

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Лысьвенский филиал федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Кафедра Технических дисциплин  
Направление подготовки 22.03.02 «Металлургия»  
направленность (профиль) «Металлургия черных металлов»

Допускается к защите  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_/Д.С. Балабанов/  
«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

на тему: «Разработка технологии выплавки стали ст.Зкп».

Студент \_\_\_\_\_ / Червяков Е.А. /

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на \_\_\_\_\_ стр.
2. Графическая часть на \_\_\_\_\_ листах.

Руководитель \_\_\_\_\_ / Гусельникова Л.Н. /

Лысьва, 2019г.

## Содержание

Реферат.....	
Введение.....	
1.Общий раздел.....	
1.1 Характеристика стали СтЗкп.....	
1.2 Химический состав стали СтЗкп .....	
1.3 Технологические свойства стали СтЗкп .....	
2. Способ выплавки стали СтЗкп .....	
2.1 Способ выплавки в конвертере.....	
2.2 Недостатки конвертера.....	
2.3 Достоинства конвертера .....	
3.Методы разливки стали.....	
4.Технологический раздел.....	
4.1 Расчет материального баланса плавки.....	
4.2 Расчет количества раскислителей.....	
4.3 Расчет раскисления.....	
4.4 Раскисление ферромарганцем.....	
4.5 Расчет количества легирующих элементов.....	
4.6 Расчет теплового баланса плавки.....	
4.7 Корректировка теплового баланса плавки.....	
5. Методы контроля стали СтЗкп.....	
5.1 Контроль химического состава.....	
5.2 Контроль макроструктуры.....	
6.Методы закупоривания стали СтЗкп .....	
6.1.Классификация методов закупоривания.....	
6.2. Механическое закупоривание стали СтЗкп .....	



## Реферат

55 стр., 6 частей, 18 рис., 17 табл., библи. 16 ист.

«Разработка технологии выплавки стали СтЗкп».

Объектом исследования является: сталь СтЗкп при выплавке и разливке стали, а также ее закупоривание.

Цель работы: разработать технологический процесс стали СтЗкп.

В данной работе рассмотрено: назначение, химический состав и область применения стали СтЗкп, обзор существующих технологических процессов выплавки кипящих сталей, проанализирована технология выплавки стали СтЗкп, рассмотрены способы закупоривания, уровень выплавляемого кипящего металла во многом зависит от технологических приемов.

В процессе работы разработаны: методы выплавки, разливки, методы закупоривания, выбран способ закупоривания.

									Лист	
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019-ПЗ					

## Введение

Металлы находят широкое применение в современном мире. Благодаря как химическим, так и физическим их свойствам. Общность физических свойств металлов (теплопроводность, ковкость, пластичность) объясняется общностью строения их кристаллических решеток.

Таким образом, определенный интерес представляет разработка, и корректировка методов разлива стали СтЗкп.

В настоящей работе представлены стали СтЗкп. Выбранная сталь используется для материала при изготовлении несущих и второстепенных конструкций, деталей машин и оборудования.

**Актуальность:** необходимость разработки технологии выплавки стали СтЗкп рассмотрена: разработка прогрессивных технологий, обеспечивающих повышение качества и увеличение объемов выпускаемой металлопродукции, а также снижение материалоемкости, уровень достигаемых показателей улучшения служебных свойств выплавляемого металла во многом зависит от технологических приемов, выполняемых на заключительных этапах процесса получения стали.

**Цель:** разработать технологический процесс стали СтЗкп.

**Задачи:** разработать свойства стали СтЗкп, разработать методы зачистки стали СтЗкп, разработать технологию выплавки стали СтЗкп, разработать разливу стали СтЗкп.

**Методы исследования:** Обзор литературы по данному заданию, сбор информации, изучение и анализ технологических наработок.

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

## 1.Общий раздел

### 1.1 Характеристика стали СтЗкп

Расшифровка стали СтЗкп в соответствии с Госстандартом 380-2005 содержит информацию:

Характеристики СтЗкп обеспечивают эффективность применения материала при изготовлении несущих и второстепенных конструкций, деталей машин и оборудования. Использовать ее можно исключительно при плюсовой температуре среды. Более универсальные изделия получают из проката 5 категории. Их можно применять при температуре  $-40/+425$  градусов, а также при действии переменной нагрузки.

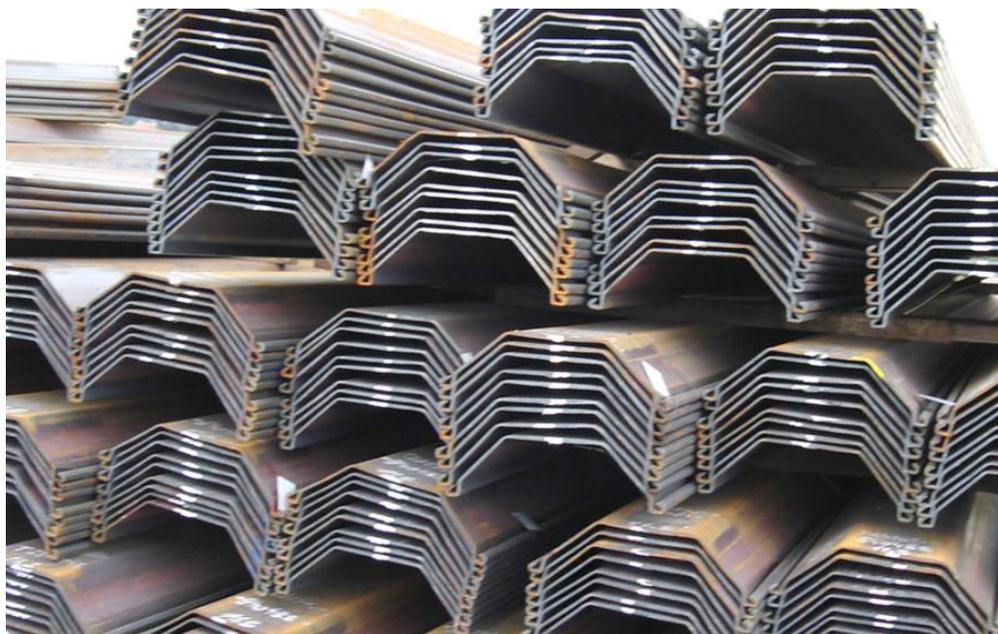


Рисунок 1 - Шпунт Ларсена из стали СтЗкп

Создание сложных конструкций предполагает проведение термообработки в качестве заключительной стадии производства. Наибольшей популярностью пользуется отжиг, позволяющий снизить напряжения в элементах после сварки.

Область применения стали СтЗкп охватывает изготовление арматуры Ат-400С. Листы, произведенные из сплава, подвергаются холодной штамповке

									Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019-ПЗ				

без снижения технических характеристик. Наибольшее распространение получили корыта для сбора смазочно-охлаждающих жидкостей и масел, баки, крышки станков, кожухи и т.д.

## Сортамент

Из данной марки изготавливают: трубы и арматуру;

- прокат;
- катанки;
- толстолистовой материал



Рисунок 2-арматура

## 1.2 Химический состав стали СтЗкп

Химический состав стали СтЗкп содержит:

- 0,22% углерода;
- 0,05% кремния;
- 0,6% марганца.

Таблица 1- Химический состав стали СтЗкп

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
---	----	----	----	---	---	----	---	----	----

0,14- 0,22	До 0,05	0,3- 0,6	До 0,3	До 0,05	До 0,04	До 0,3	До 0,008	До 0,3	До 0,08
---------------	------------	-------------	-----------	------------	------------	-----------	-------------	-----------	------------

### 1.3 Технологические свойства стали СтЗкп

Легкосвариваемость материала позволяет использовать любой метод сварки. К основным показателям сплава, с помощью которых происходит деление на отдельные группы по прочности, относятся:

- антикоррозионные свойства;
- механические параметры;
- свариваемость.

Если элемент, изготовленный из данной марки стали имеет толщину более 36 мм, то после проведения сварочных работ производится термическая обработка. Это обусловлено потребностью в снятии остаточных напряжений в зоне шва, которые образуются при локальном нагреве во время сварки.

<b>свариваемость</b>	<b>свариваема;</b>
твердость НВ 10 <sup>-1</sup>	131 МПа;
температура плавления	1300-1400 градусов;
плотность	7850 кг/м <sup>3</sup> ;
удлинение	23-25%;

Таблица 2 – свариваемость стали СтЗкп

Свариваемость:	без ограничений.
----------------	------------------

Флокеночувствительность:	не чувствительна.
Склонность к отпускной хрупкости:	не склонна.

Таблица 3 - Технологические свойства материала СтЗкп

<b>T</b>	<b>E 10<sup>-5</sup></b>	<b>a 10<sup>6</sup></b>	<b>l</b>	<b>r</b>	<b>C</b>	<b>R10<sup>9</sup></b>
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·гр ад)	кг/м <sup>3</sup>	Дж/(кг·г рад)	Ом·м
20					7850	

Таблица 4 - Физические свойства материала СтЗкп

Сортамент	Размер	Напр	σв	σТ	d5	у	КСУ	Термообр
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м2	-
Трубы, ГОСТ 8696- 74			363	235	23			
Трубы, ГОСТ 10705- 80			372	225	22			
Прокат, ГОСТ 535- 2005			360- 460	195- 235	24-27			
Лист толстый, ГОСТ 14637- 89			360- 460	195- 235	24-27			
Арматура, ГОСТ 5781- 82			373	235	25			
Катанка,			490-			60		

					Лист	
					ВКР.2019-ПЗ	
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

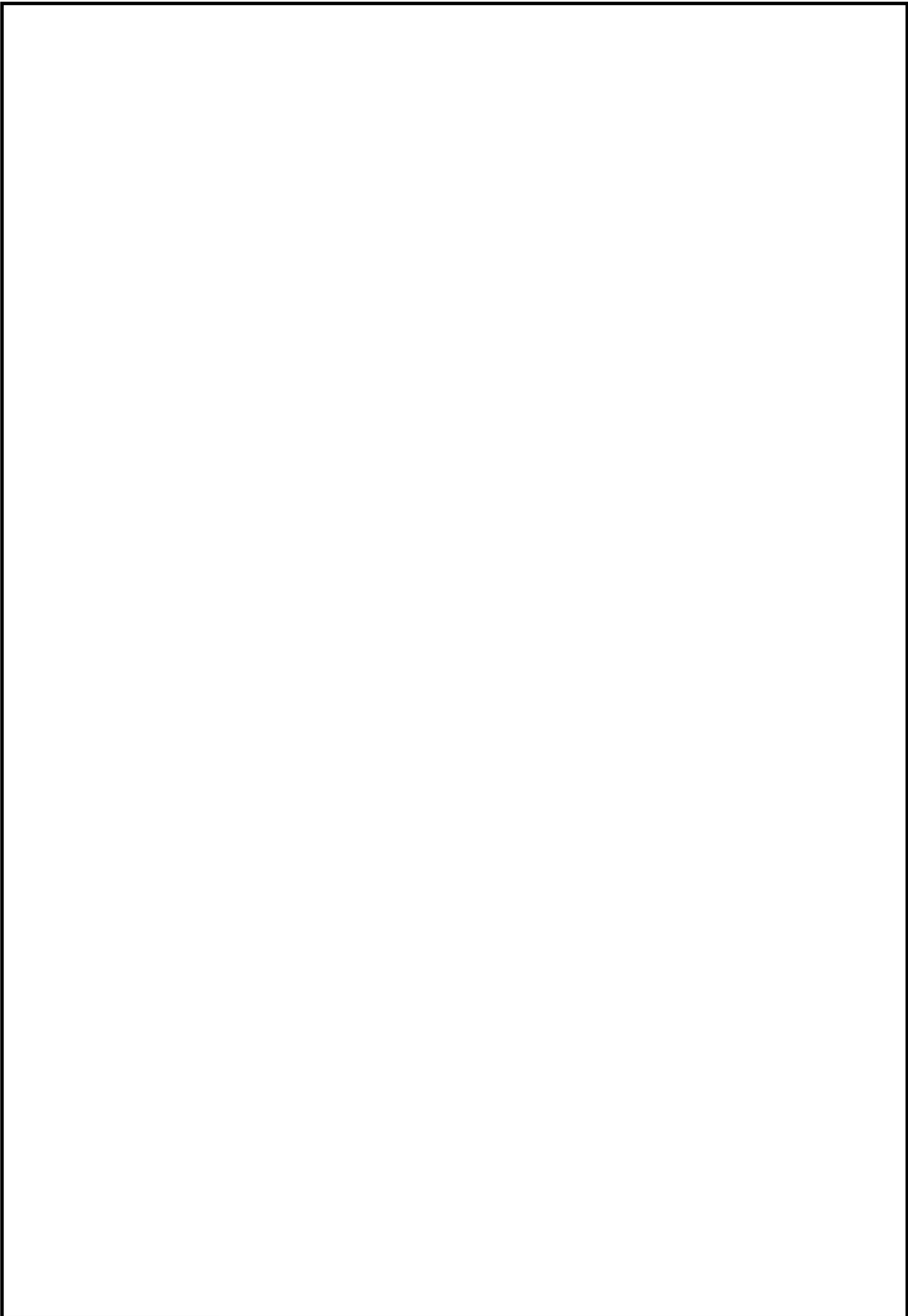
ГОСТ 30136-95			540					
---------------	--	--	-----	--	--	--	--	--

Таблица 5 - Механические свойства при T=20oC материала СтЗкп

Обозначения:

<b>Механические свойства :</b>	
σ <sub>B</sub>	- Предел кратковременной прочности , [МПа]
σ <sub>T</sub>	- Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]
d <sub>5</sub>	- Относительное удлинение при разрыве , [ % ]
у	- Относительное сужение , [ % ]
KCU	- Ударная вязкость , [ кДж / м <sup>2</sup> ]
НВ	- Твердость по Бринеллю , [МПа]
<b>Физические свойства :</b>	
T	- Температура, при которой получены данные свойства , [Град]
E	- Модуль упругости первого рода , [МПа]
α	- Коэффициент температурного (линейного) расширения (диапазон 20° - T ) , [1/Град]
λ	- Коэффициент теплопроводности (теплоемкость материала) , [Вт/(м·град)]
ρ	- Плотность материала , [кг/м <sup>3</sup> ]
C	- Удельная теплоемкость материала (диапазон 20° - T ), [Дж/(кг·град)]
R	- Удельное электросопротивление, [Ом·м]

									Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019-ПЗ				



					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

## 2.Способ выплавки стали СтЗкп

### 2.1 Способ выплавки в конвертере

Конвертером принято называть большую стальную реторту, футерованную огнеупором [1]. Вместимость современных конвертеров достигает 250...400 т. Конвертер имеет цилиндрическую часть, отъёмное, легко заменяемое днище и конусообразную горловину. Конвертер может наклоняться, что необходимо для его обслуживания (заливки исходного чугуна, взятия проб, выливки готовой стали и т.д.).

На рисунке 1 представлена последовательность операций конвертерной плавки и схема устройства конвертера.

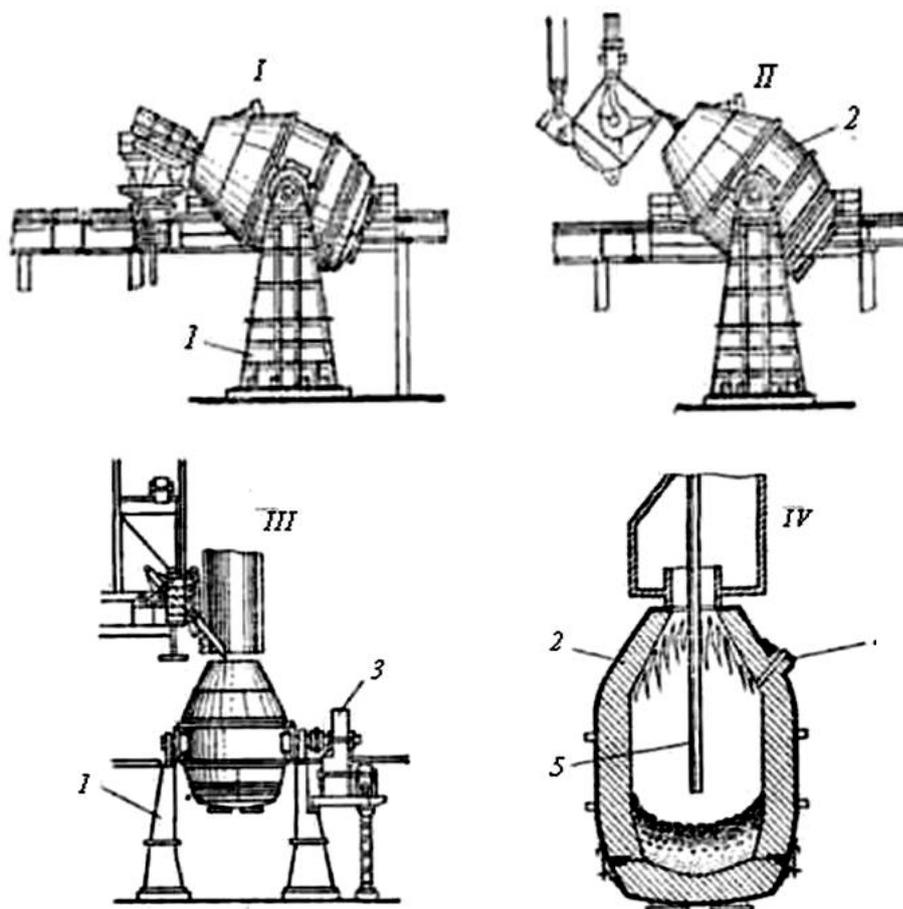


Рисунок 3 - Получение стали в кислородном конвертере:

*I* – завалка лома 3 мин; *II* – заливка чугуна 5 мин; *III* – загрузка извести 1 мин;

*IV* – продувка (первый период 16 мин, второй 3 мин); *V* – выпуск стали 5 мин;

									Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019-ПЗ				

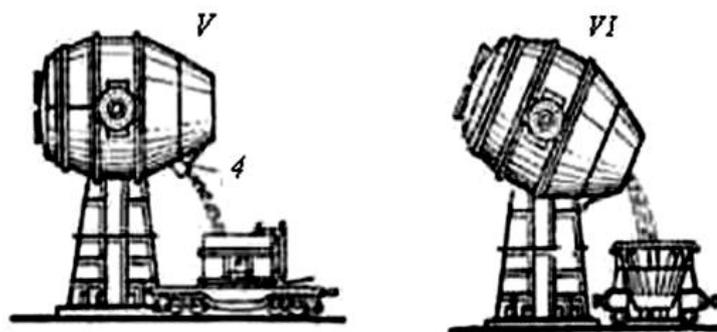


Рисунок 4 - Получение стали в кислородном конвертере:

VI – слив шлака (после первой продувки 3 мин, после выпуска стали 3 мин);

I – опорная станина; 2 – корпус конвертера; 3 – механизм поворота конвертера;

4 – выпускное отверстие для стали; 5 – водоохлаждаемая фурма для кислорода

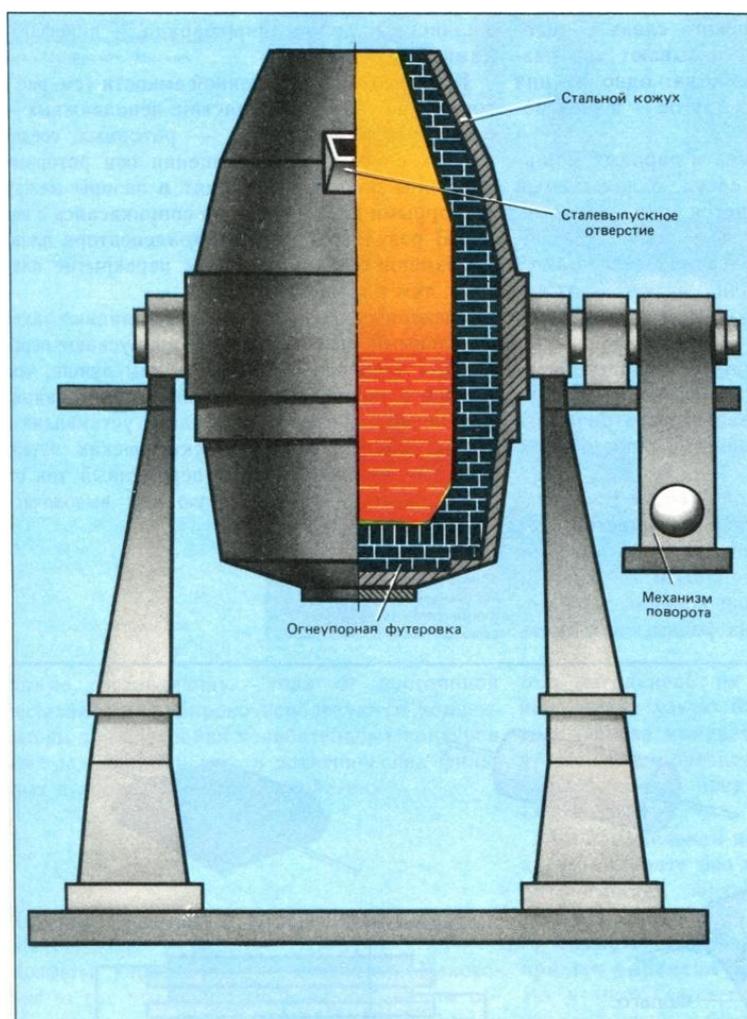


Рисунок 5 - Кислородный конвертер в разрезе

Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

<b>Исходные шихтовые материалы</b>	<b>Источник нагрева</b>	<b>Время плавки, мин</b>	<b>Емкость печи, т</b>	<b>Производительность, т/ч</b>	<b>Производимые стали</b>
Жидкий чугун, добавки: лом, руда, флюс (СаО)	Тепло химических реакций окисления	30-45	130-400	До 500 т/ч	Углеродистые и низколегированные стали

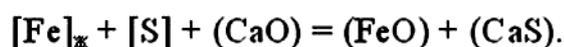
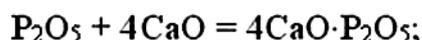
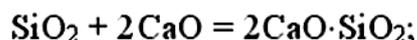
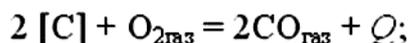
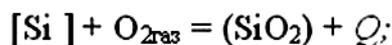
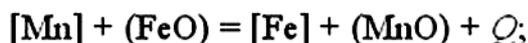
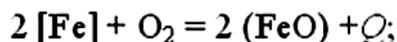
Таблица 6- Техническая характеристика кислородно-конвертерного процесса

На большинстве заводов для этого способа используют глухонные конвертеры, футерованные смолодоломитовым (более 75 % СаО и MgO) или магнезитохромитовым (до 65 %  $SiO_2$  и MgO) кирпичом.

Кислород вдувают в конвертер вертикальной трубчатой водоохлаждаемой фурмой, опускаемой в горловину конвертера, но не достигающей до уровня металла на 1700...300 мм. Таким образом, кислород не продувается через слой металла (как воздух в старых конвертерных процессах), а подается на поверхность залитого в конвертер металла. Длина фурмы в современном 300-тонном конвертере достигает 27 м. Наконечник фурмы выполнен обычно из меди.

Начинают конвертерную плавку с завалки в конвертер лома и других металлических отходов; на некоторых заводах в конвертер вводят железную руду. После этого в конвертер заливают жидкий чугун и загружают известь, необходимую для связывания фосфора; в конвертер опускают во до охлаждаемую фурму и подают в нее технический кислород. В конвертере начинается интенсивный процесс окисления металла кислородом,

восстановления окислов и шлакообразования:



После 15... 16-минутной продувки поднимают фурму, наклоняют конвертер, берут пробу металла на анализ и скачивают большую часть шлака. Это занимает 7...8 мин. Экспресс-анализом определяют основные параметры стали, затем конвертер вновь ставят в вертикальное положение, опускают фурму и вторично продувают кислородом несколько минут, в зависимости от данных анализа и заданной марки стали.

Затем фурму вновь поднимают, конвертер наклоняют, берут контрольную пробу металла, термопарой погружения измеряют его температуру', после чего сталь выпускают через боковую летку в разливочный ковш; после слива металла скачивают оставшийся шлак и заделывают выпускное отверстие. Весь технологический цикл плавки занимает 50...60 мин, а продолжительность продувки кислородом составляет 18...30 мин.

Поворот конвертера, подъем и опускание водоохлаждаемой кислородной фурмы, загрузка сыпучих добавок и некоторые другие технологические операции осуществляются с пульта управления конвертером. Продолжительность и режим дутья, время отбора пробы и другие параметры плавки определяют счетно-вычислительными устройствами разных типов.

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

Металл из конвертера выпускают не через горловину, а через верхнюю летку, что предохраняет металл от поглощения азота, так как вся поверхность стали в конвертере в это время закрыта слоем шлака. Получение стали завершается ее раскислением ферромарганцем и ферросилицием. Часть раскислителей вводят в конвертер непосредственно перед разливкой или в разливочный ковш во время выливки металла.

Общий расход технического кислорода на получение 1 т стали в конвертере составляет 50...60 м, что незначительно превышает теоретически необходимое количество.

## 2.2 Недостатки конвертера

Недостатком кислородно-конвертерного способа получения стали является большое пылеобразование, обусловленное обильным окислением и испарением железа. Угар металла составляет 6...9 %, что значительно больше, чем при других способах получения стали. Это требует обязательного сооружения при конвертерах сложных и дорогих пылеочистительных установок.

## 2.3 Достоинства конвертера

Совершенствование конвертерных процессов привело к распространению нескольких их разновидностей, например комбинированного дутья, при котором кроме подачи кислорода через фурму сверху предусмотрено вдувание кислорода или воздуха через донные фурмы.

1) В кислородном конвертере можно останавливать процесс на заданном содержании углерода и получать сталь самых различных марок (за исключением высоколегированных).

2) Качество получаемой стали, которое определяется количеством наиболее вредных примесей - серы и фосфора - аналогично качеству мартеновской стали.

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

3) Коэффициент использования топлива, равный 70%, при конвертерном способе значительно больший по сравнению с другими способами, в виду чего отпадает необходимость наличия миксеров (хранилищ жидкого чугуна).

4) Основное преимущество конвертерного способа выплавки стали, прежде всего, связано с высокой производительностью. Производительность кислородного конвертера составляет 400 тонн стали в час, производительность мартеновской печи – 80 – 100 т/ч.

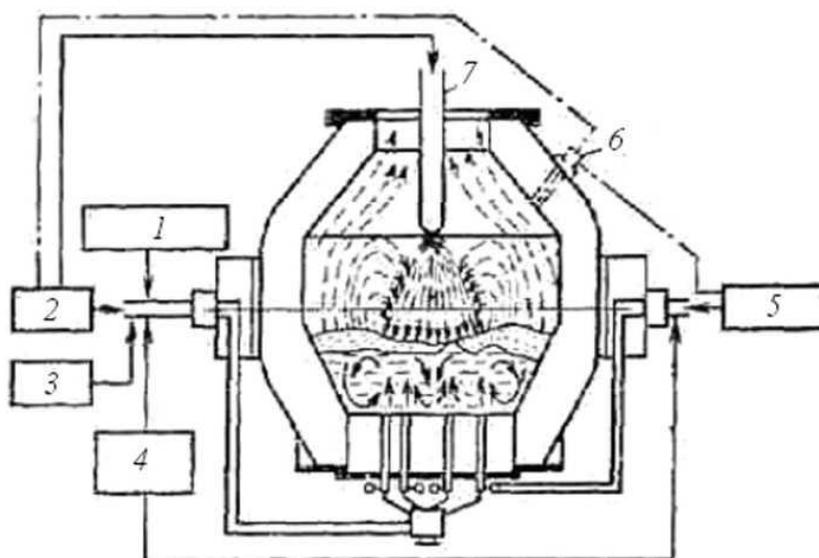


Рисунок 6 - Кислородный конвертер с комбинированной верхней и донной продувкой:

1 – шлакообразующие (известковый порошок); 2 – кислород; 3 – воздух; 4 – аргон; 5 - углеводородный газ; 6 – боковая фурма; 7- верхняя фурма

Комбинированная продувка с подачей снизу даже небольшого количества аргона или азота в течение нескольких минут обеспечивает следующие преимущества: снижается окисленность шлака и металла – повышается выход годного металла; уменьшается окисление марганца – повышается удаление фосфора и серы из металла, что позволяет сократить расход шлакообразующей извести.

### 3.Методы разливки стали.

После окончания плавки в сталеплавильном агрегате металл выпускают в сталеразливочный ковш и затем, иногда после внепечной обработки в ковше, разливают в изложницы или на установках непрерывной разливки. В результате затвердевания жидкой стали получают литые заготовки — слитки, которые в дальнейшем подвергают обработке давлением (прокатке, ковке).

Технология и организация разливки в значительной степени определяют качество готового металла и количество отходов при дальнейшем переделе стальных слитков. Неправильно организованной разливкой можно испортить качественно выплавленную сталь. Даже незначительная небрежность в подготовке разливочного оборудования часто ведет к большим потерям металла при разливке. Совершенствование технологии разливки может служить резервом увеличения производства стали. От 5 до 18 % всей выплавляемой стали возвращается в переплав из-за дефектов, возникающих в процессе разливки и кристаллизации слитка.

Применяют два основных способа разливки стали:

- разливку в изложницы;
- непрерывная разливка.

Разливку в изложницы подразделяют на разливку сверху и сифоном.

При разливке сверху (сталь непосредственно из ковша 1 поступает в изложницы 2, устанавливаемые на чугунных плитах — поддонах 3. После заполнения каждой изложницы стопор или шиберный затвор ковша закрывают, ковш транспортируют к следующей изложнице, вновь открывают стопор (шиберный затвор) и после заполнения сталью новой изложницы цикл повторяют.

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

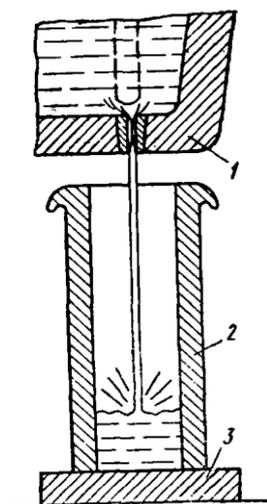


Рисунок 7 - разливка сверху

Непрерывная разливка стали, осуществляется на специальном агрегате при непрерывном поступлении жидкого металла в водоохлаждаемый кристаллизатор с одновременным непрерывным вытягиванием из него формирующегося слитка (непрерывно-литой заготовки).

При подготовке агрегата в кристаллизатор вводится временное дно, т. н. затравка (конец которой находится в зацеплении с тянущим устройством). Сверху в кристаллизатор непрерывно подаётся жидкий металл в таком количестве, чтобы его уровень был постоянным в процессе всей разливки. По мере наполнения кристаллизатора металл затвердевает у стенок кристаллизатора и у затравки. Для образования прочной оболочки (корки металла) стенки кристаллизатора, изготавливаемые из обладающего высокой теплопроводностью материала, интенсивно охлаждаются водой. Для предохранения от окисления поверхности металла создают нейтральную или восстановит. атмосферу, а для уменьшения трения между коркой металла и стенками кристаллизатора, предотвращения смачивания стенок жидкой сталью вводят твёрдую или жидкую смазку в виде разл. масел, углеводородов или теплоизолирующих шлаковых смесей. Наряду с этим, для предотвращения разрыва оболочки и её прилипания к стенкам кристаллизатора последний совершает возвратно-поступательное движение (качание) с помощью спец. механизмов. Частично затвердевший металл – твёрдая оболочка с жидкой сердцевиной –

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

тянущим устройством вытягивается (с заданной скоростью) из кристаллизатора в ЗВО, где происходит её полное затвердевание. Охлаждение в ЗВО обычно осуществляется орошением поверхности слитка водой, расход которой зависит от разливаемой марки стали и скорости вытягивания слитка.

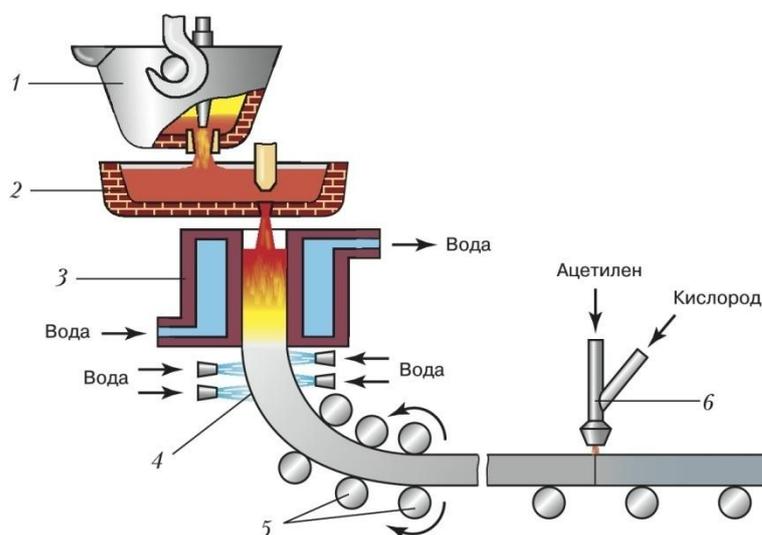


Рисунок 8 - непрерывная разливка стали

1 – сталеразливочный ковш; 2 – промежуточный ковш; 3 – водоохлаждаемый кристаллизатор; 4 – зона вторичного охлаждения; 5 – тянущие валки; 6- устройство резки слитка

									Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019-ПЗ				

## 4. Технологический раздел

### 4.1. Расчет материального баланса плавки

Определяем средний состав шихты при условии передела заданного количества чугуна и скрапа в шихте и количество примесей, окислившихся к концу продувки металла (таблица 7).

Расчет среднего содержания элемента в шихте производим, используя данные таблицы 1, на примере углерода:

$$M_{\text{э}} = m_{\text{ч}} \cdot \frac{78\%}{100\%} + m_{\text{скр}} \cdot \frac{22\%}{100\%} = 3,8 \cdot \frac{78}{100} + 0,2 \cdot \frac{22}{100} = 2,964 + 0,044 = 3,008 \text{ кг} \quad (1)$$

где  $M_{\text{э}}$  – количество (масса) данного элемента в шихте;  $m_{\text{ч}}$  – количество (масса) элемента, вносимого в шихту чугуном;  $m_{\text{скр}}$  – количество (масса) элемента, вносимого в шихту из скрапа.

Аналогично производится расчет среднего содержания каждого элемента металлической части шихты.

Таблица 7 – Средний состав шихты

	Содержание элементов, %				
	C	Si	Mn	P	S
Чугун вносит (78 %)	2,964	0,546	0,546	0,234	0,0234
Скрап вносит (22 %)	0,044	0,022	0,11	0,0088	0,0088
Средний состав ( $\Sigma$ )	3,008	0,568	0,656	0,2428	0,0322
Состав стали перед раскислением	0,14	–	0,175*	0,025**	0,025**

\* – 25 % от исходной нижней концентрации в чугуне

\*\* – рекомендуется

Рассчитываем количество удаляемых примесей из ванны на 100 кг шихты при продувке кислородом (таблица 5) на примере углерода:



$$P_{O_2} = M_{\text{э-выгор}} \cdot \frac{\sum O_{\text{ат}}}{\sum \text{Э}_{\text{ат}}} \quad (3)$$

где  $P_{O_2}$  – расход кислорода на окисление данного элемента;  $M_{\text{эвыгор}}$  – количество (масса) элемента, удаляемого (выгораемого) в процессе продувки кислородом;  $\sum O_{\text{ат}}$  – суммарная атомарная масса кислорода в формуле оксида;  $\sum \text{Э}_{\text{ат}}$  – суммарная атомарная масса окисляемой примеси (элемента) в формуле оксида.

Атомарные веса элементов в соответствии с таблицей Д.И. Менделеева составляют [5]: C = 12; O = 16; Si = 28; Mn = 55; P = 31; S = 32; Fe = 56.

Масса оксида каждого элемента определяется как сумма его удаляемой массы (таблица 8) и расхода кислорода на окисление указанного элемента.

Таблица 9 – Расход кислорода на окисление примесей

Реакция	Расход кислорода, кг	Масса оксида, кг
$C \rightarrow CO_2$	$0,2882 \cdot 32 : 12 = 0,761$	$0,2882 + 0,769 = 1,0572$
$C \rightarrow CO$	$2,5938 \cdot 16 : 12 = 3,4584$	$2,5938 + 3,4584 = 6,0522$
$Si \rightarrow SiO_2$	$0,568 \cdot 32 : 28 = 0,649$	$0,568 + 0,649 = 1,217$
$Mn \rightarrow MnO$	$0,498 \cdot 16 : 55 = 0,145$	$0,498 + 0,145 = 0,643$
$P \rightarrow P_2O_5$	$0,22 \cdot 80 : 62 = 0,284$	$0,22 + 0,284 = 0,504$
$S \rightarrow SO_2$	$0,00097 \cdot 32 : 32 = 0,00097$	$0,00097 + 0,00097 = 0,0019$
$Fe \rightarrow Fe_2O_3$	$1,500 \cdot 48 : 112 = 0,643$	$1,500 + 0,643 = 2,143$
Всего $\sum P_{O_2}$ :	5.949	11,618

Расход кислорода составит: 5.949.

Расход извести определяем по балансу CaO и SiO<sub>2</sub> в шлаке для получения основности 3,0. Расход плавикового шпата принимаем 0,3 %. Расход футеровки – 0,3 % от массы садки.

Расход извести обозначим через  $\gamma$ , кг.

Определяем количество CaO (в соответствии с таблицей 8) в конечном шлаке, кг, поступающего:

- из футеровки  $0,3 \% \cdot 2,0 = 0,006$
- из плавикового шпата  $0,3 \% \cdot 3,5 = 0,011$
- из извести  $86 \% \cdot \gamma$
- Всего:  $0,017 + 0,86 \cdot \gamma$

Определяем количество SiO<sub>2</sub> (в соответствии с таблицей 8) в конечном шлаке, кг, поступающего:

- из металлической шихты 0,217
- из футеровки  $0,3 \% \cdot 5,0 = 0,015$
- из плавикового шпата  $0,3 \% \cdot 3,0 = 0,009$
- из извести  $2 \% \cdot \gamma$
- Всего:  $1,247 + 0,02 \cdot \gamma$

Из формулы соотношения на основность шлака (4)

$$\frac{CaO}{SiO_2} = \frac{0,017 + 0,86 \cdot \gamma}{1,247 + 0,02 \cdot \gamma} = 3,0 \quad \text{выразим величину расхода извести } \gamma. \text{ При}$$

расчете расход извести составил  $\gamma = 4,633$  кг.

Определяем количество MgO (в соответствии с таблицей 8) в конечном шлаке, кг, поступающего:

- из футеровки  $0,3 \% \cdot 70,0 = 0,21$
- из извести  $2 \% \cdot 4,633 = 0,093$
- Всего: 0,303

Определяем количество Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (в соответствии с таблицей 8) в конечном шлаке, кг, поступающего:

- из футеровки  $0,3 \% \cdot 3,0 = 0,009$
- из плавикового шпата  $0,3 \% \cdot 1,0 = 0,003$

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

– из извести  $2 \% \cdot 4,633 = 0,093$

Всего: 0,105

Определяем количество  $Cr_2O_3$  (в соответствии с таблицей 8) в конечном шлаке, кг, поступающего:

– из футеровки  $0,3 \% \cdot 13,0 = 0,039$

Всего: 0,039

Определяем количество  $Fe_2O_3$  (в соответствии с таблицей 8) в конечном шлаке, кг, поступающего:

– из футеровки  $0,3 \% \cdot 8,0 = 0,024$

Всего: 0,024

В таблице 10- приведен предварительный состав шлака

Таблица 10 – Предварительный состав шлака

Источники	Масса, кг								
	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Металлошихта(из таблицы 6)	1,217	–	–	–	–	0,643	0,0087	0,504	–
Футеровка	0,015	0,006	0,21	0,009	0,039	–	–	–	0,024
Плакиковый шпат	0,009	0,010	–	0,003	–	–	–	–	–
Известь	0,093	3,984	0,093	0,093	–	–	–	–	–
ИТОГО:	1,334	4,0	0,303	0,105	0,039	0,643	0,0087	0,505	0,024
ВСЕГО	6,962								

Допускаем, что в шлаке содержание оксидов железа будет составлять:  
13 % FeO и 4 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

Масса оксидов шлага без FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составит  $100 - (13 + 4) = 83 \%$ ,  
 масса шлага без Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (в соответствии с таблицей 10) составит  
 $6,962 - 0,024 = 6,938$  кг.

$$\text{Отсюда масса шлага } 6,938 : 83 \times 100 = 8,359 \text{ кг} \quad (5)$$

Масса оксидов железа в шлаке составляет  $8,359 - 6,938 = 1,421$  кг, в том числе:

$$(13 \%) \text{ FeO} - 8,359 \cdot 13/100 = 1,0866 \text{ кг};$$

$$(4 \%) \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 8,359 \cdot 4/100 = 0,3343 \text{ кг}.$$

В табл. 11 представлен окончательный состав шлага.

Таблица 11-Окончательный состав шлага

	SiO <sub>2</sub>	CaO	Mg O	Al <sub>2</sub> O з	Cr <sub>2</sub> O з	Mn O	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O з	FeO	сумм а
к	1,33	4,0	0,30	0,10	0,03	0,64	0,008	0,50	0,33	1,08	8,359
г	4		3	5	9	3	7	5	4	7	
%	15,9 6	47,8 6	3,62	1,25	0,46 6	7,69 8	0,104	6,03 6	4,0	13,0	100

В процессе плавки происходит окисление железа:

$$- \text{до FeO} - O_{\text{Fe} \rightarrow \text{FeO}} = 1,087 \text{ кг}$$

$$- \text{до Fe}_2\text{O}_3 - O_{\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3} = 0,334 - 0,024 = 0,310 \text{ кг (таблица 10)}$$

Рассчитаем количество (массу) железа Ш<sub>Fe</sub>, которое переходит из металла в шлак:

$$\begin{aligned}
Ш_{Fe} &= M_{FeO} + M_{Fe_2O_3} = \\
&= O_{Fe \rightarrow FeO} \cdot \sum Fe_{am} : \sum (Fe - O)_{am} + O_{Fe \rightarrow Fe_2O_3} \cdot \sum Fe_{am} : \sum (Fe - O)_{am} = \\
&= 1,087 \cdot 56 : 72 + 0,310 \cdot 112 : 160 = 0,845 + 0,217 = 1,062
\end{aligned}
\tag{6}$$

где  $M_{FeO}$  и  $M_{Fe_2O_3}$  – количество (масса) железа, перешедшего в соответствующий оксид;

$O_{Fe \rightarrow FeO}$  и  $O_{Fe \rightarrow Fe_2O_3}$  – количество (масса) соответствующих оксидов в шлаке;

$\sum Fe_{am}$  – суммарная атомная масса железа в соответствующем оксиде;

$\sum (Fe - O)_{am}$  – суммарная атомная масса железа и кислорода в соответствующем оксиде.

Выход стали равен

$$\begin{aligned}
M_{ст} &= 100кг - \sum П_{эл\_ш} = 100кг - (Y_{пр\_ш} + M_{Fe\_кор} + M_{Fe\_выбр} + Ш_{Fe}) = \\
&= 100 - (5,6777 + 0,5 + 1,0 + 1,062) = 91,7603
\end{aligned}
\tag{7}$$

где  $\sum П_{эл\_ш}$  – суммарные потери элементов шихты в процессе плавки;

$Y_{пр\_ш} = 5,5967$ кг – угар примесей шихты (таблица 8);

$M_{Fe\_кор} = 0,5$  кг – количество железа, запутавшегося в шлаке в виде корольков (из условия);

$M_{Fe\_выбр} = 1,0$  кг – потери железа с выбросами (из условия);

$Ш_{Fe} = 1,062$  кг – угар железа на образование оксидов железа в шлаке.

Потребуется кислорода  $M_{O_2}$  на окисление железа

										Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата						

$$M_{O_2} = (O_{Fe \rightarrow FeO} - M_{FeO}) + (O_{Fe \rightarrow Fe_2O_3} - M_{Fe_2O_3}) =$$

$$= (1,087 - 0,845) + (0,310 - 0,217) = 0,334 \text{ кг} \quad (8)$$

Всего потребуется кислорода на окисление примесей (таблица 6)

$$\sum P_{O_2} + M_{O_2} = 5,949 + 0,334 = 6,283 \text{ кг} \quad (9)$$

Потребуется технического кислорода при 95 % усвоении

$$P_{O_2} = \frac{6,283 \cdot 22,4}{0,995 \cdot 0,95 \cdot 32} = 4,6528 \text{ м}^3 \quad (10)$$

где 0,995 – это 99,5 % чистого кислорода содержит технический кислород;

32 – суммарная атомарная масса молекулы кислорода  $O_2$ ,

22,4 (л) – коэффициент для перевода массы в объем.

На 1 тонну садки расход технического кислорода составит 4,6528 м<sup>3</sup>/т.

Количество азота (в составе технического кислорода 0,5 %)

$$M_{N_2} = 4,6528 \cdot 0,005 = 0,0233 \text{ м}^3 \text{ или } 0,02936 \text{ кг} \quad (11)$$

Количество не усвоенного кислорода

$$M_{неусвO_2} = (4,6528 - 0,0233) \cdot 0,05 = 0,2315 \text{ м}^3 \text{ или } 0,331 \text{ кг} \quad (12)$$

Масса технического кислорода равна

$$M_{технO_2} = \sum P_{O_2} + M_{O_2} + M_{N_2} + M_{неусвO_2} = 6,283 + 0,02936 + 0,331 = 6,6434$$

(13)

Количество и состав образующихся газов представлен в таблице 9-12.

										Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата						

Таблица 12 – Состав и количество газов

Составляющие	Содержание		
	кг	м <sup>3</sup>	%
CO <sub>2</sub> *	$\frac{6 \cdot 4,633}{100} + \frac{6 \cdot 0,3}{100} + 1,027 = 1,305$	$\frac{1,305 \cdot 22,4}{44^{***}} = 0,664$	17,093
CO	5,882	$\frac{5,882 \cdot 22,4}{28^{***}} = 4,706$	77,044
H <sub>2</sub> O**	$\frac{2 \cdot 4,633}{100} = 0,093$	$\frac{0,093 \cdot 22,4}{18^{***}} = 0,115$	1,214
O <sub>2</sub>	0,331	$\frac{0,331 \cdot 22,4}{32^{***}} = 0,2317$	4,25
N <sub>2</sub>	0,029	$\frac{0,029 \cdot 22,4}{28^{***}} = 0,0232$	0,374
SO <sub>2</sub>	0,002	$\frac{0,002 \cdot 22,4}{64^{***}} = 0,00136$	0,025
ИТОГО	7,642	5,7412	100,0

\* – сумма CO<sub>2</sub>, поступившего из извести, плавикового шпата, от горения углерода

\*\* – влага, поступившая из извести (таблица 8)

\*\*\* – суммарный атомарный вес соответствующего газа

На основании полученных в расчетах данных составляем материальный баланс плавки до раскисления (таблица 11-13).

Таблица 13 – Материальный баланс плавки до раскисления

Поступило, кг		Получено, кг	
Чугуна	78	Стали (7)	91.7603
Скрапа	22	Шлака (5)	8,359
Плавикового шпата	0,3	Корольков	0,5
Извести	4,633	Выбросов	1,0
Футеровки	0,3	Газов (табл. 9)	7,642
Технического кислорода (13)	6,6434	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в дым (табл.6)	2,143
Итого:	111,876	Итого:	111.4043
		Невязка	0.4717

Относительная невязка определяется как

$$\frac{(111,876 - 111,4043)}{111,876} \cdot 100\% = 0,42\% \quad (14)$$

Относительная невязка допускается не более 0,5 %.

#### 4.2 Расчет количества раскислителей

Исходя из экономических соображений, наиболее часто в качестве раскислителей используют марганец, кремний и алюминий. Марганец и кремний используют в виде сплавов с железом (ферросплавов – ферромарганца и ферросилиция), а алюминий – в чистом виде.

Перед раскислением в металле содержится (с учетом выхода стали – 0,9), кг:

– углерода –  $0,14 \times 0,9 = 0,126$  (в соответствии с нижнем значением содержания элемента в таблице 3);

– марганца –  $0,3 \times 0,25 \times 0,9 = 0,0675$  (по условиям 25 % от исходной концентрации в чугуне;

– серы –  $0,025 \times 0,9 = 0,0225$  (по условиям исходная концентрация серы – 0,025 %);

– фосфора –  $0,025 \times 0,9 = 0,0225$  (по условиям исходная концентрация фосфора – 0,025 %).

Концентрация растворенного в металле кислорода к концу продувки зависит от факторов: от содержания углерода в металле, оксидов железа в шлаке и от температуры металла.

Концентрацию кислорода в металле под шлаком с содержанием 16–20 % ( $FeO + Fe_2O_3$ ) с основностью 2,5–3,5 при температуре ванны 1600–1630°C находим по формуле Г.Н. Ойкса

$$[\%O] \cdot [\%C] = 0,0035 + 0,006 \cdot [\%C] \quad (15)$$

откуда

$$[\%O] = \frac{0,0035 + 0,006 \cdot [\%C]}{[\%C]} = \frac{0,0035 + 0,006 \cdot 0,126}{0,126} = 0,0338 \% \quad (16)$$

или  $0,0338 \cdot \frac{91,7603}{100} = 0,031$  кг, где 91.7603 кг – выход стали перед раскислением (7).

Раскисление стали производим присадками ферромарганца в ковш.

Коэффициент усвоения [5] марганца при раскислении принимаем 75 %, коэффициент усвоения углерода ферромарганца – 70 %, коэффициент усвоения кремния из ферромарганца – 0 %.

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

#### 4.4 Раскисление ферромарганцем

Расход ферромарганца среднеуглеродистого ФМн 90 [6] определяем по формуле

$$P_{FeMn} = \frac{a_{FeMn}}{b_{FeMn} \cdot c_{FeMn}} = \frac{1,3825}{0,85 \cdot 0,75} = 0,6, \text{ кг} \quad (17)$$

где  $a_{FeMn}$  – требующееся для ввода в металл количество марганца, равное среднему значению в заданной марке стали, минус остаточное содержание марганца в металле перед раскислением (в данном случае  $0,45 - 0,0675 = 1,3825$ );

$b_{FeMn}$  – содержание марганца в 1 кг ферромарганца, кг;

$c_{FeMn}$  – коэффициент усвоения марганца в металле = 0,75.

В рассчитанном количестве ферромарганца в соответствии с [7] – ГОСТ 4755-91 – содержится, кг:

– углерода $C$ (0,5 %)	$0,6 \cdot 0,005 = 0,003$
– марганца $Mn$ (85 %)	$0,6 \cdot 0,85 = 0,51$
– кремния $Si$ (1,8 %)	$0,6 \cdot 0,018 = 0,0108$
– фосфора $P$ (0,3 %)	$0,6 \cdot 0,003 = 0,0018$
– серы $S$ (0,02 %)	$0,6 \cdot 0,0002 = 0,00012$
– железа $Fe$ (12,38 %)	$0,6 \cdot 0,1238 = 0,07428$
Всего:	0,6

Выгорает при раскислении ферромарганцем, кг:

– углерода  $C$   $0,003 \cdot 0,30 = 0,0009$

– марганца *Mn*  $0,51 \cdot 0,25 = 0,1275$

– кремния *Si*  $= 0,0108$

Всего:  $0,0117$

Переходит в сталь при раскислении ферромарганцем с учетом выгорания, кг:

– углерода *C*  $0,003 - 0,0009 = 0,0021$

– марганца *Mn*  $0,51 - 0,1275 = 0,3825$

– фосфора *P*  $= 0,0018$

– серы *S*  $= 0,00012$

– железа *Fe*  $= 0,07428$

Всего:  $0,4608$

Требуется кислорода на окисление примесей (которые выгорают), кг:

Реакция	Расход кислорода, кг
$C \rightarrow CO$	$0,0009 \cdot 16^* : 12^{**} = 0,0012$
$Mn \rightarrow MnO$	$0,1275 \cdot 16^* : 55^{**} = 0,0375$
$Si \rightarrow SiO_2$	$0,0108 \cdot 32^* : 28^{**} = 0,1234$
Всего:	$0,1617$

\* – суммарный атомный вес кислорода в оксиде

\*\* – атомный вес окисляемого элемента (*C, Si, Mn*)

Поступит кислорода из атмосферы на окисление примесей при плавке за вычетом кислорода, растворенного в стали:

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

$$0,1617 - 0,0162 = 0,1455 \text{ кг} \quad (18)$$

Выход стали после раскисления ферромарганцем с учетом (7) составит:

$$91,7603 + 0,4608 - 0,0162 = 92,2049 \text{ кг}$$

Получится оксидов (сумма выгоревших элементов при раскислении ферромарганцем), кг:

$$- CO \quad 0,0009 + 0,0012 = 0,0021$$

$$- MnO \quad 0,1275 + 0,0371 = 0,1646$$

$$- SiO_2 \quad 0,0108 + 0,1234 = 0,1342$$

$$\text{Всего:} \quad 0,3$$

Выход шлака с учетом (5) и образованием оксидов  $MnO$  и  $SiO_2$  при раскислении ферромарганцем

$$8,359 + 0,1646 + 0,1342 = 8,6578 \text{ кг} \quad (19)$$

На основании полученных расчетных данных составляем материальный баланс плавки после раскисления ферромарганцем (таблица 11).

Количество стали перед раскислением с учетом растворенного кислорода:

$$91,7603 - 0,0162 = 91,7441 \text{ кг} \quad (20)$$

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

Таблица 14 – Материальный баланс плавки после раскисления ферромарганцем

Поступило, кг		Получено, кг	
Стали до раскисления	91,7603	Стали	92,2049
Шлака до раскисления	8,359	Шлака	8,6578
Ферромарганца (17)	0,6	СО	0,0021
Кислорода из атмосферы (18)	0,1455	Итого:	100,8648
Итого:	100,8648	Невязка	0

Относительная невязка составляет  $\frac{(100,8648 - 100,8648)}{100,8648} \cdot 100\% = 0\%$  (21)

В таблице 15 приведен состав стали после раскисления ферромарганцем.

Таблица 15 – Состав стали после раскисления ферромарганце

	C	Mn	P	S	Fe	сумма
В стали перед раскислением FeMn*	0,126	0,0675	0,0225	0,0225	91,7603**	91,9988
Ферромарганец FeMnвносит***	0,0021	0,3825	0,0018	0,00012	0,07738	0,4608
Всего, кг	0,1281	0,45	0,0243	0,0226	91,8346	92,4596
%	0,14	0,487	0,026	0,024	99,324	100,00

\* – выход стали 0,9 (90 %) от расчетного значения таблицы 4, учитывая (7)

\*\*\* – выход стали (7) за вычетом остальных элементов

\*\*\* – это переходит в сталь при раскислении с учетом выгорания

Полученная сталь соответствует ГОСТ 380-94 [4]

#### 4.6 Расчет теплового баланса плавки

##### Приход тепла

Физическое тепло чугуна  $Q_{пл}$

$$Q_{пл} = [0,178 \cdot 1200 + 52 + 0,2 \cdot (1320 - 1200)] \cdot 78 \cdot 0,00419 = 94,6471 \text{ МДж} \quad (22)$$

где 0,178 – средняя теплоемкость чугуна до температуры плавления  
ккал/кг·град;

1200 – температура плавления чугуна, °С;

52 – скрытая теплота плавления чугуна, ккал/кг;

1320 – температура заливаемого в конвертер чугуна, °С;

0,2 – теплоемкость жидкого чугуна, ккал/кг·град;

0,00419 – коэффициент перевода ккал в МДж;

78 – доля чугуна в металлошихте, %.

Тепло экзотермических реакций  $Q_{п2}$ , МДж (при использовании данных таблицы 5) будет составлять [9]:

Реакция	МДж
$C \rightarrow CO_2$	$34,1 \cdot 0,2882 = 9,8276$
$C \rightarrow CO$	$10,47 \cdot 2,5938 = 27,1571$
$Si \rightarrow SiO_2$	$31,1 \cdot 0,568 = 17,6648$
$Mn \rightarrow MnO$	$7,37 \cdot 0,498 = 3,6703$
$P \rightarrow P_2O_5$	$25 \cdot 0,22 = 5,5$
$S \rightarrow SO_2$	$9,28 \cdot 0,00097 = 0,009$
$Fe \rightarrow Fe_2O_3$	$7,37 \cdot 0,31 = 2,2847$
$Fe \rightarrow FeO$	$4,82 \cdot 1,087 = 5,2393$
$Fe \rightarrow Fe_2O_3$ (дым)	$7,37 \cdot 1,500 = 11,055$
Всего $Q_{п2}$ :	82,4047

Тепло шлакообразования  $Q_{п3}$ , МДж, можно определить по формуле:

$$Q_{ПЗ} = Q_{окс} \cdot M_{э\_выгор} \cdot \sum \varepsilon_{ат} \cdot \sum \varepsilon_{ат\_выгор} \quad (23)$$

где  $Q_{окс}$  – тепловой эффект реакций окисления, МДж/кг;

$M_{э\_выгор}$  – количество (масса) элемента, удаляемого (выгораемого) в процессе продувки кислородом, кг

$\sum \varepsilon_{ат}$  – суммарная атомарная масса всех элементов оксида;

$\sum \varepsilon_{ат\_выгор}$  – суммарная атомарная масса элемента в его оксиде.

Оксид	МДж
$SiO_2$	$2,32 \cdot 0,568 \cdot 60 : 28 = 2,8238$
$P_2O_5$	$4,74 \cdot 0,22 \cdot 142 : 62 = 2,3883$
Всего $Q_{п3}$ :	5,2121

Суммарный приход тепла составит

$$Q_{пр} = Q_{п1} + Q_{п2} + Q_{п3} = 94,6471 + 82,4047 + 5,2121 = 182,2639 \text{ МДж} \quad (24)$$

### Расход тепла

Физическое тепло стали:

$$Q_1 = [0,167 \cdot 1500 + 65 + 0,2 \cdot (1620 - 1500)] \cdot (91,7603 + 0,5 + 1,0) \cdot 0,00419 = 132,6632 \quad (25)$$

где 0,167 – средняя теплоемкость стали до температуры плавления, ккал/кг·град;

1500 – температура плавления стали, °С;

65 – скрытая теплота плавления стали, ккал/кг;

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

0,2 – теплоемкость жидкой стали, ккал/кг·град;  
 1620 – температура выпуска стали, °С;  
 91,7603 – выход стали до раскисления (7), кг;  
 0,5 и 1,0 – потери металла с корольками и выбросами соответственно,  
 кг;  
 0,00419 – коэффициент перевода ккал в МДж.

1.4.2.2. Физическое тепло шлака:

$$Q_2 = (0,298 \cdot 1620 + 50) \cdot 8,359 \cdot 0,00419 = 18,659 \text{ МДж} \quad (26)$$

где 0,298 – средняя теплоемкость шлака, ккал/кг·град;

1620 – температура шлака, °С;

65 – скрытая теплота плавления, ккал/кг;

8,359 – выход шлака до раскисления (5), кг.

Потери тепла через футеровку и горловину принимаем равными  
 5 % от прихода

$$Q_3 = 182,2639 \cdot 0,05 = 9,1132 \text{ МДж} \quad (27)$$

Частицы  $Fe_2O_3$  выносят тепла

$$Q_4 = (0,294 \cdot 1450 + 50) \cdot 2,143 \cdot 0,00419 = 4,274 \text{ МДж} \quad (28)$$

где 0,294 – теплоемкость пыли, ккал/кг · град;

1450 – температура частиц пыли, °С;

2,143 – количество частиц пыли,  $Fe_2O_3$ (дым), кг (таблица 6).

Газы уносят тепла (МДж) при средней  $t = 1450^\circ\text{C}$

Газ	МДж
$CO_2$	$3,411 \cdot 0,6644 = 2,2663$
$CO$	$2,12 \cdot 4,706 = 9,9767$
$H_2O$	$2,648 \cdot 0,1153 = 0,3053$
$O_2$	$2,212 \cdot 0,2315 = 0,5121$
$N_2$	$2,091 \cdot 0,0223 = 0,0487$
$SO_2$	$3,411 \cdot 0,0013 = 0,0044$
Всего:	$Q_5 = 13,1135$

Суммарный расход тепла составит

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 =$$

$$= 132,6632 + 18,659 + 9,1132 + 4,274 + 13,1135 = 177,8229 \quad (29)$$

$$\text{Избыток тепла } 182,2639 - 177,8229 = 4,441 \text{ МДж} \quad (30)$$

По полученным данным составляем тепловой баланс плавки (таблица 13).

Таблица 16 – Тепловой баланс плавки

Приход тепла		
	МДж	%
1. Физическое тепло чугуна	94,6471	51,93
2. Тепло экзотермических реакций	82,4047	45,21
3. Тепло шлакообразования	5,2121	2,86
Итого	182,2639	100



## 5. Методы контроля стали

Методы отбора проб для определения химического состава стали - по ГОСТ 7565. Химический анализ стали - по ГОСТ 12359, ГОСТ 17745, ГОСТ 18895, ГОСТ 22536.0 - ГОСТ 22536.11, ГОСТ 27809, ГОСТ 28033 или другими методами, утвержденными в установленном порядке и обеспечивающими необходимую точность.

При возникновении разногласий между изготовителем и потребителем оценку проводят методами контроля, предусмотренными настоящим стандартом. Определение массовой доли хрома, никеля, меди, мышьяка, азота, а в кипящей стали также кремния допускается не проводить при условии гарантии обеспечения норм изготовителем.

### 5.1 Контроль химического состава

Определение химического состава наплавленного металла (металла шва) проводится в целях подтверждения соответствия химического состава требованиям нормативно-технической документации. Определение проводится для каждой партии материалов на контрольных наплавках методами химического, спектрального оптического или рентгенофлуоресцентного анализа по аттестованным в установленном порядке методикам. Выбор метода и методики анализа устанавливается ПКД завода-изготовителя.

Портативные анализаторы металлов.

Рентгено-флуоресцентный анализ - это один из лучших аналитических методов для элементного анализа самых различных проб - твердых веществ, жидкостей и порошков. Рентгено-флуоресцентный анализ сочетает высокую точность и воспроизводимость с простой и быстрой пробоподготовкой.

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		



Рисунок 9 - Портативный рентгенофлуоресцентный анализатор металлов и сплавов

Стационарные оптико-эмиссионные приборы фирмы «Bruker Quantron» (Германия) являются на данный момент лидерами в области химического анализа металлов и сплавов.

Оптико-эмиссионный спектрометр для лаборатории и цеха. Анализатор предоставляет широкие возможности для различного круга задач и является идеальной системой для сертифицированного анализа продукции в машиностроении, контроля выплавки металлов на металлургическом производстве. Сочетает в себе простоту, надежность и точность. Удовлетворяет все требованиям, которые могут быть частью современной системы для обеспечения контроля качества.



Рисунок 10 - Современный оптико-эмиссионный спектрометр для элементного анализа металлов и сплавов

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

Спектральный анализ - совокупность методов качественного и количественного определения состава объекта, основанная на изучении спектров взаимодействия материи с излучением, включая спектры электромагнитного излучения, акустических волн, распределения по массам и энергиям элементарных частиц и др.

В зависимости от целей анализа и типов спектров выделяют несколько методов спектрального анализа. Атомный и молекулярный спектральные анализы позволяют определять элементарный и молекулярный состав вещества, соответственно. В эмиссионном и абсорбционном методах состав определяется по спектрам испускания и поглощения.

Масс-спектрометрический анализ осуществляется по спектрам масс атомарных или молекулярных ионов и позволяет определять изотопный состав объекта.

Среди различных аналитических (химических, физико-химических и др.) методов изучения химического состава вещества оптический спектральный анализ является одним из самых быстро развивающихся и применяющихся на практике методов анализа.

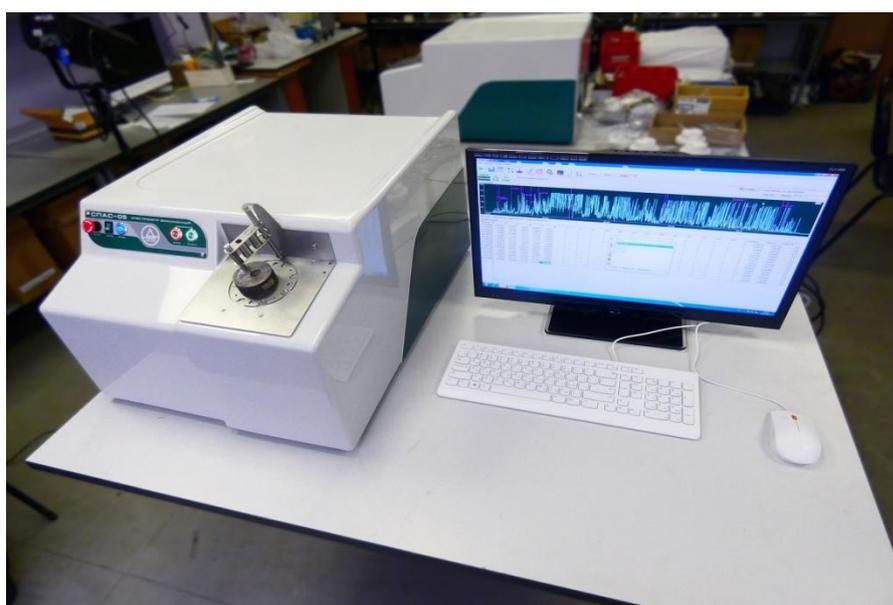


Рисунок 11 - спектрометрический анализ

								Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019-ПЗ			

## 5.2 Контроль микроструктуры

Контроль микроструктуры на наличие дефектов проводится в целях выявления возможных внутренних дефектов (трещин, пор, шлаковых и неметаллических включений и т.п.), а также участков со структурой металла, отрицательно влияющей на свойства. Требования к отбору и изготовлению образцов, а также проведению контроля микроструктуры в соответствии с ЕН 1321.

а) Марка стали: СтЗкп

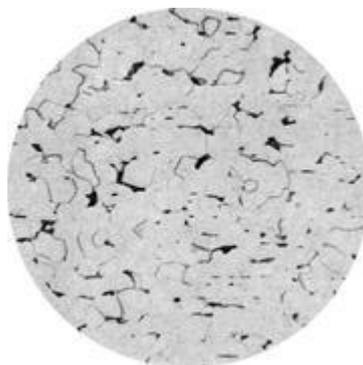
Структурные составляющие: перлит, феррит

Пластина из кипящей стали толщиной 25 мм после прокатки.

Твердость 137 НV.

Наружный слой состоит в основном из феррита и перлитных областей, удаленных друг от друга на большие расстояния.

Встречаются короткие и длинные неметаллические включения



Увеличение: x100

Рисунок 12 – Структура стали СтЗкп

б) Марка стали: СтЗсп

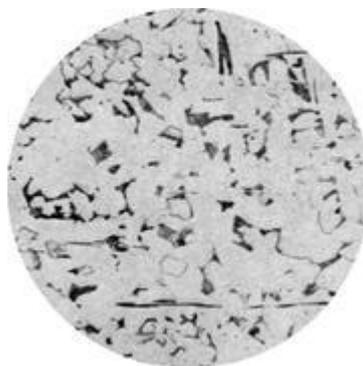
Структурные составляющие: перлит, феррит

Пластина из спокойной стали толщиной 20 мм после прокатки.

Твердость 120 НV.

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

Распределение феррита и перлита по всему сечению равномерное.  
Имеются как округлые, так и удлиненные неметаллические включения.



Увеличение: x100

Рисунок 13 – Структура стали СтЗкп

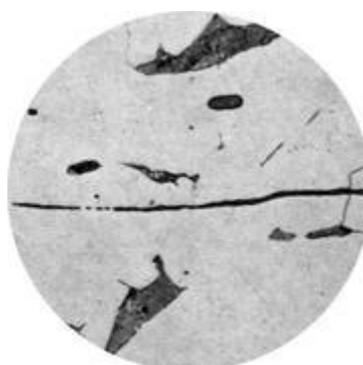
в) Марка стали: СтЗсп

Структурные составляющие: перлит, феррит

Пластина из спокойной стали толщиной 20 мм после прокатки.

Твердость 120 НV.

Видны удлиненные темно-серые неметаллические включения, в некоторых местах небольшие темные округлые включения и овальные включения сульфида марганца (светло-серые). Феррит и перлит.



Увеличение: x500

Рисунок 14 – Структура стали СтЗкп

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

## 6. Методы закупоривания стали СтЗкп

Закупоривание - технологический прием для искусственного прерывания кипения стали, в изложнице с целью уменьшения химической неоднородности слитка из кипящей стали.

С увеличением продолжительности кипения усиливается химическая неоднородность слитков кипящей стали, которая отрицательно влияет на свойства металла и готовых изделий. Связанное с этим увеличение головной обреза снижает экономическую эффективность производства кипящей стали.

Для ограничения кипения стали в изложнице применяют:

- а) механическое закупоривание, выполняемое с помощью чугунных крышек или за счет использования бутылочных изложниц;
- б) химическое закупоривание, выполняемое присадками раскислителей в отлитый слиток.

У слитков с химическим закупориванием насыщение примесями сердцевины слитка достигает горизонтов 25—35 % и составляет значительно меньшую долю, чем при механическом закупоривании.

Во всех случаях при механическом закупоривании до глубины 10—15 % от головной части ликвационная зона выражается более резко, чем при химическом закупоривании. Это объясняется большей продолжительностью кипения металла, необходимой для образования твердого ранта достаточной толщины, способного удержать тяжелую крышку. В слитках, отлитых в бутылочную изложницу, характер распределения химической неоднородности не изменяется. Зато механические свойства по длине раската приближаются к свойствам слитков с химическим закупориванием. Возможен и на некоторых заводах реализуется комбинированный способ разливки стали, когда на зеркало слитка вводят небольшое количество раскислителя, а затем укладывают чугунные крышки. Степень ликвации при

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

химическом закупоривании, как правило, снижается, в то же время она не настолько мала, чтобы ею можно было пренебречь. В процессе разливки расход раскислителя корректируется по поведению металла на первых контрольных слитках.

Для химического закупоривания в настоящее время применяют самые разнообразные раскислители. Некоторые преимущества по сравнению с жидким имеет гранулированный алюминий. В этой форме он менее активный и сгорает с меньшим пироэффектом.

Закупоренная сталь — разновидность кипящей стали, кристаллизация которой после разливки по изложницам идёт в условиях так называемого закупоривания. Процедура закупоривания может быть как химической, путём введения в головную часть слитка специальных раскислителей, так и механической, посредством закрывания поверхности расплава металлической крышкой. Закупоривание прерывает кипение стали и способствует повышению общей однородности слитка.

### 6.1. Классификация методов закупоривания

Таблица 17 -Методы закупоривания

механическое закупоривание	с помощью чугунных крышек или за счет использования бутылочных изложниц
химическое закупоривание	присадками раскислителей в отлитый слиток.

### 6.2. Механическое закупоривание стали СтЗкп

Механически закупоренный слиток кипящей стали, так же как и слиток спокойной стали, имеет снаружи корку из мелких равноосных кристаллов, далее зону столбчатых кристаллов и в середине крупные неориентированные

кристаллы. Наряду с этим слиток характеризуется расположением газовых пузырей (пузырей СО) в определенном порядке.

Наружная мелкокристаллическая корка толщиной в разных слитках от 2—8 до 25—40 мм получается плотной потому, что при ее затвердевании создаются благоприятные условия для всплывания пузырей СО из металла.

В этот момент высота вышележащего слоя поднимающегося в изложнице металла и создаваемое им ферростатическое давление малы, поэтому при достаточной окисленности стали легко и в большом количестве образуются пузыри СО.

Всплывание даже части из них создает поток, увлекающий пузыри, которые застревают между осями растущих кристаллов; отрыву и всплыванию пузырей способствует то, что благодаря малым размерам кристаллов поверхность фронта кристаллизации является сравнительно гладкой. Таким образом, формируется слой металла, не содержащий пузырей.

Затем вместе с ростом столбчатых кристаллов образуется зона вытянутых сотовых пузырей. Начало их формирования (более раннее или позднее) зависит от интенсивности кипения и определяющих ее факторов — окисленности жидкой стали и скорости разливки.

Чем меньше в металле растворенного кислорода и чем быстрее из-за высокой скорости разливки нарастает ферростатическое давление вышележащих слоев металла, тем хуже условия зарождения пузырей СО и тем меньше их образуется.

При значительном уменьшении числа выделяющихся пузырей (уменьшении интенсивности кипения) не будет мощного потока всплывания СО, увлекающего все пузыри, и часть их будет оставаться в месте зарождения между кристаллами, причем тем раньше, чем меньше

									Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019-ПЗ				

интенсивность кипения слитка кипящей стали; беспузыристая корка при этом будет все тоньше.

Каждый из оставшихся пузырей по мере дальнейшего выделения СО увеличивается лишь в продольном направлении, поскольку росту в поперечном направлении препятствуют начинающие расти столбчатые кристаллы — идет быстрый рост (врастание в жидкий металл) их главных, параллельно расположенных осей.

Поэтому пузыри приобретают вытянутую форму, их длина достигает 70-100 мм. Прекращение роста сотовых пузырей и образование зоны 3 плотного металла слитка кипящей стали объясняют следующим образом.

После формирования зоны сотовых пузырей, теплопроводность которой из-за большого количества газовых полостей очень мала, скорость теплоотвода сильно снижается и поэтому прекращается быстрый, опережающий рост главных осей столбчатых кристаллов, и фронт кристаллизации выравнивается. Поэтому образующиеся газы вымываются с более ровного фронта кристаллизации и формируется плотная промежуточная зона слитка кипящей стали, состоящая из неориентированных кристаллов небольших размеров.

Появление цепочки вторичных округлых пузырей связано с накрыванием слитка крышкой. После опускания в изложницу крышки (замораживания его верха) кипение прекращается, поскольку пузырьки СО не могут образовываться, так как при выделении им приходилось бы преодолевать громадное давление внутри закупоренного слитка кипящей стали.

### 6.3. Химическое закупоривание стали СтЗкп

Химически закупоренный слиток металла (рис. 1, б) имеет в нижней части зону коротких сотовых пузырей и в верхней - скопление усадочных

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

пустот и пузырей, над которыми, как правило, расположен мост плотного металла. До начала закупоривания и во время разливки сталь в изложнице кипит, формируется наружная беспузыристая корка и начинается рост сотовых пузырей так же, как в слитке при механическом закупоривании. Толщина здоровой корки такая же, как в механически закупоренном слитке и определяется уровнем окисленности стали и скоростью подъема металла в изложнице.

Сразу же или через 1-1,5 мин после окончания наполнения изложницы проводят закупоривание слитка кипящей стали алюминием (иногда ферросилицием). Вводимый алюминий связывает растворенный в стали кислород, поэтому прекращается кипение и рост сотовых пузырей. Сотовые пузыри в слитке получаются недоразвитыми (см. рис.1, б), их длина тем меньше, чем раньше был введен алюминий.

Расход алюминия на закупоривание выбирают таким, чтобы при дальнейшем затвердевании наблюдалось незначительное газовыделение, которое должно компенсировать усадку стали и предотвращать образование концентрированной усадочной раковины. Пузыри СО образуются в верхней части слитка, поскольку здесь вследствие ликвации повышается концентрация кислорода и углерода. Глубина сужающейся книзу зоны скопления пузырей и усадочных пустот (см. рис.1, б) может достигать 30—45 % высоты слитка кипящей стали.

При оптимальной раскисленности (оптимальном расходе алюминия на закупоривание) над областью усадочной рыхлости образуется "мост" плотного металла толщиной около 10 % высоты слитка. Он изолирует пустоты от атмосферы, благодаря чему последние завариваются при прокатке. Головная обрезь слитка при этом составляет 3,5—6 %.

Показателем оптимальной степени раскисленности является образование выпуклой гладкой поверхности слитка кипящей стали.

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

При недостаточной раскисленности металла наблюдаются прорывы поверхности слитка пузырями СО. Сплошность верхнего "моста" плотного металла нарушается и возрастает величина головной обрезки, так как часть полостей в головной части слитка не заваривается при прокатке из-за окисления их внутренней поверхности.

Если металл перераскислен, то образуется недостаточно изолированная сверху глубокая усадочная раковина со скоплением ликватов и неметаллических включений. Головная обрезка при этом сильно возрастает, так как в прокате образуются несплошности в местах скопления ликватов и включений, а также в результате окисления внутренней поверхности раковины.

Толщина здоровой корки — важный критерий качества слитков кипящей стали. Эта толщина может достигать 40 мм и не должна быть менее 8 мм. Более тонкой корка может окисляться при нагреве слитков перед прокаткой. Сотовые пузыри при этом обнажаются, их поверхность окисляется и поэтому они не завариваются при прокатке. В результате на поверхности проката образуются рванины.

Здоровая корка формируется во время наполнения изложницы металлом, и ее толщина определяется интенсивностью кипения стали в этот период. Как было показано ранее, интенсивность кипения и толщина здоровой корки будут тем больше, чем выше окисленность жидкой стали и чем ниже скорость наполнения изложницы металлом. Толщина здоровой корки зависит и от состава стали. Поскольку, как известно, углерод и марганец снижают количество растворенного в стали кислорода (ее окисленность), получение достаточно толстой здоровой корки в сталях с повышенным содержанием этих элементов затруднено. Поэтому кипящие стали обычно содержат не более 0,27% С и 0,60% Мп.

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

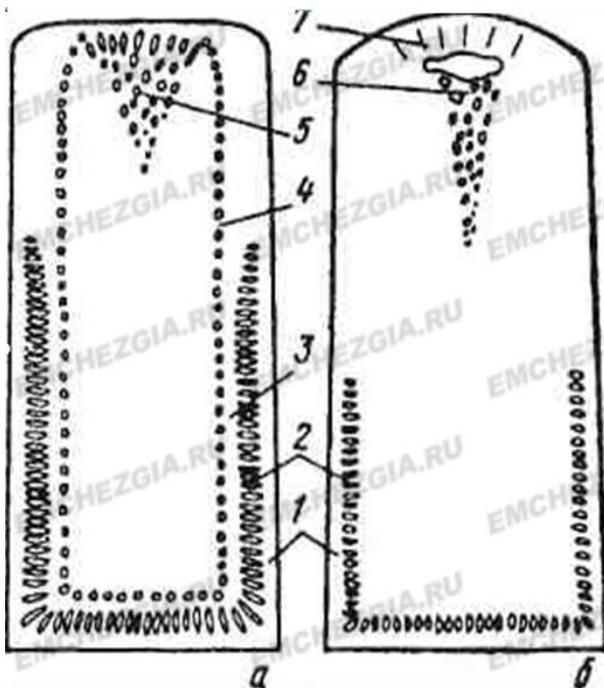


Рисунок 15-Строение, слитка кипящей стали

а — механически задутого; б — химически задутого слитка кипящей стали; 1 — плотная наружная корочка; 2 — зона сотовых пузырей; 3 — промежуточная плотная зона; 4 — зона вторичных пузырей; 5 — скопление пузырей CO; 6 — скопление пузырей и усадочных пустот; 7 — мост плотного металла

пустот; 7 — мост плотного металл

#### 6.4.Выбор метода разливки металла

Рекомендуется применять разливку сверху, так как при сифонной разливке происходит неравномерное распределение раскислителя и, как следствие, происходит перераскисление металла и образование концентрированной усадочной раковины, и увеличение обрези. Химическое задувание проводят через 3 минуты после заполнения изложницы.



Рисунок 16- разливка горячей стали СтЗкп

									Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019-ПЗ				

## 6.5.Выбор раскислителя

Самый распространенный раскислитель – алюминий. Имеет смысл применять алюминий в виде гранул, так как в этой форме он более активен и имеет меньший пьезоэффект. Жидкий алюминий заливают в изложницу на поверхность металла, свободную от шлака, в один прием. При закупоривании слитков массой до 9 т допускается присадка жидкого алюминия без перемешивания с верхними слоями металла, а массой 10 т и выше — с обязательным перемешиванием. При использовании алюминиевой дроби и ферроалюминия перемешивание является обязательным.

Расход алюминия существенно колеблется в зависимости от содержания углерода в стали. Для стали марок СтЗкп 200—300 г/т.

## 6.6.Поведение стали после закупоривания

Стали различных марок по-разному ведут себя после закупоривания. Выпуклая форма наиболее присуща всем сталям с пониженным содержанием углерода, в то время как у стали марки СтЗкп выпуклость менее выражена.

При химическом закупоривании насыщение примесями сердцевины слитка достигает горизонтов 25-35%, это значительно ниже, чем при механическом.

## 6.7.Выбор изложницы

Одним из резервов экономии металла при прокатке является рациональная форма слитка. На обычных слитках головная обрезь зависит от величины утяжки и от внутренних дефектов. Количество последних может быть сведено к минимуму за счет сокращения расхода раскислителя при дополнительном замораживающем воздействии самой изложницы. Поэтому для производства слитков кипящей стали нашли применение новые изложницы с полузакрытым верхом. В отличие от бутылочных изложниц горловину таких изложниц делают шире и несколько большей толщины, что

									Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019-ПЗ				

более удобно при эксплуатации.



Рисунок 17-изложница (1)



Рисунок 18-изложница (2)

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

## Заключение

При выполнении выпускной квалификационной работы был разработан технологически процесс выплавки стали СтЗкп для этого были решены следующие задачи:

- Разработка технологии выплавки стали СтЗкп
- проанализированы свойства стали СтЗкп
- разработана технология изготовления стали СтЗкп
- произведен расчет шихты для выплавки стали в конвертере, теплового и материального баланса плавки
- подобраны методы контроля
- рассмотрены методы закупоривания, выбран лучший метод

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

## Список литературы

1. Студенческая библиотека онлайн:

[[http://studbooks.net/608811/tovarovedenie/tehnologiya\\_vyplavki\\_stali](http://studbooks.net/608811/tovarovedenie/tehnologiya_vyplavki_stali)]

2. [http://vse-postroim-sami.ru/materials/metal/10331\\_konstrukcionnaya-stal-st3kp/](http://vse-postroim-sami.ru/materials/metal/10331_konstrukcionnaya-stal-st3kp/)

3. Адно Ю.Л. Черная металлургия России. Проблемы структурного обновления // Черные металлы.

4. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Наукова Думка, 1975.

5. <http://материаловед.рф/учебники/osnovy-metallurgicheskogo-proizvodstva/5-proizvodstvo-stali/5-2-sposoby-vyplavki-stali>

6. [https://studopedia.ru/8\\_127129\\_proizvodstvo-stali-v-konverterah.html](https://studopedia.ru/8_127129_proizvodstvo-stali-v-konverterah.html)

7. <https://studfiles.net/preview/5775313/>

8. <https://studfiles.net/preview/1675612/page:4/>

9. Виноградова, Н.А. Научно-исследовательская работа студента: Технология написания и оформления доклада, реферата, курсовой и выпускной квалификационной работы: учеб. пособие для студ. учреждений СПО / Н.А. Виноградова, Н.В. Микляева. - 10-е изд., перераб. и доп. - М. : Академия, 2013. - 128 с.

10. Болдин А. П. Основы научных исследований [Текст]: учебник для студентов учреждений высшего образования / А.П. Болдин, В.А. Максимов. - М.: ИЦ Академия, 2014. - 352 с.: ил. - (Бакалавриат)

11. Папковская, П.Я. Методология научных исследований: курс лекций / П.Я. Папковская. - 2-е изд., изм. - М. :Информпресс, 2006. - 184 с

12. <https://gazovik->

[teplo.ru/cat/articles2/gost\\_r\\_55171\\_2012/8\\_vybor\\_metoda\\_kontrolya/](http://teplo.ru/cat/articles2/gost_r_55171_2012/8_vybor_metoda_kontrolya/)

13. <http://docs.cntd.ru/document/1200003947>

										Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата						

14.

[https://sinref.ru/000\\_uchebniki/03400metalurg/032\\_spr\\_razlivka\\_ch%60rnih\\_meta lov\\_vlasov/035.htm](https://sinref.ru/000_uchebniki/03400metalurg/032_spr_razlivka_ch%60rnih_meta lov_vlasov/035.htm)

15. <https://studall.org/all2-145738.html>

16. [https://studexpo.ru/486284/materialovedenie/suschestvuyuschaya\\_tehnologiya\\_himicheskogo\\_zakuporivaniya\\_slitkov\\_kipyaschey\\_stali\\_kachestvo\\_razlitogo\\_met alla](https://studexpo.ru/486284/materialovedenie/suschestvuyuschaya_tehnologiya_himicheskogo_zakuporivaniya_slitkov_kipyaschey_stali_kachestvo_razlitogo_met alla)

					ВКР.2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		