

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

ИННОВАЦИОННЫЙ ЕВРАЗИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Научно-образовательный комплекс
по специальности «Металлургия»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ
КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

по дисциплине «Металлургическая теплотехника»

по модульно-рейтинговой технологии обучения
для студентов третьего курса специальности 050709 «Металлургия»

ПАВЛОДАР 2010 ГОД

УТВЕРЖДЕНО

Директор Инженерной Академии

д.в.н., профессор _____ Е.Б. Никитин

« ____ » _____ 2010 г.

Автор: к.т.н., доцент _____ Приходько Е.В.

Кафедра «Теплоэнергетика и Metallургия»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ

КУРСОВОГО ПРОЕКТА

по дисциплине «Metallургическая теплотехника»

для студентов специальности 050709 «Metallургия»

для заочной и очной формы обучения

на базе среднего профессионального и среднего образования

Разработаны на основании Государственного общеобязательного стандарта высшего образования специальности 050709 «Metallургия» ГОСО РК 3.08.335-2006

Рассмотрены на заседании кафедры «Теплоэнергетика и metallургия»

Протокол №1 от 31.08. 2010 г.

Зав. кафедрой «Теплоэнергетика и metallургия»

д.т.н., профессор _____ Никифоров А.С.

Утверждены на заседании научно-методического совета Инженерной академии и рекомендовано к изданию

Протокол №1 от 14 сентября 2010 г.

Председатель НМС ФОО ИА

к.т.н., профессор _____ Дубровин П.В.

Согласовано:

Начальник ИМО

к.п.н., проф. _____ Ушакова Н.М.

Сдано в библиотеку _____

Цель курсового проекта

Целью данного курсового проекта является усвоение методики составления тепловых балансов металлургических агрегатов на примере расчёта дуговой сталеплавильной печи (ДСП). На базе изучения теоретических положений курса металлургической теплотехники студенту прививаются навыки применения теории к инженерному расчёту. Результатом расчёта является определение основных размеров печи, статей прихода и расхода теплоты ДСП и определение мощности печного трансформатора.

Основные задачи выполнения курсового проекта: составление тепловых балансов промышленных печей. Инженеру-металлургу, работающему в этой области необходимо уметь определять статьи прихода и расхода теплоты различных печей.

Обоснование выбора темы курсового проекта: актуальность тепловых расчётов ДСП обосновывается всё возрастающей долей электростали, от общего количества стали, выплавляемой в печах. Для Павлодарского региона актуальность подтверждается увеличением объёмов производства ПФ ТОО «Кастинг» и вводом на предприятии новых печей (ДСП – 60).

Содержание и структура курсового проекта:

В объём курсового проекта входят:

- а) расчётно-пояснительная записка, выполненная на листах формата А4.
- б) общий вид ДСП, выполненный на листе формата А1.

Расчётно-пояснительная записка должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Задание на курсовой проект.
3. Перечень символов, условных обозначений и сокращений с их расшифровкой.
4. Введение.
5. Методику расчёта.
6. Расчет.
7. Выводы.
8. Список использованной литературы.
9. Оглавление.

Записка должна быть сброшюрована и иметь обложку с титульным листом.

СОДЕРЖАНИЕ

| | стр. |
|--|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ | 6 |
| 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ПЕЧИ | 6 |
| 3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ПЕРИОДА РАСПЛАВЛЕНИЯ | 8 |
| 3.1 ПРИХОД ТЕПЛОТЫ | 8 |
| 3.2 РАСХОД ТЕПЛОТЫ | 11 |
| 4. МОЩНОСТЬ ПЕЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА | 16 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 17 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 18 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б | 19 |

ВВЕДЕНИЕ

Электросталеплавильному способу принадлежит ведущая роль в производстве качественной и высоколегированной стали. Благодаря ряду принципиальных особенностей этот способ приспособлен для получения разнообразного по составу высококачественного металла с низким содержанием серы, фосфора, кислорода и других вредных или нежелательных примесей и высоким содержанием легирующих элементов, придающих стали особые свойства – хрома, никеля, марганца, кремния, молибдена, вольфрама, ванадия, титана, циркония и других элементов.

Преимущества электроплавки по сравнению с другими способами сталеплавильного производства связаны с использованием для нагрева металла электрической энергии. Выделение теплоты в электропечах происходит либо в нагреваемом металле, либо в непосредственной близости от его поверхности. Это позволяет в сравнительно небольшом объеме сконцентрировать значительную мощность и нагревать металл с большой скоростью до высоких температур, вводить в печь большие количества легирующих добавок; иметь в печи восстановительную атмосферу и безокислительные шлаки, что предполагает малый угар легирующих элементов; плавно и точно регулировать температуру металла; более полно, чем других печах раскислять металл, получая его с низким содержанием неметаллических включений; получать сталь с низким содержанием серы. Расход теплоты и изменение температуры металла при электроплавке относительно легко поддаются контролю и регулированию, что очень важно при автоматизации производства. Электропечь лучше других приспособлена для переработки металлического лома, причем твердой шихтой может быть занят весь объем печи, и это не затрудняет процесс расплавления. Металлизированные окатыши, заменяющие металлический лом, можно загружать в электропечь непрерывно при помощи автоматических дозирующих устройств. В электропечах можно выплавлять сталь обширного сортамента.

Устройство дуговых печей.

Дуговая печь состоит из рабочего пространства (собственно печи) с электродами и токоподводами и механизмов, обеспечивающих наклон печи, удержание и перемещение электродов и загрузку шихты. Плавку стали ведут в рабочем пространстве, ограниченном сверху куполообразным сводом, снизу сферическим подом и с боков стенками. Огнеупорная кладка пода и стен заключена в металлический кожух. Съёмный свод набран из огнеупорных кирпичей, опирающихся на опорное кольцо. Через три симметрично расположенных в своде отверстия в рабочее пространство введены токопроводящие электроды, которые с помощью специальных механизмов могут перемещаться вверх и вниз. Печь питается трехфазным током. Шихтовые материалы загружают на под печи, после их расплавления в печи образуется слой металла и шлака. Плавление и нагрев осуществляется за счет теплоты электрических дуг, возникающих между электродами и жидким металлом или металлической шихтой.

Наиболее распространенная форма ванны дуговой сталеплавильной печи — сфероконическая с углом между образующей и осью конуса, равным 45° (рисунок 1).

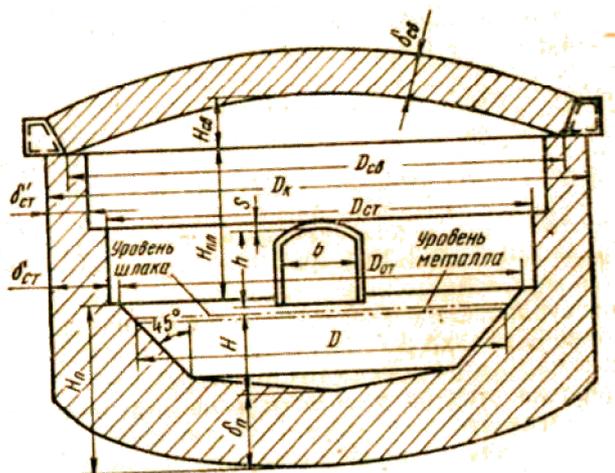


Рисунок 1 – Ванна дуговой сталеплавильной печи.

Выпуск готовой стали и шлака осуществляется через сталевыпускное отверстие и желоб путем наклона рабочего пространства. Рабочее окно, закрываемое заслонкой, предназначено для контроля за ходом плавки, ремонта пода и загрузки материалов.

1 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

В курсовом проекте необходимо произвести тепловой расчёт дуговой сталеплавильной печи. Определить основные размеры печи, затем, посредством составления теплового баланса печи найти значение теплоты, вносимой дугами. Далее по найденному количеству теплоты определить необходимую полную мощность трансформатора.

Необходимые данные для расчёта взять из таблиц приложений. Вариант задания выбирается по номеру студента в списке группы.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ПЕЧИ

2.1 Объем жидкого металла в дуговой сталеплавильной печи, м³:

$$V = V \cdot G,$$

где $V = 0,145 \text{ м}^3/\text{т}$ — удельный объем жидкой стали;
 G - емкость печи, т.

2.2 Диаметр зеркала металла вычисляется по формуле, мм:

$$D = 2000 \cdot C \cdot \sqrt[3]{V},$$

где коэффициент C выбираем из нижеприведенной таблицы, принимая значение $D/H=5,0$ (при $G \geq 100 \text{ т}$); $D/H=4,5$ (при $G < 100 \text{ т}$)

| | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| $D/H.$ | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 7,0 |
| C | 1,043 | 1,064 | 1,085 | 1,106 | 1,127 | 1,149 | 1,165. |

2.3 Глубина ванны жидкого металла, мм:

$$H = D/5,0 \text{ или } H = D/4,5 \text{ (в зависимости от ёмкости печи).}$$

2.4 Расчетный объем шлака, м³:

$$V_{ш} = 0,1 \cdot V.$$

2.5 Высота слоя шлака, м:

$$H_{ш} = \frac{4 \cdot V_{ш}}{\pi \cdot D^2},$$

где D - диаметр зеркала металла, м.

2.6 Диаметр зеркала шлака, м:

$$D_{ш} = D + 2H_{ш},$$

где D - диаметр зеркала металла, м.

2.7 Уровень порога рабочего окна должен быть расположен выше уровня зеркала шлака на 40 мм, а уровень откосов на 65 мм выше уровня порога рабочего окна. Тогда диаметр ванны на уровне откосов равен, мм:

$$D_{от} = D + 2(H_{ш} + 40 + 65),$$

где D - диаметр зеркала металла, мм,

$H_{ш}$ - высота слоя шлака, мм.

2.8 Диаметр ванны на уровне стен (рис. 1) равен, мм:

$$D_{СТ} = D_{от} + 200.$$

2.9 Высота плавильного пространства $H_{пл}$ находится из выражения $H_{пл}/D_{от}$, которое определяется ёмкостью печи:

$$\frac{G, \text{ т}}{H_{пл}/D_{от}} \quad \frac{12 - 60}{0,4 - 0,45} \quad \frac{61 - 100}{0,34 - 0,38}.$$

2.10 Внутренний диаметр кожуха, мм:

$$D_K = D_{СТ} + 2 \cdot \delta_{от},$$

где $\delta_{от}$ - толщина футеровки стен на уровне откосов, равная сумме толщины футеровки верхней части стен δ_v и толщины шамотного слоя в нижней части стен $\delta_{ш}$ мм (Приложение А).

2.11 Стрела пролета свода печи H_{CB} принимается равной 15% пролета (внутреннего диаметра) свода, мм:

$$H_{CB} = 0,15 \cdot D_{CB} = 0,15 \cdot (D_K - \delta_{CB}),$$

где δ_{CB} - толщина свода из хромомагнезитового кирпича, мм.

2.12 Ширину рабочего окна печи определяем, мм:

$$b = 0,25 \cdot D_{om}.$$

2.13 Высота рабочего окна составляет, мм:

$$h = 0,65 \cdot b.$$

3 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ПЕРИОДА РАСПЛАВЛЕНИЯ

Целью составления энергетического баланса является определение суммарного количества электрической энергии, которую необходимо выделить в дуговой сталеплавильной печи в период расплавления, по которому затем определяют необходимую мощность печного трансформатора. Для современных ДСП продолжительность периода расплавления τ_P принимаем 9504 с.

Примерно в середине периода расплавления происходит подвалка шихты, продолжительность которой составляет $\tau_n=2160$ с. Следовательно, продолжительность расплавления «под током» составляет $\tau_{p,m} = \tau_P - 2160$ с. Принимая $\tau_P=9504$ с, находим $\tau_{p,m}$.

3.1 ПРИХОД ТЕПЛОТЫ

3.1.1 Теплота, вносимая шихтой, кДж:

$$Q_{ш} = G \cdot d_{ш} \cdot c_{ш} \cdot t_{ш}$$

где G - емкость печи, кг;

$d_{ш}$ - доля металла в шихте ($d_{ш}=0,97 - 0,99$);

$t_{ш}$ - температура шихты ($t_{ш}=20^\circ\text{C}$);

$c_{ш}$ - теплоёмкость шихты ($c_{ш}=0,469$ кДж/(кг·К)).

3.1.2 Теплота, вносимая электрическими дугами (вычисляем после формулы (3.2.16)), ГДж:

$$Q_d = \eta_{эл} \cdot W_{эл} \cdot 10^{-6},$$

где $\eta_{эл}$ - электрический к. п. д., равный 0,87—0,92;

$W_{эл}$ - используемая в печи электроэнергия, кДж.

3.1.3 Теплота экзотермических реакций, которую можно определить по материальному балансу. Однако точность его расчёта невысокая, так как весьма трудно установить начальную массу элементов в шихте из-за разнородности скрапа. Выгорание элементов зависит от количества кислорода поданного в печь. При недостатке кислорода элементы будут выгорать не полностью, а при большом его избытке начинает усиленно

гореть железо. Поэтому определение тепла экзотермических реакций в период расплавления принимают по данным испытаний аналогичных печей. Тепловой эффект экзотермических реакций будет определяться как сумма количеств тепла нижеприведённых реакций. Теплоту экзотермических реакций определим по формулам [1]:

$$\begin{array}{ll}
 \text{C} \rightarrow \text{CO}_2 & Q_{\text{экз}} = G \cdot 0,074, \\
 \text{C} \rightarrow \text{CO} & Q_{\text{экз}} = G \cdot 0,053, \\
 \text{Si} \rightarrow \text{SiO}_2 & Q_{\text{экз}} = G \cdot 0,092, \\
 \text{Mn} \rightarrow \text{MnO} & Q_{\text{экз}} = G \cdot 0,0249, \\
 \text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 & Q_{\text{экз}} = G \cdot 0,0098, \\
 \text{Fe} \rightarrow \text{FeO} & Q_{\text{экз}} = G \cdot 0,0248, \\
 \text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ (в дым)} & Q_{\text{экз}} = G \cdot 0,2211 \\
 \hline
 Q_{\text{экз}} = & \text{МДж}
 \end{array}$$

где G - емкость печи, кг.

3.1.4 Теплота шлакообразования: $\text{SiO}_2 \rightarrow (\text{CaO})_2 \text{SiO}_2$, МДж:

$$Q_{\text{шл.обр.}} = G \cdot 0,01474$$

где G - емкость печи, кг.

Приход теплоты от сжигания топлива

Для ускорения плавления иногда применяют горелки, вводимые в рабочее пространство через под или стенки печи. В данном проекте предусматривается установка n горелок с расходом топлива B , м³/ч (Приложение Б). При этом время работы горелок за период расплавления составляет $\tau_{\text{г-ва}}$ (Приложение Б).

3.1.5 Определяем объем водяных паров на 100 нм³ газа (соответствует процентному содержанию H_2O в газе):

$$W = \frac{100 \cdot d}{803,6 + d},$$

где d – влагосодержание газового топлива, $d=10$ г/м³.

3.1.6 Коэффициента пересчета находится по формуле:

$$K = \frac{100 - W}{100}.$$

3.1.7 Пересчет сухого топлива на влажное, %, осуществляется по формулам:

$$\text{CH}_4^{\text{ВЛ}} = K \cdot \text{CH}_4^{\text{С}} ;$$

$$\text{C}_2\text{H}_6^{\text{ВЛ}} = K \cdot \text{C}_2\text{H}_6^{\text{С}} \text{ и т.д.}$$

3.1.8 Теоретически необходимое количество воздуха, м³/м³:

$$V_B^0 = 0,0476 \cdot (0,5 \cdot CO^{BЛ} + 1,5 \cdot H_2S^{BЛ} + 0,5 \cdot H_2^{BЛ} + \sum (m + \frac{n}{4}) \cdot C_m H_n^{BЛ} - O_2^{BЛ}).$$

3.1.9 Действительное количество воздуха, м³/м³:

$$V_B = \alpha \cdot V_B^0,$$

где α – коэффициент избытка воздуха, $\alpha=1,1$.

3.1.10 Теоретическое количество азота, м³/м³:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V_B^0 + \frac{N_2^{BЛ}}{100}.$$

3.1.11 Действительное количество азота, м³/м³:

$$V_{N_2} = V_{N_2}^0 + 0,79 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_B^0.$$

3.1.12 Количество трехатомных газов, м³/м³:

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot (CO^{BЛ} + \sum m C_m H_n^{BЛ} + H_2S^{BЛ} + CO_2^{BЛ}).$$

3.1.13 Теоретическое количество водяных паров, м³/м³:

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot (H_2^{BЛ} + 2 \cdot CH_4^{BЛ} + \sum \frac{n}{2} C_m H_n^{BЛ} + H_2S^{BЛ} + 0,124 \cdot d) + 0,016 \cdot V_B^0.$$

3.1.14 Действительное количество водяных паров, м³/м³:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_B^0.$$

3.1.15 Избыточное количество кислорода, м³/м³:

$$V_{O_2} = (\alpha - 1) \cdot V_B^0 \cdot 0,21.$$

3.1.16 Объем продуктов горения, м³/м³:

$$V_{ПГ} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} + V_{O_2}.$$

3.1.17 Процентное содержание компонентов смеси, %:

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{ПГ}} \cdot 100;$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{III}} \cdot 100;$$

$$r_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_{III}} \cdot 100;$$

$$r_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{III}} \cdot 100.$$

3.1.18 Плотность продуктов горения, кг/м³:

$$\rho_{III} = \frac{44 \cdot r_{RO_2} + 18 \cdot r_{H_2O} + 28 \cdot r_{N_2} + 32 \cdot r_{O_2}}{22,4 \cdot 100}.$$

3.1.19 Теплота сгорания топлива, кДж/м³:

$$Q_H^p = 127,7 \cdot CO + 108 \cdot H_2 + 358 \cdot CH_4 + 590 \cdot C_2H_4 + 555 \cdot C_2H_2 + 636 \cdot C_2H_6 + 913 \cdot C_3H_8 + \\ + 1185 \cdot C_4H_{10} + 1465 \cdot C_5H_{12} + 234 \cdot H_2S.$$

3.1.20 Количество теплоты, вносимое в ДСП с топливом (физическая теплота топлива не учитывается), кДж:

$$Q_{m-ва} = Q_H^p \cdot B \cdot \tau_{m-ва},$$

где B – расход газообразного топлива горелками, м³/ч;
 $\tau_{т-ва}$ – время работы горелок за период расплавления, ч.

3.2 РАСХОД ТЕПЛОТЫ

3.2.1 Физическая теплота стали, кДж:

$$Q_{cm} = d_{cm} \cdot G \cdot [c_{cm}^{мс} \cdot t_{пл.ст} + L_{cm} + c_{cm}^{жс} (t_{cm} - t_{пл.ст})]$$

где d_{cm} – выход стали ($d_{cm}=0,91 - 0,97$);

G - емкость печи, кг;

$c_{cm}^{мс}$ – удельная теплоёмкость твёрдой стали в интервале температур 0-1500 °С ($c_{cm}^{мс} = 0,7$ кДж/(кг·К));

$c_{cm}^{жс}$ - удельная теплоёмкость жидкой стали в интервале температур 1500-1600 °С ($c_{cm}^{жс} = 0,837$ кДж/(кг·К));

$(t_{cm} - t_{пл.ст})$ – интервал температур плавления стали (1600 – 1500 °С);

L_{cm} – скрытая теплота плавления стали ($L_{cm} = 272,16$ кДж/кг).

3.2.2 Физическая теплота стали, теряемой со шлаком, кДж:

$$Q_{cm-шл} = d_{шл} \cdot G \cdot [c_{cm}^{мс} \cdot t_{пл.ст} + L_{cm} + c_{cm}^{жс} (t_{cm} - t_{пл.ст})]$$

где $d_{шл}$ – доля шлака ($d_{шл}=0,005 - 0,008$);
 G - емкость печи, кг.

3.2.3 Физическая теплота шлака, кДж:

$$Q_{шл} = d_{шл} \cdot G \cdot (c_{шл} \cdot t_{шл} + L_{шл})$$

где $c_{шл}$ – удельная теплоёмкость шлака при температуре 1700 °С ($c_{шл} = 1,25$ кДж/(кг·К));

G - емкость печи, кг;

$L_{шл}$ – скрытая теплота плавления шлака ($L_{шл} = 209,35$ кДж/кг);

$t_{шл}$ – температура шлака (1700 °С).

3.2.4 Теплота, уносимая газообразными продуктами реакций с температурой $t_{yx}=1500$ °С, Дж:

$$Q_{yx} = 295 \cdot G,$$

где G - емкость печи, кг.

3.2.5 Теплота, уносимая частицами Fe_2O_3 , кДж:

$$Q_{Fe_2O_3} = d_{Fe_2O_3} \cdot G \cdot (c_{Fe_2O_3} \cdot t_{yx} + L_{Fe_2O_3}),$$

где $c_{Fe_2O_3}$ – удельная теплоёмкость Fe_2O_3 при температуре 1500 °С ($c_{Fe_2O_3} = 1,23$ кДж/(кг·К));

G - емкость печи, кг;

t_{yx} – температура уходящих газов (1500 °С);

$L_{Fe_2O_3}$ – скрытая теплота плавления Fe_2O_3 ($L_{шл} = 209,34$ кДж/кг).

$d_{Fe_2O_3}$ – доля Fe_2O_3 , уносимая с дымом ($d_{Fe_2O_3}=0,04 - 0,05$).

Потери теплоты теплопроводностью через футеровку

Для определения тепловых потерь через футеровку ДСП применяют формулы для плоской стенки. Для расчёта тепловых потерь через стенку печи необходимо знать:

- вид огнеупорных материалов;
- коэффициент теплопроводности огнеупорных материалов;
- коэффициент теплоотдачи с внешней стенки печи в окружающую среду;
- геометрические размеры стенки печи.

Как правило, между слоями футеровки выполняют слой засыпки из огнеупорного порошка, толщиной 20-40 мм. Тепловым сопротивлением слоя засыпки в данном расчёте пренебрегаем.

Коэффициент теплопроводности магнезита равен $\lambda_m = 6,28 - 0,0027 \cdot t_{cp}$ Вт/(м·К); коэффициент теплопроводности хромомгнезита: $\lambda_{xm} = 4,07 - 71,5 \cdot 10^{-5} \cdot t_{cp}$ Вт/(м·К); коэффициент теплопроводности шамота: $\lambda_{ш} = 0,84 + 58 \cdot 10^{-5} \cdot t_{cp}$ Вт/(м·К); коэффициент теплопроводности диатомита $\lambda_d = 0,11 + 17 \cdot 10^{-5} \cdot t_{cp}$ Вт/(м·К).

Для определения коэффициента теплопроводности в качестве значения t_{cp} принимаем полусумму значений температур на внутренней и внешней поверхностях всей толщины футеровки.

Температура внутренней поверхности футеровки печи равна $t_l=1600$ °С, температуру внешней поверхности верхней части стены примем равной T_1 , нижней T_2 . Температура

внутренней поверхности футеровки свода равна $t_{св}=1500^{\circ}\text{C}$, температура внешней поверхности свода $T_{св}$.

Принимая, что к концу кампании футеровка рабочего слоя (хромомagneзитового) может износиться на 50 %, принимаем расчетную толщину этого слоя футеровки равной 75% первоначальной толщины.

А) Потери теплоты теплопроводностью через стены (верхняя часть)

Футеровка стен в верхней части $\delta_в$ состоит из хромомagneзитового кирпича толщиной x_1 мм и магнезитового кирпича, толщиной y_1 мм.

3.2.6 Определяем коэффициент теплоотдачи от внешней стенки в окружающую среду, Вт/(м²·К):

$$\alpha_2=10+0,06\cdot T_1,$$

где T_1 – температура внешней поверхности верхней части стены, °С (Приложение А).

3.2.7 Так как стены имеют два равных по высоте участка разной толщины: нижний (на уровне откосов) и верхний, то площади внешних поверхностей этих участков будут равны и определяются по формуле, м²:

$$F=\pi\cdot D_k\cdot H_{нв}/2.$$

3.2.8 Принимая температуру в цехе (T_{oc}) равной 30°С, находим потери теплоты через верхнюю часть стен печи с учётом того, что расчетная толщина хромомagneзитового слоя футеровки равна 75% первоначальной толщины, по формуле, Дж:

$$Q_{менл}^{cm} = \frac{t_1 - T_{oc}}{\sum_{i=1}^n \delta_i / \lambda_i + 1/\alpha_2} \cdot F \cdot \tau_p,$$

где δ_i – толщина слоя, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности слоя при средней температуре этого слоя, Вт/(м·К);

F – площадь наружной поверхности верхней части стен, м².

Б) Потери теплоты теплопроводностью через стены (нижняя часть)

Футеровка стен в нижней части состоит из хромомagneзитового кирпича толщиной x_1 мм, магнезитового кирпича, толщиной y_1 мм и шамотного кирпича, толщиной $\delta_{ш}$.

По формулам (3.2.6), (3.2.8) определяем потери теплоты через нижнюю часть стен $Q_{менл2}^{cm}$, принимая температуру поверхности нижней части стены T_2 (Приложение А), площадь внешней поверхности нижней части равной площади верхней.

Потери теплоты теплопроводностью через свод

3.2.9 Площадь внешней поверхности свода определяем по формуле, м²:

$$F = \pi \cdot [0,15^2 \cdot (D_k - \delta_{cm})^2 + (D_k - \delta_{cm})^2] / 2.$$

3.2.10 Для определения тепловых потерь свода $Q_{менл}^{св}$ используем значение площади его наружной поверхности и формулы (3.2.6) и (3.2.8), принимая температуру внешней поверхности свода $T_{св}$. При этом футеровка свода состоит из одного слоя хромомagneзитового кирпича, толщиной $\delta_{св}$, мм (Приложение А).

Потери теплоты теплопроводностью через подину

3.2.11 Коэффициент теплоотдачи конвекцией подины (обращенной вниз поверхности) равен:

$$\alpha_2 = 0,7(10 + 0,06 \cdot T_{нод}),$$

где $T_{нод}$ – температура внешней поверхности подины, $T_{нод} = 200$ °С.

3.2.12 При определении площади наружной поверхности подины примем, что она состоит из поверхности сферического сегмента, равной площади наружной поверхности свода и цилиндрической поверхности $F_{нод}$:

$$F_{нод} = \pi \cdot D_k \cdot (H_{нод} - \delta_n),$$

где:

$$H_{нод} = \delta_n + H + H_{шл} + 0,04 + 0,065.$$

3.2.13 Для определения тепловых потерь подины $Q_{нод}^{нод}$ используем значение площади её наружной поверхности и формулы (3.2.6) и (3.2.8), принимая температуру внутренней поверхности подины 1600 °С. Футеровка подины имеет толщину δ_n , мм и состоит из огнеупорной диатомитовой набивки толщиной x мм, огнеупорной кладки из магнезитового кирпича толщиной y мм и слоя шамота толщиной z мм.

3.2.14 Подсчитываем общие потери теплоты теплопроводностью через футеровку печи, $\sum Q_{тепл}$. Они выражаются суммой потерь теплоты через стены (верхнюю и нижнюю часть), свод и подину печи. Потерями тепла с водой, охлаждающей рабочее окно дуговой сталеплавильной печи пренебрегаем:

$$\sum Q_{тепл} = Q_{тепл1}^{cm} + Q_{тепл2}^{cm} + Q_{тепл}^{св} + Q_{тепл}^{нод}.$$

3.2.15 Потери теплоты в период межплавочного простоя.

В период подвалки шихты печь раскрывается и потери теплоты в этот период складываются из потерь теплоты излучением через раскрытый свод, потерь теплоты с газами, с охлаждающей водой и теплопроводностью через футеровку печи. Расчет этих величин в случае раскрытой печи достаточно сложен, так как температура внутренней поверхности футеровки быстро падает. Поэтому ориентировочно примем, что потери теплоты в период межплавочного простоя будут равны, ГДж:

$$Q_{мп} = (\sum Q_{тепл} + Q_{охл} + 0,5 \cdot Q_{ух}) \cdot k_n \cdot \tau_n / \tau_p,$$

где k_n - коэффициент неучтенных потерь, $k_n = 1,1-1,2$;

$Q_{тепл}$ – потери теплопроводностью, ГДж;

$Q_{охл}$ – потери тепла от охлаждения печи, $Q_{охл} = 14$ ГДж;

$Q_{ух}$ - тепло, уносимое газообразными продуктами реакций, ГДж.

3.2.16 Расход электроэнергии найдем из уравнения теплового баланса периода расплавления дуговой сталеплавильной печи. Для чего необходимо все составляющие

перевести в ГДж и из теплового баланса получить значение Q_d :

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}}$$

$$Q_{\text{ш}} + Q_d + Q_{\text{экз}} + Q_{\text{шл.обр.}} + Q_{\text{т-ва}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{ст-шл}} + Q_{\text{шл}} + Q_{\text{yx}} + Q_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + Q_{\text{менл}} + Q_{\text{мп}}$$

Откуда из формулы (3.1.2) находим $W_{\text{эл}}$ - используемую в печи электроэнергию.

Результаты расчета теплового баланса периода расплавления дуговой сталеплавильной печи сводятся в таблицу 1.

Т а б л и ц а 1. Тепловой баланс периода расплавления дуговой сталеплавильной печи

| Статья прихода | ГДж (%) | Статья расхода | ГДж (%) |
|---------------------------------------|---------|--|---------|
| 1. Теплота, вносимая шихтой | | 1. Физическая теплота стали | |
| 2. Энергия, вносимая дугами | | 2. Физическая теплота стали, теряемой со шлаком | |
| 3. Теплота экзотермических реакций | | 3. Физическая теплота шлака | |
| 4. Теплота шлакообразования | | 4. Теплота, уносимая газообразными продуктами реакций | |
| 5. Теплота, вносимая в ДСП с топливом | | 5. Теплота, уносимая частицами Fe_2O_3 | |
| | | 6. Потери теплоты теплопроводностью | |
| | | 7. Потери теплоты в период межплавочного простоя | |
| ИТОГО | | ИТОГО | |

3.2.17 Удельный расход электроэнергии на 1 кг металлической завалки, ГДж/кг:

$$\omega_2 = W_{\text{эл}} / G.$$

3.2.18 Тепловой коэффициент полезного действия равен:

$$\eta_T = (Q_{\text{ст}} + Q_{\text{ст-шл}} + Q_{\text{шл}}) / Q_{\text{прих.}}$$

3.2.19 Учитывая, что $\eta_{\text{эл}} = 0,9$, общий коэффициент полезного действия будет равен:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{эл}} \cdot \eta_T.$$

Несколько повышенный расход электроэнергии и соответственно пониженные значения величин η_T и $\eta_{общ}$ обусловлены большой потерей теплоты с уходящими газами. Для уменьшения этих потерь целесообразно подать в ванну в период расплавления технический кислород.

4 МОЩНОСТЬ ПЕЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

4.1 Средняя мощность в период расплавления, кВт:

$$N_{cp} = W_{эл} / \tau_{p.m.}$$

4.2 Максимальную мощность определим, учитывая, что коэффициент использования мощности $K=0,75-0,9$, кВт:

$$N = N_{cp} / K.$$

4.3 Принимая значение средневзвешенного коэффициента мощности $\cos \varphi=0,707$, найдем необходимую полную мощность трансформатора, кВА:

$$N' = N / \cos \varphi.$$

Это значение округляется до ближайшего значения стандартной мощности трехфазного трансформатора, которая выбирается по таблице 2.

Таблица 2

| Мощность трёхфазного трансформатора, кВ·А | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 8000 | 12500 | 20000 | 25000 | 32000 | 50000 | 125000 |

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основная литература:

1. Теория, конструкции и расчёты металлургических печей / Под ред. В.А. Кривандина. – М.: Металлургия, 1984.
2. Исаченко В.М., Осипова В.А., Сухомел А.С. Теплопередача. - М.; Энергоиздат, 1981.
3. Рафалович И.М. Теплопередача в расплавах, растворах и футеровках печей и аппаратов. М.: Энергия, 1977. – 304 с.
4. Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки./Под ред. Ключникова А.Д. М.Энергия, 1989.-328 с.

Дополнительная литература:

1. Промышленная теплоэнергетика – теплотехника. Справочник / Под общей ред. Григорьева В.А. и Зорина В.М. М: Энергоиздат, 1983. – 552 с.
2. Баскакова А.П. Теплотехника.- М.: Энергоиздат, 1982.
3. Егорушкин В.Е., Цеплович Б.И. Основы гидравлики и теплотехники. - М. 1981.
4. Каблуковский А.Ф. Производство стали и ферросплавов. – М. Академкнига, 2003.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

| Вариант | Ёмкость дуговой сталеплавильной печи G , т | Толщина подины $\delta_{пл}$, мм | Толщина слоёв футеровки подины, мм | | | Толщина футеровки верхней части стен $\delta_{в}$, мм | | Толщина шамотного слоя в нижней части стен $\delta_{ш}$, мм | Толщина свода из хромомagneзитового кирпича $\delta_{св}$, мм | Температура наружной поверхности | | |
|---------|--|-----------------------------------|------------------------------------|-----|-----|--|-------|--|--|----------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| | | | X | Y | Z | X_1 | Y_1 | | | верхней части стены T_1 , °C | нижней части стены T_2 , °C | свода $T_{св}$, °C |
| 1 | 60 | 1000 | 200 | 500 | 300 | 360 | 140 | 250 | 460 | 350 | 300 | 330 |
| 2 | 100 | 900 | 150 | 450 | 300 | 350 | 120 | 255 | 465 | 355 | 295 | 335 |
| 3 | 60 | 960 | 125 | 575 | 260 | 380 | 130 | 260 | 470 | 360 | 290 | 340 |
| 4 | 100 | 950 | 175 | 450 | 325 | 385 | 145 | 265 | 475 | 365 | 285 | 345 |
| 5 | 60 | 1000 | 200 | 485 | 315 | 390 | 135 | 170 | 445 | 370 | 280 | 350 |
| 6 | 100 | 850 | 125 | 425 | 300 | 395 | 125 | 295 | 450 | 345 | 275 | 355 |
| 7 | 60 | 955 | 180 | 475 | 300 | 400 | 125 | 290 | 455 | 340 | 305 | 360 |
| 8 | 100 | 1050 | 250 | 400 | 400 | 395 | 130 | 285 | 460 | 335 | 315 | 365 |
| 9 | 60 | 900 | 200 | 500 | 200 | 375 | 135 | 250 | 465 | 333 | 300 | 370 |
| 10 | 100 | 890 | 175 | 450 | 265 | 380 | 140 | 265 | 470 | 352 | 320 | 375 |
| 11 | 60 | 975 | 130 | 580 | 265 | 375 | 125 | 270 | 475 | 348 | 325 | 365 |
| 12 | 100 | 1015 | 205 | 490 | 320 | 365 | 140 | 275 | 480 | 365 | 330 | 350 |
| 13 | 60 | 985 | 195 | 495 | 295 | 380 | 125 | 280 | 485 | 368 | 333 | 345 |
| 14 | 100 | 955 | 180 | 480 | 295 | 375 | 135 | 260 | 480 | 360 | 295 | 340 |
| 15 | 60 | 1010 | 185 | 505 | 320 | 380 | 135 | 285 | 460 | 365 | 298 | 365 |
| 16 | 100 | 905 | 180 | 455 | 270 | 375 | 135 | 290 | 455 | 370 | 287 | 360 |
| 17 | 60 | 1000 | 300 | 500 | 200 | 375 | 130 | 295 | 450 | 350 | 292 | 365 |
| 18 | 100 | 905 | 270 | 455 | 180 | 365 | 140 | 250 | 445 | 345 | 307 | 370 |
| 19 | 60 | 1000 | 315 | 485 | 200 | 370 | 125 | 255 | 440 | 340 | 311 | 375 |
| 20 | 100 | 1010 | 320 | 505 | 185 | 370 | 135 | 260 | 460 | 335 | 315 | 380 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

| Вариант | Состав газа | | | | | | | | Количество горелок n | Время работы горелок за период расплавления $\tau_{\text{ва}}$, МИН | Расход газообразного топлива одной горелкой В, $\text{м}^3/\text{ч}$ |
|---------|-------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|--------------------------|----------------------|--|--|
| | CH_4 , % | C_2H_6 , % | C_3H_8 , % | C_4H_{10} , % | C_5H_{12} , % | CO_2 , % | N_2 , % | H_2S , % | | | |
| 1 | 98,72 | 0,12 | 0,01 | 0,01 | - | 0,14 | 1,00 | - | 4 | 20 | 100 |
| 2 | 38,70 | 22,60 | 10,70 | 2,70 | 0,70 | - | 23,8 | 0,80 | 5 | 25 | 120 |
| 3 | 38,00 | 25,10 | 12,50 | 3,30 | 1,30 | - | 18,70 | 1,10 | 3 | 30 | 102 |
| 4 | 58,00 | 17,20 | 7,40 | 2,00 | 0,50 | 0,80 | 13,60 | 0,50 | 6 | 35 | 125 |
| 5 | 42,70 | 19,60 | 12,60 | 5,10 | 1,30 | 1,00 | 16,90 | 0,80 | 4 | 30 | 104 |
| 6 | 93,90 | 3,40 | 1,30 | 0,70 | 0,20 | 0,40 | 0,10 | - | 5 | 25 | 130 |
| 7 | 91,20 | 3,90 | 200 | 0,90 | 0,20 | 1,80 | - | - | 3 | 20 | 108 |
| 8 | 76,70 | 13,20 | 5,40 | 2,50 | 2,20 | - | - | - | 6 | 25 | 135 |
| 9 | 48,20 | 18,20 | 11,90 | 3,30 | 1,00 | 0,90 | - | - | 4 | 30 | 110 |
| 10 | 50,00 | 22,00 | 5,20 | 1,40 | 0,30 | - | 16,60 | - | 5 | 25 | 140 |
| 11 | 44,10 | 22,00 | 5,20 | 1,40 | 0,30 | - | 27,00 | - | 3 | 20 | 114 |
| 12 | 53,60 | 22,80 | 6,10 | 0,90 | 0,20 | 0,20 | 15,80 | - | 6 | 25 | 145 |
| 13 | 98,90 | 0,12 | 0,01 | 0,01 | - | 0,06 | 0,90 | - | 4 | 30 | 116 |
| 14 | 98,24 | 0,29 | 0,20 | 0,09 | 0,04 | 0,14 | 1,00 | - | 5 | 35 | 150 |
| 15 | 98,67 | 0,16 | 0,08 | 0,01 | - | 0,08 | 1,00 | - | 3 | 30 | 118 |
| 16 | 98,99 | 0,25 | 0,04 | 0,02 | - | 0,10 | 0,60 | - | 6 | 25 | 145 |
| 17 | 91,40 | 4,10 | 1,90 | 0,60 | - | 0,70 | 0,20 | 1,1 | 4 | 20 | 120 |
| 18 | 84,50 | 3,80 | 1,90 | 0,90 | 0,30 | 7,80 | 0,80 | - | 5 | 25 | 140 |
| 19 | 94,00 | 5,00 | 0,1 | 0,70 | 0,20 | - | - | - | 3 | 30 | 115 |
| 20 | 45,00 | 20,60 | 12,40 | 5,10 | 1,30 | 1,00 | 11,8 | 2,80 | 6 | 35 | 135 |