

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Металлургия и технологии обработки материалов»

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

ПРАКТИКУМ

**для студентов специальности
1-42 01 01 «Металлургическое производство
и материалобработка (по направлениям)»
специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия
черных и цветных металлов»
дневной формы обучения**

Гомель 2024

УДК 669.1(075.8)
ББК 34.32я73
М54

*Рекомендовано научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 2 от 27.09.2022 г.)*

Составитель *И. Н. Прусенко*

Рецензент: декан машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Г. В. Петришин*

М54 **Металлургическая** переработка отходов : практикум для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия черных и цветных металлов» днев. формы обучения / сост. И. Н. Прусенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – 37 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Представлен ряд практических работ, необходимых для закрепления тем по дисциплине.
Для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия черных и цветных металлов» дневной формы обучения.

УДК 669.1(075.8)
ББК 34.32я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Практическая работа № 1</i> Определение основных физико-химических характеристик металлической стружки.....	4
<i>Практическая работа № 2</i> Определение основных физико-химических характеристик металлической окалины.....	11
<i>Практическая работа № 3</i> Изучение технологии переработки металлической стружки	15
<i>Практическая работа № 4</i> Изучение технологии переработки окалины.....	18
<i>Практическая работа № 5</i> Изучение процессов сепарации.....	23
<i>Практическая работа № 6</i> Изучение технологии вторичной плавки черных и цветных металлов.....	28

Практическая работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ

Цель работы: ознакомиться с основными физико-химическими характеристиками стружки черных и цветных сплавов, произвести расчеты технологических показателей.

1. Теоретическая часть

Технический прогресс привел к интенсивному использованию металла, ресурсы которого постепенно сокращаются. Это приводит к дефициту и подорожанию этого сырья. Учитывая, что запасы руды неограничены, а легкодоступный металлический лом практически исчерпан, возникает вопрос поиска новых возможностей пополнения сырья для возобновления запасов металла.

Одним из таких способов является сбор и последующая переработка металлической стружки. В Республике Беларусь по ориентировочным данным образуется не менее 200–250 тыс. т стружки.

Металлическая стружка – совокупность мелких частиц металла, срезаемых или сдираемых с обрабатываемых поверхностей металлических заготовок для придания им заданной конструктивной формы и размеров. При распиловке заготовок, их абразивной резке и зачистке, при сверлении и расточке отверстий и внутренних полостей снимается слой металла, который меняет свои размеры и форму. Отделение слоя металла от заготовки и образование стружки происходит под действием силы, приложенной к режущему инструменту, следовательно, изменение формы срезаемого слоя металла обрабатываемой заготовки также является результатом воздействия приложенной внешней силы.

Изменение формы какого-либо тела под действием силы называется деформацией. Если после прекращения действия силы первоначальная форма тела восстанавливается, деформация называется упругой. Если после прекращения действия силы тело не восстанавливает первоначальной формы, деформация называется пластической.

При резании металлов имеют место главным образом пластические деформации. Режущий инструмент, внедряясь в металл под действием приложенной силы, изменяет форму поверхностного слоя металла обрабатываемой заготовки, сдвигая его частицы и превращая их в стружку.

Таким образом, процесс образования стружки состоит из врезания режущего инструмента в обрабатываемую заготовку, смещения одних частиц металла относительно других, образования элементов стружки и отделения образовавшейся стружки.

Образование стружки происходит различно для вязких и для хрупких металлов.

В процессе образования стружки при обработке вязких металлов (мягкая сталь, медь, алюминий) инструмент сначала вдавливается в обрабатываемую заготовку, а затем передней поверхностью сжимает металл. Вследствие сжатия образовавшийся элемент стружки слегка поворачивается, и таким образом получается изогнутая стружка, одна сторона которой, прилегающая к резцу, гладкая, а другая – зазубренная. Такую стружку, получающуюся от постепенного скалывания элементов снимаемого слоя, называют стружкой скалывания.

При обработке хрупких металлов (чугун, бронза, закаленная сталь) режущий инструмент сначала углубляется в заготовку таким же образом, как при резании вязких металлов, но после его некоторого углубления элемент стружки не скалывается, а отламывается, причем образующийся перед кромкой резца элемент имеет форму, отличную от стружки скалывания. Обычно при этом вырывается часть металла, лежащая ниже вершины острия резца, вследствие чего обработанная поверхность получается недостаточно гладкой.

Получающаяся при обработке хрупких металлов стружка состоит из элементов неправильной формы, не связанных друг с другом и похожих на чешуйки. На стороне, соприкасавшейся с резцом, она имеет неровную поверхность, а на другой стороне гладкую вогнутую поверхность – стружка надлома.

В случае обработки металлов с малыми подачами и при небольших глубинах резания, но с большой скоростью отдельные элементы в стружке как бы сливаются и образуют так называемую сливную стружку.

Стружка подразделяется на вьюнообразную (с длиной витка > 100 мм), сыпучую (с длиной витка < 100 мм) и смешанную, состоящую из смеси вьюнообразной и сыпучей стружки, а также содержащей посторонние примеси. Стружка используется после предварительной подготовки в качестве металлической составляющей шихты при выплавке стали и сплавов. При обработке заготовок на металлообрабатывающих станках применяют смазывающе-охлаждающие жидкости. Поэтому необходимо перед загрузкой стружки в плавильный агрегат ее промывка, сушка, компактирование на вальцевых брикетизирующих прессах. Вьюнообразную сливную стружку предварительно измельчают в валковых или молотковых дробилках.

В литейные цеха на переплавку стружка доставляется россыпью с различных предприятий, при этом, как правило, значительно отличается величиной насыпной массы, фракционным составом, степенью загрязнения и др. параметрами.

Условно можно разделить всю стружку на две группы - смешанная «крупная» и смешанная «мелкая» (рис. 1, 2), без учета степени загрязнения.



Рисунок 1 - Чугунная элементная стружка



Рисунок 2 - Чугунная элементная мелкая стружка

Соответственно насыпная плотность (ρ_c) данных групп стружки колеблется от 1000-1300 до 1500-1600 кг/м³. Кроме того необходимо принимать во внимание сроки хранения стружки на складах, так как при длительном хранении на площадках насыпная плотность увеличивается до 1700-1900 кг/м³. ГОСТ регламентирует среднее значение $\rho_c = 1800$ кг/м³, ориентируясь на максимальные сроки хранения, что не всегда возможно. При длительном хранении стружка слеживается, подвергается коррозии. Насыпная масса увеличивается до 1,7-1,9 т/м³.

Насыпная плотность стружки зависит от фракционного состава, толщины слоя, времени хранения (слеживания) на площадках, механических

воздействий и других факторов. Расчет насыпной плотности стружки производят по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m - масса стружки в емкости, кг;

V - объем стружки в мерной ёмкости, м³

Дисперсность стружки наглядным образом представляется в логарифмически-вероятностной шкале координат. Для этого используют результаты распределения частиц по диаметрам методом ситового анализа на установке модели 029. Стружка имеет широкий диапазон размеров и характеризуется высоким суммарным коэффициентом полидисперсности, определяемый как отношение максимального диаметра частиц полидисперсного материала к минимальному:

$$П = \frac{d_{\max}}{d_{\min}}, \quad (2)$$

где d_{\max} - максимальный диаметр частиц материала, мм;

d_{\min} - минимальный диаметр частиц материала, мм;

Для алюминиевой стружки величина коэффициента $П$ от 20 и более, для чугунной $П$ от 50 и более.

Угол естественного откоса характеризует адгезионные свойства стружки, в том числе статическое состояние сыпучего материала. Значение этого параметра необходимо учитывать при конструировании и расчетах емкостей для хранения стружки, устройств для разгрузки стружки и т. п. Для алюминиевой стружки значение угла естественного откоса находится в пределах $43 \div 45^\circ$, для чугунной стружки $32-35^\circ$.

Порядок проведения работы

1. Используя формулу 1 произвести расчет насыпной плотности металлической стружки. Объем мерной емкости принять равным 200 мл. Расчеты повторяются 3 раза для каждой группы стружки с определением среднего значения. Результаты записываем в таблицу 1.

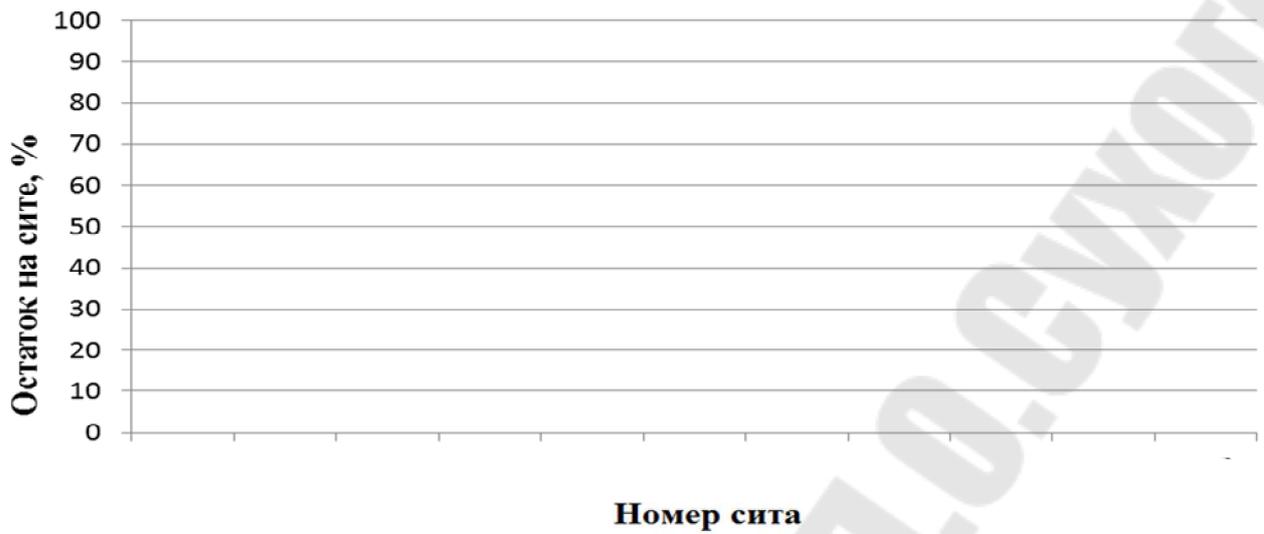


Рисунок 3 – Фракционный состав металлической стружки

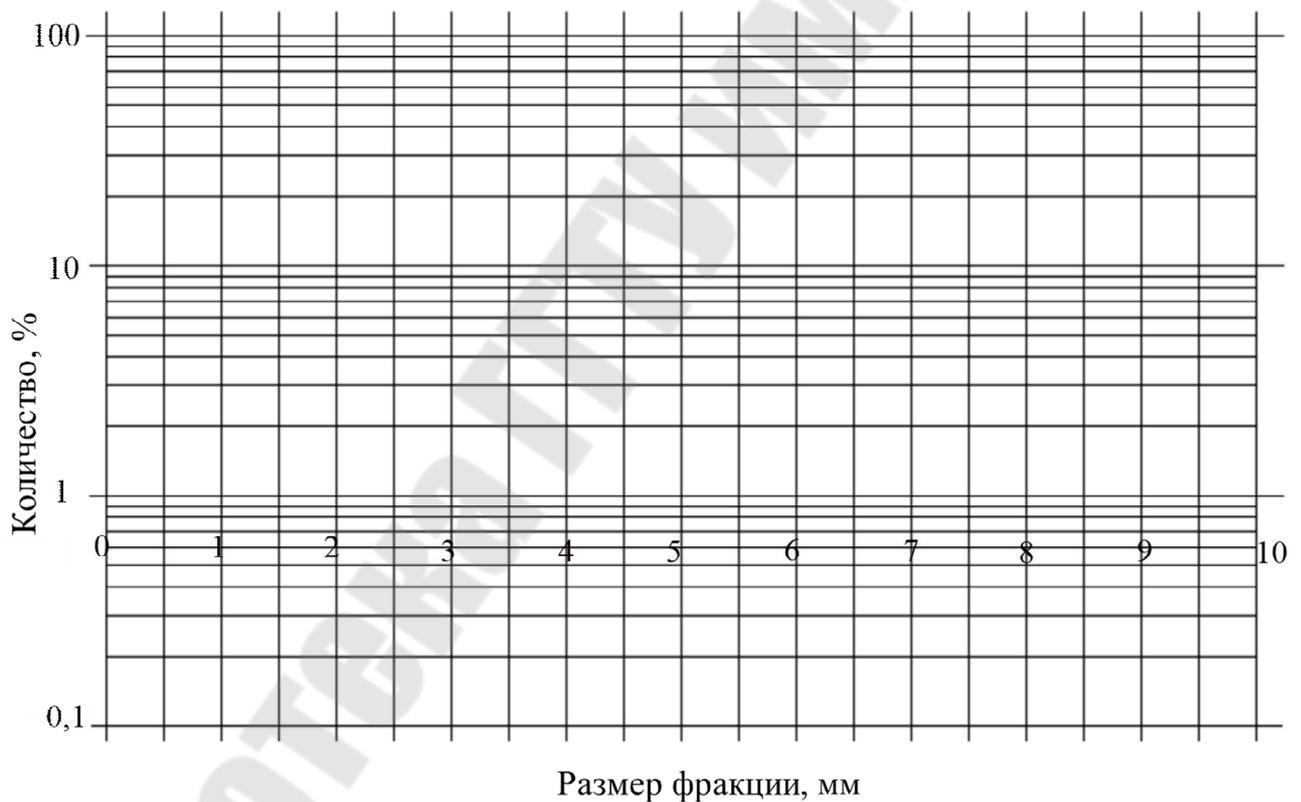


Рисунок 4 – График фракционного состава металлической стружки

3. Произвести расчет коэффициента полидисперсности для каждого вида металлической стружки

3. Контрольные вопросы

1. Что такое стружка?
2. По каким признакам классифицируется стружка?
3. Где применяется стружка?
4. Как определить насыпную плотность стружки?
5. Порядок определения фракционного состава стружки?
6. Что такое стружка?
7. По каким признакам классифицируется стружка?
8. Где применяется стружка?
9. Как определить насыпную плотность стружки?
10. Порядок определения фракционного состава стружки?
11. Как наличие влаги и масла влияет на качество стружки?

Практическая работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОКАЛИНЫ

Цель работы: ознакомиться с основными физико-химическими характеристиками окалины, произвести расчеты технологических показателей

1. Теоретическая часть

Окалина - продукт высокотемпературного окисления металла или газовой коррозии. На готовом стальном полуфабрикате обычно имеется окалина толщиной < 20 мкм (чаще 7-15 мкм). Наружный слой окалины обычно вюстит (FeO), внутренний слой, прилегающий к металлу - гематит (Fe_2O_3). Различают первичную окалину, образующуюся при нагреве под деформацию, и вторичную окалину, появляющуюся в процессе деформации и последующего охлаждения. При прокатке окалина удаляется на окалиноломателях и гидросбивом. Окалинообразование наиболее интенсивно развивается при температурах выше $900-1000$ °С, при прокатке оно приводит к потерям металла до 3-4%.

В таблице 1 приведен химический состав окалины, образующейся на ОАО "Белорусский металлургический завод - управляющая компания холдинга "Белорусская металлургическая компания"

Таблица 1 - Химический состав окалины

Материал	Место образования	Fe общ	Fe мет	FeO	Fe ₂ O ₃	C	S	P	Mn
Окалина крупночешуйчатая	заготовки ЭСПЦ	72	2,6	61	31	0,22	0,02	0,012	0,45
Окалина мелкочешуйчатая	прокатное производство	73	4,3	61	31	0,15	0,02	0,01	0,43
Пыль аспирационная	фильтры ЭСПЦ	30	0,7	4,1	37	1,99	0,82	0,011	2
Пыль абразивная	Станки при обтачивании	85	79	7,2	0,6	4,1	0,02	0,007	0,04

2. Порядок проведения работы

1. Произвести расчет насыпной плотности окалины крупно- и мелкочешуйчатой. Объем мерной емкости принять равным 200 мл. Расчеты повторяются 3 раза для каждой группы окалины с определением среднего значения. Насыпная плотность окалины определяется по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m - масса стружки в емкости, кг;

V - объем стружки в мерной ёмкости, м³

Результаты расчетов записываем в таблицу 2.

Таблица 1 – Результаты определения насыпной плотности окалины

№ п/п	Окалина крупночешуйчатая			Окалина мелкочешуйчатая		
	Объем, м ³	Масса, кг	Плотность, кг/м ³	Объем, м ³	Масса, кг	Плотность, кг/м ³
1						
2						
3						
Среднее значение						

2. Определить фракционный состава окалины.

Отмерить на весах 100 г окалины. Провести ситовой анализ;

1) собрать сита. Под нижнее сито установить тазик;

2) снять крышку со стопки сит и на верхнее сито насыпать 100 г окалины;

3) накрыть стопку сит крышкой, поставить всю собранную стопку на поддон прибора модели 029 для ситового анализа и накрыть верхней крышкой;

4) включить прибор и через 15 инут остановить его работу;

5) освободить стопку сит и снять ее с поддона;

6) аккуратно снять со стопки каждое верхнее сито по очереди, высыпать содержимое на бумагу, после чего изъять застрявшие в отверстиях частицы окалины, прочистив сито с обеих сторон мягкой кисточкой. Остаток в тазике также высыпать на бумагу;

7) высыпанную на бумагу окалину из каждого сита тщательно взвесить с точностью до 0,01г, занести результаты в таблицу 3.

Таблица 3 - Результаты ситового анализа

Окалина крупночешуйчатая		Окалина мелкочешуйчатая	
Размер фракции, мм	Масса, г	Размер фракции, мм	Масса, г
более 2,5		более 2,5	
1,6-2,5		1,6-2,5	
1,0-1,6		1,0-1,6	
0,63-1,0		0,63-1,0	
0,4-0,63		0,4-0,63	
0,315-0,4		0,315-0,4	
0,2-0,315		0,2-0,315	
0,16-0,2		0,16-0,2	
0,1-0,16		0,1-0,16	
0,063-0,1		0,063-0,1	
0,05-0,063		0,05-0,063	
менее 0,05		менее 0,05	
потери		потери	
6. всего		всего	

По полученным данным построить диаграмму и проанализировать полученные результаты (рис. 1).

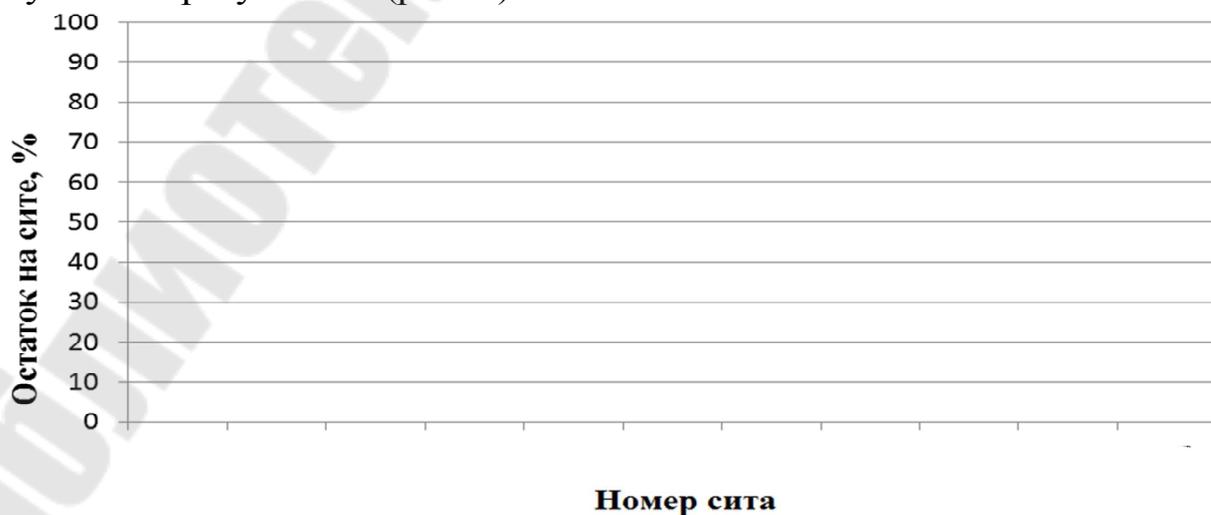


Рисунок 3 – Фракционный состав металлической стружки

3. Произвести расчет коэффициента полидисперсности для каждого вида окалины по формуле:

$$П = \frac{d_{\max}}{d_{\min}} \quad (2)$$

где d_{\max} - максимальный диаметр частиц материала, мм;
 d_{\min} - минимальный диаметр частиц материала, мм.

3. Контрольные вопросы

1. Что такое окалина?
2. Строение окалины?
3. Охарактеризуйте оксиды железа
4. Назовите высший и низший оксид.
5. Что такое вюстит, гематит, магнетит?
6. Порядок проведения ситового анализа.

Практическая работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ

Цель работы: ознакомиться с технологическим процессом переработки металлической стружки

1. Теоретическая часть

Одним из способов переработки стружки является брикетирование. Технология горячего брикетирования чугуновой стружки заключается в следующем: поставляемая из структурных подразделений стружка с влажностью до 8 % без предварительной очистки от СОЖ брикетируются на гидравлическом прессе. Полученные брикеты через транспортную систему загружают в печь, где при нагревании до температуры $t = 700-800$ °С из них происходит выпаривание влаги и разложение масла с выделением свободного углерода, частички которого, оседая на фракциях стружки, препятствуют окислению металла. Затем брикеты выдаются из печи, в горячем состоянии доуплотняются во втором прессе и выдаются в тару. Для реализации этого технологического процесса необходимо следующие оборудование:

- приемные бункера;
- конвейер подачи стружки;
- грохот для удаления из стружки посторонних предметов;
- конвейер подачи стружки в приемный бункер;
- приемный бункер с вибратором;
- пресс гидравлический усилием 600 тс;
- транспортер наклонный для накопления брикетов и их подачи на позицию загрузки;
- манипулятор загрузки;
- газовая печь для нагрева брикетов;
- механизм выгрузки из печи;
- манипулятор для загрузки брикетов во второй пресс;
- пресс усилием 600 тс со штампом и штамповой оснасткой для горячего прессования;
- транспортер для приема горячих брикетов и выдачи их в тару.

Кроме того, комплекс оборудован емкостями для сбора отжаты

3. Контрольные вопросы

1. Что такое стружка?
2. Классификация стружки?
3. Описать последовательность операций при брикетировании стружки?
4. Что такое горячее и холодное брикетирование стружки?
5. Преимущества и недостатки горячего брикетирования стружки.

Практическая работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОКАЛИНЫ

Цель работы: ознакомиться с конструкцией ротационной печи, изучить оптимальные режимы переработки окалины.

1. Теоретическая часть

Предлагаемая технология рециклинга металлоотходов включает в себя 2 стадии: восстановление металлов из оксидов (сульфидов и других соединений) в безокислительной атмосфере в присутствии восстановителя (отсев кокса, электродный бой и т. д.); расплавление восстановленного металла и довосстановление в жидкой фазе, а также доводка расплава до требуемого хим. состава. Обе стадии технологического процесса реализуются в одном технологическом агрегате - ротационной наклоняющейся плавильной печи (РНП).

Ротационные печи – это новый тип печей, которые появились в последнее время как дальнейшее развитие вращающихся барабанных печей. Эти печи предоставляют широкие технологические возможности, в том числе возможность эффективной переработки металлосодержащих отходов, кроме того они имеют более высокий КПД – 50 % и более. Использование печей данного типа позволит в 2-3 раза, при прочих равных условиях, сократить длительность нагрева и плавления дисперсных материалов по сравнению со стационарной плавкой, дает возможность управлять процессами, протекающими в рабочем пространстве печи.

Устройство ротационной печи

Металлоконструкция опорная 1 (рис. 1) предназначена для крепления к ней всех основных узлов печи и устанавливается на фундаментные болты. Рама поворотная 2 крепится к металлоконструкции опорной 1 посредством осей 3. и опирается на регулируемые болты 4, установленные в металлоконструкции опорной 1. Задняя часть корпуса печи 5 содержит хвостовик, установленный в подшипник опоры задней 6, которая жёстко закреплена к металлоконструкции опорной 1. Передняя часть корпуса печи содержит опорное кольцо 7, которое опирается на ролики двух симметрично расположенных передних опор 8, жёстко прикреплённых к раме поворотной 2. Хвостовик корпуса печи содержит ведомую звёздочку 9 и посредством цепной передачи (на рис. 1 не показана) соединяется с приводом вращения 10, состоящей из ведущей звёздочки, жёстко закреплённой на валу мотор-

редуктора. Для выбора зазоров цепной передачи мотор-редуктор установлен на салазки с возможностью перемещения поперечно оси центров корпуса печи.

Корпус печи 5 имеет возможность вращения вокруг своей оси симметрии от привода вращения 10, имеет возможность поворота вокруг горизонтально расположенных осей 3.

Вращение корпуса обеспечивает качественное перемешивание окалины, а поворот (опрокидывание) корпуса печи - возможность слива выплавленного металла.

Торец печи в рабочем положении прикрывается крышкой поворотной 11, которая прикреплена к металлоконструкции опорной 1 с возможностью поворота вокруг вертикально расположенной оси (на рис. 1 не показана). Угол поворота крышки составляет 180° . В крайнем отведённом положении крышка обеспечивает возможность загрузки печи окалиной. На фланце 12 крышки поворотной 11 установлена газовая горелка 13, снабжённая своим пультом управления и системой автоматики. Подвод и отвод крышки поворотной 11 осуществляется вручную, а её фиксация в крайних положениях производится ручным фиксатором (осью).

Для управления приводом вращения 10 служит пульт 15, содержащий инвертор для регулировки числа оборотов привода вращения 10.

Для слива выплавленного металла служит лоток выпускной 16, жёстко прикреплённый к металлоконструкции опорной 1.

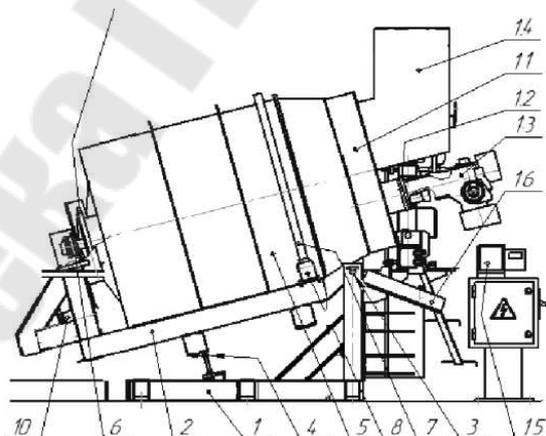


Рисунок 1 - Ротационная наклоняемая печь

Принцип работы печи заключается в том, что шихта (например, окалина) вместе с необходимыми добавками помещается в замкнутое пространство корпуса печи 5 и подвергается перемешиванию вследствие вращения корпуса печи вокруг его оси центров. При этом она нагревается от пламени горелки 13, восстанавливается и плавится. Выплавленный металл

скапливается в нижней части корпуса печи 5, а шлак остаётся сверху. При отводе крышки поворотной 11 и наклоне корпуса печи 5 осуществляется слив металла и удаление шлака. При возврате корпуса печи 5 в первоначальное (рабочее положение), осуществляется загрузка окалиной, возврат крышки откидной 11 в первоначальное (исходное) положение, включение привода вращения и запальника горелки. Цикл плавки повторяется.

Ротационная установка позволяет перерабатывать отходы практически любых металлов и в любом состоянии: от кускового лома до измельчённой стружки, включая сильно окисленные (окалину, металлургическую пыль) и загрязнённые отходы (стружку от металлорежущих станков, аспирационную пыль, уловленную фильтрами, шламы и др.). Футеровка печи, мощность горелочных устройств, рабочая ёмкость печи и её габариты выбираются в зависимости от типа перерабатываемых отходов и требуемой производительности. Преимущества ротационной печи по сравнению с традиционными тигельными, отражательными, котловыми и барабанными печами, используемыми для переработки отходов; установками и системами для рециклинга или прямого восстановления железа:

- снижение удельных энергозатрат на 20-25%;
- повышение производительности на 30-35% при одинаковой тепловой мощности;
- возможность переработки практически любой шихты без предварительной подготовки (окалины, аспирационной пыли, шламов и т.п.);
- возможность активного ведения всех металлургических процессов (восстановления, расплавления, перегрева, модифицирования, перемешивания и т.д.);
- низкие капитальные затраты (в 10-20 раз ниже известных установок для рециклинга).

2. Порядок проведения работы

Изучить технологический процесс получения чугуна и стали из прокатной окалины, который состоит из нескольких последовательных стадий и приведен на рис. 2.



Загрузка окалины в РНП



Кокс



Окалина



Твердофазное восстановление окалины



Жидкофазное восстановление окалины



Выдача чугуна, шлака

Технологическая схема переработки окалины в РНП

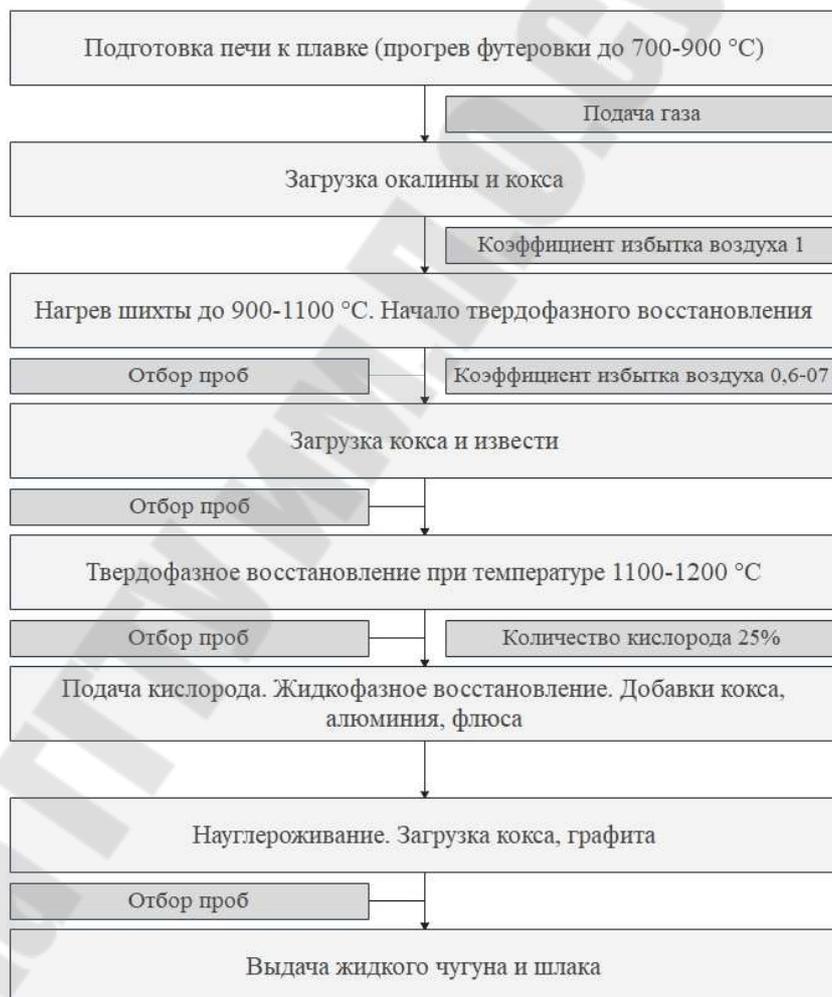


Рисунок 2 - Технологическая схема переработки окалины в РНП

3. Контрольные вопросы:

1. Конструкция ротационной печи?
2. Назовите преимущества ротационной печи.
3. Опишите технологическую схему переработки окалины в ротационной печи.
4. Что такое твердофазное восстановление?
5. Что такое жидкофазное восстановление?
6. При какой температуре происходит твердофазное

восстановление?

7. При какой температуре происходит жидкофазное восстановление?

8. Какие восстановители можно использовать в ротационной печи?

Практическая работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СЕПАРАЦИИ

Цель работы: изучить различные способы сепарации и область их применения

1. Теоретическая часть

При переработке твердых отходов (используют различные методы сепарации).

Процесс сепарации может осуществляться в воздушной среде (сухие способы) или в различных жидкостях (мокрые способы).

Сепарация (от лат. *separatio* - отделение) [*separation*] - процессы разделения смесей разнородных частиц твердых материалов, жидкостей разной плотности, эмульсий; взвесей твердых частиц или капелек в газе или паре. При сепарации разделенные компоненты не изменяют химического состава. Сепарация основана на различии в физических или физико-химических свойствах компонентов смеси: формы, прочности, плотности, смачиваемости поверхности, магнитных и электрических свойств и т. п. В обогащении полезных ископаемых сепарация – почти все операции разделения (включая грохочение и классификацию) полезных минералов от пустой породы и вредных примесей.

К сухим способам сепарации относятся: магнитные, электродинамические, электрические и пневматические. К мокрым способам сепарации относятся: тяжелосредные, магнитогидростатические и гидравлические.

Вакуумная сепарация — сепарация двух компонентов металлургической системы, основанная на различии давлений их паров и интенсифицировании вакуумом. С целью снижения температуры процесс проводят под вакуумом.

Винтовая сепарация - сепарация двух материалов по плотности в безнапорном наклонном потоке малой глубины. В винтовых сепараторах наклонный желоб винтовой (с вертикальной осью). Пульпа загружается в верхнюю часть желоба и под действием силы тяжести стекает вниз по сечению желоба тонким потоком разной глубины. Под действием гравитационных, гидродинамических и центробежных сил тяжелые минералы концентрируются у внутреннего

борта желоба, а легкие - у внешнего. Винтовая сепарация - один из методов гравитационного обогащения. Применяется для обогащения тонкозерновых материалов (< 74 мкм), содержащих благородные металлы, ильменит, циркон, рутил, железные руды, фосфориты, хромиты и пр.

Магнитная сепарация - сепарация двух минералов, основанная на их разделении по магнитным свойствам. Минералы с высокой магнитной восприимчивостью при магнитной сепарации отделяются от немагнитных и слабомагнитных частиц. Это основной метод обогащения магнетитных железных руд, а также гематитных руд. Магнитная сепарация может осуществляться в сухом состоянии и в пульпе (мокрая м. с.).

По характеристике магнитного поля различают магнитные сепараторы с сильным магнитным полем (> 320 кА/м) - для сепарации слабомагнитных руд и со слабым полем (< 320 кА/м) - для сепарации сильномагнитных руд. По способу подачи сырья различают магнитные сепараторы с верхней, нижней и вертикальной загрузкой (рис. 1). По конструкции различают барабанные магнитные сепараторы с радиальной и секторной системой, вертикальные, горизонтальные и наклонные ленточные магнитные сепараторы, индукционно-винтовые и индукционно-роликовые магнитные сепараторы.

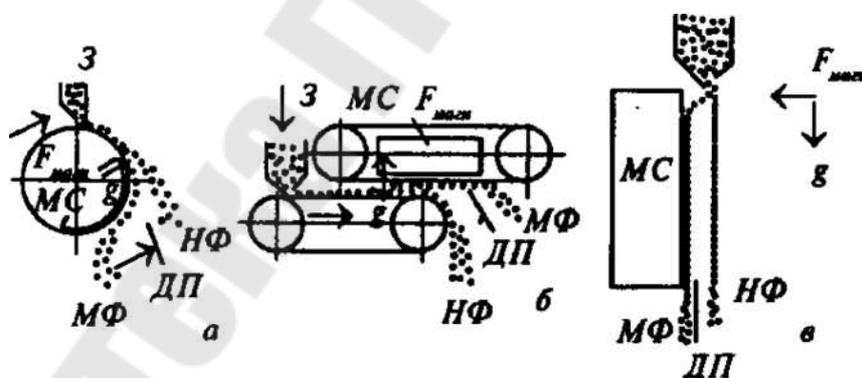


Рисунок 1 - Способы подачи материала в магнитное поле сепаратора с разными видами загрузки:
а - верхняя; б - нижняя; в - вертикальная

Электрическая сепарация - сепарация двух смесей материалов (руд, вторичного сырья), основанная на использовании взаимодействия электрически заряженных частиц и сильных электрических полей. Электрическая сепарация использует различие

условий зарядки, движения и удержания на электродах компонентов, отличающихся по своим электрическим свойствам, размерам, плотности, форме, массе. Частный случай электрической сепарации - электростатическая сепарация.

Электростатическая сепарация - разделение частиц путем подачи на сыпучий материал высокого электрического напряжения и разделение частиц вследствие разной способности материалов приобретать и сохранять электрический заряд, в результате чего под действием электрического поля изменяется траектория движения этих частиц.

2. Порядок проведения работы

Изучить технологический процесс переработки низкокачественных отходов цветных металлов с использованием комплекса радиометрической сортировки, приведенный на рис. 2.

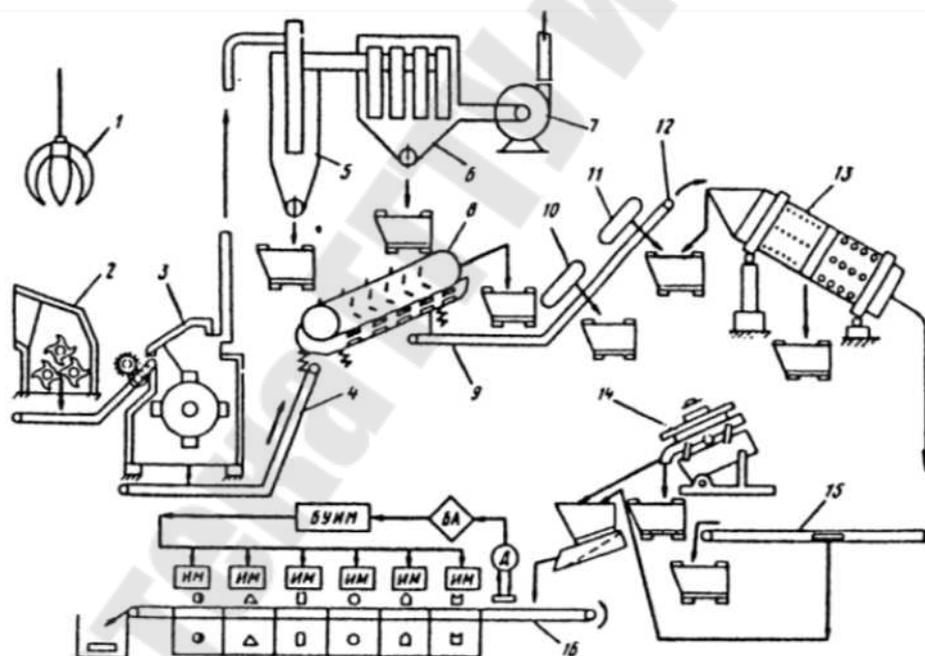


Рисунок 2 - Линия переработки низкокачественных отходов цветных металлов

Исходное сырье грейфером 1 подают на фрагментатор 2, откуда фрагментированный лом поступает в молотковую дробилку 3. Из дробленого продукта воздушным потоком от вентилятора 7 удаляется пылевидная фракция (пыль, бумага, текстиль, мелкие частицы металла и др.), которая накапливается в циклоне 3 и рукавном фильтре 6. Куски металла пластинчатым питателем 4 подаются на сепаратор-

пучковыделитель 8, с помощью которого из дробленого лома выделяются пучки проволоки, текстиля и т. п. Далее сырье поступает на ленточный конвейер 9, над которым установлены два подвесных саморазгружающихся магнитных сепаратора 10 и 11. Первый сепаратор со слабым магнитным полем предназначен для выделения из смеси только кусков свободного железа, второй сепаратор с сильным магнитным полем - для выделения механических сростков ферромагнитных материалов и цветных металлов. Для выделения этих сростков используется также электромагнитный шкив 12 с сильным магнитным полем. Оставшийся на ленточном конвейере немагнитный продукт подается в барабанный грохот 13. Здесь дробленый продукт разделяется по классам крупности - 10, +10 - 40 и +40 - 150 мм. Фракции крупностью +10 - 40 и +40 - 150 мм подаются соответственно на вибрационный 14 и ленточный 15 электродинамические сепараторы. С помощью этих сепараторов получают два продукта: первый - концентрат цветных металлов, который преимущественно содержит куски алюминиевых сплавов, второй - неметаллические материалы, нержавеющую сталь, титан.

Концентраты цветных металлов после дробления, магнитной и электродинамической сепарации поступают на комплекс автоматизированной сортировки 16 отходов цветных металлов по группам и маркам сплавов.

Комплекс состоит из бункера-накопителя, устройства формирования покусковой подачи исходного сырья, транспортирующих устройств, узла облучения кускового сырья, блока детекторов Д, блока анализатора БА, блока управления исполнительными механизмами БУИМ, системы исполнительных механизмов ИМ, приемников продуктов сепарации.

Комплекс работает следующим образом. Исходное сырье поступает через бункер-накопитель на вибропитатель и далее на устройства покусковой подачи дробленого материала, где обеспечивается заданная скорость транспортировки и необходимый интервал между кусками дробленого лома, которые подаются в зону облучения, создаваемую рентгеновскими трубками. Регистрация вторичного характеристического излучения каждого сепарируемого куска осуществляется с помощью спектрометрического детектора. Сигнал с детектора поступает в блок-анализатор, который определяет элементный состав кусков. Выделение кусков в соответствующий короб осуществляется исполнительными механизмами блока управления.

3. Контрольные вопросы

1. Что такое сепарация?
2. Виды сепарации?
3. Что такое грохочение?
4. Что такое магнитная сепарация?
5. Классификация магнитных сепараторов?
6. Что такое винтовая сепарация?
7. Что такое вакуумная сепарация?
8. Что такое электрическая сепарация?
9. Что такое электростатическая сепарация?
10. Расскажите технологический процесс переработки низкокачественных отходов цветных металлов с использованием комплекса радиометрической сортировки.

Практическая работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВТОРИЧНОЙ ПЛАВКИ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Цель работы: изучение технологического процесса плавки в индукционной тигельной печи.

1. Теоретическая часть

Технология плавления металлов с помощью электромагнитных полей стала стандартным методом на многих литейных предприятиях во всем мире. Современные индукционные печи работают на средних частотах (от 250 до 500 Гц), что позволяет не только более энергоэффективно вести процесс плавки, но и технологически контролировать перемешивание расплава при высоких плотностях мощности. Это стало возможным благодаря разработке специальных полупроводниковых инверторов с изменяемой частотой для генерации и регулировки мощности. Эти инверторы используют резонансные свойства индуктора печи и конденсаторов источника питания.

Тигельные индукционные печи применяют главным образом для плавки высококачественных сталей и других специальных сплавов, требующих особой чистоты, однородности и точности химического состава, что недостижимо при плавке в пламенных и дуговых печах.

Плавка обычных сортов стали в печах без сердечника менее экономична, чем в дуговых, так же как и обычных цветных металлов и сплавов, по сравнению с индукционными канальными печами.

Достоинства тигельных плавильных печей:

- выделение энергии непосредственно в загрузке, без промежуточных нагревательных элементов;
- интенсивная электродинамическая циркуляция расплава в тигле, обеспечивающая быстрое плавление мелкой шихты и отходов, быстрое выравнивание температуры по объему ванны и отсутствие местных перегревов и гарантирующая получение многокомпонентных сплавов, однородных по химическому составу;
- принципиальная возможность создания в печи любой атмосферы (окислительной, восстановительной, нейтральной) при любом давлении (вакуумные или компрессионные печи);
- высокая производительность, достигаемая благодаря высоким

значениям удельной мощности (особенно на средних частотах);

- возможность полного слива металла из тигля и относительно малая масса футеровки печи, что создает условия для снижения тепловой инерции печи благодаря уменьшению тепла, аккумулированного футеровкой. Печи этого типа весьма удобны для периодической работы с перерывами между плавками и обеспечивают возможность для быстрого перехода с одной марки сплава на другую;

- простота и удобство обслуживания печи, управления и регулирования процесса плавки, широкие возможности для механизации и автоматизации процесса;

- высокая гигиеничность процесса плавки и малое загрязнение воздушного бассейна.

Необходимо отметить следующие недостатки тигельных печей:

- относительно низкая температура шлаков, наводимых на зеркало расплава с целью его технологической обработки. Относительно холодные шлаки затрудняют протекание реакций между металлом и шлаком и, следовательно, затрудняют процессы рафинирования. Шлак в ИТП, индифферентный к электрическому току, нагревается только от расплавляемого металла, поэтому его температура всегда ниже;

- сравнительно низкая стойкость футеровки при высоких рабочих температурах расплава и при наличии теплосмен (резких колебаний температуры футеровки при полном сливе металла);

- высокая стоимость электрооборудования, особенно при частотах выше 50 Гц;

- более низкий КПД всей установки вследствие необходимости иметь в установке источник получения высокой или повышенной частоты, а также конденсаторов, а также при плавке материалов с малым удельным сопротивлением.

Сочетанием таких качеств (высокая стоимость электрооборудования и низкий КПД) определяется область применения индукционных тигельных печей: плавка легированных сталей и синтетического чугуна, цветных тяжелых и легких сплавов, редких и благородных металлов. Поскольку область применения этих печей ограничивается не техническими, а экономическими факторами, по мере увеличения производства электроэнергии она непрерывно расширяется, захватывая все более дешевые металлы и сплавы.

Тигельные печи все чаще стали использовать в комплексе с другими плавильными агрегатами (вагранками, дуговыми печами). В этих случаях металл, предварительно расплавленный в указанных

печах, поступает в индукционную электропечь для рафинирования и доведения до заданного химического состава.

Принцип действия индукционной тигельной печи.

В основе работы тигельной печи лежит трансформаторный принцип передачи энергии индукцией от первичной цепи ко вторичной. Подводимая к первичной цепи электрическая энергия переменного тока превращается в электромагнитную, которая во вторичной цепи переходит снова в электрическую, а затем в тепловую.

Индукционные тигельные печи также называют индукционными печами без сердечника. Печь представляет собой плавильный тигель, как правило, цилиндрической формы, выполненный из огнеупорного материала и помещенный в полость индуктора, подключенного к источнику переменного тока (рис. 1). Металлическая шихта (материал, подлежащий плавлению) загружается в тигель и, поглощая электрическую энергию, плавится. В тигельной печи (рис. 1) первичной обмоткой служит индуктор, обтекаемый переменным током, а вторичной обмоткой и одновременно нагрузкой - сам расплавляемый металл, загруженный в тигель и помещенный внутрь индуктора.

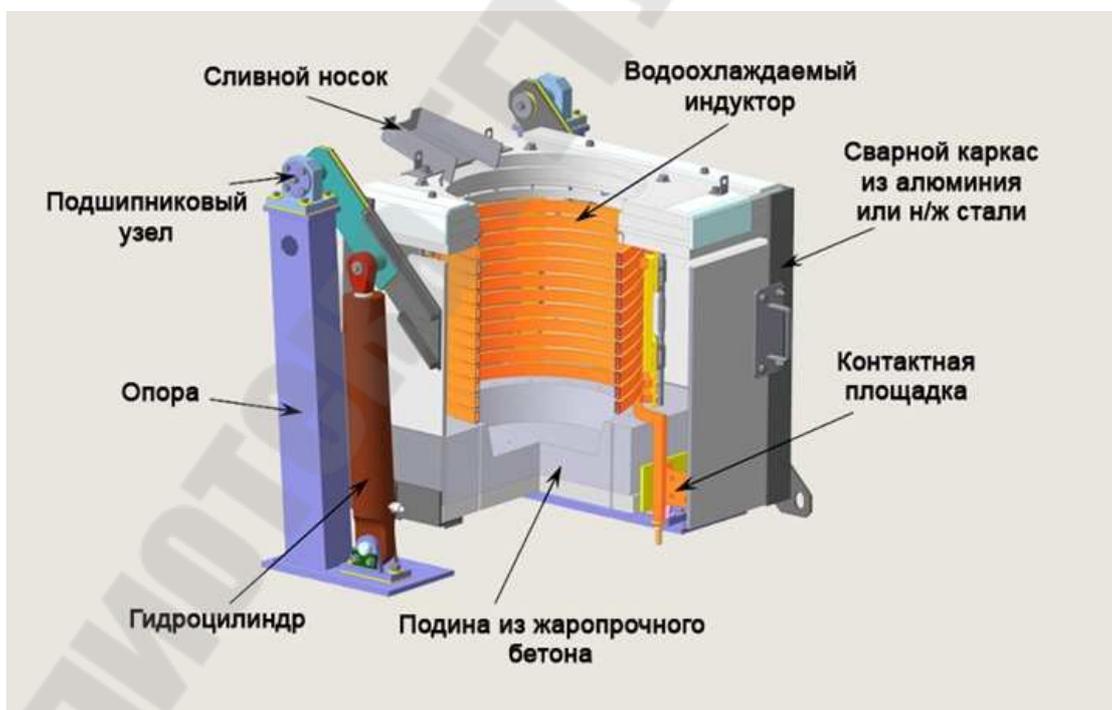


Рисунок 1 - Общий вид тигельной печи

Магнитный поток в тигельной печи проходит в той или иной степени по самой шихте. Поэтому для работы печи без сердечника

имеют большое значение магнитные свойства, а также размеры и форма кусков шихты.

Каркас индукционной тигельной печи может поворачиваться вокруг оси для слива металла под действием гидравлических цилиндров. Индуктор опирается на магнитопроводы, представляющие собой пакеты трансформаторной стали. Магнитопроводы служат для замыкания внешнего магнитного поля индуктора и позволяют, таким образом, избежать нагрева металлоконструкций, расположенных рядом с индуктором. Кроме того, они обеспечивают жесткость индуктору. Набивной из спекаемых огнеупорных масс тигель закрывается крышкой. Подводы воды и тока к индуктору осуществляются гибкими водоохлаждаемыми кабелями и шлангами. При замерах температуры, отборе проб и вводе присадок плавильщик находится на рабочей площадке печи.

Индуктор печи промышленной частоты выполняется из медной неравностенной трубки, утолщенная часть которой обращена к оси индуктора.

Охлаждение индуктора обычно секционное. Каждая секция имеет свой вход и выход охлаждающей воды. Это обеспечивает необходимую пропускную способность при небольшом давлении охлаждающей воды.

Технология плавки в индукционной печи.

Плавкой называется процесс переработки материалов (металлов) в плавильных печах с получением конечного продукта в жидком виде.

Технологический процесс плавки в индукционной печи включает следующие операции: загрузку шихты, нагрев и расплавление ее, перегрев, науглероживание и доведение химического состава чугуна до заданного, а также термовременную обработку (выдержку).

Загружаемая шихта частично погружается в расплав, создавая сплошную электропроводную среду, в которой индуктором наводятся вихревые токи. В печах промышленной частоты необходимым условием нормальной эксплуатации является работа печи с неполным сливом расплавленного металла, т. е. с остаточной емкостью (с «болотом»). Загрузка в жидкий металл (остаток от предыдущей плавки, называемый зумпфом или «болотом») необходима потому, что при использовании электрического тока промышленной частоты в дискретных элементах шихты наведение вихревых токов малоэффективно. Вихревые токи разогревают металл, и он плавится. Масса зумпфа доходит до 50 % от общей массы металла в печи (емкости печи) и соответственно влияет на длительность периодов

плавки. С увеличением «болота» производительность печи заметно возрастает. Это объясняется улучшением условий теплопередачи от жидкого металла к твердой шихте (благодаря интенсивному движению жидкого металла), и увеличением потребляемой печью мощности. Наиболее рациональным режимом работы печей промышленной частоты являются частые отборы металла небольшими порциями, составляющими 20 - 30 % от емкости тигля.

В печах средней частоты, которые обычно работают с полным сливом металла, производительность во многом зависит от плотности укладки шихты в тигле и ее чистоты. В этом случае (при плотной укладке) потребляется мощность, близкая к номинальной, и плавка по времени производится быстро - близко к расчетному времени.

2. Порядок проведения работы

Рассчитаем шихту, предназначенную для получения расплава латуни марки ЛМцСКА в индукционной тигельной печи.

Таблица 1 - Химический состав и угар химических элементов

Химический элемент	Массовая доля элемента, %	Угар, %
Cu	60	1
Pb	2	1
Mn	3	1,5
Zn	35	3

Угар данных элементов рассчитываем по формуле:

$$A = \left(\frac{X \times C}{100 - C} \right), \quad (1)$$

где A – химический элемент;

X – значение массовой доли элемента, %;

C – угар химического элемента, %.

По формуле (1) угар элементов составит:

$$Cu = \left(\frac{60 \times 1}{100 - 1} \right) = 0.606 \text{ кг};$$

$$Pb = \left(\frac{2 \times 1}{100 - 1} \right) = 0,202 \text{ кг};$$

$$Mn = \left(\frac{3 \times 1,5}{100 - 1,5} \right) = 0,046 \text{ кг};$$

$$Zn = \left(\frac{35 \times 3}{100 - 3} \right) = 1,08 \text{ кг};$$

Составим расчетную таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетная таблица

Состав	Cu	Pb	Mn	Zn	Всего
Состав сплава	60	2	3	35	100
Состав, принятый к расчету в %, кг на 100 кг шихты					
Угар, %	1	1	1,5	3	6,5
Угар, кг	0,606	0,202	0,046	1,08	1,934
Расчетный состав сплава, кг	60,606	2,202	3,046	36,08	101,934

Определением количество компонентов, вносимых возвратом собственного производства, определенного химического состава Cu – 60 %, Pb – 2 %, Mn – 3 %, Zn – 14,5 % по формуле:

$$A = \left(\frac{X \times N}{100} \right), \quad (2)$$

где A – химический элемент;

X – среднее значение массовой доли элемента, %;

N – возврат собственного производства, %.

Возврат собственного производства, согласно формулы 2, в количестве 40 кг (40%) внесет следующее количество элементов:

$$Cu = \left(\frac{60 \times 40}{100} \right) = 24 \text{ кг};$$

$$Pb = \left(\frac{2 \times 40}{100} \right) = 0.8 \text{ кг};$$

$$Mn = \left(\frac{3 \times 40}{100} \right) = 1.2 \text{ кг};$$

$$Zn = \left(\frac{35 \times 40}{100} \right) = 14 \text{ кг};$$

2. Затем рассчитывается по формуле 3 остаточное количество химического элемента, которое необходимо внести в сплав:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{pc} - \mathcal{E}_{всп}, \quad (3)$$

где \mathcal{E} – искомый химический элемент;

\mathcal{E}_{pc} – содержание элемента в расчетном составе сплава, кг;

$\mathcal{E}_{всп}$ – возврат собственного производства, кг

Для марганца составит:

$$Mn = 3.046 - 1.2 = 1.846 \text{ кг}$$

Затем рассчитывается необходимое количество лигатуры по формуле 4:

$$\mathcal{E}_{лиг} = \left(\frac{\mathcal{E} \times 100}{D} \right), \quad (4)$$

где $\mathcal{E}_{лиг}$ – количество химического элемента, внесенного лигатурой;

D – содержание элемента в лигатуре, %;

Остаточное количество марганца вводится лигатурой Cu-Mn (с содержанием 27 % Mn, остальное – медь) и составит:

$$Mn_{лиг} = \left(\frac{1.846 \times 100}{27} \right) = 6.84 \text{ кг};$$

Определяем по формуле 3 необходимое количество чистого свинца:

$$Pb = 2,202 - 0,8 = 1,402 \text{ кг}.$$

Определяем по формуле 3 необходимое количество чистого цинка:

$$Zn = 36,08 - 14 = 22,08 \text{ кг}.$$

Определяем необходимое количество чистой меди:

$$Cu = 60,606 - 24 - 6,84 = 31,67 \text{ кг}.$$

Таким образом расчетный состав шихты латуни ЛМцСКА составляет:

1. Возврат 40 кг;
 2. Меди 31,67 кг;
 3. Лигатура Mn-Cu 6,84 кг;
 4. Свинец 1,402 кг;
 5. Цинк 22,08 кг;
- Всего 100,992 кг.

Согласно примеру произвести расчет шихтовых материалов для получения сплава Ал5; плавка осуществляется в тигельной печи (примесями, содержащими в исходном материале и готовом сплаве, при расчете пренебречь).

По ГОСТ 2685-75 сплав содержит % (массовая доля): – Si-5, Mg – 0,4 %, Cu 1,25 %, Al – остальное.

В качестве шихтовых выбираем материалы, содержащие – чушковый силумин СИЛО: Al – 87 %; Si – 13 % и лигатуры; Al – Mg (Al – 90 %, Mg – 10 %), Al-Cu (Al 50, Cu 50).

Угар элементов составляет: Si, Cu, Al – 1,0, Mg – 3 %.

3. Контрольные вопросы

1. Принцип работы индукционной тигельной печи?
2. Преимущества и недостатки ИТП?
3. Конструкция ИТП?
4. Классификация ИТП?
5. От чего зависит частота тока ИТП?
6. Технология плавки в ИТП

Литература

1 Дьяконов, О. Комплексная переработка стружки и металлосодержащих шламов / О. М. Дьяконов. – Минск : Технология, 2012. – 262 с.

2 Бобович, Б. Б., Переработка отходов производства и потребления: справочное издание / Б. Б. Бобович, В. В. Девяткин; под ред. Б. Б. Бобовича / М. : СП Интернет инжиниринг, 2000. – 496 с.

3 Бобович, Б. Б. Переработка промышленных отходов / Б. Б. Бобович – М. : СП Интернет инжиниринг. – 1999. – 445 с.

4 Милюков, С. В. Утилизация отходов металлургического производства : Учеб. пособие / С. В. Милюков, О. Б. Прошкина. – Магнитогорск : ГОУ ВПО МГТУ, 2010. – 62 с.

5 Шуберт, Г. Подготовка металлургических материалов: Ресурсы, классификация, измельчение / Г. Шуберт – М. : Металлургия, 1989. – 359 с.

6 Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии / М. И. Панфилов [и др.]. – М. : Металлургия, 1987. – 239 с.

7 Родионов, А. И. Техника защиты окружающей среды / А. И. Родионов [и др.] / М. : Химия, 1989. – 360 с.

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

ПРАКТИКУМ

**для студентов специальности
1-42 01 01 «Металлургическое производство
и материалобработка (по направлениям)»
специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия
черных и цветных металлов»
дневной формы обучения**

Составитель Прусенко Иван Николаевич

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 14.02.24.

Рег. № 73Е.

<http://www.gstu.by>