

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Институт политехнический  
Факультет материаловедения и металлургических технологий  
Кафедра литейного производства

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой,  
д.т.н., профессор  
\_\_\_\_\_/Б.А. Кулаков/  
(подпись)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г

Оборудование и технология производства стали марки У7А в условиях  
электросталеплавильного цеха предприятия ПАО «Мечел»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 22.03.02.2020.044.00 ПЗ ВКР

Руководитель проекта

\_\_\_\_\_  
(должность)  
\_\_\_\_\_/Зырянов С.В./  
(подпись) (И.О. Ф.)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор проекта  
студент группы П-437

\_\_\_\_\_/Маирко В.О./  
(подпись) (И.О. Ф.)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
(должность)  
\_\_\_\_\_/Карпинский А.В./  
(подпись) (И.О. Ф.)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

## АННОТАЦИЯ

Маирко В.О. Оборудование и технология производства стали марки У7А в условиях электросталеплавильного цеха предприятия ПАО «Мечел». – Челябинск, ЮУрГУ, 2020, 42 с., 9 ил., 14 табл., библиогр. список – 7 наим., 9 листов чертежей ф. А4

Дипломный проект выполнен, с целью, разработки оборудования и технологии производства стали марки У7А в условиях электросталеплавильного цеха предприятия ПАО «Мечел»

В дипломном проекте описаны технико-экономическое обоснование и структура цеха, приведены расчеты основного и вспомогательного технологического оборудования, расчет материального баланса производства сплава.

Так же приведены оборудование и технология внепечной обработки стали. Установлены требования к охране труда и технике безопасности.

					22.03.02.2020.044.00 ПЗ ВКР								
Изм	Лист	№ документа	Подпись	Дата	Оборудование и технология производства стали марки У7А в условиях электросталеплавильного цеха предприятия ПАО «Мечел»			Лит.		Лист	Листов		
Разраб.	Маирко			В				К	Р	3		42	
Пров.	Зырянов			ЮУрГУ Кафедра ЛП									
Н. контр.	Карпинский												
Утв.	Зырянов												

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ.....	7
2 ОПИСАНИЕ ЦЕХА (УЧАСТКА)	
2.1 Организация работ в цехе.....	9
2.1.1 Шихтовый пролет.....	9
2.1.2 Печной пролет.....	9
2.1.3 Бункерный пролет.....	10
2.1.4 Пролет внепечной обработки стали.....	10
2.1.5 Пролет МНЛЗ.....	10
2.1.6 Пролет хранения и отгрузки заготовок.....	11
2.2 Транспорт электросталеплавильного цеха.....	12
2.3 Подготовка металлошихты, сыпучих и других материалов, их транспортировка в ЭСПЦ.....	12
2.4 Краткое описание узлов и механизмов ДСП.....	12
2.4.1 Кожух печи.....	12
2.4.2 Стеновые панели.....	13
2.4.3 Водохлаждаемый свод.....	13
2.4.4 Футеровка печи.....	13
2.4.5 Механизм наклона печи.....	14
2.4.6 Механизм перемещения электродов.....	14
2.4.7 Механизмы подъема и поворота свода.....	15
2.4.8 Электрод графитированный.....	15
2.4.9 Схема выпуска.....	15
2.4.10 Короткая сеть.....	16
3 РАСЧЕТ ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	18
4 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СПЛАВА.....	20
5 РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРОИЗВОДСТВА СПЛАВА... ..	28
6 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ «ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ У7А».....	38
7 ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ.....	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	43
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	44
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПЛАН ЦЕХА.....	45

					13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		4

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПЛАВИЛЬНЫЙ АГРЕГАТ.....	46
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА.....	47
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ МАТЕРИАЛЬНОГО БА- ЛАНСА.....	48
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. СХЕМА ГАЗООТЧИСТКИ.....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. СХЕМА АГРЕГАТА КОВШ-ПЕЧЬ.....	50

					13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		5

## ВВЕДЕНИЕ

ПАО «Мечел» – это один из крупнейших производителей специальных сталей и сплавов в стране, который выпускает наиболее широкий спектр данной продукции. «Мечел» занимает второе место в России по выпуску сортового проката. Также «Мечел» является крупнейшим в России производителем арматуры и катанки. В металлургический дивизион «Мечела» входят предприятия как в России и за рубежом.

ПАО «Челябинский металлургический комбинат» – одно из крупнейших в России предприятий полного металлургического цикла по выпуску качественных и высококачественных сталей. ЧМК – входит в состав немногих предприятий страны, которые могут присваивать своей продукции собственный индекс. У ЧМК таким индексом является – ЧС (Челябинская Сталь). Комбинат также является одним из крупнейших производителей нержавеющей стали в России.

ЧМК может похвастаться широким сортаментом продукции металлургического производства, например: чушковый чугун, полуфабрикаты стальные для дальнейшего передела, сортовой и листовой металлопрокат из углеродистых, конструкционных, инструментальных и коррозионностойких марок стали, фасонный прокат и рельсовую продукцию.

Продукция ЧМК используется по всему миру и в различных сферах. Основными областями применения являются: атомная энергетика, тяжелое, химическое, энергетическое, автомобильное и сельскохозяйственное машиностроение, подшипниковые и трубопрокатные заводы, строительство, медицинское оборудование и инструмент.

В качестве основного элемента продукции комбинат производит широкий спектр металлопроката: от катанки до арматурного проката периодического профиля, от бунтового проката из конструкционной стали до сортового проката для трубопрокатных и машиностроительных заводов, а также сортовую квадратную заготовку.

ЧМК – является основным предприятием «Мечела», которое выпускает листовой прокат.

									Лист
									6
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР				

# 1 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ

Таблица 1.1 – Общая информация о стали У7А

Марка	У7А
Заменитель	У8
Классификация	Сталь инструментальная углеродистая
Применение	Инструмент, который работает в условиях, не вызывающих разогрева рабочей кромки: зубила, долота, бородки, молотки, лезвия ножниц для резки металла, топоры, колуны, стамески, плоскогубцы комбинированные, кувалды.
Зарубежные аналоги	Существуют

Таблица 1.2 – Химический состав в % материала У7А

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,650...0,740	0,170...0,330	0,170...0,280	до 0,250	до 0,018	до 0,025	до 0,200	до 0,250

Таблица 1.3 – Температура критических точек материала У7А

Критическая точка	°C
Ac1	730
Ac3(Acm)	770
Ar1	700
Mn	280

Таблица 1.4 – Технологические свойства стали У7А

Ковка	Температура ковки, °C: начала 1180, конца 800. Сечения до 100 мм охлаждаются на воздухе, 101...300 мм – в яме.
Свариваемость	Не применяется для сварных конструкций
Обрабатываемость резанием	В отожженном состоянии при НВ 187: – $K_v$ тв.сплав = 1,2; – $K_v$ быстрореж.сталь = 1,1
Флокеночувствительность	Не чувствительна
Склонность к отпускной хрупкости	Не склонна

Таблица 1.5 – Механические свойства при  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  стали У7А

Сортамент	Размер	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta_5$	$\Psi$	КСУ
–	мм	МПа	МПа	%	%	кДж/м <sup>2</sup>
Лента нагартованная, ГОСТ 2283-79		740...1180				
Лента отожженная, ГОСТ 2283-79		640...740		10...15		

Обозначения в таблице 1.5:

- $\sigma_B$  – Предел кратковременной прочности, [МПа];
- $\sigma_T$  – Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа];
- $\delta_5$  – Относительное удлинение при разрыве, [%];
- $\Psi$  – Относительное сужение, [%];
- КСУ – Ударная вязкость, [кДж/м<sup>2</sup>];
- НВ – Твердость по Бринеллю, [МПа].

Достоинством углеродистых инструментальных сталей, таких как У7А, является, в основном, достаточно высокая твердость по сравнению с другими инструментальными сталями и их малая стоимость. Из недостатков следует отметить малую износостойкость и низкую теплостойкость – при нагреве режущей кромки инструмента свыше 250...300 °С происходит отпуск закалки с потерей твердости.

Выпускается в виде прутков круглого, квадратного и шестиугольного сечения, мотков проволоки, листов, полос.

Применяется У7А для инструментов по дереву: топоров колунов, стамесок, долот; пневматических инструментов небольших размеров: зубил, обжимок, бойков; кузнечных штампов; игольной проволоки; слесарно-монтажных инструментов: молотков, кувалд, бородков, отвёрток, комбинированных плоскогубцев, острогубцев, боковых кусачек, рыболовных крючков и др.

## 2 ОПИСАНИЕ ЦЕХА (УЧАСТКА)

### 2.1 Организация работ в цехе

Здание электросталеплавильного цеха (ЭСЦ) состоит из следующих пролетов: шихтового, печного, бункерного, внепечной обработки стали, разливочного (МНЛЗ) и пролет хранения и отгрузки заготовок. Передача бадьи с шихтой, в печной пролет, осуществляют с помощью железнодорожного транспорта.

#### 2.1.1 Шихтовый пролет

При помощи железнодорожного транспорта поступает шихта (металлический лом, шлакообразующие материалы и т.д.). Далее происходит сортировка и загрузка в завалочные бадьи.

#### 2.1.2 Печной пролет

Основная роль печного пролета заключается в выполнении ряда задач:

- поставка и загрузка в печь шихты, шлакообразующих и ферросплавов;
- заправка печи, доставка и наращивание электродов по мере их расхода;
- уборка шлака, выпуск стали в сталеразливочный ковш, выполнение ремонтных работ печи.

В печном пролете размещается одна сталеплавильная печь и дополнительные механизмы, применяемые для сталеплавильных процессов, а также для осуществления контроля за состоянием печи. Электropечь оборудована двумя стеновыми газокислородными горелками.

В отделении подготовки лома происходит подготовка и загрузка металлошихты в бадьи, откуда, затем, передается в печной пролет ЭСЦ.

Завалка в электropечь производится с помощью завалочной бадьи (рисунок 2.1),

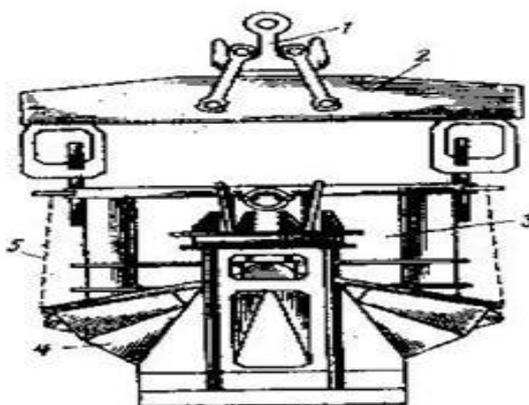


Рисунок 2.1 – Загрузочная бадья грейферного типа. 1 – крюк; 2 – траверса; 3 – корпус; 4 – челюсти; 5 – канаты

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

9

Выпуск стали, в сталеразливочный ковш, производят через сталевыпускное отверстие в эркере. Сталеразливочный ковш расположен на самоходном сталево-зе.

Вывод шлака производят через порог окна печи. Затем шлак под собственным весом стекает в, установленную под печью, шлаковню.

Во время работы печи, отвод газов из рабочего пространства осуществляется через газоотводный патрубок, установленный на своде печи. Далее газы проходят на газоочистку, через электрофильтры. Доставку к печи электродов и их наращивание осуществляют с помощью завалочного крана. Сам процесс наращивания электродов происходит в специальных станках, расположенных рядом с печью.

### 2.1.3 Бункерный пролет

Электросталеплавильный цех потребляет большое количество различных материалов: углеродистый и легированный лом, никель, плавиковый шпат, известь, известняк, чугун, железную руду и агломерат, ферросплавы многих марок и кокс. Каждый из этих материалов должен быть подан к отведенному месту в заданное время и в нужном количестве. Данная пунктуальность является гарантом наименьших затрат ручного труда и капитальных вложений.

Определенный запас сыпучих компонентов (окислители, ферросплавы, шлакообразующие, заправочные и др.) хранится в расходных бункерах, размещенных в специальном бункерном пролете над рабочей площадкой, который находится между печным пролетом и пролетом внепечной обработки.

### 2.1.4 Пролет внепечной обработки стали

В современном производстве электросталеплавильный цех, выплавляющий большой сортамент конструкционных марок стали, должен иметь агрегаты, способные проводить внепечную обработку стали при атмосферном давлении и в состоянии вакуума. При этом пролет внепечной обработки также предназначен для выполнения таких операций как: внепечная обработка стали, ломки изношенной футеровки ковшей. Изготовление новой футеровки сталеразливочных ковшей, сушки ковшей, а также подачу ковшей под печь. Ширина пролета внепечной обработки обычно составляет примерно 30 м. В пролете внепечной обработки стали имеется один агрегат ковш-печь (АКП).

Наличие АКП позволяет производить, в нем, сплав с нужным химическим составом, а также температурой выпуска в ковш. Обслуживание пролёта внепечной обработки ведется с помощью двух разливочных кранов.

### 2.1.5 Пролет МНЛЗ

Данный пролет предназначен для выполнения следующих операций: разливка металла на МНЛЗ для получения заготовок, уборка шлаковых чаш, осмотр и ремонт промковшей, здесь также находятся поворотные станды МНЛЗ, телеги с промковшами, тянущая правильные клеть, агрегат резки заготовок, станд для

					13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		10

ломки футеровки промковшей, стенд для охлаждения промковшей, стенд для кладки футеровки промковшей, стенд для сушки промковшей. Краны, с помощью которых производят монтаж и демонтаж клетей, выполняют также доставку и уборку промковшей др. Грузоподъемность такого крана определяется весом промковшей, тянуцеправильных клетей и составляет 50/12 т.

В пролете установлена шести ручьевая блюмовая МНЛЗ выпускающая квадратную заготовку 125×125 мм (рисунок 2.2).

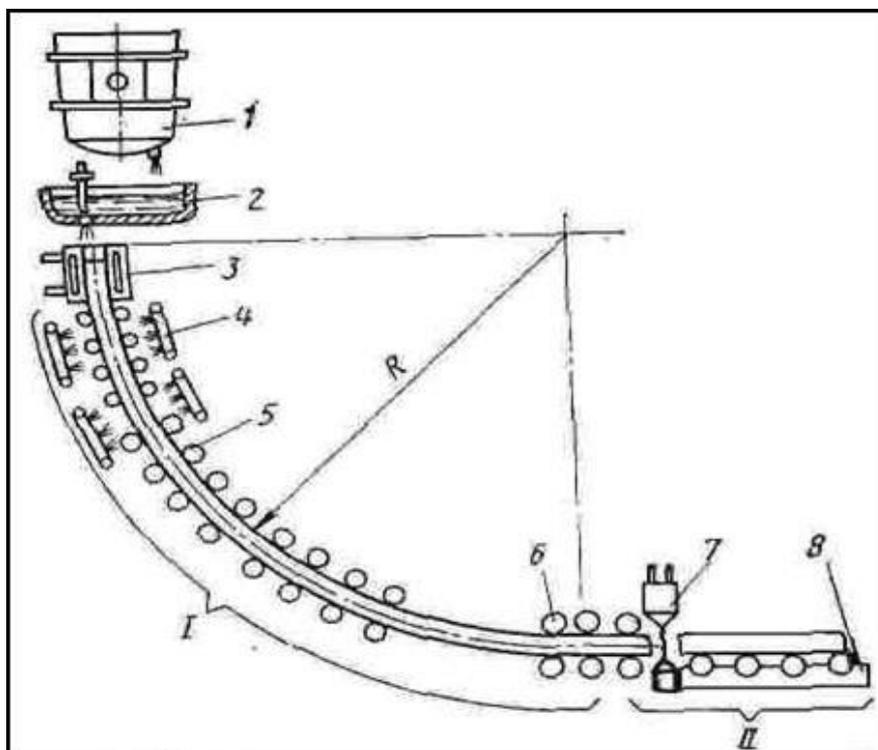


Рисунок 2.2 – МНЛЗ: I – радиальный участок зоны вторичного охлаждения; II - горизонтальный участок; 1 – разливочный ковш; 2 – промежуточный ковш; 3 – радиальный кристаллизатор; 4 – вторичное охлаждение водой из форсунок; 5 – направляющие ролики; 6 – тянуще-правильные ролики; 7 – резак; 8 – рольганг горизонтального участка

При разливке на МНЛЗ сталь из стального ковша сливают в промковш, из промежуточного ковша в кристаллизатор, а затем заготовку вытягивают тянущими валками. В кристаллизаторе и в зоне вторичного охлаждения происходит охлаждение и затвердевание заготовки. Машины сконструированы таким образом, чтобы горизонтальное движение слитка осуществлялось на уровне пола цеха, где и производят резку слитка.

#### 2.1.6 Пролет хранения и отгрузки заготовок

После холодильных установок заготовки попадают в пролет хранения. По достижении достаточного накопления начинается отгрузка на железнодорожный

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

11

состав. Данный пролет оснащен двумя мостовыми электрическими кранами с подхватами грузоподъемностью 15 т.

## 2.2 Транспорт электросталеплавильного цеха

Транспорт металлургического производства разделяется на внешний и внутренний. К внешнему транспорту относится ж/д транспорт, с помощью которого доставляют материалы из внешних источников снабжения. К внутреннему же относят автомобильный транспорт, ж/д транспорт, пневматический транспорт и конвейерный транспорт.

## 2.3 Подготовка металлошихты, сыпучих и других материалов, и их транспортировка в ЭСПЦ

Дозировку шихты проводят в отделении подготовки лома (ОПЛ) и шихта поставляется в цех железнодорожным и непрерывным транспортом.

## 2.4 Краткое описание узлов и механизмов ДСП

### 2.4.1 Кожух печи

Кожух печи имеет цилиндроконическую форму со сферическим днищем. Кожух изготавливают разъемным на уровне откосов по горизонтали. Нижняя часть кожуха, является опорой и изготавливается из стального листа. Верхняя часть кожуха, является опорой стеновых водоохлаждающих панелей и выполняется в виде решетчатого каркаса. К верхней части кожуха приваривается кольцевой желоб (рисунок 2.3), который заполняют песком для наиболее герметичного соединения со сводом (песочный затвор).

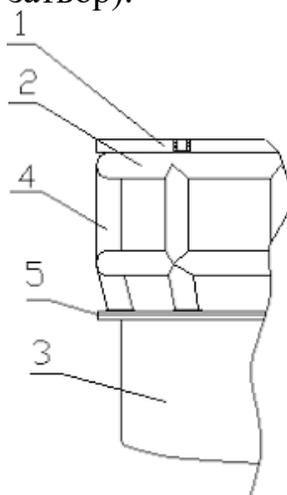


Рисунок 2.3 – Кольцевой желоб: 1 – песочный затвор; 2 – пояс жесткости; 3 – кожух; 4 – ребро жесткости; 5 – плоскость разъема

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

12

## 2.4.2 Стеновые панели

Внутри решетчатого каркаса стен закреплены, по всему его периметру, водоохлаждаемые панели; каждая панель имеет самостоятельный подвод и отвод воды. Благодаря этому панели эффективно отводят тепло от стен печи, что существенно увеличивается срок службы футеровки печи.

## 2.4.3 Водоохлаждаемый свод

В ЭСПЦ применяется трубчатый куполообразный свод, он имеет водоохлаждаемый несущий каркас из верхнего и нижнего трубчатых колец, соединенными пилонами. Снизу к каркасу приделаны трубчатые водоохлаждаемые панели, на которые нанесён слой теплоизоляции.

## 2.4.4 Футеровка печи

Футеровка подины состоит из двух слоев: теплоизоляционного и рабочего. Теплоизоляционный слой представляет собой слой листового асбеста, уложенного на металлическое днище кожуха, далее идет выравнивающий слой шамотной крупки, а за тем расположен слой кладки из шамотного кирпича. Рабочий слой изготовлен из нескольких рядов магнезитового кирпича и верхнего набивочного слоя из магнезитового порошка, который спекается в монолитную массу (рисунок 2.4).

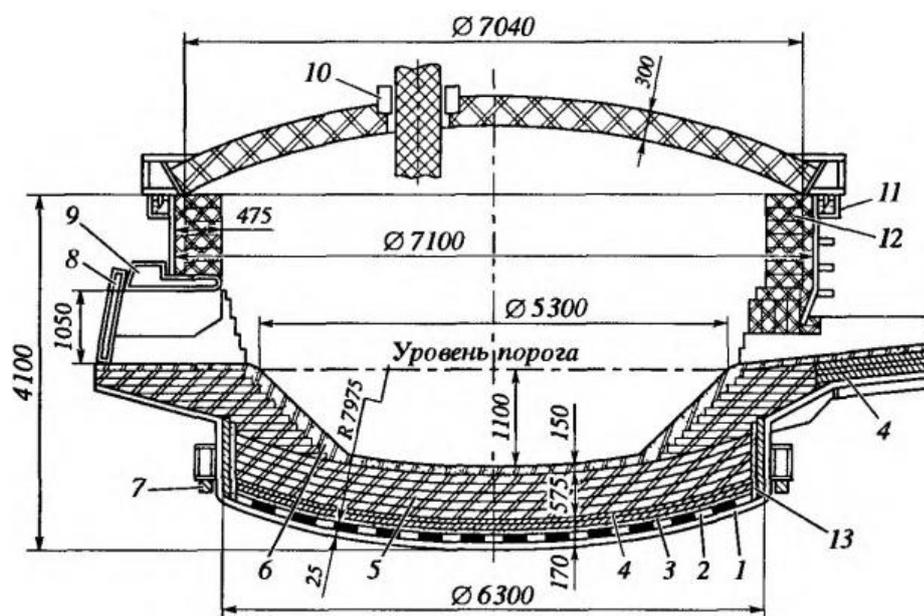


Рисунок 2.4 – Разрез рабочего пространства печи: 1 – кожух; 2 – листовой асбест; 3 – слой шамотного порошка; 4 – шамотный кирпич; 5 – магнезитовый кирпич; 6 – магнезитовый порошок; 7 – кольцевой рельс; 8 – заслонка; 9 – рама рабочего окна; 10 – уплотняющее кольцо; 11 – кольцевой желоб; 12 – магнезитохромитовый кирпич; 13 – молотый асбест

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

13

## 2.4.5 Механизм наклона печи

При работе печи используют гидравлический механизм наклона, состоящий из двух гидроцилиндров. Так как печь оборудована эркерным выпуском металла, то угол наклона составляет около  $12^\circ$  (рисунок 2.5).

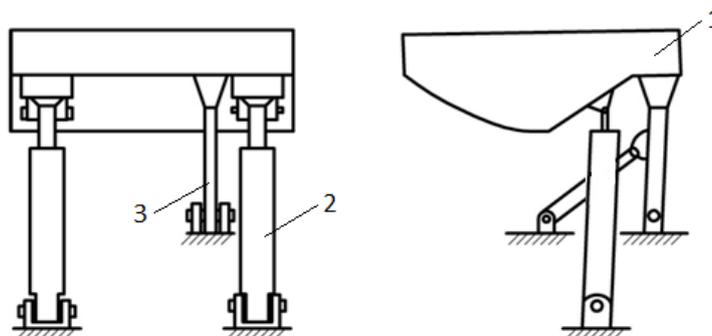


Рисунок 2.5 – Механизм наклона печи: 1 – льюшка; 2 – цилиндр наклона; 3 – цилиндр стопорный

## 2.4.6 Механизм перемещения электродов

Каждый из трех, используемых, электродов печи имеет свой независимый механизм зажима и перемещения (рисунок 2.6). В работе применяют механизм перемещения электродов с телескопической стойкой. Перемещение осуществляется за счет гидравлических механизмов.

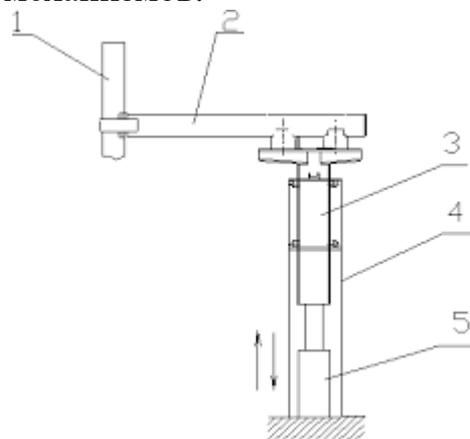


Рисунок 2.6 – Механизм перемещения электродов: 1 – электрод; 2 – рукав электрододержателя; 3 – подвижная стойка; 4 – неподвижная стойка; 5 – гидроцилиндр

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

14



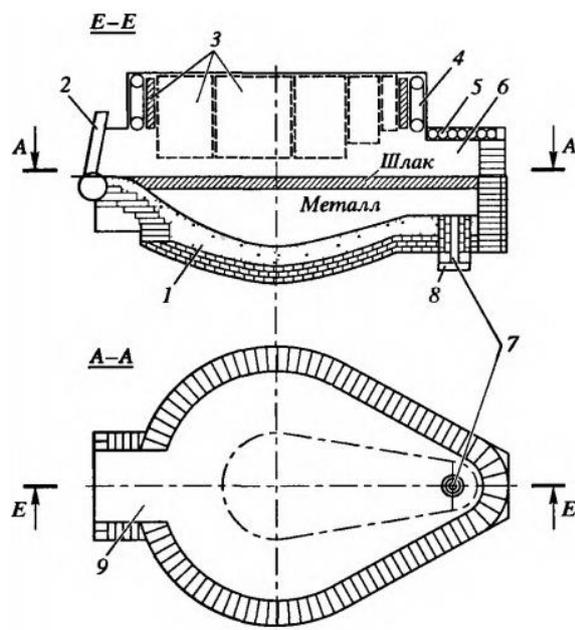


Рисунок 2.8 – Рабочее пространство печи с эркерным выпуском: 1 – утолщённый набивной слой пода; 2 – заслонка; 3 – стеновая панель; 4 – трубчатый каркас стен; 5 – сводик эркера; 6 – эркер; 7 – сталевыпускное отверстие; 8 – запорная пластина; 9 – рабочее окно

#### 2.4.10 Короткая сеть

Короткой сетью называется токоподвод, который идет от трансформатора до головки электродержателя, она включает шины, идущие от трансформатора через стены трансформаторного отделения, далее гибкие кабели от неподвижного башмака до подвижного башмака, и затем водоохлаждаемые трубы, идущие над рукавом электродержателя. Жесткий участок токоподвода состоит из медных труб с водяным охлаждением. Гибкую его часть производят из медных водоохлаждаемых кабелей. Токоподводящие трубы от подвижного башмака к электроду выполняют медными, они также являются водоохлаждаемыми. Подвижный и неподвижный башмаки предназначены для соединения жесткой части с гибкой частью, и далее гибкой части с токоподводящими трубами. Башмак представляет собой медную, водоохлаждаемую, пластину, со специальными креплениями (рисунок 2.9).

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

16

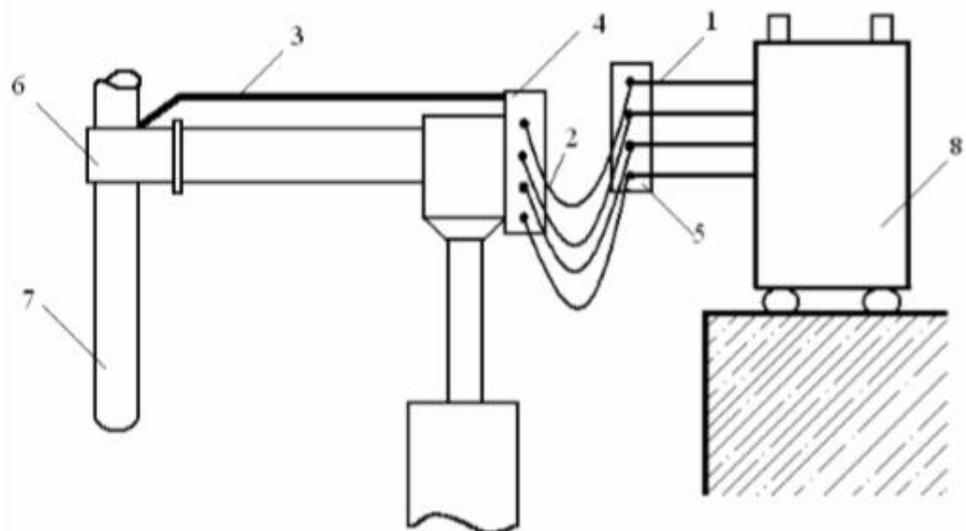


Рисунок 2.9 – Башмак: 1 – жесткая часть токоподвода; 2 – гибкая часть токоподвода; 3 – токоподводящие трубы; 4 – подвижный башмак; 5 – неподвижный башмак; 6 – головка электрододержателя; 7 – электрод; 8 – трансформатор

Схема цеха представлена в приложении А.

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

17

### 3 РАСЧЕТ ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

#### *Определение числа и вместимости ДСП*

Производительность цеха 1,1 млн. тонн в год. В цехе установлена одна высоко-мощная ДСП вместимостью 120 т. с выпуском 100 т. жидкой стали.

Число загрузочных корзин рассчитывается по формуле (3.1):

$$n = \frac{(k \cdot t_{об} \cdot 2 \cdot A_{ц})}{1440}, \quad (3.1)$$

где  $k = 1,2$  – коэффициент запаса;

$t_{об} = 60$  – длительность оборота загрузочных корзин.

$$n = \frac{(1,2 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 25)}{1440} = 2,5 \text{ шт.}$$

Принимаем количество загрузочных корзин  $n = 4$  шт. (с учетом резервной)

Число сталеразливочных ковшей рассчитывается по формуле (3.2):

$$nk = 1,25(n_{об} + n_{ср} + n_{кр}), \quad (3.2)$$

где  $1,25$  – коэффициент запаса;

$n_{об}$ ,  $n_{ср}$  – соответственно число ковшей, находящихся в обороте и в среднем ремонте, шт.

Число ковшей в обороте рассчитывается по формуле (3.3):

$$n_{об} = A_{ц} \cdot t_{об}/24, \quad (3.3)$$

где  $t_{об} = 5$  ч/пл – длительность цикла оборота ковша;

$n_{об} = 25 \cdot 5/24 = 5,2$  шт.

Принимаем  $n_{об} = 6$  шт.

Число ковшей, находящихся в среднем ремонте рассчитывается по формуле (3.4):

$$n_{ср} = n_{об} \cdot T_{ср}/m \cdot t_{об}, \quad (3.4)$$

где  $T_{ср} = 14$ ч – длительность среднего ремонта;

$m = 12$  – стойкость рабочего слоя между ремонтами, пл.;

$n_{ср} = 6 \cdot 14/12 \cdot 5 = 1,4$  шт.

Принимаем 2 шт.

Число ковшей, находящихся в капитальном ремонте рассчитывается по формуле (3.5):

$$n_{кр} = n_{об} \cdot T_{кр}/T_{кам}, \quad (3.5)$$

где  $T_{кр} = 35$  ч – длительность капитального ремонта;

$T_{кам} = 10$  месяцев – продолжительность кампании ковша до капитального ремонта;

$n_{кр} \approx 0$ .

Число сталеразливочных ковшей рассчитывается по формуле (3.6):

$$n_k = 1,25 \cdot (6 + 2) = 10 \text{ шт.} \quad (3.6)$$

### *Расчет МНЛЗ*

Разливка стали производится на криволинейных шести-ручьевых сортовых МНЛЗ на заготовки сечением  $125 \times 125$  мм<sup>2</sup> методом «плавка на плавку».

Длительность разливки одной плавки рассчитывается по формуле (3.7):

$$\tau_m = T/N \cdot F \cdot v \cdot \rho, \quad (3.7)$$

где  $N = 6$  – число ручьев МНЛЗ;

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

$v$  – линейная скорость разливки;

$\rho$  – плотность жидкой стали (для спокойной стали  $\rho = 7,8$  т/м<sup>3</sup>).

$$\tau_m = \frac{100}{6 \cdot 0,016 \cdot 2,2 \cdot 7,8} \approx 61 \text{ мин.}$$

Годовая производительность одной МНЛЗ считывается по формуле (3.8):

$$P_{\text{МНЛЗ}} = (T \cdot 1440 \cdot m) / (m \cdot \tau_m + \tau_{\text{п}}) \cdot a \cdot n_p, \quad (3.8)$$

где  $m = 10$  – число плавов, разливаемых без перерыва;

$a = 0,96$  – выход готовых заготовок;

$n_p = 340$  – число рабочих суток;

$\tau_{\text{п}} = 160$

$$P_{\text{МНЛЗ}} = (100 \cdot 1440 \cdot 10) / (10 \cdot 61 + 160) \cdot 0,96 \cdot 340 = 610,4 \text{ тысяч тонн.}$$

## 4 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СПЛАВА

Выплавка стали с процессом внепечной обработкой металла, проводится по упрощенной технологии с отсутствием восстановительного периода.

Схема выплавки: ДСП → сталеразливочный ковш → ковш-печь → разливка сифонном в изложницу.

Расплавление и окислительный период проводим в 12 тонной печи. Затем производим выпуск в сталеразливочный ковш, в котором металл поступает на обработку в агрегат ковш-печь. После чего металл разливается в изложницы сифонном.

### *Подготовка печи к завалке*

После выпуска металла в ковш первоначально проводят очистку откосов и подины от остатков шлака и металла при помощи струи сжатого воздуха, затем приступают к заправке подины и откосов заправочными материалами.

В качестве заправочных материалов чаще всего применяют периклазовый (магнезитовый) порошок фракции 5 мм; обожженный доломит, хромитопериклазовую крупку «половье» – 0...10 миллиметров, получаемую в результате дробления и помола хромитопериклазового порошка.

Хромитопериклазовой крупкой в смеси с периклазовым порошком в соотношении 1:1 до 1:3 – для выплавки хромосодержащих марок сталей «переплавом с кислородом».

При значительных повреждениях откосов допускается их заправка смесью периклазового порошка с жидким стеклом в соотношении 1:10.

По завершении заправки печи следует осмотреть состояние свода и стен печи. Выпускное отверстие, после каждой плавки, необходимо тщательно очищать, не допуская наростов и порогов. Состояние эркера должно обеспечивать выпуск металла и шлака из печи ровной и не разбрызгивающей струей.

Заправка откосов проводится с помощью ленточной заправочной машиной магнезиаллюминиевым порошком.

### *Подготовка шихтовых материалов и их завалка*

#### **Шихта**

Корзины с металлошихтой, после перемещения из шихтового пролёта в печной пролёт, проверяются мастером печи.

Мастер шихтового пролета в плавильной карте указывает составляющие металлошихты и их масса, для завалки в печь.

Качество металлошихты, легирующих элементов, шлакообразующих, окислителей и заправочных материалов, используемых при выплавке, стали, должно соответствовать требованиям нормативно-технической документации. Если в шихте присутствуют цветные металлы, то такая шихта не допускается к использованию.

					13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		20

Максимальная масса кусков шихты, используемой при плавке не должна превышать 10 % от массы садки с учётом грузоподъёмности завалочных устройств.

Количество крупной шихты не должно превышать 40 % завалки.

Количество стружки в шихте допускается не более 10 % от массы шихты. При наличии тяжёлой промасленной стружки, обеспечивающей завалку шихты в один приём, допускается использование её в количестве не более 40 %.

### *Легирующие*

Ферросплавы из шихтового пролёта подаются в специальных мультях, коробах на которых указывают марку ферросплава и содержание в нем основного легирующего элемента в процентах.

Ферросплавы, погруженные из тары в коробки, передаются сталевару вместе с сертификатом качества.

Ферросплавы, предназначенные для присадки в жидкий металл, прокаливают в нагревательной печи, докрасна, в течении не менее 20 минут.

Продолжительность времени прокалики от ее конца до использования ферросплавов, как правило не должно превышать 8 часов. Допускается и более длительное хранение ферросплавов при отсутствии их увлажнения.

Все присаживаемые в печь (или ковш) легирующие элементы должны быть предварительно взвешены и подготовлены к присадке: т.е. уложены в мульту и тому подобное.

На рабочей площадке вблизи печи должны храниться ферросплавы, необходимые для выплавки, заданной марки стали У7А. Хранение непредназначенных, для выплавки необходимой марки, легирующих элементов у печи запрещается.

### *Шлакообразующие*

Шлакообразующие материалы такие как: известь, известняк, плавиковый шпат, шамот, кварциты и так далее) должны подаваться на рабочую площадку отдельно в контейнерах, мультях и коробах.

Шлакообразующие, применяемые в период окислительный и рафинирования, должны быть прокалены докрасна в нагревательных печах и иметь размер кусков более 150 миллиметров.

Известь для использования в электропечах должна иметь размер кусков 20...80 миллиметров и поступать в контейнерах с закрытыми крышками, для исключения попадания какой-либо влаги, например, атмосферных осадков, при транспортировке.

В пригодной для применения извести должно содержаться: СаО – не менее 88 %, СО<sub>2</sub> – не более 4 %, Н<sub>2</sub>О – не более 1,5 %.

Известь с содержанием Н<sub>2</sub>О более 1,5 % и до 3 % допускается использовать в плавлении или окислительный период, а после прокалики в нагревательной печи не

менее 40 минут и в восстановительный период. Известь, разложившуюся и с содержанием влаги более 3 % применять при выплавке стали запрещается.

Пригодная к применению известь должна быть использована в течение 24 часов с момента постановки в цех.

### *Завалка шихтовых материалов в печь*

Перед началом завалки сталевар обязан принять от мастера шихтового пролёта точное количество контейнеров с шихтой и ферросплавами, предназначенными для завалки и ведения плавки, записать их количество в плавильную карту.

Сталевары обязаны перед завалкой ознакомиться с состоянием погрузки шихты в контейнере, не допускается наличие выступающих за его края концов и свешивания стружки.

Присадку шлакообразующих в завалку следует производить на подину или в «колодцы» под электроды в первой половине плавления.

На плавках «переплавом кислородом» – в завалку следует присаживать известь и шамот в соотношении 2:1, из расчёта 1 % от массы завалки.

### *Плавление шихты*

После завалки шихты перед включением сталевар вместе с дежурным персоналом службы электриков и механиков должны осмотреть и проверить исправное действие системы водяного охлаждения, отводов газов из печи, электрического и механического оборудования и произвести опрессовку водоохлаждающей арматуры. По завершению всех проделанных работ производятся соответствующие записи в плавильной карте.

Перед запуском печи необходимым действием является проверка состояния и длины электродов.

При необходимости осуществлять замену электродов и их наращивание следует проводить перед запуском печи, после завалки шихты или в начале периода плавления.

Плавление шихтовых материалов ведут на максимальной мощности трансформатора.

Состояние эркера должно быть соответствующим для обеспечения выпуска металла ровной и не разбрызгивающей струей.

Порог завалочного окна следует заправлять в первой половине плавления, при этом высота заправочных материалов должна обеспечивать уровень жидкого металла и шлака не выше уровня выпускного отверстия при нормальном (горизонтальном) положении печи.

В процессе плавления, существует риск поломки электродов, шихту и ферросплавы необходимо периодически стаскивать с откосов в жидкий металл или середину ванны поднимая электроды.

### *Окислительный период*

После расплавления 70...80 % шихты, следует начинать окислительный период при хорошо нагретом металле. Визуальным признаком хорошего нагрева является слив металла с ложки без остатка.

Момент подачи кислорода можно считать началом окислительного периода.

Окислительный период на плавках «переплавом кислородом»

Продувка металла начинается при содержании углерода по расплавлению шихты, обеспечивающим его окисление за время продувки, не менее 0,70 %.

Вторую пробу на химический анализ следует отобрать во время продувки сразу же после появления пламени в печи, то есть в момент загорания углерода.

Отбор проб металла, после продувки кислородом, следует проводить не ранее, чем за 5 минут до окончания продувки.

Содержание в металле углерода, перед снятием окислительного шлака, должно обеспечивать нормальное проведение рафинировки и попадания в заданный химический состав.

Допускается снижение содержания углерода от нижнего его предела марочного состава не более чем на 0,15 %.

Перед выпуском плавки измеряется температура металла. Температура должна составлять 1590...1600 °С.

### *Выпуск металла в ковш*

#### ***Подготовка сталеразливочного ковша***

Под плавку подается ковш, которые перед этим очистили от остатков металла и шлака. Так же у ковша должно быть хорошее состояние сливного носка. Наличие шлакового гарнисажа допускается в районе шлакового пояса, выступающего во внутрь ковша не более чем на 100 миллиметров.

Температура внутренней поверхности футеровки ковша должна быть не ниже 900 °С. Замер температуры проводят на стенке ковша на расстоянии от 0,5 до 1,0 метров от днища, не более чем за 10 минут до начала выпуска металла из печи.

Ковш поднимают с установки высокотемпературного разогрева не более чем за 10 минут до выпуска плавки и очищают сталеразливочный канал.

Засыпку сталеразливочного ковша производят прокаленным песком или отработанной формовочной смесью. Уровень засыпки должен быть не ниже уровня днища ковша.

### ***Выпуск металла из печи***

По окончании окислительного периода отбирается проба металла, измеряется температура, она должна быть  $1590 \pm 15$  °С. Затем, по возможности максимально, удаляют окислительный шлак.

Температуру металла перед выпуском плавки следует держать в пределах  $1590 \pm 15$  °С.

					13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		23

Перед выпуском плавки на дно ковша присаживается ферросилиций (при необходимости алюминиевый порошок) 0,5 кг/т.

В момент выпуска плавки, после наполнения ковша на 1/5 объёма, из подвесного бункера присаживается в ковш смесь твёрдых шлакообразующих из извести 10 кг/т и плавикового шпата 3,5 кг/т.

После выпуска плавки измеряется температура металла, а также отбирается проба на химический анализ.

Перед подачей ковша на установку ковш-печь шлак удаляют путём слива через сливной носок ковша в шлаковую яму или скачивается с помощью специальной установки.

### *Технология обработки металла на установке ковш-печь*

Все ферросплавы и шлакообразующие материалы должны быть воздушно сухими.

При подготовке установки ковш-печь к приёму плавки необходимо проверить следующие моменты:

- исправность всех механизмов, органов управления установки и блокировок;
- исправность и работоспособность весов сталевоза;
- работоспособность донных пробок для продувки металла аргоном;
- состояние электродов и электрододержателей;
- обеспечение установки электроэнергией и аргоном;
- работоспособность системы бункеров и наличия в них ферросплавов и других материалов;
- работоспособность трайб-аппаратов;
- наличие пробоотборников и термопар.

С помощью мостового крана сталеразливочный ковш подают на сталевоз, подручный сталевара установки внепечной обработки стали подсоединяет аргонопровод, и сталевар установки внепечной обработки стали начинает подачу аргона через пробки в днище сталеразливочного ковша.

После приёма плавки в сталеразливочный ковш и установки его в рабочую позицию ковш-печь для предотвращения подсоса атмосферного воздуха, свод установки ковш-печь должен плотно лежать на сталеразливочном ковше.

Возникающие течи воды из водоохлаждаемых элементов установки ковш-печь должны немедленно устраняться в промежутках между плавками.

При попадании в ковш-печь печного шлака в количестве, превышающем 1/2 части от массы шлакообразующих (контролируется визуально), сразу после выпуска плавки, производится слив излишков шлака через край сталеразливочного ковша в шлаковую чашу или аварийную ёмкость. Слив шлака производится под наблюдением персонала участка внепечной обработки или раздаточного пролёта.

Интенсивность продувки металла аргоном выбирается таким образом, чтобы не оголялось зеркало металла из-под шлака. Расход аргона составляет от 15 м<sup>3</sup>/час до 35 м<sup>3</sup>/час. Наибольший расход соответствует времени присадки фер-

										Лист
										24
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР					





Производить дополнительную присадку извести и плавиковошпатового концентрата в количестве до 20 кг/т и 4...5 кг/т, соответственно.

Температуру металла в ковше перед разливкой иметь 1530 °С.

### *Разливка сифоном*

Разливку инструментальной стали проводим в сквозные уширенные кверху изложницы через сталеразливочный канал с диаметром в ковшевом стакане 90 мм, в плитах 70 мм, в стакане коллектора 40 мм.

При разливке металл в прибыли, после наполнения ее не менее, чем на 2/3 высоты, утепляется люнкеритом. Расход люнкерита 2 кг/т.

Ковш с металлом должен устанавливаться над центральной таким образом, чтобы отверстия стакана ковша и воронки центральной находились на одной вертикальной прямой.

Струя металла в течение разливки должна быть ровной, не разбрызгивающейся, непрерывной и нарастающей, обеспечивающей спокойную поверхность поднимающегося металла. Для предотвращения образования плен в нижней части слитка отверстие стакана ковша плавно открывают на 1/3...1/2 толщины струи и такой струей наполняют изложницы в течение 10...20 с. Затем скорость разливки постепенно увеличивают, приоткрывают «контрольную» изложницу и наполнение регулируют по виду «зеркал» поднимающегося металла в «контрольной» изложнице.

Продолжительность наполнения изложниц и прибыльных надставок должна регламентироваться температурой металла, маркой стали. Конструкционные марки стали следует разливать с «чистым зеркалом», с половины высоты изложницы допускается лёгкая плёнка. Продолжительность наполнения металлом прибыльной надставки должна составлять не менее 50 % времени наполнения изложницы.

Во время разливки стали «контрольная» изложница должна быть приоткрыта (исключая разливку с петролатумом), остальные закрыты листами жести. При отсутствии тонкой рамки допускается в «контрольную» изложницу бросать щепки.

Схема плавильного агрегата представлена в приложении Б.

Технологическая схема производства представлена в приложении В.

Схема газоочистки представлена в приложении Д.

										Лист
										27
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР					

## 5 РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРОИЗВОДСТВА СПЛАВА

Химический состав стали У7А приведен в таблице (5.1).

Таблица 5.1 – Химический состав стали У7А, %

Химический элемент	С	Si	Mn	S не более	P не более
Допустимое содержание	0,660...0,730	0,170...0,330	0,170...0,280	до 0,018	до 0,025

### 5.1 Шихтовка плавки

Расчет плавки ведем на 100 кг металлошихты. При этом учитываем необходимость избыточного количества углерода. Среднее содержание хрома в шихте для большинства выплавляемых марок стали не должно превышать 1 %.

В качестве шихты используем собственные отходы углеродистой стали У10, имеющиеся в цехе.

Зададим в шихту 90 кг отходов стали У10 и 10 кг передельного чугуна.

Данные о фактическом химическом составе используемых материалов приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Химический состав металлической шихты, %

Материал	С	Si	Mn	P	S	Fe
ПЛ1	4,00	0,80	0,30	0,08	0,01	94,81
У10	1,00	0,30	0,20	0,02	0,02	98,45

С учетом массы компонентов и их химического состава определим массу элементов, вносимых компонентом шихты, и представим результаты в виде таблицы 5.3.

Таблица 5.3 – Масса элементов, вносимых шихтовыми материалами, кг

Компоненты шихты	С	Si	Mn	P	S	Fe	Всего
ПЛ1	0,400	0,080	0,030	0,008	0,001	9,481	10
У10	0,900	0,270	0,180	0,018	0,018	88,605	90
Всего	1,300	0,350	0,210	0,026	0,019	98,086	100

### 5.2 Период плавления

В период плавления происходит расплавление металлошихты, сопровождающееся окислением химических элементов, которые в виде оксидов переходят в

шлак. Помимо продуктов окисления шлак периода плавления образуется из вносимой в завалку извести, железной руды (если ее давали в завалку) и материала футеровки печи, попадающего в шлак в результате разрушения футерованной части печи.

Продукты окисления компонентов металлического расплава вносят в шлак следующее количество оксидов:

а) Кремний;

Окисляется полностью 0,35 кг. Количество образовавшегося оксида определим по формуле (5.1):

$$m(\text{SiO}) = m_{\text{Si}} \frac{M_{\text{SiO}}}{M_{\text{Si}}}, \quad (5.1)$$

где  $m(\text{SiO})$  – масса оксида в килограммах;

$m_{\text{Si}}$  – масса элемента оксида в килограммах;

$\frac{M_{\text{SiO}}}{M_{\text{Si}}}$  – отношение молярных масс.

$$m(\text{SiO}) = 0,35 \frac{60}{28} = 0,750 \text{ кг.}$$

На это израсходуется кислорода:

$$m(\text{O}_2) = 0,35 \frac{32}{28} = 0,40 \text{ кг.}$$

б) Марганец;

Принимаем, что в период плавления до  $\text{MnO}$  окисляется 35 % вносимого шихтой марганца.

$$m(\text{Mn}) = 0,35 \cdot 0,21 = 0,0735 \text{ кг.}$$

Образуется оксида марганца:

$$m(\text{MnO}) = 0,0735 \frac{71}{55} = 0,095 \text{ кг.}$$

Для окисления марганца потребуется кислорода:

$$m(\text{O}_2) = 0,0735 \frac{16}{55} = 0,021 \text{ кг.}$$

в) Железо;

Принимаем, что в период плавления окисляется 0,4 % от вносимого шихтой железа:

					13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		29

$$m(\text{Fe}) = 0,004 \cdot 98,086 = 0,392 \text{ кг.}$$

Из них половина окислившегося железа уносится с пылью в виде  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   
На окисление потребуется:

$$m(\text{O}_2) = 0,392 \cdot 0,5 \cdot \frac{48}{112} = 0,084 \text{ кг.}$$

Образуется:

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,392 \cdot 0,5 \cdot \frac{112}{160} = 0,1372 \text{ кг.}$$

Образуется оксида железа:

$$m(\text{FeO}) = 0,392 \cdot 0,5 \cdot \frac{72}{56} = 0,252 \text{ кг.}$$

Для окисления железа потребуется кислорода:

$$m(\text{O}_2) = 0,392 \cdot 0,5 \cdot \frac{16}{56} = 0,056 \text{ кг.}$$

г) Углерод;

Принимаем, что в период плавления углерод не окисляется.

д) Сера;

Принимаем, что в период плавления сера из металла не удаляется.

е) Фосфор.

Принимаем, что в период плавления в шлак из металла переходит 30 % фосфора в виде  $\text{P}_2\text{O}_5$ :

$$m(\text{P}) = 0,3 \cdot 0,026 = 0,0078 \text{ кг.}$$

Образуется оксида фосфора:

$$m(\text{P}_2\text{O}_5) = 0,0078 \cdot \frac{142}{62} = 0,018 \text{ кг.}$$

Потребуется кислорода для окисления фосфора:

$$m(\text{O}_2) = 0,0078 \cdot \frac{80}{62} = 0,010 \text{ кг.}$$

Учтем, что в завалку вместе с металлошихтой вводим известь в количестве около 2 % от массы завалки или 2 кг на 100 кг шихты. С учетом получения необходимой основности скорректируем это значение до 1,7 кг. С известью вносится в шлак:

					13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		30

- CaO – 88%,  $0,880 \cdot 1,7 = 1,496$  кг;
- SiO<sub>2</sub> – 1,3%,  $0,013 \cdot 1,7 = 0,022$  кг;
- MgO – 2%,  $0,020 \cdot 1,7 = 0,034$  кг;
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,8%,  $0,008 \cdot 1,7 = 0,014$  кг;
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,2%,  $0,012 \cdot 1,7 = 0,020$  кг, или в пересчете на  

$$\text{FeO} - \frac{0,020 \cdot 112 \cdot 72}{160 \cdot 56} = 0,018 \text{ кг.}$$

Вследствие потерь при прокаливании из извести удалится в атмосферу:

$$0,067 \cdot 1,7 = 0,114 \text{ кг, CO}_2.$$

По результатам выполненных расчетов определяем состав и количество шлака в конце периода плавления (таблица 5.4) и составляем баланс металла за этот период (таблица 5.5).

При составлении баланса металла учтем, что в процессе плавки происходит науглероживание металла в результате износа графитированных электродов.

Расход электродов в современных печах составляет 1,7...2,5 кг/т стали. Примем расход электродов 2 кг/т, или 0,2 кг на 100 кг шихты и усвоение углерода ванной 75 %. С учетом того, что продолжительность периода плавления составляет 2/3 общего времени плавки, в металл дополнительно перейдет углерода:

$$0,2 \cdot 0,75 \cdot \frac{2}{3} = 0,100 \text{ кг.}$$

При этом выделится СО:

$$0,2 \cdot 0,25 \cdot \frac{28}{12} \cdot \frac{2}{3} = 0,078 \text{ кг.}$$

На это потребуется O<sub>2</sub>:

$$0,2 \cdot 0,25 \cdot \frac{16}{12} \cdot \frac{2}{3} = 0,044 \text{ кг.}$$

Таблица 5.4 – Количество и состав печного шлака в период плавления

Источник	SiO <sub>2</sub>	CaO	MnO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Σ
Известь, кг	0,022	1,496	–	0,018	0,014	0,034	–	1,584
Футеровка, кг	0,004	–	–	–	–	0,276	–	0,280
Продукты Окисления, кг	0,750	–	0,095	0,252	–	–	0,018	1,115
Всего, кг	0,776	1,496	0,095	0,270	0,014	0,310	0,018	2,979
Всего, %	26,050	50,220	3,190	9,060	0,470	10,400	0,604	100,000

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата
------	------	-------------	-------	------

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

31

Основность полученного шлака, выраженная через отношение:

$$\frac{\% \text{CaO}}{\% \text{SiO}_2} = 1,928.$$

Это удовлетворяет требованиям к шлаку в период плавления.

Таблица 5.5 – Баланс составляющих металла за период плавки

Элемент	Поступило с шихтой, кг	Перешло в шлак, кг	Содержание в металле, кг	Содержание в металле, %
C	1,300	-	1,40	1,41
Si	0,350	0,350	-	-
Mn	0,210	0,073	0,136	0,137
S	0,019	-	0,019	0,019
P	0,026	0,007	0,018	0,018
Fe	98,086	0,196*	97,694*	98,415
Σ	100,000	0,627	99,267	100,000

\* – с учетом потерь с пылью.

### 5.3 Обезуглероживание и окисление примесей

Рассчитаем данные по углероду. После окончания периода плавления в металле с учетом науглероживания электродами содержится 1,4 кг углерода. За окислительный период при расходе электродов 2 кг/т в металл с учетом 75 % усвоения попадет дополнительно углерода:

$$0,2 \cdot 0,75 \cdot \frac{1}{3} = 0,050 \text{ кг.}$$

Всего требуется окислить углерода:

$$(1,4 + 0,050) - 0,66 = 0,79 \text{ кг.}$$

Примем, что весь углерод окислится до CO. Тогда для окисления 0,79 кг углерода потребуется O<sub>2</sub>:

$$0,79 \cdot \frac{16}{12} = 1,053 \text{ кг.}$$

При этом образуется CO:

$$0,79 \cdot \frac{28}{12} = 1,843 \text{ кг.}$$

Для марганца проведем расчет. Принимаем, что в окислительный период окисляется 45 % оставшегося в металле марганца:

$$0,45 \cdot 0,1365 = 0,0614 \text{ кг.}$$

Образуется и перейдет в шлак MnO:

$$0,146 \cdot \frac{71}{55} = 0,080 \text{ кг.}$$

На окисление оставшегося марганца потребуется кислорода:

$$0,0614 \cdot \frac{16}{55} = 0,018 \text{ кг.}$$

Рассчитаем данные для железа. В окислительный период окисляется около 0,4 % железа из металла. Примем, что 85 % от этого количества переходит в шлак в виде FeO, а 15 % удаляется в виде пыли Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с отходящими газами.

Всего окислится железа:

$$0,004 \cdot 97,694 = 0,390 \text{ кг.}$$

В шлак перейдет:

$$0,390 \cdot 0,85 = 0,332 \text{ кг.}$$

Образуется оксидов железа FeO:

$$0,332 \cdot \frac{72}{56} = 0,427 \text{ кг.}$$

На окисление потребуется кислорода:

$$0,332 \cdot \frac{16}{56} = 0,095 \text{ кг.}$$

С пылью теряется железа:

$$0,390 \cdot 0,332 = 0,058 \text{ кг.}$$

На окисление до Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> потребуется кислорода:

$$0,058 \cdot \frac{48}{112} = 0,025 \text{ кг.}$$

					13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		33

Образуется  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ :

$$0,058 \cdot \frac{160}{112} = 0,083 \text{ кг.}$$

Для серы расчет выглядит следующим образом. Примем, что в окислительный период из металла удаляется около 20 % содержащейся в нем серы:

$$0,019 \cdot 0,20 = 0,0038 \text{ кг.}$$

Рассчитаем данные для фосфора. Принимаем, что в окислительный период в шлак переходит 30 % имеющегося в металле фосфора:

$$0,0182 \cdot 0,30 = 0,005 \text{ кг.}$$

На окисление до  $\text{P}_2\text{O}_5$  потребуется кислорода:

$$0,005 \cdot \frac{80}{62} = 0,0064 \text{ кг.}$$

Образуется в шлаке  $\text{P}_2\text{O}_5$ :

$$0,005 \cdot \frac{142}{62} = 0,011 \text{ кг.}$$

### 5.3.1 Шлакообразование в окислительный период

Для расчетов принимается, что к концу периода плавания в печи остается 1/3 шлака, состав которого приведен в таблице 5.4. После этого в печи наводится новый шлак присадками извести, если необходимо, с добавками плавикового шпата и железной руды. Шлак окислительного периода образуется из остатков шлака предыдущего периода, извести, оксидов – продуктов окисления металла, компонентов износа футеровки, железной руды и плавикового шпата (если их давали в этот период). С учетом требуемой величины основности примем, что в окислительный период присаживают 0,5 кг извести. С ней в шлак попадет:

–  $\text{CaO}$  – 88%,  $0,880 \cdot 0,5 = 0,440$  кг;

–  $\text{SiO}_2$  – 1,3%,  $0,013 \cdot 0,5 = 0,007$  кг;

–  $\text{MgO}$  – 2%,  $0,020 \cdot 0,5 = 0,010$  кг;

–  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,8%,  $0,008 \cdot 0,5 = 0,004$  кг;

–  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,2%,  $0,012 \cdot 0,5 = 0,006$  кг, или в пересчете на

$$\text{FeO} - \frac{0,006 \cdot 112 \cdot 72}{160 \cdot 56} = 0,006 \text{ кг.}$$

В следствии потерь при прокаливании из извести удалится в атмосферу CO<sub>2</sub> в количестве:

$$6,7 \cdot \frac{0,5}{100} = 0,034 \text{ кг.}$$

Из футеровки при расходе за период 0,2кг на 100кг металлошихты в шлак переходит:

– MgO –  $0,920 \cdot 0,2 = 0,184$  кг;

– SiO<sub>2</sub> –  $0,012 \cdot 0,2 = 0,002$  кг.

Таблица 5.6 – количество и состав шлака в конце окислительного периода

Источник	SiO <sub>2</sub>	CaO	MnO	Feo	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Σ
Известь, кг	0,007	0,440	–	0,006	0,004	0,010	–	0,467
Футеровка, кг	0,002	–	–	–	–	0,184	–	0,186
Продукты окисления, кг	–	–	0,08	0,427	–	–	0,011	0,518
Шлак периода плавания, кг	0,259	0,499	0,032	0,09	0,005	0,103	0,006	0,994
Всего, кг	0,268	0,939	0,112	0,523	0,009	0,297	0,017	2,165
Всего, %	12,379	43,372	5,173	24,17	0,416	13,718	0,785	100,000

Примечание. Основность % CaO/% SiO<sub>2</sub> = 3,5. Это удовлетворяет требованиям ведения плавки.

Таблица 5.7 – баланс металла за окислительный период

Элемент	Поступило из периода Плавания, кг	Перешло в шлак, кг	В металле, кг	В металле, %.
C	1,400	–	0,660	0,672
Si	–	–	–	–
Mn	0,136	0,061	0,075	0,076
S	0,019	0,004	0,015	0,015
P	0,018	0,005	0,013	0,013
Fe	97,694	0,332	97,362*	99,220
Всего	99,267	0,402	98,125	100,000

\* – с учетом потерь с пылью.

#### 5.4 Раскисление и легирование без обработки на печи ковше

Определим количество присаживаемых раскислителей и ферросплавов без обработки на печи ковше.

Количество присаживаемых, за исключением алюминия, ферросплавов ( $M_{\text{ФСПЛ}}$ ) рассчитывают по формуле:

$$M_{\text{ФСПЛ}} = \frac{M_{\text{ж.ст}} ([C]_{\text{Тот.ст}} - [C]_{\text{исх}}) \cdot 100}{[C]_{\text{ФСПЛ}} (100 - K_{\text{уг}})},$$

где  $M_{\text{ж.ст}}$  – масса жидкой стали;

$[C]_{\text{Тот.ст}}$ ,  $[C]_{\text{исх}}$ ,  $[C]_{\text{ФСПЛ}}$  – содержание легирующего элемента в готовой стали (среднее по данной марке стали), на выпуске перед раскислением, и в ферросплаве соответственно, %;

$K_{\text{уг}}$  – угар элемента при раскислении (легировании), %.

При раскислении в ковше угар среднем составляет: 20...40 % для кремния, 10...15 % для марганца, 45 % для углерода в термоантраците, используемом для науглероживания.

Согласно требованиям к марке У7А, примем содержание марганца в готовом металле 0,22 %. Тогда расход ферромарганца составит:

$$M_{\text{ФМн75}} = \frac{98,125(0,22-0,0751) \cdot 100}{75(100-10)} = 0,211 \text{ кг.}$$

Помимо кремния, с ферросилицием в сталь дополнительно будет внесено:

– Si:  $0,01 \cdot 0,211 \cdot 0,7 = 0,0015$  кг;

– Fe:  $0,165 \cdot 0,211 = 0,035$  кг;

– С:  $0,07 \cdot 0,211 = 0,015$  кг.

Остальными компонентами пренебрежём в виду их низкого содержания в ферросплаве.

Ферросилиций присаживают в ковш под струю выпускаемого из печи металла.

Его угар при таком способе введения составляет 30 %. Расход ферросилиция:

$$M_{\text{ФС65}} = \frac{98,125(0,20-0) \cdot 100}{65(100-30)} = 0,431 \text{ кг.}$$

При этом в металл фактически попадет:

– Si:  $0,431 \cdot 0,65 \cdot 0,7 = 0,196$  кг;

– Fe:  $0,32 \cdot 0,479 = 0,153$  кг.

Расход алюминия на раскисление не рассчитывается и принимается 1,0 кг/т или 0,100 кг на 100 кг стали.

Таблица 5.8 – Расчетный химический состав готовой стали У7А

Элемент	C	Mn	Si	P	S	Fe	Итого
Содержание, кг	0,675	0,220	0,197	0,013	0,015	97,550	98,670
Содержание, %	0,684	0,222	0,200	0,013	0,015	98,865	100,000

Таблица 5.9 – Материальный баланс плавки

Поступило		Получено	
Материал	Количество, кг.	Продукт	Количество, кг.
Отходы ста- ли У10	90,000	Сталь	98,125
ПЛИПА1	10,000	Шлак	5,144
Известь	2,051	СО	1,921
Из футеров- ки	0,466	СО <sub>2</sub>	0,148
Из электро- дов	0,200	Пыль	0,254
Кислород на плавку	1,960	Невязка	-0,273
Ферросплав	0,642	–	–
Итого	105,319	Итого	105,319

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата
------	------	-------------	-------	------

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

37

## 6 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ «ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ У7А»

В условиях производства стали в современных высокопроизводительных сталеплавильных агрегатах: электродуговых печах и конвертерах и при ее разливке на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) с большим количеством плавов в серии «плавка на плавку» огромное значение имеет внепечная обработка стали. Для поддержания технологических параметров работы МНЛЗ требуется качественная сталь с заданным узким пределом по температуре.

В то же время возможности повышения качества металла за счет совершенствования технологии выплавки в значительной степени исчерпаны, а уровень чистоты металла, потребительских свойств требует дальнейшего улучшения. Одним из путей решения поставленной задачи является внепечная обработка металла массового назначения. Обработка стали вне печи позволяет регулировать температуру, проводить десульфурацию, дегазацию, обезуглероживание, доводить и выравнивать химический состав металла, осуществлять его раскисление, модифицирование и т.д. Переход на непрерывную разливку, с одной стороны, и непрерывное повышение требований к качеству стали, с другой, привели к необходимости создания специальной установки доводки стали.

Внепечная обработка стали начала активно применяться с 60-х годов, главным образом для повышения производительности дуговых сталеплавильных печей (ДСП) и конвертеров, позволяя вынести часть процессов рафинирования из этих агрегатов в ковш. Однако уже начало внедрения современных процессов внепечной обработки показало, что они позволяют не только существенно улучшить качество стали (механические свойства, коррозионную стойкость, электротехнические показатели и др.), но и получить сталь с принципиально новыми свойствами. Повышение качества стали привело к росту работоспособности машин и конструкций при уменьшении их массы. Другим важным фактором, обеспечивающим этот результат, явилась возможность гарантированно получать сталь с узкими пределами содержания элементов.

Особенностью рафинирования металла вне печи является использование наиболее благоприятных физических и физико-химических условий удаления примесей из металла и получения необходимой стали по качеству и составу. По сравнению с дуговыми печами условия при внепечном рафинировании характеризуется:

1. Увеличением скорости взаимодействия металла со шлаковой или газовой фазой вследствие значительного увеличения контактной поверхности между этими фазами, а также благодаря механическому перемешиванию, способствующему дроблению стали на малые объемы с большой поверхностью;
2. Повышением интенсивности массопереноса внутри металла вследствие увеличения градиента концентраций с уменьшением объема при постоянной разности концентраций в центре этого объема и на межфазной поверхности;

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

38



Сегодня использование установок ковш-печь (УКП) для комплексной внепечной обработки стало обязательным для новых цехов и при реконструкции существующих. Использование УКП позволяет улучшить качество стали, расширить марочный сортамент, сократить расход легирующих и добавочных материалов, снизить потребление энергоносителей на получение стали, уменьшить угар, а также повысить производительность основных сталеплавильных агрегатов за счет переноса части технологических операций по доводке стали до требуемых параметров непосредственно на УКП.

Также УКП осуществляет «буферную» функцию, обеспечивая необходимую равномерность подачи сталеразливочных ковшей на МНЛЗ после выпуска стали из основных сталеплавильных агрегатов, что особенно важно при разливке методом «плавка на плавку». Кроме того, перенос части операций по доведению стали до требуемого химического состава из основного сталеплавильного агрегата на УКП значительно уменьшает количество вредных выбросов в атмосферу.

Результаты внепечной обработки определяются принятыми методами и технологией, с помощью которых они осуществляются. Новые технологии обработки металла как в сталеплавильных печах, так и, главным образом, вне их, привели к заметному увеличению масштабов производства стали и сплавов, однородных по свойствам и содержащих ничтожно малое количество газов, неметаллических включений.

В современной металлургии ковш-печь – это агрегат, который наиболее рационально обеспечивающий возможность гибкого управления процессов формирования физико-химического состояния расплава для достижения поставленной цели, т.е. получение высококачественной стали с заданным химическим составом и свойствами.

Схема агрегата ковш-печь представлена в приложении Е.

## 7 ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Основными опасными и вредными факторами производственной среды и трудового процесса (ФПС и ТП) при производстве стали в ДСП являются: наличие вредных веществ (оксид кальция, оксиды марганца (в пересчете на диоксид марганца) – аэрозоль конденсации, оксид магния, дифосфор пентаоксид, никель, оксиды никеля, сульфиды и смеси соединений никеля (по никелю), оксид углерода, оксиды азота (в пересчете на  $NO_2$ ), диоксид серы, формальдегид, фенол, бензапирен, углеводороды алифатические предельные (в пересчете на  $C_{10}$ ) и аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (кремний диоксид аморфный в виде аэрозоля конденсации при содержании от 10 % до 60 %) в воздухе рабочей зоны, повышенный уровень шума, общая вибрация, нагревающий микроклимат, освещение искусственное, электромагнитные поля промышленной частоты.

Электросталеплавильный цех – в печном пролете основную опасность представляют неорганизованные выделения вредностей от электропечей:

- тепловыделения;
- шум от электрических дуг;
- выбивание из печи газов, содержащих пыль, окись углерода, окислы азота и серы, цианиды, фториды, пары хрома, никеля, марганца;
- пылевыведения при ремонтах печи.

Окислы азота выделяют в атмосферу пролета также печи для нагрева ферросплавов.

В печном пролете предусматривают естественную аэрацию, установку вентиляторов на рабочей площадке, отсос печных газов через отверстие в своде и иногда с помощью зонтов, устанавливаемых над печью. Отсос газов с помощью зонтов менее эффективен, чем через отверстие в своде.

Количество вредных выбросов можно сократить, если при отсосе печных газов поддерживать под сводом давление, равное атмосферному; при этом исключается подсос воздуха в печь и в отводимых и выбивающих газах будут отсутствовать окислы азота и цианиды.

Для новых цехов рекомендуется сооружение вокруг печи кожуха, который изолирует цех от шума и обеспечивает улавливание вредностей, выделяющихся при плавке и выпуске стали; отводимые из кожуха газы подвергаются очистке. Другим вариантом локализации выделения вредностей является сооружение между печным и смежным пролетами разделительных стенок. Этот способ менее эффективен, так как не защищает от вредностей персонал печного пролета.

Отделение непрерывной разливки – имеются тепловыделения от ковшей и шлаковых чаш; Выделение окиси углерода, окислов азота и тепла при разогреве промежуточных ковшей на разливочной площадке и в пролете их подготовки, где выделяется также пыль при ремонтах ковшей; выделение пыли, окислов азота и окиси углерода при газовой резке заготовок; выделение тепла и окислов железа при продувке металла в ковше аргоном; выделение тепла, пыли и окиси углерода от печей для выплавки синтетических шлаков; выделение большого количества пара в зоне вторичного охлаждения.

										Лист
										41
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР					

В отделении непрерывной разливки стали (ОНРС) предусматривают душирование рабочих мест на разливочной площадке, системы местного газоотсоса от газорезок и установок для продувки аргоном, герметизируют зону вторичного охлаждения МНЛЗ и организуют вытяжку оттуда пара и его выброс в атмосферу.

Основным направлением совершенствования условий труда при выплавке электростали является механизация и автоматизация производства. Весьма облегчает труд обслуживающего печь персонала и в то же время благоприятно отражается на качестве металла и производительности электропечи замена ручного перемешивания электромагнитным. Внедрение сменных кожухов на электропечах в значительной мере избавляет сталевара от изнурительного труда при ломке старой и набивке новой футеровки во время ремонта стен дуговых электропечей. Применение специальных пневматических или механических устройств для текущего ремонта футеровки, особых машин для загрузки шлакообразующих материалов и легирующих добавок в печь облегчает труд сталевара, делает его более производительным. Современные дуговые электропечи оборудуются устройствами для улавливания и очистки отходящих газов.

На протяжении всей плавки необходимо следить за каркасом печи с тем, чтобы своевременно заметить и устранить опасность прожога кожуха печи и ухода металла. Если кожух покраснел в каком-либо месте, нужно принять меры к охлаждению опасного участка при помощи сжатого воздуха. Необходимо также подготовить желоб и ковш для аварийного выпуска плавки.

Прежде чем выпустить плавку, сталевар должен убедиться, что выпускной желоб хорошо просушен. Обслуживающий печь персонал во время выпуска стали должен находиться в стороне от выпускного желоба и ковша, куда не достигают брызги металла и шлака. При пробивке выпускного отверстия сталевар обязательно пользуется защитными очками.

Вторичное напряжение трансформатора, которое подается на электроды дуговой электрической печи, достигает нескольких сотен вольт. Поэтому воспрещается производить какие-либо работы на кожухе или на своде работающей электропечи вблизи электродов. При ручном перемешивании жидкого металла нельзя изолировать ролик, лежащий на гребенках рабочего окна электропечи. По ролику обычно скользит ручка железного гребка или ложки, и он выполняет роль заземления. Не следует касаться гребком электродов печи.

Должны использоваться и другие меры безопасности, связанные с работой устройств для подачи кислорода, электрических установок, с перевозкой грузов. Неукоснительное соблюдение требований соответствующих специальных инструкций гарантирует безопасные условия для работы обслуживающего электропечь персонала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы была получена технология получения стали У7А в условиях ПАО «Мечел». Разработана технология производства сплава. Представлено технико-экономическое обоснование проектного решения.

Рассмотрена структура сталеплавильного цеха, приведены расчеты основного и вспомогательного оборудования. Рассчитан материальный баланс плавки. Представлена технология Внепечной обработки стали. Установлены требования к охране труда и технике безопасности.

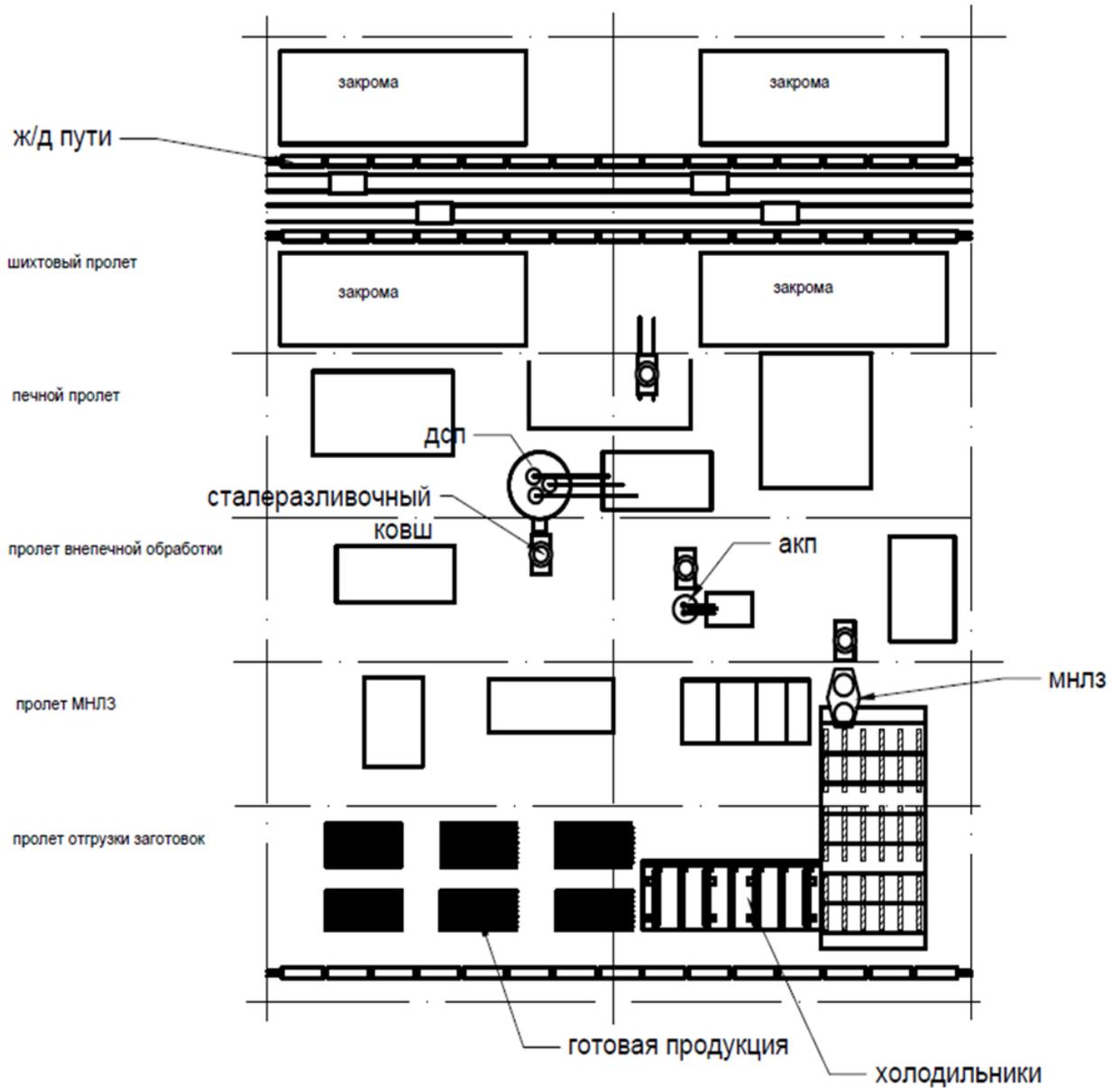
Таким образом, цель работы достигнута, задачи решены.

					13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		43

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Якушев, А. М. Проектирование сталеплавильных и доменных цехов: учебник для вузов / А. М. Якушев. – Изд-во Metallургия, 1984. – 215 с.
2. Якушев, А. М. Основы проектирования и оборудования сталеплавильных и доменных цехов: учебное пособие / А. М. Якушев. – М.: Изд-во Metallургия, 1992. – 422 с.
3. Гамов П. А. Производство стали в дуговых сталеплавильных печах: учебное пособие по направлениям 22.03.02 и 22.04.02 Metallургия / П. А. Гамов, С. В. Зырянов, С. П. Салихов. – Изд-во ЮурГУ.
4. Поволоцкий Д. Я. Электрометаллургия стали и ферросплавов: учебник для вузов / Д. Я. Поволоцкий, В. Е. Роцин, Н. В. Мальков. – М.: Изд-во Metallургия, 1995. – 592 с.
5. Злобинский, Б. М. Охрана труда в металлургии: учебник для вузов / Б. М. Злобинский. – М.: Изд-во Metallургия, 1982. – 109 с.
6. Кудрин В. А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов / В. А. Кудрин. – М.: Изд-во Мир, 2003. – 528 с.
7. Воскобойников В.Г. Общая металлургия: учебное пособие / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – М.: Изд-во Академкнига, 2002. – 768 с.

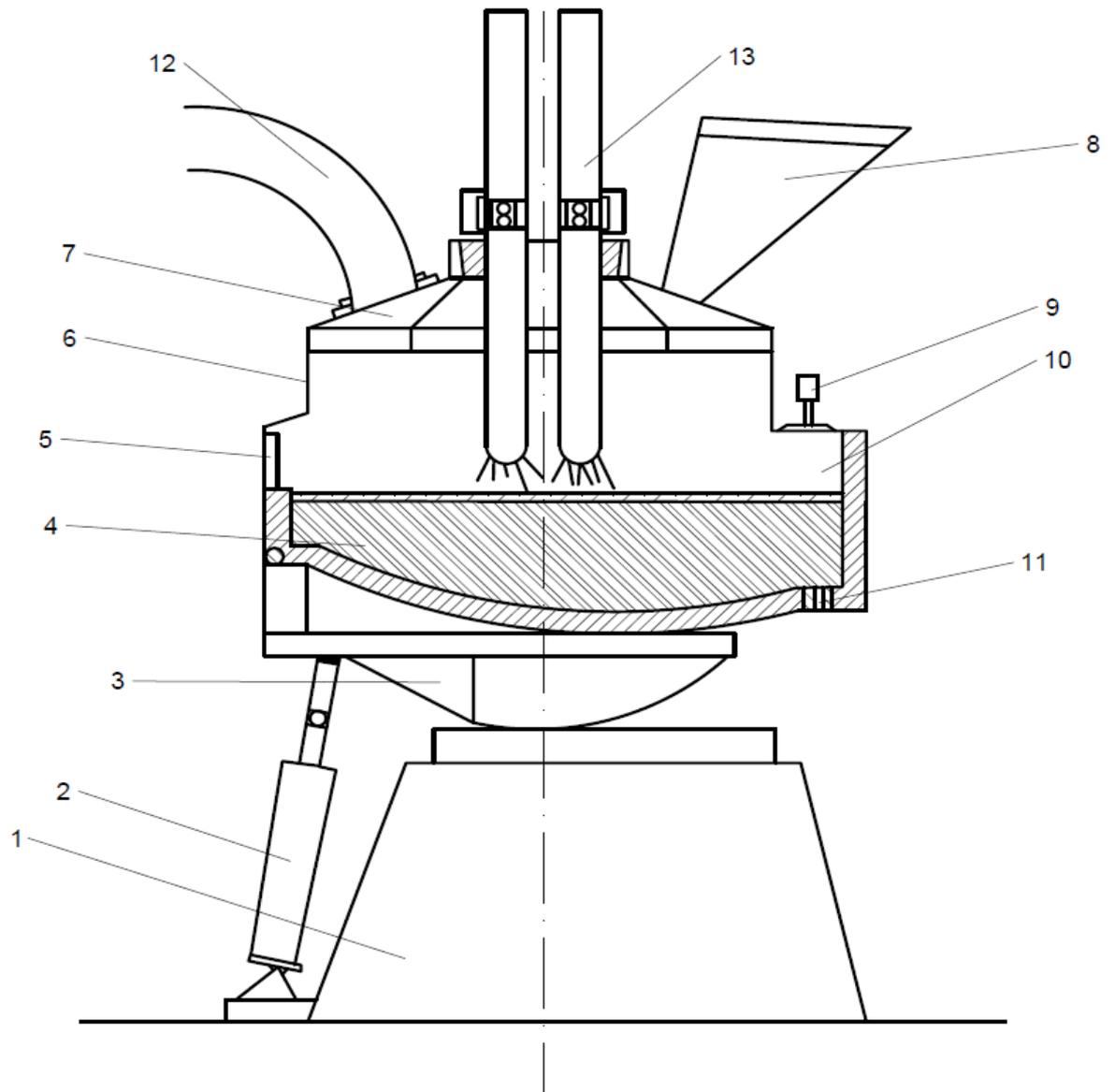
ПРИЛОЖЕНИЯ  
 ПРИЛОЖЕНИЕ А  
 ПЛАН ЦЕХА



Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

ПРИЛОЖЕНИЕ Б  
ПЛАВИЛЬНЫЙ АГРЕГАТ



Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

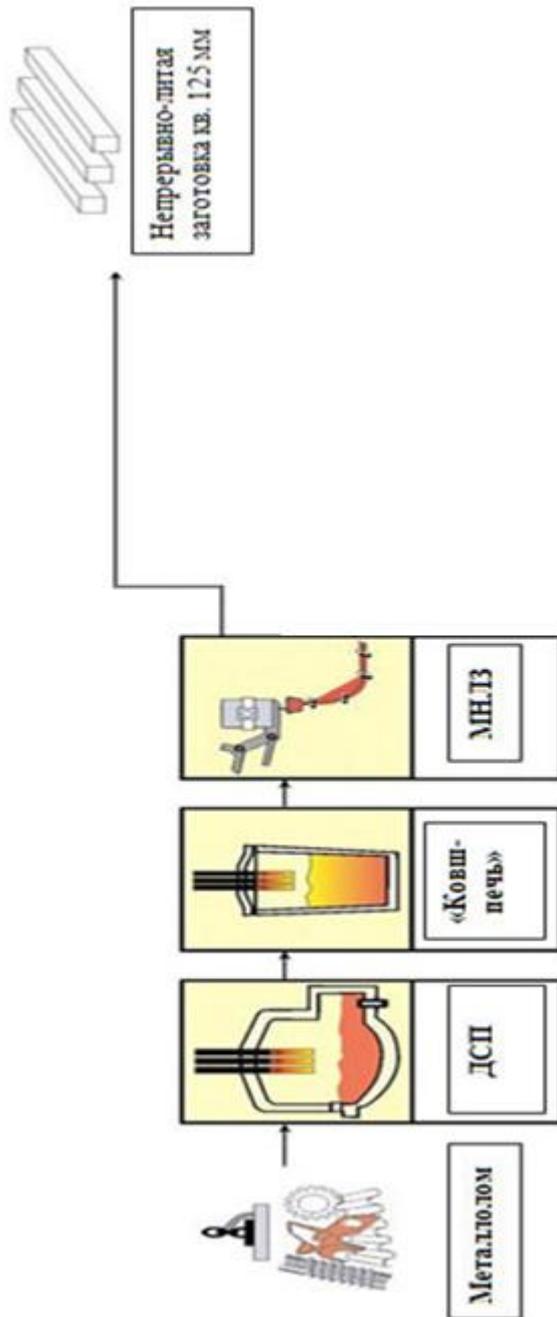
13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

46

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА



Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

47

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА

Материальный баланс плавки

Поступило		Получено	
Материал	Количество, кг	Продукт	Количество, кг
1	2,00	3	4,00
Отходы СтЗ	100,00	Сталь	101,04
		Шлак	7,47
1	2,00	3	4,00
Известь	3,70	СО	1,20
Железная руда	4,50	СО <sub>2</sub>	0,18
Из футеровки	1,29	–	–
Из электродов	0,30	–	–
Кислород	1,04	Невязка	1,24
Итого	110,84	Итого	110,84

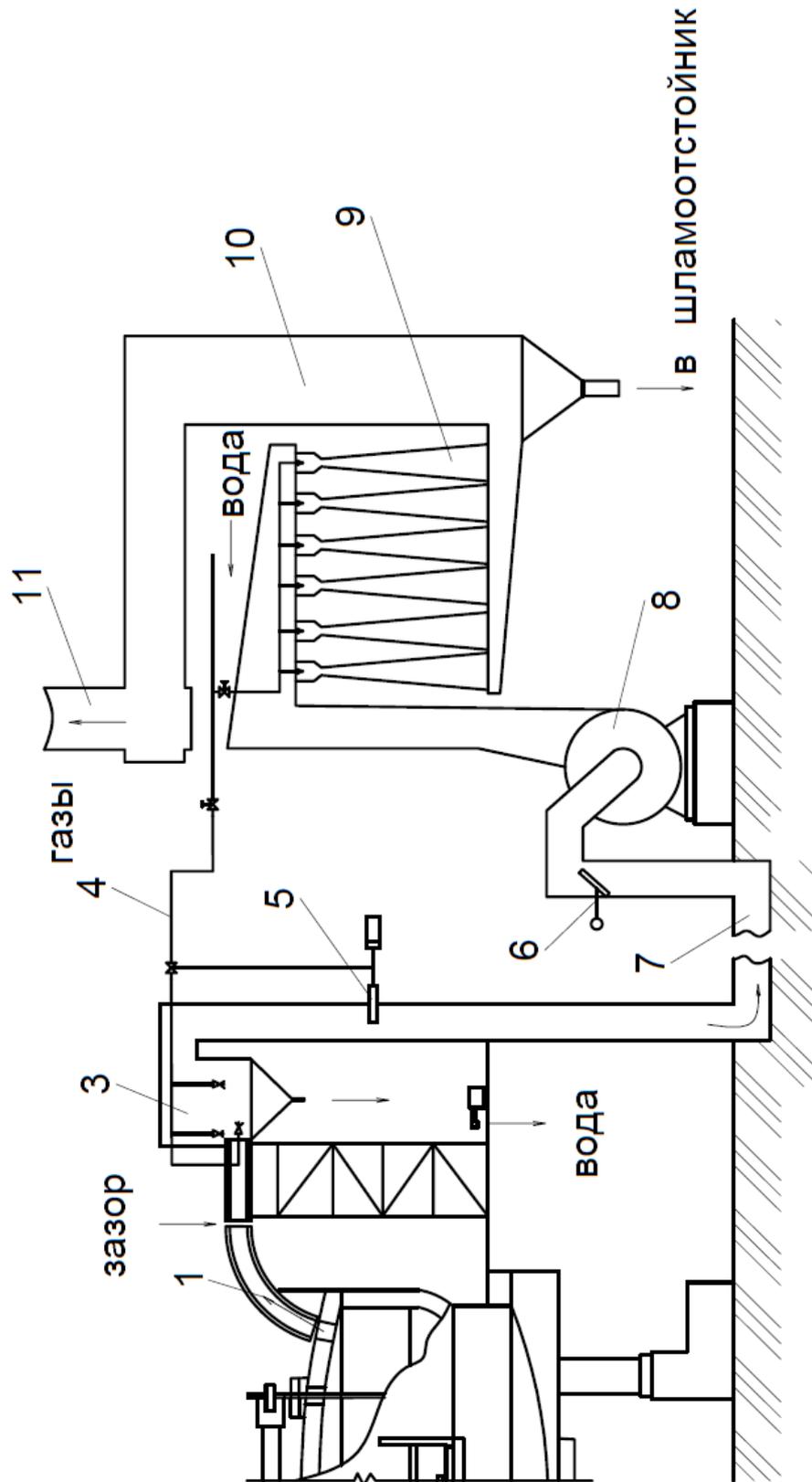
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата
------	------	-------------	-------	------

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

48

ПРИЛОЖЕНИЕ Д  
СХЕМА ГАЗООТЧИСТКИ



Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

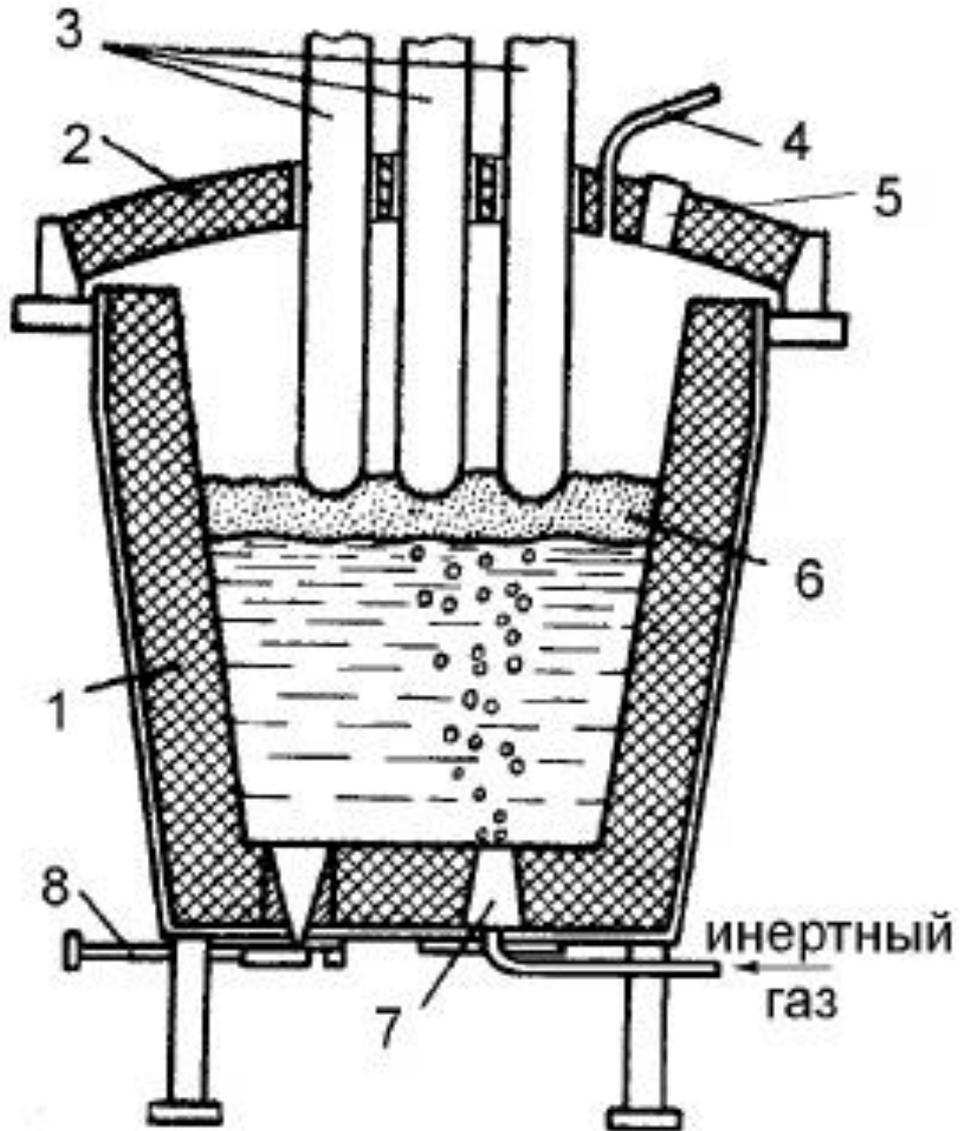
13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР

Лист

49

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

СХЕМА АГРЕГАТА КОВШ-ПЕЧЬ



Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2020.132.11.00 ПЗ ВКР