

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(национальный исследовательский университет)»
Филиал в г. Златоусте
Факультет «Техники и технологии»
Кафедра «Техника и технологии производства материалов»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
проф., д.т.н. И.В. Чуманов

«__» _____ 2021 г

Разработка технологии выплавки стали марки ЧС82 в ЭСПЦ №3 ООО «ЗМЗ»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ ВКР

Технический контролер
_____ доц., к.т.н. А.В. Рябов
«__» _____ 2021 г

Руководитель проекта
проф., к.т.н.
_____ В.И. Чуманов
«__» _____ 2021 г.

Автор проекта
студент группы ФТТ-534
_____ С.А. Трубицын
«__» _____ 2021 г.

Нормоконтролер
_____ инженер В.В. Седухин
«__» _____ 2021 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	7
ВВЕДЕНИЕ	8
1 ХАРАКТЕРИСТИКА СТАЛИ МАРКИ 04Х13ТЗР1Ф (ЧС-82)	9
2 ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ МАРКИ ЧС82	14
2.1 Общие положения	14
2.2 Выплавка	15
3 РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА СТАЛИ МАРКИ ЧС82 В ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛОННОЙ ПЕЧИ	26
3.1 Расчёт шихты	26
3.2 Плавление	27
4 РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПЛАВКИ В ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ	33
4.1 Расчет шихты	33
4.2 Расчет материального баланса периода плавления	34
4.3 Расчет материального баланса окислительного периода	47
4.4 Расчет материального баланса восстановительного периода	56
5 ОСОБЕННОСТИ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ БОРА	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
Библиографический список	79
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Приложение А Презентационные материалы	

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		7

ВВЕДЕНИЕ

Сталь марки 04X13T3P1Ф (ЧС-82) – конструкционная, коррозионностойкая, низкоуглеродистая, доэвтектоидная, высоколегированная, относится к мартенситно стареющей группе, мартенситного класса.

Эта марка предназначена для изготовления трубных заготовок и слитков, применяемых в ядерной промышленности. Трубная заготовка данной марки стали предназначена для изготовления контейнеров для радиоактивных отходов и хранения их (контейнеров с отходами) в океане на большой глубине. Поэтому сталь должна обладать высокой стойкостью в агрессивных средах, а также хорошим сопротивлением к большим нагрузкам.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		8

1 ХАРАКТЕРИСТИКА СТАЛИ МАРКИ 04Х13ТЗР1Ф (ЧС-82)

Сталь 04Х13ТЗР1Ф (ЧС-82) – применяется для изготовления защитных чехлов, замедляющих нейтронное излучение и позволяющих в 2–3 раза уменьшить расстояние между сборками для максимального уплотнения отработанного топлива. Это актуально для реакторов ВВЭР–1000, активная зона которых состоит из 153 топливных кассет. Данная марка стали является коррозионно–стойкой, аустенитной, низкоуглеродистой, необходимым условием для получения заданных свойств является отношение Ti:В 2:1 при содержании В не менее 1,5 %.

Основные показатели и преимущества данной группы сталей:

– в отличие от сложнолегированных хромоникелевых сталей и сплавов, применяемых в реакторостроении, практическое отсутствие в своем марочном составе элементов, дающих под облучением долгоживущие изотопы и радионуклиды с высокой энергией γ –излучения;

– повышается общая радиационная и экологическая безопасность, снижаются дозовые нагрузки на обслуживающий персонал при ремонте и демонтаже отработавшего реакторного оборудования, сокращаются сроки утилизации и период захоронения радиоактивных отходов, что улучшает экологическую обстановку и снижает радиоактивное загрязнение окружающей среды до требований международных санитарных норм и стандартов;

Химический состав стали марки 04Х13ТЗР1Ф (ЧС82) должен быть в соответствии с таблицей 1.1.

Таблица 1.1 - Химический состав стали марки 04Х13ТЗР1Ф (ЧС-82) в процентах

С	Si	Cr	В	Ti	V	Mn	Al	Ni	S	P
0,02	н.б	13,0	1,3	2,3	0,15	Не более				
0,06	0,5	16,0	1,8	3,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,02	0,03

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ					Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата						9

Примечание: 1. В готовой продукции допускаются отклонения по химическому составу: по углероду +0,01%, по хрому +0,5%, по бору +0,1%, по титану +0,5%, по ванадию +0,1%, по алюминию +0,2%, по кремнию +0,1%, по никелю +0,15%. Для остальных элементов предельные отклонения по ГОСТ 5632-14.

2. Массовая доля остаточных элементов по ГОСТ 5632-14.

3. РЗМ вводятся в количестве до 1,3 кг/т по расчету и химическим анализом не определяются.

4. Для легирования стали применяется ферробор, выплавленный из необходимого по бору-10 боросодержащего сырья Дальнегорского объединения «Бор».

Сортамент стали марки 04X13T3P1Ф (ЧС-82)

Сортамент данной марки стали – это трубная заготовка или слиток.

Требования к слитку:

1. Слиток диаметром 460 мм длиной 1750 мм из стали марки 04X13T3P1Ф-Ш (ЧС 82-Ш), выплавленный электрошлаковым переплавом, обозначается: слиток 460 х 1750 - 04X13T3P1Ф-Ш (ЧС 82-Ш) – ТУ 14-1.4599-89.

2. Заготовка изготавливается диаметром 215 мм длиной 1850 мм. Допускается отклонение по длине ± 50 мм, по диаметру по ГОСТ 2590.

В таблице 1.2 приведены размеры и предельные отклонения поставляемых слитков.

Таблица 1.2 – Размеры поставляемых слитков

Диаметр, мм	Предельные отклонения по диаметру, мм	Технологическая норма обрезки, кг, не более		Длина, мм	Предельные отклонения по длине, мм
		Головная	Донная		
460	± 10	100	130	1750	± 70
480	± 10	100	130	1650	± 70

3. Один торец заготовки должен быть обрезан, при этом косина реза не должна превышать 7 мм. На втором торце заготовки разрешается наличие сферичности

или утяжки. Центровочные отверстия на торцах заготовок разрешается не удалять. Качество торцов (поверхности) не регламентируется.

4. Кривизна заготовки не должна превышать 5 мм на 1 м длины.

Назначение стали марки 04X13T3P1Ф (ЧС-82)

Трубная заготовка данной марки стали предназначена для изготовления контейнеров для радиоактивных отходов и хранения их (контейнеров с отходами) в океане на большой глубине.

Технические требования, предъявляемые к стали 04X13T3P1Ф (ЧС-82).

1. Заготовка изготавливается в ободранном состоянии. Шероховатость поверхности должна быть не более 80 мкм ГОСТ 2789 или соответствовать эталонам, утвержденным в установленном порядке.

2. Уков заготовки должен быть не менее 3 по отношению площадей среднего сечения слитка и заготовки.

3. На наружной поверхности заготовки не должно быть трещин, плен, рванин, закатов, раскованных загрязнений видимых без применения увеличительных приборов. Местные дефекты должны быть полностью удалены пологой вырубкой или зачисткой наждачными кругами.

Глубина вырубki или зачистки не должна превышать суммы предельных отклонений, считая от номинального диаметра заготовки. При этом ширина вырубki или зачистки должна быть не менее ее шестикратной глубины. В одном сечении допускается не более двух зачисток максимальной глубины.

Диаметрально противоположные зачистки (максимальные) не допускаются.

Допускаются без зачистки отдельные мелкие царапины, отпечатки и другие дефекты, если глубина их залегания не превышает 1 мм.

4. Заготовку изготавливают в отожженном состоянии.

5. Механические свойства заготовки, определяемые на термически обработанных образцах при комнатной температуре должны соответствовать требованиям таблицы 3. Разрешается механические испытания не проводить, а свойства таблицы 1.3 гарантировать.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		11

Таблица 1.3 – Механические свойства

Режим термообработки образцов	Механические свойства, не менее		
	временное сопротивление, σ_1 , Н/мм ² (кгс/мм ²)	предел текучести, $\sigma_{Т2}$, Н/мм ² (кгс/мм ²)	относительное удлинение, δ_5 , %
отпуск 650-700°С, выдержка 60 мин, охлаждение на воздухе	440 (45)	245 (25)	10

6. Макроструктура заготовки при проверке на поперечных протравленных темплетах не должна иметь подусадочной рыхлости, подкорковых пузырей, кованных трещин, инородных неметаллических включений, корочки и других дефектов, видимых без применения увеличительных приборов. Краевая титанистая неоднородность не допускается.

Допустимые дефекты не должны превышать:

- по точечной неоднородности – 3 балла;
- по центральной пористости – 3 балла;
- по ликвационному квадрату – 4 балла;
- повышенная травимость в виде мелких точечных растратов, расположенных по сечению, оцениваемая по шкале точечной неоднородности не должна превышать 3 балла.

7. Термически обработанные по режиму, указанному в таблице 3, образцы металла заготовки проверяются на склонность к межкристаллической коррозии. Разрешается испытание на склонность к межкристаллической коррозии не проводить, а гарантировать в объеме технических условий.

8. Трубная заготовка подвергается 100% контролю УЗК. Результаты контроля УЗК макроструктуры слитков на первых 20 травках сдаточными не являются. Слой смазки после контроля УЗК должен быть удален протиркой ветошью.

9. Слитки поставляются в механически обработанном состоянии. Поверхность слитков должна быть без плен, заворотов, корки, раковин, трещин, инородных

неметаллических включений. На поверхности слитков допускается удаление местных дефектов вырубкой или зачисткой на глубину не более 10 мм с пологим развалом, обеспечивающим отношение глубины зачистки к ширине не менее 1:6. Диаметрально расположенные места вырубki или зачистки не допускаются. Глубина дефектов на донной и головной обрeзи не контролируются, дефекты не удаляются.

Допускается ступенчатая механическая обработка (разность диаметров по длине слитка не более 10 мм) с плавной зачисткой мест перехода резцом или абразивом.

10. Слиток поставляется в отожженном состоянии по режиму изготовления.

11. Отсутствие внутренних несплошностей в макроструктуре, а именно: трещин, подсадочной раковины, подкорковых пузырей, расслоения, флокенов, шлаковых включений определяется контролем УЗК.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		13

2 ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ МАРКИ ЧС82

2.1 Общие положения

Химический состав стали ЧС82 должен быть в соответствии с ТУ 14-1.4599-89. Рекомендуются в готовом металле иметь отношение титана к бору 2:1, а содержание бора не менее 1,5%.

Выплавка исходного металла должна производиться методом смешения плавов, выплавленных переplавом легированных отходов, переplавом легированных отходов с окислением кислородом или на углеродистых отходах с окислением окатышами (рудой) в электродуговой печи номинальной емкостью 5 тонн и переplавом легированных отходов в индукционной печи.

Требования к шихте, ферросплавам, окислителям, шлакообразователям и их подготовка.

В качестве шихтовых и добавочных материалов должны использоваться:

- отходы стали ЧС82 (до 50%, в том числе стружки до 20% от массы завалки);
- мягкое железо или отходы электротехнической стали с содержанием углерода не более 0,02% и кремния не более 20%;
- феррохром марки ФХ02, с содержанием кремния не более 0,3% или хром металлический марок Х96, 5-Х99;
- ферробор марки ФБ20, выплавленный из необходимого по бору-10 боросодержащего сырья;
- металлический титан, отходы титана или 70%-ый ферротитан с содержанием свинца не более 0,02%;
- феррованадий марок ФВд50У03 или ФВд50У04;
- марганец металлический Мп95, Мп965;
- алюминий кусковой и порошок – первичные всех марок;
- кальций всех марок;
- мишметалл.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		14

Известь должна быть проверена на отсутствие кусков кокса.

Шихта составляется из отходов данной марки, ШБ, отходов марок схожего химического состава, МЖ, феррохрома, хрома металлического (для ЭДП).

2.2 Выплавка

2.2.1 Выплавка в индукционной печи.

Выплавка производится методом переплава легированных отходов.

Все материалы, даваемые в завалку должны быть сухими, без следов влаги или льда, а присаживаемые в жидкий металл, предварительно прокаленными в нагревательной печи докрасна (не менее 30 мин) за исключением материалов, которые не подлежат прокатке (последние должны подвергаться сушке).

Все шихтовые материалы должны быть с известным химическим составом и храниться по группам в соответствующих закромах. Применение отходов с неизвестным химсоставом не допускается.

Стружка должна храниться в закромах или коробках помарочно.

Ферросплавы и легирующие, поступающие в цех мелкими партиями, должны храниться отдельно по партиям. Смешивание материалов разных марок не допускается.

Шихтовые материалы должны иметь не более 1/4 части поверхности с окалиной или ржавчиной. Материалы с повышенным содержанием поверхностных загрязнений должны обрабатываться в барабане для "осветления" шихты.

Шихта должна быть чистой, не промасленной (промасленную стружку необходимо прокалить в сушильных печах).

Требование к шлакообразующим и молотым раскислителям.

Шихтовая смесь изготавливается партиями массой до 500 кг из извести, флюорита и магнезитового порошка в соотношении 3:1:1.

Известь применяется свежееобожженная и без посторонних примесей. Срок хранения ее в цехе не более 24 часов. Разложившуюся известь применять запрещено.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		15

Все шлакообразующие кроме магнезитового порошка подвергаются дроблению и просеиванию (фракция 1-5 мм).

Перед приготовлением шлаковой смеси магнезитовый порошок и флюорит должны просушиваться на горне или в нагревательной печи не менее 40 мин.

Срок хранения шлаковой смеси не более 24 часов.

Молотые раскислители (ферросилиций, силикокальций, боркальк, алюминий порошок), применяемые на плавке, должны быть сухими.

Подготовка печи к выплавке металла.

После выпуска каждой плавки тигель и носок должны очищаться от остатков шлака и металла. При необходимости производится подмазка поврежденной футеровки огнеупорной массой с жидким стеклом. Повреждения на дне тигля заделываются массой, употребляемой для набивки тигля.

Завалка.

Массовая доля содержащихся в металлошихте элементов, не удаляющихся в процессе выплавки металла, не должна превышать значений заданного химсостава.

В завалку даются легированный лом, ферросплавы и металлический легирующий, необходимые для обеспечения минимальных добавок в рафинировку и попадания в заданный химсостав металла.

Масса отходов выплавляемой марки стали и близких ей по химсоставу отходов должна быть не более 50%, в том числе масса стружки не более 20% от массы завалки.

По массе и габаритам шихтовые материалы должны быть такими, чтобы обеспечивать плотную завалку в тигель. Длина крупных кусков должна быть не более 1500 мм.

На дно тигля укладывается часть мелкой шихты. Наиболее тугоплавкие ферросплавы и легирующие, размещаются по стенкам в нижней части высоты тигля. Крупные куски шихты укладываются в вертикальном положении и могут выступать над уровнем тигля.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		16

Объем заваливаемых в тигель материалов должен обеспечить уровень расплава и шлака при нормальном положении печи не выше места стыка тигля с "воротником".

Плавление.

Плавление шихтовых материалов следует производить на максимальной мощности генератора.

В период плавления производится периодическое осаживание шихты ломиком для предупреждения заклинивания кусков шихты и образования "мостов".

По мере подплавления шихты производится подвалка оставшейся части шихтовых материалов.

Через 20-30 мин от начала плавления дается шлаковая смесь массой 25-40 кг. Жидкий металл должен быть покрыт шлаком.

Перед началом рафинировки плавильный шлак снимается.

Продолжительность плавления должна быть не более 2,5 часов.

После полного расплавления шихты посылаются пробы на химический анализ.

Рафинировка.

После снятия плавильного шлака дается шлаковая смесь из расчета 1-1,5% от массы садки. Момент присадки шлаковой смеси является началом рафинировки.

После наведения шлака производится его раскисление порошкообразными раскислителями (ферросилиций, силикокальций, боркальк, алюминиевый порошок), которое должно заканчиваться не позднее, чем за 5 минут до выпуска.

Не ранее, чем через 3 минуты после дачи раскислителей, производится перемешивание шлака.

Общая продолжительность рафинировки должна быть в пределах 15-40 минут.

Температура металла в рафинировку должна быть 1510-1550°C. Перед выпуском должна быть 1570-1610°C.

Порядок присадки материалов для легирования, раскисления, модифицирования металла.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		17

Для легирования, раскисления, модифицирования металла применяются ферросплавы, лигатуры, технически чистые элементы и их технические соединения в виде крупных (30-300 мм) и мелких (20-30 мм) кусков и порошков (фракция 1-2 мм), а также компактированных порошков и штабиков.

Алюминий для раскисления дается за 1-3 минуты до выпуска, для легирования – в середине периода рафинировки на штанге.

2.2.2 Выплавка в электродуговой печи.

Требования к электродуговой печи.

Выплавка должна производиться в печи с хорошим или удовлетворительным состоянием подины, откосов, стен, свода, желоба, выпускного отверстия, охлаждающей арматуры, механического и электрического оборудования.

Требования к металлу перед выпуском в ковш должны удовлетворять следующим требованиям:

металл выплавляемой марки стали по химическому составу доведен в печи, за исключением случаев, когда доводка химического состава производится в ковше (легирование титаном, доводка по углероду и т.д.);

температура металла в печи соответствует установленным пределам для данной марки стали (1570-1610 °С);

металл, налитый в стаканчик, перед выпуском дает усадку;

степень раскисленности шлака соответствует установленным визуальным признакам, а его жидкоподвижность обеспечивает сход вместе с металлом, за исключением случаев, когда по технологии выпуск или начало выпуска металла должны производиться без шлака.

Очистка и заправка печи.

После выпуска металла в ковш необходимо сразу же произвести очистку откосов при помощи баклуш (гребков по необходимости), после чего приступить к заправке откосов и подины заправочными материалами.

Заправка откосов и подины не обчищенных от остатков шлака и металла запрещается.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		18

В качестве заправочных материалов следует применять периклазовый (магнезитовый) порошок, фракцией 5 мм; обожженный доломит – до 10 мм, хромпериклазовую крупку («половье») – до 10 мм, полдучаемую в результате дробления и помола отходов хромпериклазового кирпича.

Заправку печи следует производить:

периклазовым порошком – для выплавки различных марок стали и сплавов, методом выплавки.

хромпериклазовой крупкой в смеси с периклазовым порошком в соотношении 1:1-1:3, в данном случае содержание «половья» допускается больше (в зависимости от содержания хрома в стали).

При значительных повреждениях откосов допускается их заправка смесью периклазового порошка и жидкого стекла в соотношении 10:1.

При значительных повреждениях подины, слой заправки следует закрыть слоем извести.

После заправки печи необходимо осмотреть состояние выпускного отверстия и желоба и принять меры к приведению их в надлежащее состояние, а также осмотреть состояние стен, свода и, при необходимости, в дальнейшем произвести их ремонт.

Расчет шихтовых материалов на плавку.

Перед завалкой шихты в печь, мастер по плавке обязан записать химический состав ферросплавов, шихты, номера вагонов или автомобилей с шихтой, номера корзин, произвести в плавильной карте расчет элементов, вносимых составляющими металлошихты.

Расчетное содержание углерода в металле перед продувкой кислородом должно быть в пределах 0,30-0,40%. Суммарное расчетное содержание титана, кремния, алюминия не более 2%. Расчетное содержание хрома не более 10%.

Содержание углерода в металле после продувки должно быть не более 0,03%.

Содержание в металлошихте элементов не удаляемых в процессе выплавки металла не должно превышать значений заданного химического состава.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		19

При расчете мастер должен знать химический состав шихтовых материалов и руководствоваться следующими требованиями (переплав кислородом):

содержание углерода по расплавлению шихты, вносимое металлошихтой и углеродосодержащими добавками (ферросплавами, электродным боем, крупкой, кусковым коксом из расчета не более 15 кг/т, огарками угольной футеровки, алюминиевых электролизеров не более 20 кг/т) должно быть 0,30-0,40%;

расчетное содержание легирующих элементов не должно превышать: углерод – не более 0,03%, кремний не более 0,2%;

масса металлошихты, которая будет присаживаться в металл после продувки кислородом, должна определяться из расчета 50-200 кг/т шихты в завалке.

Перед завалкой производится осмотр электродов. Электроды должны быть без ниппельных гнезд и трещин.

Завалка шихтовых материалов в печь.

Перед началом завалки сталевар обязан принять от бригадира (мастера) шихтового пролета точное количество и местонахождение мульд (корзины) с шихтой и мульд с ферросплавами, предназначенными для завалки и ведения плавки, записать их количество (номер корзины) в плавильную карту.

Сталевары обязаны перед завалкой ознакомиться с состоянием погрузки шихты в корзину, не допускается наличие выступающих за ее края концов и свешивания стружки. При опускании корзины в печь необходимо следить, чтобы корзина не раскачивалась и не задевала стенки печи. Затвор печи следует открывать на высоте ее нижней части не более 0,5 м от подины.

Углеродосодержащие добавки следует присаживать на подину печи в «колодцы» по электроды в первой половине плавления.

После завалки шихты песочный затвор должен быть очищен от стружки и мусора и плотно перекрывать зазор между сводом и верхом печи.

Присадку шлакообразующих в завалку следует производить после завалки первой порции мелкой шихты, причем часть смеси (не более 1/3) дается на

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		20

подину печи перед завалкой, а оставшаяся смесь присаживается в первые 20-30 минут плавления в «колодцы».

Шлаковая смесь состоит из извести – 120 кг, флюорита – 60 кг, глинозема (электрокорунда) – 60 кг.

На плавках «переплавом с кислородом» в завалку следует присаживать известь и шамот (флюорит, флюсы ЭШП) в соотношении 2:1 из расчета 1% от массы завалки.

Шихта составляется из отходов металла данной марки, ШБ, отходов марок схожего химического состава, МЖ, ШБ-У, феррохрома.

Плавление.

После завалки шихты перед включением печи сталевар совместно с дежурным персоналом службы механика и электрика обязан осмотреть и проверить исправность систем водяного охлаждения, отводов газа из печи, механического и электрического оборудования и произвести опрессовку водоохлаждаемой арматуры, о чем делается соответствующая отметка в плавильной карте.

Перед включением печи необходимо проверить состояние (наличие сколов, трещин, качество ниппельных гнезд) и длину электродов. Электроды должны быть без видимых повреждений, а их длина обеспечивать проведение всей плавки без наращивания. При необходимости замену электродов или их наращивание следует производить перед включением печи после завалки шихты или в начале периода плавления.

Включение печи на плавках «переплавом с кислородом» особенно низкоуглеродистой стали при наличии трещин и сколов на конце хотя бы одного электрода, ниппеля или ниппельного гнезда не допускается.

Плавление шихтовых материалов следует производить на максимальной мощности трансформатора.

Выпускное отверстие печи должно быть заделано в первые 20 мин плавления.

Порог завалочного окна следует заправлять в первой половине плавления, при этом высота заправочных материалов должна обеспечивать уровень жидкого

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		21

металла и шлака не выше нижнего уровня выпускного отверстия при нормальном положении печи.

В процессе плавления шихты и ферросплавы следует периодически стаскивать с откосов в жидкий металл или в середину ванны, поднимая электроды, когда эта операция грозит их поломкой.

Перемешивание жидкого металла следует производить ошлакованными гребенками после стаскивания кусков шихты и погружения их в металл в следующей последовательности: в начале шлак разгоняется гребком в ту или другую сторону (как правило от первого электрода ко второму) и после образования на нем пленки шлака, гребок с силой погружается на возможно большую глубину в направлении от завалочного окна к заднему откосу и обратно.

Плавление на плавках «переплавом с кислородом».

Допускается применять газообразный кислород при давлении не более 8 кгс/см² после расплавления не мене 80% шихты (определяется визуально мастером и сталеваром) в течении 10-15 мин при включенной печи.

После расплавления шихты и перемешивания металла не меньше чем двумя гребками следует отобрать пробу на химический анализ.

Содержание углерода в первой пробе должно быть в пределах 0,30-0,40%.

В случае низкого содержания углерода по расплавлении следует снять шлак, произвести науглероживание металла и после наведения шлака отобрать повторную пробу на углерод.

Периодом плавления считается время от момента включения печи после завалки шихты до момента получения содержания углерода 0,30-0,40% и, при необходимости, других элементов, удовлетворяющих требованиям проведения следующего периода плавки, и начала подачи кислорода в металл.

Окислительный период.

Окислительный период следует начинать после получения содержания углерода 0,30-0,40% в металле по расплавлении шихты при нормально нагретом

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		22

металле. Визуальным признаком нормально нагретого металла следует считать слив металла с ложки без остатка.

На плавках «переплавом с кислородом» при содержании хрома в шихте более 6,0% продувку кислородом следует начинать при температуре расплава не ниже 1560 °С.

Окислительный период на плавках «переплавом с кислородом» (окисление газообразным кислородом).

Продувку металла кислородом следует начинать при содержании углерода 0,30-0,40% по расплавлении шихты, обеспечивающим его окисление за время продувки в пределах 0,25%.

Давление кислорода во время продувки металла должно быть не менее 7 кгс/см².

Вторую пробу на химический анализ следует отбирать во время продувки сразу после появления пламени в печи.

Продувка прекращается по достижении содержания углерода не более 0,03%, что обеспечивает проведение (нормальное) рафинировки, и получения заданного химического состава стали.

Отбор проб металла после продувки кислородом следует производить сразу по окончании продувки.

После продувки и отбора проб, в металл вводится на рукоятке кусковой алюминий из расчета 1 кг/т. Затем присаживается шихта выплавляемой или близких по химическому составу марок стали до 20 кг/т, затем феррохром, известь 10-20 кг/т и раскислители из расчета: до 10 кг/т кускового 45% ферросилиция (ферросиликохрома ФСХ40) или до 5 кг/т порошка 65-75% ферросилиция и 1-2 кг/т порошка алюминия. Все раскислители должны присаживаться в смеси с известью в соотношении 1:1. После расплавления раскислительных смесей окислительный шлак полностью снимается и наводится известково-глиноземистый.

Восстановительный период (рафинировка).

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		23

Переход на рафинировку допускается только после получения содержания углерода не более 0,03%, обеспечивающего нормальное проведение рафинировки и попадания в заданный химический состав.

Началом рафинировки следует считать время начала присадки шлаковой смеси на поверхность металла.

Через 10 минут после присадки раскислителей металл тщательно перемешивается и берутся две пробы на химический анализ с промежутком в 5 минут. Затем, после корректировки металла по химическому составу, присаживается феррохром, ферробор (на 1,7% бора ориентировочно), с учетом его содержания в металле индукционной и дуговой печей.

После расплавления добавок и ферробора при температуре металла 1590-1610 °С снимается шлак, металл раскисляется алюминием из расчета 1 кг/т. Затем присаживается титан металлический на 4,0% с учетом содержания титана в металле индукционной печи. Заводится шлак, состоящий из извести – 100 кг, флюорита – 40 кг, глинозема (электрокорунда) – 60 кг. Шлак раскисляется порошком алюминия из расчета 1-3 кг/т.

За 3-5 мин до выпуска присаживается кусковой алюминий из расчета 0,5 кг/т, затем мишметалл из расчета 1,0 кг/т.

Температура металла перед выпуском из печи должна быть 1570-1610 °С.

Перед выпуском плавки в ковш дается кальций металлический из расчета 0,5-0,8 кг/т на штанге.

2.3 Выпуск металла.

Выпуск металла в ковш следует начинать с выпуска металла из индукционной печи, затем выпускают металл из дуговой печи. Выпуск производится в подогретый ковш.

Выпуск металла из индукционной печи производится со шлаком. Шлак должен покрывать всю поверхность металла в ковше. Температура металла в ковше должна быть 1530-1570 °С.

Металл в ковше продувается аргоном не менее 3 минут.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		24

Температура металла в ковше должна быть:

- до продувки аргоном – 1550-1570°C;
- после продувки аргоном – 1530-1550°C.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		25

3 РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА СТАЛИ МАРКИ ЧС82 В ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛОННОЙ ПЕЧИ

3.1 Расчёт шихты

Шихта для выполнения заданного сплава составлена из материалов, химический состав которых представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Химический состав отходов, которые предполагается использовать в завалку

В процентах

Группа отходов	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Al	W	Mo	V	Cu	B	Fe
ЧС82	0,04	0,25	0,25	0,015	0,01	14,0	0,25	2,90	0,25	-	-	0,22	-	1,50	80,31
Б18	0,2	0,4	0,4	0,018	0,012	13,0	0,35	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03	0,15	-	85,28
Б23	0,18	0,4	0,55	0,014	0,013	1,7	0,15	0,01	0,03	0,04	0,8	0,3	0,15	0,08	95,58
Х99	0,03	0,5	-	0,02	0,02	99,0	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03

Таблица 3.2 - Содержание компонентов в шихте

В килограммах

Группа отходов	масса	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Al	W	Mo	V	Cu	B	Fe
ЧС82	350000	0,140	0,875	0,875	0,053	0,035	49000	0,875	10,150	0,875	0,000	0,000	0,770	0,000	5,250	281,108
Б18	25000	0,050	0,100	0,100	0,005	0,003	3,250	0,088	0,013	0,008	0,010	0,010	0,008	0,038	0,000	21,320
Б23	25000	0,045	0,100	0,138	0,004	0,003	0,425	0,038	0,003	0,008	0,010	0,200	0,075	0,038	0,020	23,896
Х99	500000	0,150	1,000	0,000	0,100	0,100	495000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,650
Итого	900000	0,385	2,075	1,113	0,161	0,141	547,675	1,000	10,165	0,890	0,020	0,210	0,853	0,075	5,270	329,968
нормо%	100000	0,043	0,231	0,124	0,018	0,016	60,853	0,111	1,129	0,099	0,002	0,023	0,095	0,008	0,586	36,663

Химический состав шлакообразующих и огнеупорных материалов, которые предполагается использовать в процессе выплавки, представлен таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Химический состав шлакообразующих и огнеупорных материалов

В процентах

Материал	CaO	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaF ₂	FeO	S	P ₂ O ₅	Потери при прокаливании
Извесь	940	139	200	-	0,80	1,20	-	-	-	-	0,61
Главный шлаг	-	25	-	-	-	-	97,35	-	0,10	0,05	-
Магнезитовый порошок	1,00	3,00	98,0	-	1,00	2,00	-	-	-	-	-
ГМОИ-95	-	2,50	95,00	-	2,00	0,50	-	-	-	-	-

3.2 Плавление

Шлак периода плавления образуется из шлакообразующей смеси, состоящей из извести, магнезитового порошка, плавикового шпата, составляющих разрушающейся футеровки тигля, оксидов, полученных при окислении компонентов металлической шихты.

а) Расчёт компонентов, вносимых известью в шлак, кг:

$$\text{CaO} - 94 \cdot 0,3 = 28,2;$$

$$\text{SiO}_2 - 1,39 \cdot 0,3 = 0,417;$$

$$\text{MgO} - 2 \cdot 0,3 = 0,6;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,8 \cdot 0,3 = 0,24;$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,2 \cdot 0,3 = 0,36.$$

В пересчете на FeO 0,324 кг.

Выделяется в атмосферу за счет потерь при прокаливании $0,61 \cdot 0,3 = 0,183$ (CO₂) кг.

б) Расчет компонентов, вносимых плавиковым шпатом в шлак, кг:

$$\text{SiO}_2 - 2,5 \cdot 0,1 = 0,25;$$

$$\text{CaF}_2 - 97,35 \cdot 0,1 = 9,735;$$

$$\text{S} - 0,1 \cdot 0,1 = 0,01;$$

$$\text{P}_2\text{O}_5 - 0,05 \cdot 0,1 = 0,005.$$

в) Расчет компонентов, вносимых магнезитовым порошком, кг:

$$\text{CaO} - 1 \cdot 0,1 = 0,1;$$

$$\text{SiO}_2 - 3 \cdot 0,1 = 0,3;$$

$$\text{MgO} - 93 \cdot 0,1 = 9,3;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 - 1 \cdot 0,1 = 0,1;$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 - 2 \cdot 0,1 = 0,2.$$

В пересчете на FeO – 0,18 кг.

г) Расчет составляющих, поступивших в шлак из футеровки тигля.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		27

Примерный расход сплавленного магнезитового порошка 8 кг/т жидкого металла или 7,2 кг. Магнезит внесет в шлак, кг:

$$\text{SiO}_2 - 2,5 \cdot 0,72 = 0,18;$$

$$\text{MgO} - 95 \cdot 0,72 = 6,84;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 - 2 \cdot 0,72 = 0,144;$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_5 - 0,5 \cdot 0,72 = 0,036.$$

$$\text{В пересчете на FeO} - \frac{0,036 \cdot 112 \cdot 72}{160 \cdot 56} = 0,0324 \text{ кг.}$$

д) Расчет поступающих в шлак продуктов окисления металлического расплава.

Таблица 3.4 – Угар элементов при выплавке в индукционной печи в период плавления

В процентах							
Угар	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al
Общий	1	5	7	5	0	1	1
В шлак	0	100	80	80	0	100	100
В улет	100	0	20	20	0	0	0

Углерод. Окислится 1 % от исходного или $0,385 \cdot 0,01 = 0,004$ кг. Образуется CO $\frac{0,004 \cdot 28}{12} = 0,0093$ кг. Потребуется кислорода на окисление углерода 0,005 кг.

Остается углерода в металле 0,381 кг.

Кремний. Окислится 5 % от исходного или $2,075 \cdot 0,05 = 0,104$ кг. Весь он переходит в шлак. Образуется и переходит в шлак $\text{SiO}_2 \frac{0,104 \cdot 60}{28} = 0,223$ кг.

Потребуется кислорода на окисление кремния 0,119 кг. Остается кремния в металле 1,971 кг.

Марганец. Окислится 7 % от исходного или $1,113 \cdot 0,07 = 0,078$ кг. Из них 20% теряется с газами, а 80% переходит в шлак. В шлак перейдет 0,062 кг, с газами теряется 0,016 кг. Образуется $\text{MnO} \frac{0,078 \cdot 71}{55} = 0,101$ кг. С газами теряется MnO

0,02 кг, а в шлак переходит MnO 0,081 кг. Потребуется кислорода на окисление марганца 0,023 кг. Остается марганца в металле 1,035 кг.

Сера. Принимаем, что в период плавления сера их шихты не удаляется.

Хром. В период плавления окислится 27,384 кг от исходного. Из этого количества 20% или 5,477 кг теряется с газами, а 80% или 21,907 кг переходит в шлак. Образуются оксиды хрома Cr_2O_3 $\frac{27,384 \cdot 152}{104} = 40,023$ кг. С газами теряется 5,005 кг, в шлак переходит 32,018 кг. Потребуется кислорода на окисление хрома 12,639 кг. Остается хрома в металле 520,291 кг.

Никель. Принимаем, что в период плавления никель их шихты не удаляется.

Титан. Считаем, что в период плавления окислится 0,102 кг, имеющегося в шихте. Оксид титана полностью переходит в шлак. Образуется TiO_2 $\frac{0,102 \cdot 80}{48} = 0,17$ кг. Потребуется кислорода на окисление титана 0,068 кг. Останется в металле 10,063 кг.

Алюминий. В период плавления угар алюминия составляет 0,009 кг. При этом образуется глинозема Al_2O_3 $\frac{0,009 \cdot 102}{54} = 0,017$ кг. Потребуется кислорода на окисление алюминия 0,008 кг. Остаётся в металле 0,881 кг.

Металл. В конце периода плавления в печи остается 872,319 кг металла. Содержание углерода в металле составит 0,384 кг. Содержание кислорода в металле из $m=[C] \cdot [O] = \text{const}$, составляет $2,5 \cdot 10^{-3} \%$.

Определяем содержание кислорода, которое пошло на насыщение металла:

$$\frac{872,319 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{900} = 0,002 \% \text{ или } 0,018 \text{ кг.}$$

Фосфор. Принимаем, что в период плавления фосфор их шихты не удаляется.

Баланс кислорода в период плавления, кг:

- на окисление углерода - 0,005;

- на окисление кремния - 0,119;

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		29

- на окисление марганца - 0,023;
- на окисление хрома - 12,639;
- на окисление титана - 0,068;
- на окисление алюминия - 0,017;
- на окисление металла – 0,018.

Всего 12,879 кг.

Усвоение кислорода из воздуха: $10 \cdot 0,115 \cdot 2,5 = 2,875$ кг.

Таблица 3.5 - Масса и состав шлака в конце плавления

В килограммах

Материал	CaO	SiO ₂	Mn O	MgO	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaF ₂	ΣFe O	S	P ₂ O ₅	Σ
Известь	28,20	0,41	-	0,600	-	-	0,24	-	0,3	-	-	29,7
Плавиковый шпат	-	0,25	-	-	-	-	-	9,73	-	0,01	0,00	10,0
Магнезитовый порошок	0,100	0,30	-	9,300	-	-	0,10	-	0,1	-	-	9,98
Фулеровка	-	0,18	-	6,840	-	-	0,14	-	0,03	-	-	7,19
Оксиды из металлованны	-	0,24	0,09	-	21,88	0,24	0,02	-	-	-	-	22,4
Всего	28,30	1,38	0,09	16,74	21,88	0,24	0,50	9,73	0,53	0,01	0,00 5	79,2
Всего, %	35,72	1,75	0,12	21,13	27,62	0,30	0,64	12,2	0,67	0,01	0,00	100

Таблица 3.6 – Баланс металла перед выпуском в ковш

В килограммах

Элемент	Поступило с шихтой	Перешло в шлак	Потери с газами	Содержится в металле	Содержится в металле, %
C	0,385	-	0,004	0,381	0,044
O	-	-	-	0,018	0,002
Si	2,075	0,104	-	1,971	0,226
Mn	1,113	0,062	0,016	1,035	0,118
P	0,161	-	-	0,161	0,019
S	0,141	-	-	0,141	0,016
Cr	547,675	21,907	5,477	520,291	59,645
Ni	1,0	-	-	1,0	0,114
Ti	10,165	0,102	-	10,063	1,154
W	0,02	-	-	0,02	0,002
Al	0,89	0,009	-	0,881	0,101

Продолжение таблицы 3.6

Mo	0,21	-	-	0,21	0,024
Cu	0,075	-	-	0,075	0,009
V	0,853	-	-	0,853	0,098
B	5,27	-	-	5,27	0,604
Fe	329,968	-	-	329,968	37,827
Всего	900,00	22,184	5,497	872,337	100,00

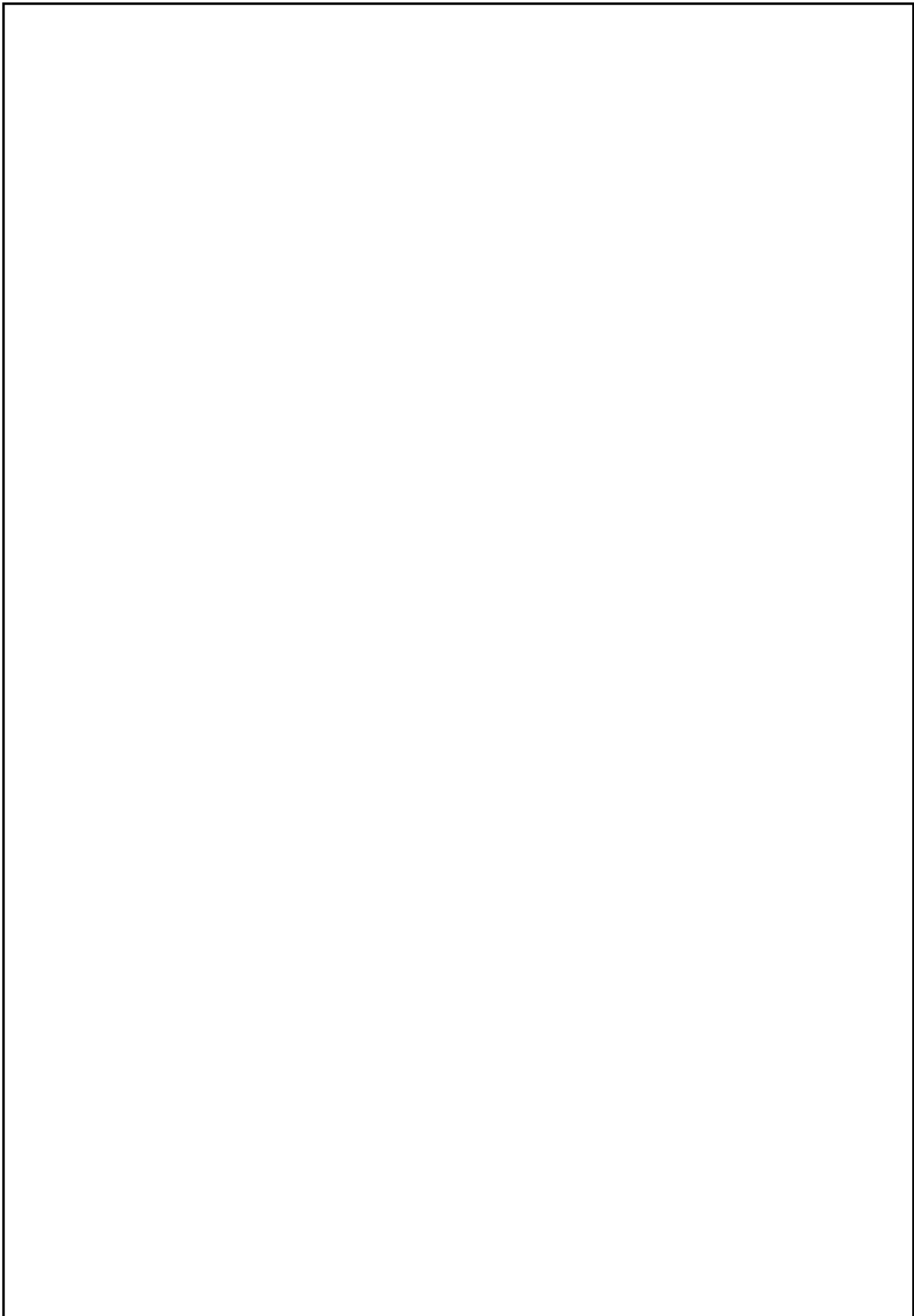
Задачей данного периода является получение состава металла с очень высоким содержанием хрома.

Суммарный материальный баланс плавления

Израсходовано, кг	Получено, кг
а) Шихты – 900	а) Металла – 872,337
в том числе	б) Шлака – 79,211
1) Отходы ЧС-82 – 350	в) Пыли – 8,025
2) Отходы Б-18 – 25	в том числе
3) Отходы Б-23 – 25	1) MnO – 0,02
4) X99 – 500	2) Cr ₂ O ₃ – 8,005
б) Шлакообразующих – 50	г) Газов – 0,192
в том числе	в том числе
1) Извести – 30	1) CO – 0,009
2) Плавленого шпата – 10	2) CO ₂ – 0,183
3) Магнезита – 10	
в) Футеровка тигля – 7,2	
г) Кислорода из воздуха – 2,875	
Всего – 960,075	Всего – 959,765

Невязка – $960,075 - 959,765 = 0,31$ кг или $\frac{0,31}{960,075} \cdot 100 = 0,032\%$

Полученная невязка находится в допустимых пределах.



					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		32

4 РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПЛАВКИ В ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ

4.1 Расчет шихты

Таблица 4.1 – Химический состав отходов, которые предполагается использовать в завалку

В процентах

Группа отходов	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Al	W	Mo	V	Cu	B
Б1	0,35	0,5 2	0,7 0	0,01 8	0,01 7	1,00	0,1 6	0,0 2	0,0 2	0,0 5	0,0 8	0,0 4	0,1 5	0
Б18	0,2	0,4	0,4	0,18	0,01 2	13,0 0	0,3 5	0,0 5	0,0 3	0,0 4	0,0 4	0,0 3	0,1 5	0
Б23	0,18	0,4	0,5 5	0,01 4	0,01 3	1,7	0,1 5	0,0 1	0,0 3	0,0 4	0,8	0,3	0,1 5	0,08
ФХ800А	7,0	1,5	0	0,03	0,06	65,0	0	0	0	0	0	0	0	0
ЧС82	0,04	0,2 5	0,2 5	0,01 5	0,01	14,0	0,2 5	2,9	0,2 5	0	0	0,2 2	0	1,5

Таблица 2 – Содержание компонентов в шихте

В килограммах

Группа отходов	Масса кг	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Al	W	Mo	V	Cu	B	Fe
Б1	1350	4,725	7,02 0	9,45 0	0,24 3	0,23 0	13,500	2,16 0	0,27 0	0,27 0	0,6 75	1,08 0	0,5 40	2,0 25	0,0 00	1307,8 13
Б18	1350	2,700	5,40 0	5,40 0	0,24 3	0,16 2	175,50 0	4,72 5	0,67 5	0,40 5	0,5 40	0,54 0	0,4 05	2,0 25	1,0 80	1150,2 00
Б23	1150	2,070	4,60 0	6,32 5	0,16 1	0,15 0	19,550	1,72 5	0,11 5	0,34 5	0,4 60	9,20 0	3,4 50	1,7 25	0,0 81	1100,0 44
ФХ800А	140	9,800	2,10 0	0,00 0	0,04 2	0,08 4	91,000	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,0 00	0,00 0	0,0 00	0,0 00	0,0 00	36,974
ЧС82	510	0,204	1,27 5	1,27 5	0,07 7	0,05 1	73,950	1,27 5	14,7 90	1,27 5	0,0 00	0,00 0	1,1 73	0,0 00	7,9 05	406,75 1
ИТОГО кг	4500	19,499	20,3 95	22,4 50	0,76 6	0,67 6	373,50 0	9,88 5	15,8 50	2,29 5	1,6 75	10,8 20	5,5 68	5,7 75	9,0 66	4001,7 81
ИТОГО %	100	0,433	0,45 3	0,49 9	0,01 7	0,01 5	8,300	0,22 0	0,35 2	0,05 1	0,0 37	0,24 0	0,1 24	0,1 28	0,2 01	88,928

Таблица 4.3 – Состав шлакообразующих и огнеупорных материалов

В процентах

Материал	Ca O	SiO 2	Mg O	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca F ₂	Ti O ₂	P ₂ O ₅	Потери при прокалке
Известь	92	2	1	-	-	-	-	-	-	5
Магнезитохромитовый порошок	22	12	60	2	-	4	-	-	-	-
Плавленый шпат	0,5	3,6	-	-	0,2	1,5	94	-	-	0,2
Электрод	0,1 18	0,5 65	-	-	0,3 17	-	-	-	-	[C]=99
Магнезитовый порошок	8	4,5	85	-	-	2,5	-	-	-	-
Шамотный бой	1,5	50	1	-	42	3,5	-	2	-	-

Таблица 4.4 – Химический состав легирующих раскислителей, которые были использованы при выплавке стали

Материал	В процентах											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al	Ti	B
ФБ-20	0,05	2,00	-	0,02	0,01	-	-	н.б 0,05	-	3,00	-	н. м.2 0,0
ТГ-ТВ	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	97,75	-
ФВД-60	0,2	1,5	-	0,05	0,05	-	-	-	60,0	2,0	-	-
А7 (болв)	-	0,15	-	-	-	-	-	0,05	-	99,7	0,04	-
ФС-45	0,2	45	0,6	0,05	0,02	0,5	-	-	-	2,0	-	-
ФХ002А	0,02	1,5	-	0,02	0,02	67,0	-	-	-	0,2	-	-

4.2 Расчет материального баланса периода плавания

Окисление элементов.

Расчёт поступивших в шлак продуктов окисления металлического расплава производим на основании данных по угару элементов и составляем таблицу угаров для данной марки в период плавания для всех элементов, входящих в таблицу 4.3.

Таблица 4.5 - Угары элементов при выплавке стали в ДСП В период плавания

Угар	В процентах														
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	W	Al	Mo	Cu	V	B	Fe
Общий	20,0	100,0	70,0	70,0	0	15,0	2,0	100,0	0	100,0	0	0	0	0	2,0
В шлак	0	100,0	80,0	100,0	0	80,0	0	100,0	0	100,0	0	0	0	0	20,0
В улёт	100,0	0	20,0	0	0	20,0	100,0	0	0	0	0	0	0	0	80,0

Окисление элементов и ожидаемый химический состав металла по расплавлению шихты представлен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Химический состав металла по расплавлению шихты

Элемент	В килограммах			
	Исходное содержание	Угар элемента	Масса элемента в расплаве	Содержание элемента в расплаве, %
C	19,499	3,900	15,599	0,362
Si	20,395	20,395	0	0
Mn	22,450	15,715	6,735	0,156

Продолжение таблицы 4.6

P	0,766	0,536	0,230	0,005
S	0,676	0	0,676	0,016
Cr	373,500	56,025	317,475	7,375
Ni	9,885	0,198	9,687	0,225
Ti	15,850	15,850	0	0
W	1,675	0	1,675	0,039
Mo	10,820	0	10,820	0,251
V	5,568	0	5,568	0,122
Cu	5,775	0	5,775	0,134
Al	2,295	2,295	0	0
B	9,066	0	9,066	0,215
Fe	4001,781	80,036	3921,745	91,096
Всего	4500,000	539,102	4305,051	100,000

Расчёт величин, приведённых в таблице, на примере углерода.

Исходное содержание - 19,499 кг (таблица 4.3);

Угар элемента - $19,499 \cdot 20 / 100 = 3,899$ кг, где 19,499-исходное содержание, 20 - общий угар элемента;

Масса элемента в расплаве - $19,499 - 3,899 = 15,600$ кг;

Содержание элемента в расплаве - $15,600 \cdot 100 / 4305,051 = 0,362$ %, где 15,600 - масса элемента в расплаве, кг;

4305,051 - суммарная масса расплава, кг.

Расчёт количества образующегося оксида $m_{i_xO_y}$, кг, определяем по формуле:

$$m_{i_xO_y} = \frac{m_i}{v_i \cdot \mu_i} \cdot v_{i_xO_y} \cdot \mu_{i_xO_y}, \quad (1)$$

где m_i - масса окисляющегося элемента i , кг;

$v_i, v_{i_xO_y}$ - стехиометрические коэффициенты элемента i и оксида i_xO_y соответственно;

$\mu_i, \mu_{i_xO_y}$ - молекулярные массы элемента i и оксида i_xO_y соответственно.

Расчет количества кислорода, кг, необходимого для окисления элементов, определяем по формуле:

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		35

$$T_{O_2}(i) = m_{i_{xO_2}} - m_i \quad (2)$$

Углерод. Окисление углерода происходит по реакции $[C] + 1/2\{O_2\} = \{CO\}$.

Образуется CO: $\frac{3,8998 \cdot 28}{12} = 9,1$ кг.

Потребуется кислорода на окисление углерода: $9,1 - 3,8998 = 5,2$ кг.

Кремний. При окислении кремния по реакции $[Si] + 2[O] = (SiO_2)$ образуется кремнезема: $\frac{20,395 \cdot 60}{28} = 43,704$ кг.

Потребуется кислорода на окисление кремния 23,309 кг.

Марганец. Окисление марганца происходит по реакции: $[Mn] + 1/2\{O_2\} = (MnO)$.

Образуется оксида марганца: $\frac{15,715 \cdot 71}{55} = 20,287$ кг, из них 20% теряется с газами, а 80% переходит в шлак.

С газами теряется $\frac{20,287 \cdot 20}{100} = 4,057$ кг (MnO).

Из них $\frac{15,715 \cdot 20}{100} = 3,143$ кг (Mn).

В шлак переходит $\frac{20,287 \cdot 80}{100} = 16,229$ кг (MnO).

Из них $\frac{15,715 \cdot 80}{100} = 12,572$ кг (Mn).

Потребуется кислорода для окисления всего марганца 4,572 кг.

Сера. Допустим, что в период плавления она из шихты не удаляется.

Хром. Окисление хрома происходит по реакции: $2[Cr] + 2/3\{O_2\} = (Cr_2O_3)$.

Образуется оксида хрома Cr_2O_3 $\frac{56,025 \cdot 152}{104} = 81,883$ кг.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		36

Уносится печными газами $\frac{81,883 \cdot 20}{100} = 16,377$ кг (Cr_2O_3), из них - $\frac{56,025 \cdot 20}{100} = 11,205$ кг (Cr). Переходит в шлак $\frac{81,883 \cdot 80}{100} = 65,506$ кг (Cr_2O_3), из них - $\frac{56,025 \cdot 80}{100} = 44,82$ кг (Cr).

Потребуется кислорода для окисления всего хрома 25,858 кг.

Никель. Считаем, что в период плавления в зоне электрических дуг испаряется 2% никеля, имевшегося в шихте. Испарившийся никель уносится печными газами в количестве 0,1977 кг.

Титан. Оксид титана полностью переходит в шлак. Образуется TiO_2 : $\frac{15,85 \cdot 80}{48} = 26,417$ кг. Потребуется кислорода для окисления титана 10,567 кг.

Алюминий. При окислении алюминия образуется глинозема $\frac{2,295 \cdot 102}{54} = 4,335$ кг. Потребуется кислорода для окисления алюминия 2,04 кг.

Молибден, медь, ванадий, бор. Принимаем, что в период плавления эти элементы из шихты не удаляются. Допустим, что ванадий и бор не окислятся по причине небольшого их присутствия в шихте.

Фосфор. Оксид фосфора полностью переходит в шлак. Образуется P_2O_5 : $\frac{0,536 \cdot 142}{62} = 1,228$ кг.

Потребуется кислорода для окисления фосфора 0,692 кг.

Железо. Считаем, что в период плавления 80% окислившегося железа теряется с газами, а 20% переходит в шлак. Образуется, оксидов железа в пересчете на FeO $\frac{80,036 \cdot 72}{56} = 102,903$ кг, по реакции $[\text{Fe}] + 1/2 \{\text{O}_2\} = (\text{FeO})$. Уносится печными газами

						22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата			37

$$\frac{102,903 \cdot 80}{100} = 82,322 \text{ кг (FeO)}, \text{ из них } \frac{80,036 \cdot 80}{100} = 63,964 \text{ кг (Fe)}. \text{ Переходит в шлак}$$

$$\frac{102,903 \cdot 20}{100} = 20,581 \text{ кг (FeO)}, \text{ из них } \frac{80,036 \cdot 20}{100} = 16,072 \text{ кг (Fe)}.$$

Потребуется кислорода для окисления всего железа 22,867 кг.

Металл. В конце периода плавления в печи остается следующее количество металла (с учетом угаров элементов): 4305,051 кг, содержание углерода в металле составит 0,362%.

Содержание кислорода в металле определяем по формуле:

$$[O] = - \left(\frac{0,00216}{[C]} \right) + 0,00884 \quad (3)$$

Содержание кислорода в металле $[O] = - \left(\frac{0,00216}{0,362} \right) + 0,00884 = 0,0029 \%$.

Определяем содержание кислорода в металле, которое пошло на насыщение металла, используя пропорцию:

$$\frac{4305,051 + x}{x} = \frac{100}{0,0029},$$

где x – искомая величина, кг;

$4305,051 + x$ – масса металла с учетом содержания кислорода, кг;

0,0029 – содержание кислорода в металле, %.

$$x = 0,125 \text{ кг}$$

Шлакообразование.

Шлак периода плавления образуется из извести, шамотного боя, составляющих разрушающейся футеровки ванны, стен и свода, оксидов, полученных при окислении компонентов металлической шихты.

Расчет количества компонентов, вносимых в шлак, определяем по формуле:

$$m_i(j) = \frac{m_j \cdot (i)}{100}, \quad (4)$$

где $m_i(j)$ – масса компонента i , вносимого шлакообразующим j , кг;

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		38

m_j - расход шлакообразующего j , кг;

(i) – содержание компонента i в шлакообразующем j .

а) Расчет компонентов, вносимых известью в шлак, кг:

$$\text{CaO} - \frac{90 \cdot 92}{100} = 82,8$$

$$\text{MgO} - \frac{90 \cdot 1}{100} = 0,9$$

$$\text{SiO}_2 - \frac{90 \cdot 2}{100} = 1,8$$

Кроме того, выделится в атмосферу за счет потерь от прокаливания:

$$\frac{90 \cdot 5}{100} = 4,5 \text{ кг (CO}_2\text{)}.$$

б) Расчет составляющих, вносимых шамотным боем, кг:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 - \frac{45 \cdot 42}{100} = 18,9$$

$$\text{SiO}_2 - \frac{45 \cdot 50}{100} = 22,5$$

$$\text{TiO}_2 - \frac{45 \cdot 2}{100} = 0,9$$

$$\text{CaO} - \frac{45 \cdot 1,5}{100} = 0,675$$

$$\text{MgO} - \frac{45 \cdot 1}{100} = 0,45$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 - \frac{45 \cdot 3,5}{100} = 1,575$$

В данном расчете ведем пересчет на FeO по формуле:

$$m_{\text{FeO}} = \frac{m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} \cdot \mu_{\text{Fe}}(\text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot \mu_{\text{FeO}}}{\mu_{\text{Fe}_2\text{O}_3} \cdot \mu_{\text{Fe}}(\text{FeO})}, \quad (5)$$

где m_{FeO} и $m_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ - массы FeO и Fe₂O₃ соответственно, кг;

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		39

$\mu_{\text{Fe}}(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ и $\mu_{\text{Fe}}(\text{FeO})$ - молекулярная масса железа в Fe_2O_3 и FeO соответственно;

μ_{FeO} и $\mu_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ - молекулярные массы FeO и Fe_2O_3 соответственно.

$$\text{В пересчете на FeO } \frac{1,575 \cdot 112 \cdot 72}{160 \cdot 56} = 1,418.$$

в) Расчет составляющих, поступивших в шлак из футеровки ванны ДСП.

Примерный расход магнезитового порошка на заправку печи (при немеханизированной заправке) определяем по формуле, кг/т:

$$72 \cdot m_0^{-0,294}, \quad (6)$$

где m_0 – масса садки печи, кг.

Расход магнезитового порошка равен: $72 \cdot 4500^{-0,294} \cdot 4,5 = 27,321$ кг.

Тогда магнезит внесет в шлак, кг:

$$\text{CaO} - \frac{27,321 \cdot 8}{100} = 2,186$$

$$\text{SiO}_2 - \frac{27,321 \cdot 4,5}{100} = 1,229$$

$$\text{MgO} - \frac{27,321 \cdot 85}{100} = 23,223$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 - \frac{27,321 \cdot 2,5}{100} = 0,683, \text{ в пересчете на FeO}$$

$$\text{FeO} - \frac{0,683 \cdot 112 \cdot 72}{160 \cdot 56} = 0,615$$

г) Расчет составляющих, поступивших в шлак из стенок и свода.

В сверхмощной печи применяются водоохлаждаемые стены и свод. В связи с этим расход магнезитохромитовой футеровки нижней части стен, центральной части и покрытия водоохлаждаемых панелей невелик. Примем суммарный расход магнезитохромитовых огнеупоров 1,5 кг/т стали, или 6,75 кг на всю садку. Тогда, разрушающаяся магнезитохромитовая футеровка внесет в шлак, кг:

$$\text{CaO} - \frac{6,75 \cdot 22}{100} = 1,485$$

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		40

$$\text{SiO}_2 - \frac{6,75 \cdot 12}{100} = 0,81$$

$$\text{MgO} - \frac{6,75 \cdot 60}{100} = 4,05$$

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 - \frac{6,75 \cdot 2}{100} = 0,135$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 - \frac{6,75 \cdot 4}{100} = 0,27, \text{ в пересчете на FeO}$$

$$\text{FeO} - \frac{0,27 \cdot 112 \cdot 72}{160 \cdot 56} = 0,243$$

д) Поступление в шлак золы электродов.

Расход современных электродов составляет 4-5 кг/т отечественных фирм-производителей. Принимаем, что за время плавки расходуется 4 кг/т электродов, что составит 18 кг.

В электроде содержание углерода составляет 99%, тогда окисляется углерода:

$$m_C = \frac{18 \cdot 99}{100} = 17,82 \text{ кг. Принимаем, что } 70\% \text{ углерода окисляется до } \{\text{CO}\}, \text{ а } 30\% -$$

до $\{\text{CO}_2\}$. Тогда образуется:

$$m_{\{\text{CO}\}} = \frac{0,7 \cdot m_C}{\mu_C} \cdot \mu_{\text{CO}} = \frac{0,7 \cdot 17,82}{12} \cdot 28 = 29,106 \text{ кг;}$$

$$m_{\{\text{CO}_2\}} = \frac{0,3 \cdot m_C}{\mu_C} \cdot \mu_{\text{CO}_2} = \frac{0,3 \cdot 17,82}{12} \cdot 44 = 19,602 \text{ кг.}$$

Количество кислорода, необходимого для окисления углерода составит:

$$m_{\text{O}_2} = m_{\text{CO}} - m_C = 29,106 - 17,82 = 11,286 \text{ кг;}$$

$$m_{\text{O}_2} = m_{\text{CO}_2} - m_C = 19,602 - 17,82 = 1,782 \text{ кг.}$$

Итого масса кислорода на окисление углерода равна 13,068 кг.

Разрушающиеся электроды вносят в шлак, кг:

$$\text{CaO} - \frac{17,82 \cdot 0,118}{100} = 0,021$$

						22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата			41

$$\text{SiO}_2 - \frac{17,82 \cdot 0,565}{100} = 0,101$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 - \frac{17,82 \cdot 0,317}{100} = 0,058$$

е) Поступление оксидов в шлак из металлов, кг:

SiO₂ – 43,704

MgO – 16,229

Cr₂O₃ – 65,506

TiO₂ – 26,417

Al₂O₃ – 4,335

P₂O₅ – 1,228

FeO – 20,581

Таблица 4.7 – Количество и состав печного шлака в конце периода плавления

В килограммах

Источник поступления	SiO ₂	CaO	MnO	ΣFeO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	S	Σ
Извесь	1,8	82,8	-	-	-	-	0,9	-	-	-	85,5
Шамольный бой	22,5	0,675	-	1,418	-	18,9	0,45	0,9	-	-	44,843
Фулероваванны	1,229	2,186	-	0,615	-	-	23,223	-	-	-	27,253
Фулерова стенивода	0,81	1,485	-	0,243	-	-	4,05	-	-	-	6,588
Оксиды из металлованы	43,704	-	16,229	20,581	65,506	4,335	-	26,417	1,228	-	178
Электрод	0,101	0,021	-	-	-	0,058	-	-	-	-	0,18
Всего	70,144	87,167	16,229	22,857	65,506	23,292	28,623	27,317	1,228	-	342,364
Всего, %	20,429	25,386	4,727	6,657	19,088	6,684	8,627	7,956	0,358	-	100

Расчет технического кислорода, необходимого для периода плавления.

Для определения расхода технического кислорода (в период плавления), составляем баланс кислорода для периода плавления, кг.

- 1) на окисление углерода – 5,2
- 2) на окисление кремния – 23,309
- 3) на окисление марганца – 4,572
- 4) на окисление хрома – 25,858

5) на окисление титана – 10,567

6) на окисление алюминия – 2,04

7) на окисление железа – 22,867

8) на окисление фосфора – 0,692

9) на окисление электродов – 13,068

10) на насыщение металла – 0,125

11) на образование FeO – $\frac{22,857 \cdot 56}{72} = 17,778$

Всего: 126,076.

В период плавления часть кислорода усваивается жидким металлом из печной атмосферы, а остальная часть подается с помощью кислородного инжектора. Скорость усвоения кислорода из воздуха на каждый квадратный метр площади печи на уровне откосов составляет величину порядка 10-30 кг/час. Если принять приближенно, то продолжительность плавления в 5 тонной печи составит 40

мин, то за это время усвоится кислорода $\frac{20 \cdot 3,14 \cdot 2,23^2 \cdot 0,667}{4} = 52,05$ кг.

Следовательно, необходимо подать технического кислорода $126,076 - 52,05 = 74,026$ кг.

Определение количества и состава газов в период плавления.

Общая масса кислорода, усвоенного из воздуха, $m_{O_2} = 52,050$ кг. Объем кислорода в воздухе:

$$V_{O_2} = \frac{22,4}{\mu_{O_2}} \cdot m_{O_2} = \frac{22,4}{32} \cdot 52,05 = 36,435 \text{ м}^3.$$

Количество сопутствующего азота находим из условия, что объемное содержание кислорода в воздухе равно 21%, тогда,

$$V_N = \frac{100 - 21}{21} \cdot V_{O_2} = 137,065 \text{ м}^3.$$

											22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата								43

Массовое содержание кислорода в воздухе 23%, тогда,

$$m_N = \frac{100 - 23}{23} \cdot m_{O_2} = 174,254 \text{ кг.}$$

Объем и масса воздуха:

$$V_B = V_{O_2} + V_N = 36,435 + 137,065 = 173,5 \text{ м}^3;$$

$$m_B = m_{O_2} + m_N = 52,05 + 174,254 = 226,304 \text{ кг.}$$

Определим количество влаги, вносимой воздухом из следующих условий:

$$t_B = 20^\circ\text{C}, p_B = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}, f = 0,7, E = 2,026 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

Влажность атмосферного воздуха

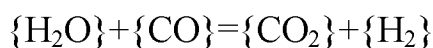
$$V_{\text{влаж.в}} = V_B \cdot \frac{273 + t_B}{273} \cdot \frac{p_B}{p_B - E \cdot f} \quad (7)$$

$$V_{\text{влаж.в}} = 173,5 \cdot \frac{273 + 20}{273} \cdot \frac{1,01 \cdot 10^5}{1,01 \cdot 10^5 - 2,026 \cdot 10^3 \cdot 0,7} = 188,863 \text{ м}^3$$

Количество водяного пара в 1 м³ атмосферного воздуха $\rho_{\text{в.пара}} = 0,013 \text{ кг/м}^3$.

Масса влаги $m_{\text{вл}} = V_{\text{влаж.в}} \cdot \rho_{\text{в.пара}} = 188,863 \cdot 0,013 = 2,455 \text{ кг.}$

Водяной пар реагирует с окисью углерода по реакции:



При этом образуется водород и углекислый газ в количестве:

$$m_{\{H_2\}} = \frac{m_{\text{вл}}}{\mu_{H_2O}} \cdot \mu_{H_2} = \frac{2,455}{18} \cdot 2 = 0,273 \text{ кг};$$

$$m_{\{CO_2\}} = \frac{m_{\text{вл}}}{\mu_{H_2O}} \cdot \mu_{CO_2} = \frac{2,455}{18} \cdot 44 = 6,001 \text{ кг.}$$

Для этого необходима окись углерода в количестве:

$$m_{\{CO\}} = \frac{m_{\text{вл}}}{\mu_{H_2O}} \cdot \mu_{CO} = \frac{2,455}{18} \cdot 28 = 3,819 \text{ кг.}$$

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		44

Таблица 4.8 – Состав металла по расплавлению шихты

В килограммах

Элемент	Поступило с шихтой	Перешло в шлак	Потери с газами	Содержится в металле	Содержится в металле, %
C	19,499	-	3,899	15,599	0,362
Si	20,395	20,395	-	0,00	0,00
Mn	22,45	12,572	3,143	6,735	0,156
P	0,7655	0,536	-	0,23	0,005
S	0,676	-	-	0,676	0,016
Cr	373,5	44,82	11,205	317,475	7,375
Ni	9,885	-	0,1977	9,687	0,225
Ti	15,85	15,85	-	0,00	0,00
W	1,675	-	-	1,675	0,039
Al	2,295	2,295	-	0,00	0,00
Mo	10,82	-	-	10,82	0,251
Cu	5,775	-	-	5,775	0,134
V	5,568	-	-	5,568	0,129
B	9,066	-	-	9,066	0,211
Fe	4001,7805	16,072	63,964	3921,745	91,096
Всего	4500,00	112,54	82,4095	4305,051	100

Суммарный материальный баланс периода плавления

Израсходовано, кг

Получено, кг

а) Шихты – 4500 из них 1) Б1 – 1350 2) Б18 – 1350 3) Б23 – 1150 4) ФХ800А – 140 5) ЧС82 – 510 б) Шлакообразующих – 135 из них 1) известь – 90 2) шамотный бой – 45	а) Металла – 4305,051 б) Шлака – 342,364 в) Пыли – 102,954 в том числе 1) MnO – 4,057 2) Cr2O3 – 16,377 3) Ni – 0,198 4) FeO – 82,322 г) Газов – 239,017 в том числе 1) CO – 34,387 (от окисления
--	---

в) Футеровка ДСП – 34,071
из них
1) магнезита – 27,321
2) магнезитохромита – 6,75
г) Электродов – 18
д) технического кислорода – 74,026
е) воздуха – 228,759
в том числе
1) кислорода – 52,05
2) азота – 174,254
3) влаги – 2,455

металла и электродов с учетом догорания до CO₂)
2) CO₂ – 30,103 от прокаливания извести и окисления электродов с учетом догорания до CO)
3) Азота – 174,254
4) Водорода – 0,273

Всего – 4989,856

Всего – 4989,386

Невязка – $4989,856 - 4989,386 = 0,47$ кг или $\frac{0,47}{4989,856} \cdot 100 = 0,0094\%$

Полученная невязка находится в допустимых пределах.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		46

4.3 Расчет материального баланса окислительного периода

Окисление элементов и шлакообразование.

Общий угар металла и отдельных легирующих элементов в период продувки кислородом определяем по данным балансовых плавов и на основе производственного опыта. Составляем таблицу угаров для марки 04X13T3P1Ф в окислительный период для всех элементов.

Таблица 4.9 – Угар элементов при выплавке стали в ДСП в окислительный период

В процентах

Угар	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	W	Al	Mo	Cu	V	B	Fe
Общий	ΔC	100,0	60,0	0	0	15,0	0	100,0	0	100,0	0	0	0	0	9,0
В шлак	0	100,0	80,0	0	0	80,0	0	100,0	0	100,0	0	0	0	0	30,0
В улёт	100,0	0	20,0	0	0	20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	70,0

Окисление элементов и ожидаемый химический состав металла по расплавлению шихты представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Химический состав металла в конце окислительного периода

В килограммах

Элемент	Исходное содержание	Угар элемента	Масса элемента в расплаве	Содержание элемента в расплаве, %
C	15,599	14,312	1,287	0,033
Si	0	-	0	0
Mn	6,735	4,041	2,694	0,069
P	0,230	0	0,230	0,006
S	0,676	0	0,676	0,017
Cr	317,475	47,621	269,854	6,944
Ni	9,687	0	9,687	0,249
Ti	0	-	0	0
W	1,675	0	1,675	0,043
Mo	10,82	0	10,82	0,278
V	5,568	0	5,568	0,143
Cu	5,775	0	5,775	0,149
Al	0	-	0	0
B	9,066	0	9,066	0,233
Fe	3921,745	352,903	3568,842	91,834
Всего	4305,051	418,877	3886,174	100,00

Тогда массу окислившегося углерода определяем из пропорции:

$$\frac{4305,051 - m_{\Delta C}}{15,599 - m_{\Delta C}} = \frac{100}{0,03},$$

где $m_{\Delta C}$ - искомая величина, кг;

$15,599 - m_{\Delta C}$ - масса углерода с учетом его окисления, кг;

$4305,051 - m_{\Delta C}$ - масса металла с учетом угара углерода, кг.

$$m_{\Delta C} = 14,312 \text{ кг}$$

Углерод. При окислении углерода, образуется оксида углерода CO:

$$\frac{14,312 \cdot 28}{12} = 33,395 \text{ кг.}$$

Потребуется кислорода 19,08 кг.

Кремний. Так как мы совмещаем период плавления с периодом окисления, кремния окислилось 100%.

Марганец. В окислительный период теряется 60% марганца. Из них – 20% с газами, а 80% переходит в шлак. Образуется MnO:

$$\frac{4,041 \cdot 71}{55} = 5,217 \text{ кг.}$$

Испарится MnO:

$$\frac{5,217 \cdot 20}{100} = 1,043 \text{ кг.}$$

Из них:

$$\frac{4,041 \cdot 20}{100} = 0,808 \text{ кг (Mn).}$$

Перейдет MnO в шлак:

$$5,217 - 1,041 = 4,174 \text{ кг.}$$

Из них Mn:

$$4,041 - 0,808 = 3,233 \text{ кг.}$$

Потребуется кислорода для окисления всего марганца $5,217 - 4,041 = 1,176$ кг.

Фосфор. Принимаем, что фосфор во время продувки не удаляется.

Сера. Принимаем, что сера во время продувки не удаляется.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		48

Хром. Образуется оксида хрома Cr_2O_3 :

$$\frac{47,621 \cdot 152}{104} = 69,600 \text{ кг.}$$

Испарится Cr_2O_3 :

$$\frac{69,600 \cdot 20}{100} = 13,92 \text{ кг.}$$

Из них Cr:

$$\frac{47,621 \cdot 20}{100} = 9,524 \text{ кг.}$$

Перейдет в шлак Cr_2O_3 :

$$69,600 - 13,92 = 55,68 \text{ кг.}$$

Из них Cr:

$$47,621 - 9,524 = 38,097 \text{ кг.}$$

Потребуется кислорода для окисления всего хрома 21,979 кг.

Никель. Принимаем, что никель из металла во время продувки не удаляется.

Титан. Так как мы совмещаем период плавления с периодом окисления, титана окислилось 100%.

Вольфрам. Принимаем, что вольфрам из металла во время продувки не удаляется.

Молибден, медь, ванадий, бор. Принимаем, что в окислительный период эти элементы из металла не удаляются. Допустим, что ванадий и бор не окисляются по причине небольшого их присутствия в металле.

Алюминий. Так как мы совмещаем период плавления с периодом окисления, алюминия окислилось 100%.

Железо. Образуется оксидов железа в пересчете на FeO :

$$\frac{352,903 \cdot 72}{56} = 453,732 \text{ кг.}$$

Испарится FeO :

$$\frac{453,732 \cdot 70}{100} = 317,612 \text{ кг.}$$

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		49

Из них Fe:

$$\frac{352,903 \cdot 70}{100} = 247,032 \text{ кг.}$$

Перейдет в шлак FeO:

$$453,732 - 317,612 = 136,120 \text{ кг.}$$

Из них Fe:

$$352,903 - 247,032 = 105,871 \text{ кг.}$$

Потребуется кислорода для окисления всего железа 100,829 кг.

Металл. В конце окислительного периода в печи остается следующее количество металла (с учетом угаров элементов) 3572,788 кг, содержание углерода в металле составит 0,033%. Содержание кислорода в металле определяют по формуле Ойкса Г.Н.:

$$[O] = \frac{0,0035 + 0,006 \cdot [C]}{[C]} \quad (8)$$

Содержание кислорода в металле:

$$[O] = \frac{0,0035 + 0,006 \cdot 0,033}{0,033} = 0,112\%$$

Определим содержание кислорода в металле, которое пошло на насыщение металла, используя пропорцию:

$$\frac{3886,174 + x}{x} = \frac{100}{0,112}$$

$$x = 4,357 \text{ кг.}$$

В конце периода плавления в металле было 0,125 кг кислорода, следовательно, на насыщение металла пошло $4357 - 0,125 = 4232$ кг. Для определения расхода технического кислорода в окислительный период, составляем баланс кислорода, кг:

- 1) на окисление углерода – 19,08;
- 2) на окисление марганца – 1,176;
- 3) на окисление хрома – 21,973;

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		50

4) на окисление железа – 100,829;

5) на насыщение металла – 4,232.

Всего – 147,296 кг.

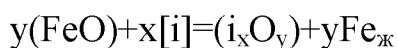
Известно, что примерно 30% элементов окисляются кислородом (FeO), а остальные 70% - газообразным кислородом, вдуваемым в жидкий металл. (FeO) идет на окисление углерода, марганца, хрома и на насыщение металла. Следовательно, (FeO) внесет:

$$(19,08 + 1,176 + 21,979 + 4,232) \cdot \frac{30}{100} = 13,940 \text{ кг.}$$

А газообразный кислород внесет:

$$147,296 - 13,940 = 133,356 \text{ кг.}$$

(FeO) окислится по реакции:



На это расходуется:

$$\frac{13,940 \cdot 72}{16} = 62,73 \text{ кг (FeO),}$$

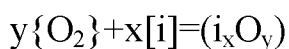
где 13,940 кг – масса кислорода, вносимого оксидом железа;

72 и 16 – молекулярная масса FeO и O соответственно.

При этом в металл переходит железо в количестве:

$$62,73 - 13,94 = 48,79 \text{ кг.}$$

Газообразный кислород окисляется по реакции:



В окислительный период часть газообразного кислорода усваивается жидким металлом из печной атмосферы. А остальная часть подается с помощью кислородного инжектора. Скорость усвоения кислорода из воздуха на каждый квадратный метр площади печи на уровне откосов составляет величину порядка 10-30 кг/час. Если принять, что продолжительность периода составит 30 минут, то

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		51

за это время усвоится кислорода $\frac{20 \cdot 3,14 \cdot 2,23^2 \cdot 0,5}{4} = 39,038$ кг. Следовательно,

необходимо подать технического кислорода $133,356 - 39,038 = 94,318$ кг.

Определение количества и состава газов в окислительный период.

Печная атмосфера.

Общая масса кислорода, усвоенного из воздуха, $m_{O_2} = 39,038$ кг. Объем кислорода в воздухе:

$$V_{O_2} = \frac{22,4}{\mu_{O_2}} \cdot m_{O_2} = \frac{22,4}{32} \cdot 39,038 = 27,327 \text{ м}^3.$$

Количество сопутствующего азота находим из условия, что объемное содержание кислорода в воздухе равно 21%, тогда, $V_N = \frac{100 - 21}{21} \cdot V_{O_2} = 102,8 \text{ м}^3$.

Массовое содержание кислорода в воздухе 23%, тогда, $m_N = \frac{100 - 23}{23} \cdot m_{O_2} = 130,692$ кг.

Объем и масса воздуха:

$$V_B = V_{O_2} + V_N = 27,327 + 102,8 = 130,127 \text{ м}^3;$$

$$m_B = m_{O_2} + m_N = 39,038 + 130,692 = 169,73 \text{ кг}.$$

Определим количество влаги, вносимой воздухом из следующих условий:

$$t_B = 20^\circ\text{C}, p_B = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}, f = 0,7, E = 2,026 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

Влажность атмосферного воздуха

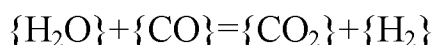
$$V_{\text{влаж.в}} = V_B \cdot \frac{273 + t_B}{273} \cdot \frac{p_B}{p_B - E \cdot f} \quad (9)$$

$$V_{\text{влаж.в}} = 130,127 \cdot \frac{273 + 20}{273} \cdot \frac{1,01 \cdot 10^5}{1,01 \cdot 10^5 - 2,026 \cdot 10^3 \cdot 0,7} = 141,649 \text{ м}^3$$

Количество водяного пара в 1 м^3 атмосферного воздуха $v_{\text{пара}} = 0,013 \text{ кг/м}^3$.

Масса влаги $m_{\text{вл}} = V_{\text{влаж.в}} \cdot v_{\text{пара}} = 141,649 \cdot 0,013 = 1,841$ кг.

Водяной пар реагирует с окисью углерода по реакции:



					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		52

При этом образуется водород и углекислый газ в количестве:

$$m_{\{H_2\}} = \frac{m_{\text{вл}}}{\mu_{H_2O}} \cdot \mu_{H_2} = \frac{1,841}{18} \cdot 2 = 0,205 \text{ кг};$$

$$m_{\{CO_2\}} = \frac{m_{\text{вл}}}{\mu_{H_2O}} \cdot \mu_{CO_2} = \frac{1,841}{18} \cdot 44 = 4,5 \text{ кг}.$$

Для этого необходима окись углерода в количестве:

$$m_{\{CO\}} = \frac{m_{\text{вл}}}{\mu_{H_2O}} \cdot \mu_{CO} = \frac{1,841}{18} \cdot 28 = 2,864 \text{ кг}.$$

Технический кислород.

Общая масса кислорода, вносимого кислородным инжектором составит 94,319 кг. Для того, чтобы внести такое количество кислорода, необходимо израсходовать в окислительный период технического кислорода при 95% усвоении:

$$\frac{94,319 \cdot 100 \cdot 100}{99,5 \cdot 95} = 99,782 \text{ кг},$$

где 94,319 – необходимо внести кислорода с техническим кислородом, кг;

99,5 и 95 – содержание кислорода в техническом кислороде и его усвоение, %.

Количество неусвоенного кислорода:

$$\frac{99,782 \cdot 5}{100} = 4,989 \text{ кг}.$$

Технический кислород также вносит азот:

$$\frac{99,782 \cdot 0,5}{100} = 0,499 \text{ кг},$$

где 5 – количество неусвоенного кислорода, %;

0,5 – содержание азота в техническом кислороде, %.

Неусвоенный кислород вступит в реакцию с окисью углерода, в результате образуется углекислый газ в количестве:

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		53

$$m_{\{CO_2\}} = \frac{m_{O_2}}{\frac{1}{2}\mu_{O_2}} \cdot \mu_{CO_2} = \frac{4,989}{\frac{1}{2} \cdot 32} \cdot 44 = 13,720 \text{ кг.}$$

Для этого потребуется {CO} в количестве:

$$13,72 - 4,898 = 8,822 \text{ кг.}$$

На основании полученных данных определяем состав и количество печного шлака в конце окислительного периода и составляем баланс металла окислительного периода.

Таблица 4.11 – Масса и состав шлака в конце окислительного периода

В килограммах

Источник поступления	SiO ₂	CaO	MnO	ΣFeO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	S	Σ
Плавильный шлак	70,144	87,16 7	16,229	22,85 7	65,506	23,292	28,62 3	27,31 8	1,228	-	342,364
Оксиды из металлованы	-	-	4,174	136,1 2	55,68	-	-	-	-	-	195,874
Перешло в металл	-	-	-	-62,73	-	-	-	-	-	-	-62,73
Всего	70,144	87,16 7	20,403	96,24 7	121,186	23,292	28,62 3	27,31 8	1,228	-	475,508
Всего, %	14,751	18,33 1	4,291	20,24 1	25,486	4,898	6,019	5,745	0,258	-	100,00

Таблица 4.12 - Баланс металла окислительного периода

В килограммах

Элемент	Металл периода плавления	Перешло в металл	Перешло в шлак	Потери с газами	Содержится в металле	Содержится в металле, %
C	15,599	-	-	14,312	1,287	0,033
O	0,125	4,232	-	-	4,357	0,111
Si	0	-	-	-	0	0
Mn	6,735	-	3,233	0,808	2,694	0,068
P	0,230	-	-	-	0,230	0,006
S	0,676	-	-	-	0,676	0,017
Cr	317,475	-	38,097	9,524	269,854	6,85
Ni	9,687	-	-	-	9,687	0,246
Ti	0	-	-	-	0	0
W	1,675	-	-	-	1,675	0,043
Al	0	-	-	-	0	0

Mo	10,82	-	-	-	10,82	0,275
Cu	5,775	-	-	-	5,775	0,147
V	5,568	-	-	-	5,568	0,141
B	9,066	-	-	-	9,066	0,23
Fe	3921,745	48,79	105,871	247,032	3917,632	91,834
Всего	4305,176	53,022	147,201	271,676	3939,321	100,00

Суммарный материальный баланс окислительного периода

Израсходовано, кг	Получено, кг
а) Металла – 4305,176 б) Шлака – 342,364 в) Технического кислорода – 99,807 в том числе 1) Кислород – 99,308 (включая неусвоенный) 2) Азот – 0,499 г) Воздуха – 171,571 в том числе 1) Кислорода – 39,038 2) Азота – 130,692 3) Влаг – 1,841	а) Металла – 3939,321 б) Шлака – 475,508 в) Пыли – 332,575 в том числе 1) MnO – 1,043 2) Cr ₂ O ₃ – 13,92 3) FeO – 317,612 г) Газов – 170,826 в том числе 1) CO – 21,709 (от окисления металла с учетом догорания до CO ₂) 2) CO ₂ – 18,22 (с учетом догорания до CO) 3) Азот – 130,692 4) Водород – 0,205
Всего – 4918,793	Всего – 4918,23

Невязка – 4918,793-4918,23=0,563 кг или $\frac{0,563}{4918,793} \cdot 100 = 0,012\%$

Полученная невязка находится в допустимых пределах.

4.4 Расчет материального баланса восстановительного периода

Восстановительный период проводим непосредственно в печи.

Таблица 4.13 – Угар элементов в восстановительный период

В процентах								
Угар	Cr	V	Ti	Si	Mn	Ni	B	Al
Общий	5	0	50	8	8	0	0	50
В шлак	80	0	100	100	80	0	0	100
В улет	20	0	0	0	20	0	0	0

В связи с этим определим состав металла по окончании восстановительного процесса.

Таблица 4.14 - Состав металла по окончании восстановительного периода

В килограммах						
Элемент	Металл перед восстановлением	Общий угар	Перешло в шлак	Потери с газами	Содержится в металле	Содержится в металле, %
C	1,287	-	-	-	1,287	0,033
O	4,357	-	-	-	4,357	0,111
Si	0	-	-	-	0	0
Mn	2,694	0,216	0,173	0,043	2,478	0,07

Продолжение таблицы 4.14

P	0,230	-	-	-	0,230	0,006
S	0,676	-	-	-	0,676	0,017
Cr	269,854	13,493	10,794	2,699	256,361	6,531
Ni	9,687	-	-	-	9,687	0,247
Ti	0	-	-	-	0	0
W	1,675	-	-	-	1,675	0,043
Al	0	-	-	-	0	0
Mo	10,82	-	-	-	10,82	0,276
Cu	5,775	-	-	-	5,775	0,147
V	5,568	0,278	0,278	-	5,290	0,135
B	9,066	-	-	-	9,066	0,231
Fe	3617,632	-	-	-	3617,632	92,153
Всего	3939,321	13,977	11,245	2,742	3925,334	100

а) Раскисление шлака и металла, предварительное легирование.

В конце окислительного периода в металле при содержании углерода 0,033% содержится 0,111% или 4,357 кг кислорода. Чтобы провести первоначальное раскисление, вводим в металл кусковой алюминий из расчета 2 кг/т металла, феррохром, ферросилиций вместе с известью в соотношении 1:1.

Алюминий. В этом случае кусковой алюминий выполняет роль раскислителя металла, он весь перейдет в шлак. В данный момент в печи находится 3939,321 кг металла, поэтому алюминия кускового внесем 7,878 кг или 0,2 кг чистого алюминия. Свяжет кислорода $\frac{0,2 \cdot 32}{28} = 0,229$ кг.

Останется кислорода в металле: 4,357-0,229=4,128 кг.

Хром. Для повышения хрома в металле вводим феррохром марки ФХ002А. Из расчета, что в период восстановления угар хрома будет составлять 8%, рассчитаем необходимое количество феррохрома, если масса металла составляет 3939,321 кг по формуле:

$$P_{\Phi} = \frac{100}{\Theta_{\Phi}(100 - y_{\Phi})} \cdot (\Theta_{\text{М}} - \Theta_{\text{В}}) \cdot G, \quad (10)$$

G – масса металла, кг;

P_{Φ} – масса ферросплава, кг;

\mathcal{E}_{Φ} – содержание элемента в ферросплаве, %;

\mathcal{E}_{M} – необходимое содержание элемента в металле, %;

\mathcal{E}_{B} – содержание элемента в ванне, %;

$y_{\mathcal{E}}$ – угар легирующего элемента, %.

Расчет самого элемента в ферросплаве проводим по формуле:

$$\mathcal{E}_{\Pi} = P_{\Phi} \cdot \frac{\mathcal{E}_{\Phi}}{G}, \quad (11)$$

где \mathcal{E}_{Π} – масса элемента, кг.

$$P_{\Phi X002A} = \frac{100}{67 \cdot (100 - 8)} \cdot (8 - 6,85) \cdot 3939,321 = 73,445 \text{ кг.}$$

$$\mathcal{E}_{Cr} = 73,445 \cdot \frac{67}{3939,321} = 1,25 \text{ кг.}$$

Так как угар составляет 8%, усвоится 92% хрома.

$$\text{Свяжет кислорода: } \frac{1,25 \cdot 0,08 \cdot 104}{32} = 0,325 \text{ кг.}$$

$$\text{Образуется } Cr_2O_3: \frac{1,25 \cdot 0,08 \cdot 152}{104} = 0,015 \text{ кг.}$$

Остальное усвоится металлом. ФХ002А внесет в металл, кг:

$$C - 73,395 \cdot 0,92 \cdot 0,0002 = 0,014;$$

$$Si - 73,395 \cdot 0,92 \cdot 0,015 = 1,013;$$

$$P - 73,395 \cdot 0,92 \cdot 0,0002 = 0,014;$$

$$S - 73,395 \cdot 0,92 \cdot 0,0002 = 0,014;$$

$$Cr - 73,395 \cdot 0,92 \cdot 0,67 = 45,241;$$

$$Al - 73,395 \cdot 0,92 \cdot 0,002 = 0,135;$$

$$Fe - 73,395 \cdot 0,92 \cdot 0,312 = 21,067.$$

Поступило в металл с ФХ002А 67,523 кг.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		58

Алюминий. Кускового алюминия необходимо внести 5 кг/т металла, следовательно, алюминия кускового необходимо 20,215 кг или 0,5 кг алюминия.

Так как в данном случае алюминий используется как раскислитель, то свяжется кислородом $\frac{0,5 \cdot 54}{32} = 0,8$ кг.

Образуется и перейдет в шлак Al_2O_3 $\frac{0,5 \cdot 102}{54} = 0,94$ кг.

Кремний. В данный момент в печи находится $3939,321 + 67,523 = 4006,844$ кг металла. Найдем необходимое количество ФС45 для раскисления и легирования металла кремнием:

$$P_{\text{ФС45}} = \frac{100}{45 \cdot (100 - 54)} \cdot (0,4 - 0) \cdot 4006,844 = 77,427 \text{ кг.}$$

$$\Theta_{\text{Si}} = 77,427 \cdot \frac{45}{4006,844} = 0,870 \text{ кг.}$$

Если учесть, что 54% идет на раскисление, то 46% усвоится металлом.

Кремний свяжет кислорода: $\frac{0,87 \cdot 0,54 \cdot 32}{28} = 0,537$ кг.

Образуется и перейдет в шлак SiO_2 : $\frac{0,87 \cdot 0,54 \cdot 60}{28} = 1,007$ кг.

ФС45 внесет в металл, кг:

$$\text{C} - 77,427 \cdot 0,46 \cdot 0,002 = 0,071;$$

$$\text{Si} - 77,427 \cdot 0,46 \cdot 0,45 = 16,027;$$

$$\text{Mn} - 77,427 \cdot 0,46 \cdot 0,006 = 0,214;$$

$$\text{P} - 77,427 \cdot 0,46 \cdot 0,0005 = 0,018;$$

$$\text{S} - 77,427 \cdot 0,46 \cdot 0,0002 = 0,007;$$

$$\text{Cr} - 77,427 \cdot 0,46 \cdot 0,005 = 0,178;$$

$$\text{Al} - 77,427 \cdot 0,46 \cdot 0,02 = 0,712;$$

$$\text{Fe} - 77,427 \cdot 0,92 \cdot 0,516 = 18,378.$$

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		59

Поступило в металл с ФС45 - 35,616 кг.

Всего металла в печи: $4006,844+35,616=4042,460$ кг.

Все легирующие раскислители, кроме алюминия, вносятся в металл с известью. Всего внесено: $15+71,234=86,234$ кг. При прокаливании выделится CO_2 – 5% от массы извести, или 4,312 кг. Для лучшей жидкоподвижности шлака раскисляем его порошком алюминия в количестве 4,043 кг.

После того, как пройдет первоначальное легирование и раскисление, необходимо скатать шлак.

б) Наведение вторичного шлака.

Наводится известково-глиноземистый шлак, состав которого - примерно 60% CaF_2 и 40% Al_2O_3 . Шлак будет состоять из извести и отработанного флюса в соотношении 2:1 в количестве около 2% от веса металла.

в) Легирование бором.

После наведения вторичного шлака, производим легирование бором. Для этого понадобится ферробора:

$$P_{\text{ФБ20}} = \frac{100}{20 \cdot (100 - 0)} \cdot (1,7 - 0,23) \cdot 4042,460 = 297,121 \text{ кг, или } 1,47 \text{ кг бора.}$$

При условии, что весь бор усвоится металлом, ферробор внесет в металл, кг:

$$\text{C} - 297,121 \cdot 0,0005 = 0,149;$$

$$\text{Si} - 297,121 \cdot 0,02 = 5,942;$$

$$\text{P} - 297,121 \cdot 0,0002 = 0,059;$$

$$\text{S} - 297,121 \cdot 0,0001 = 0,030;$$

$$\text{Cu} - 297,121 \cdot 0,0005 = 0,149;$$

$$\text{Al} - 297,121 \cdot 0,03 = 8,914;$$

$$\text{B} - 297,121 \cdot 0,2 = 59,424;$$

$$\text{Fe} - 297,121 \cdot 0,749 = 222,544.$$

После проведения легирования шлак скатать.

г) Раскисление металла.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		60

Производим раскисление ферротитаном и кусковым алюминием. На этот момент масса металла в печи будет составлять $4042,460+297,121=4339,581$ кг.

Алюминий. Кускового алюминия необходимо внести 2 кг/т металла, следовательно, алюминия кускового необходимо 8,679 кг или 0,2кг алюминия.

Так как в данном случае алюминий используется как раскислитель, то свяжется кислородом $\frac{0,2 \cdot 54}{32} = 0,337$ кг.

Образуется и перейдет в шлак $Al_2O_3 \frac{0,2 \cdot 102}{54} = 0,378$ кг. Остальные элементы усвоятся металлом.

Алюминий кусковой внесет в металл, кг:

$$Si - 8,679 \cdot 0,0015 = 0,13;$$

$$Cu - 8,679 \cdot 0,0005 = 0,004;$$

$$Ti - 8,679 \cdot 0,004 = 0,035;$$

$$Fe - 8,679 \cdot 0,0006 = 0,005.$$

Титан. Произведем легирование титановой губкой из расчета, что количество металла составляет 4339,755 кг.

Титановой губки понадобится:

$$P_{Ti-Ta} = \frac{100}{97,75 \cdot (100 - 50)} \cdot (4 - 0) \cdot 4339,755 = 355,775 \text{ кг.}$$

Или 7 кг титана. При этом, 50% пойдет на раскисление, 50% усвоится металлом. Свяжет кислород $\frac{7 \cdot 0,5 \cdot 32}{48} = 2,333$ кг. При этом образуется TiO_2 и

перейдет в шлак $\frac{7 \cdot 0,5 \cdot 80}{48} = 5,83$ кг.

Титановая губка внесет в металл, кг:

$$C - 355,775 \cdot 0,5 \cdot 0,001 = 0,177;$$

$$Ti - 355,775 \cdot 0,5 \cdot 0,7 = 124,514;$$

$$Fe - 355,775 \cdot 0,5 \cdot 0,0179 = 3,184.$$

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		61

Остальные 0,36% теряются при подготовке титановой губки к легированию.

$$(N_2+Cl)=355,775 \cdot 0,5 \cdot 0,0036=0,640 \text{ кг.}$$

д) Шлакообразование.

Наведем белый шлак из 100 кг извести, 40 кг плавикового шпата, 60 кг глинозёма.

Расчет компонентов, вносимых известью, кг:

$$CaO - 100 \cdot 0,92=92;$$

$$SiO_2 - 100 \cdot 0,02=2;$$

$$MgO - 100 \cdot 0,01=1.$$

Образуется CO_2 при прокаливании 5 кг.

Расчет компонентов, вносимых плавиковым шпатом, кг:

$$CaO - 40 \cdot 0,005=0,2;$$

$$SiO_2 - 40 \cdot 0,036=1,44;$$

$$Al_2O_3 - 40 \cdot 0,002=0,08;$$

$$CaF_2 - 40 \cdot 0,94=37,6;$$

$$Fe_2O_3 - 40 \cdot 0,015=0,6.$$

В пересчете на FeO $\frac{0,6 \cdot 112 \cdot 0,2}{160 \cdot 56} = 0,54$ кг. Кроме того, выделится в атмосферу

за счет потерь при прокаливании $40 \cdot 0,002=0,08$ кг (CO_2).

Расчет компонентов, вносимых глиноземом, кг:

$$Al_2O_3 - 60 \cdot 0,6=36;$$

$$CaF_2 - 60 \cdot 0,3=18;$$

$$Fe_2O_3 - 60 \cdot 0,1=6.$$

В пересчете на FeO - $\frac{6 \cdot 112 \cdot 72}{160 \cdot 56} = 5,4$ кг.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		62

Таблица 4.15 – Масса и состав конечного шлака

В килограммах

Источник поступления	CaO	SiO ₂	Mg O	Mn O	Cr ₂ O 3	Al ₂ O 3	FeO	CaF ₂	TiO ₂	Σ
Известь	92	2	1	-	-	-	-	-	-	95
Плавленый шпат	0,2	1,44	-	-	-	0,08	0,54	37,6	-	39,86
Глинозем	-	-	-	-	-	36	5,4	18	-	59,4
Пришло из металла	-	-	-	0,22 3	15,78	-	-	-	-	16,368
Титановая губка	-	-	-	-	-	-	-	-	5,83 3	5,833
Алюминий кусковой	-	-	-	-	-	0,378	-	-	-	0,378
Всего	92,2	3,44	1	0,22 3	15,78	36,45 8	5,94	55,6	5,83 3	216,47 4
Всего, %	42,59 2	1,58 9	0,46 2	0,10 3	7,290	16,84 2	2,74 4	25,68 4	2,69 5	100,00 0

е) Легирование феррованадием.

Перед выпуском металла из печи производим легирование феррованадием. На этот момент масса металла в печи составляет $4339,755 + 177,586 = 4517,341$ кг.

Для легирования понадобится феррованадия:

$$P_{\text{Фвд60}} = \frac{100}{60 \cdot (100 - 0)} \cdot (0,3 - 0,14) \cdot 4517,341 = 12,046 \text{ кг, или } 0,16 \text{ кг ванадия.}$$

При условии, что весь ванадий усвоится металлом, феррованадий внесет в металл, кг:

$$C - 12,046 \cdot 0,005 = 0,06;$$

$$Si - 12,046 \cdot 0,015 = 0,181;$$

$$P - 12,046 \cdot 0,0005 = 0,006;$$

$$S - 12,046 \cdot 0,0005 = 0,006;$$

$$Al - 12,046 \cdot 0,02 = 0,241;$$

$$V - 12,046 \cdot 0,6 = 7,228;$$

$$Fe - 12,046 \cdot 0,362 = 4,361.$$

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ		Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата			63

Таблица 4.16 – Баланс металла после доводки

В килограммах

Элемент	Металл	ФС45	ФХ002А	ФБ20	ТГ-Тв	А7	Фвд60	Содержание	Содержание, %
C	1,287	0,071	0,014	0,149	0,155	-	0,06	1,736	0,04
O	4,357	-0,536	-0,325	-	-2,333	-1,137	-	0,026	0,001
Si	0	16,027	1,013	5,942	-	0,13	0,181	23,293	0,52
Mn	2,748	0,214	-	-	-	-	-	2,962	0,10
P	0,23	0,018	0,014	0,059	-	-	0,006	0,327	0,01
S	0,676	0,007	0,014	0,03	-	-	0,006	0,733	0,02
Cr	256,361	0,178	45,241	-	-	-	-	301,78	6,79
Ni	9,687	-	-	-	-	-	-	9,687	0,22
Ti	0	-	-	-	124,514	0,035	-	124,549	2,79
W	1,675	-	-	-	-	-	-	1,675	0,04
Al	0	0,712	0,135	8,914	-	-	0,241	10,002	0,22
Mo	10,82	-	-	-	-	-	-	10,82	0,24
Cu	5,775	-	-	0,149	-	0,004	-	5,928	0,13
V	5,29	-	-	-	-	-	7,228	12,518	0,28
B	9,066	-	-	59,424	-	-	-	68,49	1,54
Fe	3617,63	18,378	21,067	222,544	2,781	0,005	4,361	3886,77	87,43
Всего	3925,6	35,069	67,173	297,211	109,373	-0,963	12,083	4461,29	100,00

Суммарный материальный баланс восстановительного периода

Израсходовано, кг

Получено, кг

а) Металла – 3939,321	а) Металла – 4445,55
б) Шлакообразующих – 200	б) Шлака – 417,871
в том числе:	в том числе:
1) извести – 100	1) Титановая губка – 201,397
2) плавикового шпата – 40	2) Шлак восстановительного
3) глинозема – 60	периода – 216,474
в) Легирующие и раскислители – 738,647	г) Газов – 9,32
в том числе:	в том числе:
1) Ферросилиций – 35,616	1) CO ₂ (изв.) – 9,312
	2) CO ₂ (пл. шпат) – 0,08

2) Алюминий кусковой – 8,679 3) Ферробор – 297,121 4) Титановая губка – 310,77 5) Феррованадий – 12,046 6) Феррохром – 74,415	д) Пыли – 4,001 в том числе: 1) MnO – 0,056 2) Cr ₂ O ₃ – 3,945
---	--

Всего – 4877,968

Всего – 4876,742

Невязка – $4877,968 - 4876,742 = 1,226$ кг или $\frac{1,226}{4877,968} \cdot 100 = 0,025\%$

Полученная невязка находится в допустимых пределах.

Суммарный материальный баланс плавки в ДСП.

Израсходовано, кг	Получено, кг
а) Б1 – 1350	а) Металла – 4445,55
б) Б18 – 1350	б) Шлака – 497,735
в) Б23 – 1150	в) Пыли – 439,53
г) ФХ800А – 140	г) Газов – 419,802
д) ЧС82 – 510	
е) ФС45 – 35,616	
ж) ФБ20 – 297,121	
з) ТГ-ТВ – 310,77	
и) ФХ002А – 74,415	
к) ФВд60 – 12,046	
л) А7 – 8,679	
м) Известь – 190	
н) Футеровка печи – 34,071	
о) Шамотный бой – 45	
п) Плавиковый шпат – 45	

р) Electroды – 18	
с) Глинозем – 60	
т) Кислород технический – 173,833	
Всего: 5804,551	Всего: 5802,617

Невязка – $5804,551 - 5802,617 = 1,934$ кг или $\frac{1,934}{5804,551} \cdot 100 = 0,033\%$

Полученная невязка находится в допустимых пределах.

Таблица 4.17 – Суммарный баланс металла в ковше

Элемент	В килограммах			
	Металла в индукционной печи	Металла в ДСП	Содержится в металле	Содержится в металле, %
C	0,381	1,736	2,12	0,04
O	0,018	0,026	0,04	0,001
Si	1,971	23,293	25,26	0,38
Mn	1,035	2,962	4,00	0,10
P	0,161	0,327	0,49	0,01
S	0,141	0,733	0,87	0,02
Cr	520,29	301,78	822,07	15,46
Ni	1,0	9,687	10,69	0,20
Ti	10,063	124,549	134,609	2,52
W	0,02	1,675	1,70	0,03
Al	0,881	10,002	10,88	0,27
Mo	0,21	10,82	11,03	0,21
Cu	0,075	5,928	6,00	0,11
V	0,853	12,518	13,37	0,25
B	5,27	68,49	73,76	1,39
Fe	329,97	3886,77	4217,17	79,30
Всего	872,34	4445,55	5328,89	100,00

Суммарный материальный баланс плавки в ДСП и индукционной печи

Израсходовано, кг		Получено, кг	
а) Б1 – 1350		а) Металла – 5317,89	
б) Б18 – 1375		б) Шлака – 576,946	

- в) БЗЗ – 1175
- г) ФХ800А – 140
- д) ЧС82 – 840
- е) ФС45 – 35,616
- ж) ФБ20 – 297,121
- з) ТГ-Тв – 310,77
- и) ФХ002А – 74,415
- к) ФВд60 – 12,046
- л) Х99 - 500
- м) А7 – 8,679
- н) Известь – 220
- о) Футеровка печи – 61,271
- п) Шамотный бой – 45
- р) Плавиковаый шпат – 55
- с) Электроды – 18
- т) Глинозем – 60
- у) Кислород технический – 176,708

- в) Пыли – 447,555
- г) Газов – 419,994

Всего: 6764,626

Всего: 6762,385

Невязка – 6764,626-6762,385=2,241 кг или $\frac{2,241}{6764,626} \cdot 100 = 0,033\%$

Полученная невязка находится в допустимых пределах.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		67

5 ОСОБЕННОСТИ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ БОРА

Свойства элементарного бора.

Содержание в земной коре составляет 1×10^{-4} % (по массе). Среди элементов, используемых в черной металлургии, он один из наименее распространенных в природе (где-то на уровне молибдена и натрия). По концентрации в морской воде (4,6 мг/л) бор занимает 10 место. Бор - это первый и самый легкий элемент 3 группы в таблице Менделеева. На внешней орбите атома бора имеются 3 электрона, поэтому в большинстве его ионных соединений с другими элементами, валентность бора равна трем.

Физико-химические свойства и получение элементарного бора.

Установлено более десяти полиморфных модификаций кристаллического бора, однако, температурные области их существования и термическая стабильность исследованы недостаточно.

Термохимические свойства бора.

Температура плавления бора составляет 2180°C , скрытая теплота плавления $22,6$ кДж/моль, точка кипения 3700°C .

Бор характеризуется высокой хрупкостью при низких температурах и приобретает пластичность только при нагреве до $1800-2000^{\circ}\text{C}$. Литые образцы бора разрушаются при напряжении $105-140$ МПа; после химической полировки предел прочности на изгиб увеличивается до 315 МПа.

Химические соединения бора с железом и другими металлами (бориды).

В обычных условиях элементарный бор имеет очень слабую химическую активность, которая в значительной степени зависит от его модификаций, размера частиц и структуры. При высоких температурах бор взаимодействует с большинством элементов. Соединения железа и легирующих сталь элементов с бором (бориды) представляют собой обширный класс материалов, которые находят все большее самостоятельное применение в новой технике. Они имеют

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		68

высокие характеристики твердости и температуры плавления, обладают часто уникальным комплексом физических, физико-технических и химических свойств, в том числе таких, как работа выхода электронов, электрическая проводимость, магнитные свойства и прочее.

Взаимодействие бора с железом.

Fe-B – бориды железа, получаемые синтезом из элементов в среде аргона, характеризуются высокой твердостью, износостойкостью, жаростойкостью и коррозионной стойкостью. Эти свойства боридов железа используют для поверхностного борирования сталей в газовой, жидкой или твердой боросодержащей фазе. Хотя при реальных содержаниях бора в сталях равновесной фазой является Fe₂B; после температурной обработки при определенных режимах на границе зерен в ферритной и (в легированных сталях) аустенитной матрицы, наблюдаются как Fe₂B, так и FeB.

Взаимодействие бора с никелем, кобальтом, марганцем.

Бориды никеля получают синтезом из элементов при спекании смесей порошков аморфного бора с никелем в среде аргона или в вакуумных кварцевых ампулах. Высокую износостойкость боридных слоев широко используют при термодиффузионном насыщении бором поверхности различных деталей из чугуна и стали.

Растворимость бора в никеле крайне мала: 0,01-0,03 % при эвтектической температуре и несколько тысячных процента при комнатной температуре.

Бор повышает связи атомов в решетке никеля, уменьшает диффузионную подвижность атомов и вакансий, увеличивает сопротивление пластической деформации и особенно ползучести, снижает скорость роста кристаллов при собирательной рекристаллизации, оказывает рафинирующее действие, упрочняет никель.

Бориды кобальта синтезируются при спекании смеси и кобальта в сфере аргона при температуре 1050-1100°C. В результате термодиффузионного насыщения поверхности деталей бором из газовых, жидких и твердых сред

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		69

образуются слои кобальта, обладающие высокой окислостойкостью. Растворимость кобальта в боре составляет примерно 1 %.

Небольшие присадки бора к хрому существенно увеличивает его жаростойкость. Изменение в сплаве массового содержания бора с 0,01 до 1,0 % повышает стойкость хрома к окислению в интервале температур 1000-1300°C, снижая в среднем прирост массы образца почти в 2 раза.

Положительное влияние бора на жаростойкость хрома обусловлено образованием на поверхности образцов при окислении защитной пленки вследствие образования очень стойких к окислению боридов хрома, находящихся, как правило, на границах зерен.

Присадки бора в молибден до 0,1 % оказывают сильное модифицирующее действие на макро-, микро- и субструктуру металла, повышая его пластичность и прочность. Максимальная растворимость бора в молибдене при температуре 2175°C составляет примерно 0,8 % (ат.). Растворимость бора в твердом молибдене при 1200-2200°C можно удовлетворительно оценить по уравнению:

$$\lg CB = 2,0 - 5,47 \times 103/T,$$

где CB – атомное содержание бора, %.

В молибдене при 1950, 1600 и 1200°C растворяется соответственно следующее максимальное количество бора, %: 0,08-0,09; 0,06-0,07; 0,05. Максимальная растворимость молибдена в элементарном боре при эвтектидной температуре 1920°C составляет 2 %.

Низшие по содержанию бора бориды хрома, молибдена и вольфрама получают синтезом элементов в вакууме или нейтральной среде инертного газа при температуре 110-1800°C. Бориды состава Me_3B_4 , MeB_2 и Me_2B_5 образуются при восстановлении окислов соответствующих металлов карбидом бора в вакууме при 1500-1600°C. Тетрабориды CrB_4 , MoB_4 , WB_4 – получают дуговой плавкой смесей металла и бора. Бориды CrB , CrB_2 , Mo_2B_5 , и W_2B_5 - твердые тугоплавкие соединения, обладающие относительно высокой электрической проводимостью,

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		70

характеризуются высокой стойкостью против окисления, термо- и износостойкостью.

Взаимодействие бора с титаном, цирконием, ванадием, ниобием.

Растворимость в титане не превышает 2 % (ат.) В этой системе установлено существование четырех боридов: TiB , Ti_3B_4 , TiB_2 , Ti_2B_5 . Наиболее изучен TiB_2 – содержит 31,1 % бора, плотность – 4,38 г/см³, температура плавления - 2790°C. Плотность боридов Ti_2B и TiB_2 равна соответственно 4,565 и 4,558 г/см³. Соединение TiB разлагается при температуре 2600°C с образованием боридов Ti_2B и TiB_2 .

Предельная растворимость бора в цирконии составляет 1-2% (ат.), в β -цирконии растворяется до 3-5% (ат.) бора. В системе Zr-B установлено наличие 2 боридных фаз: ZrB_2 и ZrB_{12} .

Бориды титана и циркония получают синтезом из электронов при взаимодействии окислов металлов с карбидом бора или бором в вакууме при 1500-1700°C. Все бориды обладают высокими твердостью, температурой плавления и электрической проводимостью. TiB_2 и ZrB_2 характеризуются огнеупорностью и химической устойчивостью. Борид ZrB_{12} при температуре ниже 5,7К обладает сверхпроводимостью.

Образуется шесть боридов: V_3B_2 , VB , V_5B_6 , V_3B_4 , V_2B_4 , VB_2 . В твердом ванадии при эвтектической температуре 1550°C растворяется примерно 2 % бора. Наиболее изучены V_3B_2 и VB_2 .

Взаимодействие бора с алюминием и кремнием.

В связи с малой плотностью, высокими температурами плавления, химической стойкостью, большим поперечным сечением захвата тепловых нейтронов соединения Al-B являются перспективными материалами в ядерной технике, а AlB_{12} вместе с SiB_6 перспективен для изготовления кругов, имеющих малую плотность и хорошее сопротивление к скалыванию.

Бориды кремния имеют высокую окислительную стойкость и сопротивление тепловым ударам, высокую прочность при комнатной и повышенной

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		71

температуре. Абразивная способность близка к аналогичной характеристике карбида кремния.

При температуре 500°C в течение 1-9 часов SiB₄ активно окисляется на воздухе. Разработан устойчивый к окислению на воздухе и хорошо сопротивляющийся тепловому удару (до 1550°C) огнеупорный материал на силикатной основе (Si1SiB₄). Полупроводниковые свойства твердого раствора бора в кремнии используют при создании солнечных батарей, фотоэлементов для преобразования солнечной энергии в электрическую, бориды кремния используют также в ядерных реакторах.

Взаимодействие бора с азотом и углеродом.

В этой системе образуется одно соединение (нитрид бора). В азоте, который существует в трех модификациях - α-BN, β-BN, γ-BN. Графитоподобный обладает высокими электроизоляционными свойствами, устойчивостью к тепловым ударам, прочностью при высоких температурах, хорошей теплопроводностью, огнеупорными свойствами, устойчивостью в вакууме.

Достаточная пластичность кубических модификаций нитрида бора (β-BN) позволяет использовать его для обработки многих материалов в качестве режущего инструмента на металлической или иной связке, а также в абразивной промышленности.

Модификация γ-BN еще более пластичная, чем алмазоподобная β-BN, при относительно высокой твердости. Данное соединение успешно используют для обработки углеродистых легированных сталей.

Существуют две системы соединения: B₄C и B_{6,5}C, температура плавления 1900 и 2300°C соответственно и плотность 2,52 г/см³ и 2,49 г/см³.

Благодаря высокой абразивной способности карбид бора применяют при шлифовании и полировании твердых материалов. Изделия из карбида бора получают обычно горячим прессованием при повышенных температурах и давлениях (шлифовальные, отрезные круги, режущие инструменты буровых коронок, огнеупоры).

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		72

Взаимодействие бора с кислородом.

В системе В-О установлено семь модификаций в твердом состоянии: B_7O , B_6O , B_2O , B_4O_3 , BO , B_4O_5 , B_2O_3 . Наибольшее практическое значение имеет борный ангидрид B_2O_3 с массовым содержанием бора 31,6%. Плотность аморфного борангидрида 1,84 г/см³, жидкого – 1,5 г/см³. Температура плавления $B_2O_3=450^{\circ}C$, скрытая теплота плавления 24,6 кДж/моль, точка кипения $2124^{\circ}C$ скрытая теплота испарения – 356,3 кДж/моль.

Стали и сплавы с повышенным содержанием бора (0,2-3%)

Влияние легирования бором на структуру и свойства аустенитных сталей и сплавов.

Бор обладает очень низкой растворимостью в металлах и образует на участках диаграммы состояние Me – низший борид (по бору) эвтектику с достаточно высокой температурой плавления. Эта эвтектика не подвержена структурным превращениям, которые вызывают охрупчивание металла при высоких температурах. Повышающаяся жаропрочность аустенитных сталей, и снижающаяся ее склонность к коррозионному растрескиванию, являются упрочняющей фазой в аустенитных сталях и сплавах с повышенным содержанием бора. Сопоставление свойств боридов со свойствами карбидов и нитридов показывает, что бориды обладают более высокими показателями твердости, стойкости против окисления при высоких температурах, а также крипоустойчивости при несколько меньшей хрупкости.

Боридная эвтектика находится в аустенитных сталях в виде прослоек. Она наблюдается уже при содержании 0,01% бора. В легированных бором (0,2-0,3% и более) сталях и сплавах количество боридной эвтектики может достигать нескольких процентов. В литом металле боридная эвтектика имеет вид сетки, окаймляющей кристаллы аустенитной матрицы. В металле после горячей обработки металл давлением, бориды раздроблены и их скопления вытянуты вдоль направления деформации. Сварные швы на легированных бором аустенитных сталях и сплавах, имеют структуру, аналогичную литой, но

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		73

характеризуются малыми размерами кристалла аустенита, вследствие более высоких скоростей охлаждения сварного шва.

Характерной особенностью упрочняющей боридной фазы в аустенитных сталях является широкое варирование химического состава боридов в зависимости от содержания легирующих элементов. В бориды хромоникелевых сталей с содержанием никеля менее 20 %, связываются преимущественно железо и хром, а никель в формировании боридной фазы практически не участвует. Важное значение имеет то, что бор в этих сталях концентрируется в железохромном бориде (CrFe_2B), так как при этом уменьшаются возможности образования охрупчивающей σ -фазы, а также замедляет выделение карбида хрома (Cr_{23}C_6).

Никель взаимодействует с бором в сталях, содержащих более 20 % никеля и в сплавах на никелевой основе. Вследствие исследования влияния повышенных содержаний бора на свойство аустениных сталей и сплавов, а также по созданию серий легирования бором жаропрочных, окалиностойких и коррозионностойких аустенитных сталей и сплавов выяснилось, что эти стали и сплавы с высокими концентрациями бора выгодно отличаются от аналогичных композиций без бора (или с его микродобавками), лучшей свариваемостью, более высокой длительной пластичностью в сочетании с высоким уровнем длительной прочности и значительно меньшей скоростью охрупчивания в процессе теплового старения. Упрочнение легированных высоким содержанием бора аустенитных сталей и сплавов обеспечивается гетерогенной первичной структурой, характеризующейся высокой термодинамической устойчивостью и очень низкой степенью диффузионной связи боридной упрочняющей фазы с аустенитной матрицей.

При введении в аустенитную сталь бора в количестве, значительно превышающем предел его растворимости, существенно повышается стойкость металла (с 18 % никелем) к коррозионному растрескиванию, в том числе в растворах хлоридов, хотя из аустенитных сталей и сплавов без бора против коррозионного растрескивания хлоридных растворов без бора обычно устойчивы лишь высоконикелевые сплавы с содержанием никеля 40-45 %. Упрочнение

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		74

боридами аустенитных хромоникелевых и хромомарганцевых сталей может оказаться одним из эффективных способов повышения их кавитационной стойкости.

Большие возможности повышения качества стали и сплавов путем легирования бором нашли отражение в зарубежной практике.

Так, при добавлении к жаропрочному сплаву на никелевой основе с упрочняющей интерметаллидной фазой Ni_2Al до 3 % бора, позволяет, при сохранении высокотемпературных свойств сплава, обеспечить его высокую пластичность при комнатной температуре: сплав имеет относительное удлинение больше 30% и может быть прокатан при 20°C со степенью обжатия больше 50 % и изогнут при степени деформации 90 % и выше.

Вследствие образования высокодисперсных боридов (0,3-1,0 % бора) существенно улучшен предел текучести жаропрочной стали состава (углерода меньше или равно 0,06 %, кремния 3-5 %, марганца менее или равно 2 %, никель и хром (каждого) 12-24 %, молибден 2-3 %, вольфрам 1-3 %, ванадий, ниобий, кобальт (каждого) меньше или равно 2 %, алюминий и титан (каждого) меньше или равно 1 %). Эта сталь имеет высокую стойкость против газовой коррозии, коррозионного износа, насыщение азотом и углеродом и пригодных для литья иковки. Стойкостью против науглероживания при высоких температурах обладает также хромоникелевая сталь (содержание 0,35-0,75 % углерода, меньше или равно 2,5 % кремния, меньше или равно 2 % марганца, 24-28 % хрома, 33-37 % никеля, 0,1-0,5 % алюминия и циркония каждого, 0,1-0,3 % бора). Рекомендована для применения в химической промышленности, особенно при производстве, связанном с разложением углеводородов. Содержание бора меньше или равно 0,5 % не изменило коррозионной стойкости аустенитной нержавеющей стали, содержащей меньше или равно 0,08 %, кремния меньше или равно 1 %, хрома 20-25 %, никеля 20-35 %, марганца меньше или равно 20 %, однако, значительно повысило твердость (HV300) и прочность ($\sigma\beta=300$ МПа) этой стали, предлагаемой для применения в часовой промышленности.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		75

Для литейных форм при отливке стекла предложен боросодержащий (меньше или равно 3 % бора) сплав на никелевой основе (6-8 % хрома, 4-5 % кремния, 12-14 % железа), имеющий хорошую теплопроводность, износостойкость,

высокую прочность при вязком разрушении, хорошую полируемость, твердость HRC 36-38.

Легирование бором повышает не только жаропрочность, но и улучшает литейные свойства жаропрочных сплавов на никелевой основе. Увеличение в сплаве ХН60МВТЮ содержания бора до 0,6 % значительно уменьшает литейную усадку; наибольшая жидкотекучесть достигается в результате легирования сплавов 0,3 % бора; при таком содержании бора обеспечивается и наибольший объем концентрированной усадочной раковины, что соответствует наибольшей плотности отливки. Легирование бором в количестве более 0,3 % приводит к значительному уменьшению зерна и установлению транскристаллической структуры; боридная эвтектика предотвращает образование в отливках горячих трещин.

Бором легируют стали, предназначенные для замедления поглощения нейтронов. Бор обладает в 300 раз большим сечением захвата нейтронов, чем железо. Введение в сталь 1 % бора повышает сечение захвата нейтронов в 10 раз, поэтому, в атомной промышленности широко используют для изготовления элементов биологической защиты и деталей систем регулирования (контрольные стержни) боросодержащие низкоуглеродистые, а также нержавеющие стали и сплавы. Использование нержавеющих сталей и сплавов в атомной энергетике определяются требованиями необходимого уровня коррозионно- и теплостойкости при повышенных температурах в пароводяной и паровоздушной средах.

Аустенитные стали с боридным упрочнением выпускают в виде сортового проката, поковок, листа, труб и сварочной проволоки. Легированные бором сплавы на никелевой основе применяют преимущественно в литом состоянии. В связи со склонностью бора к ликвации при производстве крупносортового

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		76

металла используют ЭШП, в процессе которого улучшаются технологические свойства при горячем переделе. Особенно эффективен ЭШП при производстве труб из аустенитных сталей.

Износостойкие стали, легированные бором.

Высокие прочностные свойства боридов и боркарбидов позволяют создать износостойкие борсодержащие стали для различных целей. Такие стали используют для производства валков холодной прокатки; для размольной гарнитуры дисковых мельниц, применяемых для размолы щепы, целлюлозы и других волокнистых материалов; для изготовления штампов для горячей обработки металлов давлением, для измельчающих шаров – шаровых мельниц, для изготовления клапанов и других деталей автомобилей.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		77

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрена технология выплавки в индукционной тигельной и электродуговой печи комбинированным процессом стали марки ЧС82. Произведен расчёт материального баланса плавки стали марки ЧС-82. Рассмотрено влияние бора на свойства стали.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		78

Библиографический список

- 1 Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия: Учебник для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с.
- 2 Еднерал Ф.П. Электрометаллургия стали и ферросплавов. – М.:Металлургиздат, 1963. – 640 с.
- 3 Лякишев Н.П., Плинер Ю.Л., Лаппо С.И. Борсодержащие стали и сплавы. – М.:Металлургия, 1986. – 190 с.
- 4 Строганов А.Н., Рысс Н.А. Производство стали и ферросплавов. – М.:Металлургия, 1974. – 400 с.
- 5 Челищев Е.В., Арсентьев П.П., Яковлев В.В., Рыжонков Д.И. Общая металлургия. – М.:Металлургия, 1971. – 480 с.
- 6 Рябов А.В., Чуманов И.В. Расчёты материальных и энергетических балансов в сталеплавильных и внепечных агрегатах: Учебное пособие. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 216с.
- 7 Поволоцкий Д. Я. Основы технологии производства стали: Учебное пособие для ВУЗов. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2000. – 189 с.
- 8 Рябов А.В., Чуманов В.И. Внепечная обработка стали: Учебное пособие.- Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002.- 45с.
- 9 Технологические инструкции ЗМЗ-ЭДП. Выплавка стали и сплавов в электродуговых печах с основной футеровкой. – Златоуст: ОАО "ЗМЗ", 2017. – 608 с.
- 10 Рябов А.В., Ощепков Б.В. Электрометаллургия стали и ферросплавов: Учебное пособие к курсовому проектированию. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. – 63с.
- 11 Поволоцкий Д.Я., Рошин В.Е., Рысс М.А., Строганов А.И., Ярцев М.А. Электрометаллургия стали и ферросплавов. – Учебник для вузов. Изд. 2-е, переработ. и доп. – М.: Металлургия, 1984 г. 568 с.
- 12 В. А Кудрин "Теория и технология производства стали" Москва 2003г

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		79

13 Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. Современная технология производства стали –М.: «Теплотехник», 2007. – 528с.

14 Выплавка стали марки ЧС 82. ТИ 47-Э-2013

15 ТУ14-1-4599-89. Сталь марки 04Х13Т3Р1Ф (ЧС-82)

16 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42561824>

17 Технологическая инструкция ЗМЗ ОИП. Выплавка стали и сплавов в индукционных печах. – Златоуст: ОАО "ЗМЗ", 2017. – 71 с.

					22.03.02.2021.316.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№Докум.	Подпись	Дата		80