защитных костюмах, резиновых сапогах, рукавицах и т.п.

Нервно-психические перегрузки проявляются в форме умственного перенапряжения, монотонности труда, эмоциональных перегрузок. К тому же общая усталость ведёт к невниманию или пренебрежению техникой безопасности, что повышает травматизм.

Меры, снижающие физическую тяжесть труда включают:

- 1) улучшение организации рабочих мест;
- 2) повышение уровня механизации и автоматизации трудоемких процессов;
- 3) рационализация приемов и методов труда;
- 4) оптимизация режимов труда и отдыха;
- 5) применение транспорта и транспортирующих механизмов для перемещения тяжелых грузов.

Для снижения нервно-психической напряженности рекомендуются следующие меры:

- 1) чередование работ, требующих участия разных анализаторов (слуха, зрения, осязания и т.д.);
- 2) чередование работ разной сложности и интенсивности, а также требующих преимущественно умственных нагрузок, с работами физическими;
- 3) предупреждение и снижение монотонности труда путем повышения содержательности труда;
- 4) работа по графику с пониженной на 10–15 % нагрузкой в первый и последний часы рабочей смены;
- 5) компьютеризация вычислительных и аналитических работ, широкое использование персональных компьютеров в практике управления производством, организация компьютерных банков данных по разным аспектам производственной деятельности;
- 6) введение оптимального ритма и темпа работы, при этом для каждого вида деятельности они могут быть отличны.

Очень важным фактором является длительность и схема чередования смен.

Особенное внимание при этом следует уделять условиям работы в ночную смену, рабочим нагрузкам и режиму сна работающих в тёмное время суток [25].

## 6.2 Анализ вредных производственных факторов

В процессе труда человек вступает во взаимодействие с различными предметами, другими людьми. Кроме этого на него воздействуют параметры производственной обстановки (температура, влажность, подвижность воздуха, шум и т.д.).

Это характеризует определенные условия, в которых протекает труд человека. От условий труда в большой степени зависят здоровье и работоспособность человека, его отношение к труду.

При плохих условиях резко снижается производительность, и создаются предпосылки для возникновения травматизма и профессиональных заболеваний.

Вредным производственным фактором (ВПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности. Заболевания, возникающие под действием вредных производственных факторов, называются профессиональными. [22].

С помощью инструментальных измерений в процессе аттестации рабочих мест оцениваются: физические, химические, биологические факторы.

В металлургическом производстве к вредным физическим факторам относят:

- повышенную температуру воздуха рабочей зоны;
- повышенные уровни шума и вибрации;
- воздействие различных излучений – тепловых, ионизирующих, электромагнитных, лазерных;
- запыленность и загазованность воздуха;
- неблагоприятную световую среду [23].

### 1. Шум.

Шумом принято считать всякий нежелательный для человека звук. Таким образом, звуковые волны могут нести как полезную для оператора информацию, например, о ходе технологического процесса, так и оказывать отрицательное (а иногда и вредное) воздействие.

Источником звуковых колебаний обычно является колеблющееся тело, которое преобразует какую-либо форму энергии в колебания. Этот процесс может представлять собой механическое воздействие на твердое тело, сообщение колебаний воздушному столбу под действием струи сжатого воздуха (свисток или труба) или электромагнитное воздействие на стальную мембрану (электромеханический источник, например телефон) или на кристалл (пьезоэлектрический источник) [29].

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на все органы и системы организма. В зависимости от уровня и характера шума, его продолжительности, а также индивидуальных особенностей человека, последствия воздействия шума могут быть самыми разными [27].

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		54

2. Вибрация. Воздействие на работников опасной вибрации в основном выражается как:

- вибрация всего тела, когда человек располагается на вибрирующей поверхности, что имеет место во всех формах транспорта и при работе около вибрирующих промышленных механизмов;
- вибрация, передающаяся через руки, вызываемая различными процессами, в которых вибрирующий инструмент либо обрабатываемые детали удерживаются или толкаются руками или пальцами.

Предельные уровни воздействия должны устанавливаться согласно текущему международному уровню знаний и данных.

Если работники либо окружающие часто подвергаются воздействию вибрации, передающейся через руки, либо вибрации всего тела, и очевидные шаги не могут устранить ее, работодатели должны оценить представляемую ею опасность и угрозу для здоровья и наметить профилактические и контролирующие меры с тем, чтобы удалить ее полностью либо снизить до минимально возможного уровня с помощью всех имеющихся в их распоряжении средств.

Для профилактики отрицательного воздействия вибрации на работников, работодатели должны:

- определить источники вибрации и операции, при выполнении которых работники подвергаются воздействию этого фактора;
- запросить рекомендации компетентных органов о предельных уровнях воздействия и других применимых в данном случае стандартов;
- запросить сведения у поставщика транспортных средств и оборудования насчет производимой ими вибрации [24].

3. Нагрузка от повышенной температуры и холода. Риски возникают в особых условиях:

- температура и/или влажность необычно высоки;
- работники подвергаются воздействию интенсивной лучистой энергии;
- высокие температура и/или влажность имеют место в сочетании с тяжелой защитной одеждой высоким темпом работы;
- температура необычайно низка.

Работники, подвергающиеся воздействию жары или холода, а также их руководство, должны иметь следующую подготовку:

- уметь распознавать симптомы, свидетельствующие об угрозе теплового стресса или переохлаждения, у себя и окружающих, и знать, какие шаги можно предпринять для предотвращения приступа и/или аварии;
- знать спасательные методы и меры первой помощи;
- знать, какие действия предпринять в случае угрозы несчастного случая из-за высокой или низкой температуры [24].

4. Ионизирующая радиация. Источником ионизирующей радиации являются распадающиеся атомы.

Энергия, высвобождающаяся в этом процессе, принимает различные формы, каждая из которых характеризуется своей длиной волны (частотой) и проникающей способностью.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		55

Любое воздействие ионизирующей радиации должно быть сведено к минимуму, поскольку есть данные, что причиняемый ею ущерб может быть необратимым, и что наблюдается значительное увеличение коэффициента частоты заболевания раком и некоторыми другими типами злокачественных опухолей вследствие воздействия даже низких доз ионизирующей радиации.

Вдыхание пыли из печей может стать причиной заболеваний со смертельным исходом, если пыль содержит радиоактивные частицы.

Работники должны знать об опасных факторах воздействия радиации и о том, какие меры необходимо предпринять при столкновении с предположительно радиоактивным материалом.

При крупномасштабных операциях по переработке вторсырья поступающие отходы должны отслеживаться на предмет радиоактивности перед поступлением на предприятие. Все организации, занимающиеся переработкой вторсырья, должны закупать отходы только у надежных поставщиков [24].

Наиболее характерные вредные производственные факторы металлургического производства представлены в таблице 6.2 [25].

Таблица 6.2 – Наиболее характерные вредные производственные факторы в металлургическом производстве

№п/п	Производственные факторы	Прокатное производство	Доменное производство	Электростале-плавильное производство
Физические факторы				
1	Теплоизлучения	+	+	+
2	Шум, вибрация	+	+	+
3	Ультразвук, инфразвук	+		+
4	Электромагнитные излучения	+	+	+
5	Ионизирующие излучения		+	
6	Несоответствующее освещение	+		+
Химические факторы				
7	Пары, газы, химические жидкости	+	+	+
8	Запыленность, аэрозоли преимущественно фиброгенного действия	+	+	+

Меры предупреждения.

Необходимо поддерживать на рабочих местах благоприятный микроклимат.

Перепады температур должны быть предотвращены при помощи организации местных вытяжных вентиляций, а также расположения въездов в цех таким образом, чтобы не возникало сквозняков. Температура воздуха в помещении должна быть такой, чтобы работу можно было проводить в легкой, удобной

одежде. Относительная скорость движения воздуха должна быть около 0,5 м/с, относительная влажность воздуха - не менее 60 %.

Технологические процессы в металлургии часто связаны с воздействием на работников высоких температур. Для уменьшения действия тепловых излучений используют уменьшение интенсивности излучения источника, экранирование источника или рабочего места, воздушное душирование, применяют средства индивидуальной защиты.

Очень вредное воздействие на работающих оказывает высокочастотный шум в цехах, значительно превышающий допустимые уровни шума; ультразвук и инфразвук, исходящие от движущегося и высокочастотного оборудования, применяемого в металлургии.

Борьба с шумом складывается из следующих мер:

- снижения шума в источниках образования (своевременный ремонт, наладка, смазка, усовершенствование конструкции оборудования);
- акустического расчета помещения и подбора средств звукоизоляции, звукопоглощения, виброизоляции, демпфирования, глушителей шума;
- установки противозумных и звукопоглощающих приспособлений (кожухов, уплотнений, акустических экранов, звукоизоляции, и т.д.);
- внедрение автоматизированных дистанционных систем управления;
- рациональное размещение рабочих мест;
- рациональный режим труда и отдыха;
- применения индивидуальных средств защиты (наушники, беруши).

Ряд производственных процессов в металлургии сопровождается воздействием на работающих инфракрасного, видимого, ультрафиолетового и ионизирующего излучений.

Для защиты от чрезмерно яркого видимого света рекомендуется применять очки с цветными стеклами (светофильтрами), а где возможно – заменять операции, сопряженные с воздействием яркого видимого света (например ручную электродугую сварку) более безопасными аналогами.

Для защиты от ультрафиолетового излучения применяется экранирование источников излучения, а также спецодежда для работающих и светофильтры (очки, шлемы) из темно-зеленого стекла для защиты глаз.

Рентгеновскому излучению в металлургии подвергается персонал, обслуживающий рентгеновские установки, применяемые для контроля качества металла. Для защиты работающих от рентгеновского излучения необходимо уменьшать рассеивание рентгеновских лучей и защищать людей экранами, задерживающими излучение, увеличивать расстояния от источника излучения до работающего. Кроме того, для рентгенологов сокращается рабочий день (до 4 ч) и увеличивается продолжительность отпуска.

Присутствие пыли и аэрозолей, а также газов, в избытке выделяющихся при многих технологических процессах, должно постоянно контролироваться. Для снижения вреда от этих факторов применяется общая и местная приточно-вытяжная вентиляция, воздушное душирование, а в случаях особенно высоких концентраций нужно применять средства индивидуальной защиты - респираторы.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		57

Эффективно также ограничение времени воздействия этих факторов. Используемый в настоящее время принцип нормирования вредных химических факторов, в большинстве случаев, рассчитан на их изолированное действие и часто не позволяет объективно оценить реальный уровень влияния этих факторов в комплексе [25].

### 6.3 Шум в производственном помещении, его влияние на деятельность человека

#### Виды производственного шума

Шум, в котором звуковая энергия распределена по всему спектру, называется широкополосным; если прослушивается звук определенной частоты, шум называется тональным; шум, воспринимаемый как отдельные импульсы (удары), называется импульсным.

В зависимости от характера спектра шумы разделяются на низкочастотные (максимальное звуковое давление меньше 400 Гц), среднечастотные (звуковое давление в пределах 400-1000 Гц) и высокочастотные (звуковое давление больше 1000 Гц).

В зависимости от временных характеристик шумы разделяются на постоянные и непостоянные.

Непостоянные шумы бывают колеблющимися по времени, уровень звука которых непрерывно изменяется во времени; прерывистыми, уровень звука которых резко падает до уровня фонового шума; импульсными, состоящими из сигналов менее 1 с.

В зависимости от физической природы шумы могут быть:

- механическими - возникающими при вибрации поверхностей машин и при одиночных или периодических ударных процессах (штамповка, клепка, обрубка и т.п.);
- аэродинамическими — шумы вентиляторов, компрессоров, двигателей внутреннего сгорания, выпусков пара и воздуха в атмосферу;
- электромагнитными - возникающими в электрических машинах и оборудовании за счет магнитного поля, обусловленного электрическим током;
- гидродинамическими - возникающими вследствие стационарных и нестационарных процессов в жидкостях (насосы).

В зависимости от характера действия шумы делятся на стабильные, прерывистые и воюющие; последние два особенно неблагоприятно действуют на слух.

Шум создается одиночными или комплексными источниками, находящимися снаружи или внутри здания, — это прежде всего транспортные средства, техническое оборудование промышленных и бытовых предприятий, вентиляторные, газотурбокомпрессорные установки, санитарно-техническое оборудование жилых зданий, трансформаторы.



В производственной сфере шума наиболее распространены в промышленности и сельском хозяйстве. Значительный уровень шума наблюдается в горнорудной промышленности, машиностроении, лесозаготовительной и деревообрабатывающей, текстильной промышленности [28].

Воздействие уровня шума, превышающего нормы, установленные компетентными органами, может привести к тугоухости в результате воздействия шума. Высокий уровень шума может также мешать общению и приводить к умственному утомлению и повышению риска производственного несчастного случая.

Кроме непосредственного воздействия на органы слуха шум влияет на различные отделы головного мозга, нарушая нормальные процессы высшей нервной деятельности. Это воздействие возникает даже раньше, чем изменения в органе слуха. Характерными являются жалобы на повышенную утомляемость, общую слабость, раздражительность, апатию, ослабление памяти, потливость и т.п.

Под влиянием шума наступают изменения в органах зрения человека (снижается устойчивость ясного видения и острота зрения, изменяется чувствительность к разным цветам и др.) и вестибулярном аппарате; нарушаются функции желудочно-кишечного тракта; повышается внутричерепное давление и т.п.

Шум, особенно прерывистый, импульсный, ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации.

В результате неблагоприятного воздействия шума на работающего происходит снижение производительности труда, увеличивается количество брака, создаются предпосылки к возникновению несчастных случаев.

Приближенно действие шума в зависимости от его уровня можно охарактеризовать следующим образом.

Шум уровня 35-50 дБ оказывает в основном психологическое воздействие. Однако при длительном воздействии он может вызвать нарушение сна, усталость, понижение работоспособности.

Шум уровня 50-65 дБ вызывает раздражение, однако его последствия также носят лишь психологический характер (при длительном воздействии возможны изменения в вегетативной нервной системе). Особенно отрицательно сказывается воздействие шума малой интенсивности на умственной работе. Кроме того, психологическое воздействие шума зависит и от индивидуального отношения к нему.

Так, шум, производимый самим человеком, не беспокоит его, в то время как небольшой посторонний шум может вызывать сильное раздражение.

При уровне шума 65-90 дБ возможно его физиологическое воздействие. Пульс и давление крови повышаются, сосуды сужаются, что снижает снабжение организма кровью, и человек быстрее устает.

Может наблюдаться снижение порога слышимости, стресс, увеличение кожной проводимости, нарушение моторики желудочно-кишечного тракта.

Воздействие шума уровнем свыше 90 дБ приводит к нарушениям работы органов слуха, усиливается его влияние на систему кровообращения. При такой интенсивности ухудшается деятельность желудка и кишечника, появляются ощущения тошноты, головная боль и шум в ушах. Серьезным признаком ухудшения слуха, является ограниченность восприятия отдельных элементов разговорной речи. Во избежание потери слуха необходимо распознать его нарушение задолго до того, как выявится ограниченность в разборчивости речи, ибо при прогрессирующей стадии нарушения слуха медицинская помощь почти невозможна. Для исследования состояния слуха у людей, работающих в шумных цехах, необходимо проводить регулярные аудиометрические измерения, и по мере выявления каких-либо искажений порога слышимости принимать соответствующие меры.

При уровне шума 120 дБ и выше (болевого порог) он может механически воздействовать на органы слуха - лопаются барабанные перепонки, нарушаются связи между отдельными частями внутреннего уха. В результате может наступить полная потеря слуха. Шум уровнем свыше 120 дБ оказывает механическое воздействие не только на органы слуха, но и на весь организм. Звук, проникая через кожу, вызывает механическое колебание тканей, в результате чего происходит разрушение нервных клеток, разрывы мелких кровеносных сосудов и др [27].

Уровень шума и/или продолжительность воздействия не должны превышать установленные компетентными органами нормы либо другие общепризнанные стандарты

Для того, чтобы предотвратить отрицательное воздействие шума на работников, работодатели должны:

- определить источники шума и операции, при выполнении которых работники подвергаются воздействию этого фактора;
- запросить рекомендации компетентных органов и/или службы гигиены труда касательно предельных уровней воздействия и других применимых в данной ситуации стандартов;
- запросить рекомендации поставщика касательно процессов и оборудования насчет ожидаемого от них уровня шума[24].

Основные мероприятия по борьбе с шумом — это технические мероприятия, которые проводятся по трем главным направлениям:

- устранение причин возникновения шума или снижение его в источнике;
- ослабление шума на путях передачи;
- непосредственная защита работающих.

Наиболее эффективным средством снижения шума является замена шумных технологических операций малошумными или полностью бесшумными, однако этот путь борьбы с шумом не всегда возможен, поэтому большое значение имеет снижение шума в источнике — путем совершенствования конструкции или схемы

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		60

той части оборудования, которая производит шум, использования в конструкции материалов с пониженными акустическими свойствами, оборудования на источнике шума дополнительного звукоизолирующего устройства или ограждения, расположенного по возможности ближе к источнику.

Одним из наиболее простых технических средств борьбы с шумом на путях передачи является звукоизолирующий кожух, закрывающий отдельный шумный узел машины.

Значительный эффект снижения шума от оборудования дает применение акустических экранов, отгораживающих шумный механизм от рабочего места или зоны обслуживания машины.

Применение звукопоглощающих облицовок для отделки потолка и стен шумных помещений изменяет спектр шума в сторону более низких частот, что даже при относительно небольшом снижении уровня существенно улучшает условия труда.

Для снижения аэродинамического шума применяют глушители, которые принято делить на абсорбционные, использующие облицовку поверхностей воздуховодов звукопоглощающим материалом: реактивные типа расширительных камер, резонаторов, узких отростков, длина которых равна  $1/4$  длины волны заглушаемого звука: комбинированные, в которых поверхности реактивных глушителей облицовывают звукопоглощающим материалом; экранные.

Учитывая, что с помощью технических средств в настоящее время не всегда удается решить проблему снижения уровня шума, большое внимание должно уделяться применению средств индивидуальной защиты: наушников, вкладышей, шлемов, защищающих ухо от неблагоприятного действия шума. Эффективность средств индивидуальной защиты может быть обеспечена их правильным подбором в зависимости от уровней и спектра шума, а также контролем за условиями их эксплуатации [28].

Вывод по разделу шесть: в данном разделе рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности на металлургических предприятиях, проведен анализ опасных и вредных производственных факторов.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		61

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе произведена разработка технологии производства конструкционных легированных сталей в дуговой сталеплавильной печи на примере стали марки 14Г2АФ.

Для этого выполнены следующие задачи проекта:

- рассмотрены особенности стали марки 14Г2АФ;
- произведен анализ технологии выплавки стали;
- рассмотрены технологические характеристики выбранного оборудования;
- рассмотрен порядок введения легирующих элементов;
- рассчитан материальный баланс плавки;
- рассмотрены возможные дефекты конечного продукта;
- рассмотрен зарубежный опыт производства продукции,
- рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности.

Таким образом, цель работы достигнута, задачи – решены.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа_	Подпись_	Дата		62

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Сорокин, В. Г. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин – Москва: Книга по Требованию, 2012.
- 2 Справочник «Технические таблицы». (Интернет ресурс). Режим доступа: <http://tehtab.ru/Guide/GuideMatherials/Metalls/SteelsAndSteelAlloys/ChinaSteelMarking OverView//>.
- 3 Костюкова, О.И. «Китай на мировом рынке стали»// О.И. Костюкова, А.И. Костюкова. Известия дальневосточного федерального университета. экономика и управление// 2019г.
- 4 Развитие кислородно-конвертерного производства стали (интернет-ресурс). Режим доступа: <https://metallurgist.pro/razvitie-kislородno-konverternogo-proizvodstva-stali/>.
- 5 Stankiexpert Интернет ресурс. Режим доступа: <https://stankiexpert.ru/spravochnik/litejjное-proizvodstvo/kislородniy-konverter.html>
- 6 Дефекты основного металла и соединений (интернет - ресурс): Режим доступа: [http://ndtgrad.ru/article\\_97\\_defekty-osnovnogo-metalla-i-svarnyh-soedinenii.htm](http://ndtgrad.ru/article_97_defekty-osnovnogo-metalla-i-svarnyh-soedinenii.htm)
- 7 Дефекты металла. Образование и устранение дефектов металла. Интернет – ресурс. Режим доступа: [http://emchezgia.ru/razlivka/6\\_defekty\\_metalla.php](http://emchezgia.ru/razlivka/6_defekty_metalla.php) МЧ-ЗГИА.РУ ©.
- 8 Расщупкин, В.П. Дефекты металла: Учебное пособие по дисциплине «Материаловедение и ТКМ» для механических специальностей вузов / В.П. Расщупкин, М.С. Корытов. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – 37 с.
- 9 Технология сварки и резки различных металлов, чугуна, железа, стали, цветных металлов. Интернет – ресурс. Режим доступа: <http://www.matrixplus.ru/tehsvarka-073.htm>.
- 10 Дефекты термической обработки стали. Интернет –ресурс. Режим доступа: [http://www.junona-2.ru/staty/prokat/defekty\\_termicheskoy\\_obrabotki\\_stali.php](http://www.junona-2.ru/staty/prokat/defekty_termicheskoy_obrabotki_stali.php).
- 11 Атлас дефектов поверхности непрерывнолитого сляба и подката из него из коррозионностойкой стали. Москва, 1991 г.
- 12 Типовая технологическая инструкция по непрерывной разливке стали, Москва, 1986 г.
- 13 Дефекты легированных сталей. Metallurgizdat, 1960 г.
- 14 Атлас дефектов стали. Москва, Metallurgiya, 1979 г.
- 15 Охрана труда в металлургии. Интернет – ресурс. Режим доступа: <http://ohrana-bgd.ru/metal/metal.html>
- 16 Еремина, Т. В. Гигиена труда в основных отраслях промышленности. Метод. пособие./ Т. В. Еремина, И. Г. Тимофеева, Н. И. Гусева. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004.
- 17 Зубарев, Ю. В. Охрана труда в цветной металлургии/ Ю. В. Зубарев, В.А. Пискунов – Москва .: Metallurgiya, 1990.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		63

18 Иванов, Б. С. Охрана труда в литейном и термическом производстве. Москва: Машиностроение, 1990.

19 Охрана труда и техника безопасности в металлургии. Интернет – ресурс. Режим доступа: <https://metallplace.ru/about/stati-o-chnoy-metalurgii/okhrana-truda-i-tehnika-bezopasnosti-v-metallurgii/>.

20 Охрана труда на предприятиях металлургической отрасли. Интернет – ресурс. Режим доступа: <http://www.znakcomplect.ru/poleznosti/example/trebovaniya-bezopasnosti/okhrana-truda-na-predpriyatiyah-metallurgicheskoi-otrasli.html>.

21 Справочный материал по подготовке к проведению перерегистрации опасных производственных объектов металлургической промышленности. Режим доступа: [http://ural.gosnadzor.ru/activity/registration/Spravochnyj%20material%20\(metallurgicheskaja%20promyshlennostnz\).PDF](http://ural.gosnadzor.ru/activity/registration/Spravochnyj%20material%20(metallurgicheskaja%20promyshlennostnz).PDF)

22 Анализ опасных и вредных производственных факторов. Интернет – ресурс. Режим доступа: [https://studbooks.net/511084/bzhd/analiz\\_opasnyh\\_vrednyh\\_proizvodstvennyh\\_faktorov](https://studbooks.net/511084/bzhd/analiz_opasnyh_vrednyh_proizvodstvennyh_faktorov)

23 Профессиональные риски в металлургии. Интернет – ресурс. Режим доступа: <http://www.trudcontrol.ru/press/publications/532/professionalnie-riski-v-metallurgii>.

24 МОТ Отраслевая программа действий. Безопасность и охрана труда в чёрной металлургии и сталелитейной промышленности Женева, 2005. Публикация на русском языке, Москва, 2005

25 Русакова, Е.О. Защита от опасных и вредных факторов в металлургической промышленности // Научное сообщество студентов: Междисциплинарные исследования: сб. ст. по мат. XIX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 8(19). URL: [https://sibac.info/archive/meghdis/8\(19\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/8(19).pdf) (дата обращения: 26.10.2019)

26 Куликов Б., Г. Безопасность жизнедеятельности. Учебник. – Московский государственный университет печати. Москва: МГУП, 2010. 408 с.

27 Производственный шум. Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/proizvodstvennyu-shum.html>

28 Кербл, Л.П. Охрана труда. Электронный учебник. Режим доступа: <http://econbooks.ru/books/part/17333>

29 Борнацкий, И.И. Производство стали / В.Ф. Михневич, С.А. Яргин – М.: Металлургия, 2007. – 400 с.

30 Гудин, Ю.А. Производство стали в дуговых печах / Ю.А. Гудин, И.Ю. Зинуров, А.Д. Киселев. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. - 547 с.

31 Дюдкин, Д.А. Производство стали на агрегате ковш – печь / С.Ю. Бать, С.Е. Гринберг, С.Н. Маринцев – Донецк: «ООО “Юго – Восток, Лтд”», 2009. - 300с.

32 Еланский, Д.Г. Тенденции развития электросталеплавильного производства / Д.Г. Еланский // Электromеталлургия. - 2007. - №5. - С.3-18.

33 Зиньковский, М.М. Безопасность производственных процессов в черной металлургии / Металлургия, 2007. – 480 с.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		64

34 Кудрин, В. А. Теория и технология производства стали: Учебник для вузов. — Москва: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. - 528с., ил.

35 Лякишев, Н.П. Современное состояние технологии внепечного рафинирования стали / Н.П. Лякишев, А.Г.Шалимов - Москва: «Элиз», 2001.- 49с.

					ЮУрГУ–22.03.02.2021.00184. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Документа_	Подпись_	Дата		65