

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Многопрофильный колледж



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

ОП.07 Теплотехника

для обучающихся специальности

22.02.01 Metallurgy of black metals

Магнитогорск, 2022

ОДОБРЕНО

Предметно-цикловой комиссией
«Металлургии и обработки металлов давлением»
Председатель О.В. Шелковникова
Протокол № 10 от 22.06.2022 г.

Методической комиссией МпК

Протокол № 6 от 29.06.2022 г.

Разработчик:

преподаватель ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» Многопрофильный колледж
Оксана Александровна Миронова

Методические указания по выполнению практических работ разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины «Теплотехника».

Содержание практических работ ориентировано на подготовку обучающихся к освоению профессионального(ых) модуля(ей) программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 22.02.01 Metallургия черных металлов и овладению профессиональными компетенциями.

Содержание практических работ ориентировано на подготовку обучающихся к освоению вида деятельности ПМ 01 Ведение технологического процесса производства черных металлов (чугуна, стали и ферросплавов) программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 22.02.01 Metallургия черных металлов и овладению профессиональными компетенциями.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение	4
2 Методические указания	6
Практическое занятие 1	6
Практическое занятие 2	10
Практическое занятие 3	13
Практическое занятие 4	13
Практическое занятие 5	17
Практическое занятие 6	18
Практическое занятие 7	20
Практическое занятие 8	22
Практическое занятие 9	29
Практическое занятие 10	32

1 ВВЕДЕНИЕ

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки обучающихся составляют практические занятия.

Состав и содержание практических занятий направлены на реализацию Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование профессиональных практических умений (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных практических умений (умений решать задачи по физике, химии), необходимых в последующей учебной деятельности.

В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Теплотехника» предусмотрено проведение практических занятий.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

уметь:

- производить расчеты процессов горения и теплообмена в металлургических печах (нагревательных и плавильных);

- анализировать качество сырья и готовой продукции;

Содержание практических занятий ориентировано на подготовку обучающихся к освоению профессионального модуля программы подготовки специалистов среднего звена по специальности и овладению **профессиональными компетенциями:**

ПК 1.1 Осуществлять технологические операции по производству черным металлов;

ПК 1.2 Использовать системы автоматического управления технологическим процессом;

ПК 1.4 Анализировать качество сырья и готовой продукции;

А также формированию общих компетенций:

ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;

ОК 02 Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности;

ОК 04 Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде;

ОК 06 Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей, в том числе с учетом гармонизации межнациональных и межрелигиозных отношений, применять стандарты антикоррупционного поведения;

ОК 07 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях;

ОК 09 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.

Выполнение обучающихся практических работ по учебной дисциплине «Теплотехника» направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;

- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;

- формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;

- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;

- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Практические занятия проводятся в рамках соответствующей темы, после освоения дидактических единиц, которые обеспечивают наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Тема 1.2 Устройства для сжигания топлива

Практическое занятие № 1

Расчет горения топлива

Цель: с помощью теоретических расчетов по формулам определить необходимое количество воздуха для горения, количество продуктов сгорания и calorиметрическую температуру.

Выполнив работу, Вы будете уметь:

- производить расчеты процессов горения и теплообмена в металлургических печах, (нагревательных и плавильных);

Материальное обеспечение:

Учебно-методическая документация, дидактические средства

Задание: выполнить расчет горения топлива по индивидуальным данным

№ варианта	CH ₄ , %	C ₂ H ₆ , %	C ₃ H ₈ , %	C ₄ H ₁₀ , %	CO ₂ , %	W, г/м ³	n
1	91	1,2	2,0	1,0	0,8	14,5	1,2
2	94	2,5	1,8	0,7	0,4	15	1,1
3	97	1,1	0,9	0,6	0,2	13	1,05
4	94,4	1,4	1,4	-	-	12	1,05
5	87,7	1,4	2,2	1,5	1,3	16	1,05
6	91,8	2,2	0,4	0,6	-	12	1,1
7	83,4	2,5	0,8	1,5	1,8	10	1,15
8	79,9	1,5	1,7	2,1	2,9	14	1,1
9	94,1	1,5	-	3,0	-	10	1,15
10	80	2,1	3,0	4,0	5,0	20	1,05
11	91,1	1,0	1,0	1,0	1,0	18	1,2
12	93,6	2,6	-	-	2,3	16	1,1
13	85,5	4,2	3,7	2,8	2,0	14	1,05

14	91,6	1,6	2,0	1,6	0,6	12	1,15
15	80	2,5	3,5	4,5	5,5	14	1,05
16	91,2	0,8	0,9	1,6	2,4	16	1,1
17	93	1,1	2,1	3,1	-	18	1,05
18	85,5	4,5	2,5	1,5	3,0	20	1,1
19	82,7	-	5,0	3,0	4,0	10	1,15
20	90	2,2	3,3	1,6	-	12	1,15
21	97	0,5	0,5	0,3	0,5	14	1,1
22	87,8	1,7	1,8	2,9	4,1	16	1,05
23	74,8	4,5	3,3	-	3,2	18	1,15
24	77,6	2,4	4,4	1,1	1,1	20	1,1
25	83,3	-	3,9	3,2	-	10	1,2
26	89,7	4,5	-	2,2	2,2	12	1,15
27	92,2	0,9	0,7	1,1	0,8	14	1,2
28	93,3	1,4	-	-	1,4	16	1,15
29	88,8	3,1	1,1	1,1	1,1	18	1,05
30	95,5	-	1,5	1,5	-	20	1,1
31	92,2	2,2	-	1,2	1,2	10	1,2
32	95,7	2,1	1,03	0,47	0,2	15,55	1,1
33	96	2	1,0	0,3	0,3	16	1,15
34	93,2	0,7	0,6	0,6	1,9	15,3	1,05
35	92	0,9	1,0	1,1	0,3	15,5	1,05

Порядок выполнения работы:

1. Пересчитать сухой газ на влажный
2. Определить расход кислорода на горение
3. Определить расход воздуха, необходимого для горения
4. Определить состав продуктов сгорания
5. Рассчитать количество продуктов сгорания по методике, приведенной в разработке.
6. Определить процентный состав продуктов сгорания.
7. Определить плотность продуктов сгорания
8. Рассчитать колориметрическую и действительную температуру

Ход работы:

1. Пересчет сухого газа на влажный

$$x^{в\lambda.} = x^{сух.} \cdot \frac{100}{100 + 0,1242W};$$

$$x^{в\lambda.} = x^{сух.} \cdot \frac{100}{100 + 0,1242 \cdot 15,55};$$

$$x^{в\lambda.} = x^{сух.} \cdot 0,98.$$

2. Расход кислорода на горение при $n=1,0$

$$V_{O_2} = 0,01(0,5(CO + H_2 + 3H_2S) + \Sigma(m + \frac{n}{4})C_mH_n);$$

$$V_{O_2} = 0,01[(m + \frac{n}{4})CH_4 + (m + \frac{n}{4})C_2H_6 + (m + \frac{n}{4})C_3H_8 + (m + \frac{n}{4})C_4H_{10}];$$

$$V_{O_2} = 0,01[(1 + \frac{4}{4})94 + (2 + \frac{6}{4})2 + (3 + \frac{8}{4})1 + (4 + \frac{10}{4})0,4];$$

$$V_{O_2} = 2,026 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

3. Расход воздуха на горение при $n=1,1$.

$$V_B = n(1+k)V_{O_2};$$

$$V_B = 1,1(1+3,76) \cdot 2,026;$$

$$V_B = 10,61 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

4. Состав продуктов сгорания.

$$V_{CO_2} = 0,01(CO_2 + SO_2 + CO + H_2S + \Sigma m C_mH_n);$$

$$V_{CO_2} = 0,01(CO_2 + CH_4 + mC_2H_6 + mC_3H_8 + mC_4H_{10});$$

$$V_{CO_2} = 0,01(0,2 + 94 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 1 + 4 \cdot 0,4);$$

$$V_{CO_2} = 1,028 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$V_{H_2O} = 0,01(H_2O + H_2 + H_2S + 0,5 \Sigma n C_mH_n);$$

$$V_{H_2O} = 0,01(H_2O + 0,5(nCH_4 + nC_2H_6 + nC_3H_8 + nC_4H_{10}));$$

$$V_{H_2O} = 0,01(1,9 + 0,5(4 \cdot 94 + 6 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 10 \cdot 0,4));$$

$$V_{H_2O} = 2,019 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$V_{N_2} = 0,01N_2 + nk V_{O_2};$$

$$V_{N_2} = 0,01 \cdot 0,5 + 1,1 \cdot 3,76 \cdot 2,026;$$

$$V_{N_2} = 8,385 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$V_{O_2}' = (n-1) V_{O_2};$$

$$V_{O_2}' = (1,1-1) \cdot 2,026;$$

$$V_{O_2}' = 0,203 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

5. Определение общего количества продуктов сгорания (дыма).

$$V_{н.с.} = V_{RO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2}';$$

$$V_{н.с.} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2}';$$

$$V_{н.с.} = 1,028 + 2,019 + 8,385 + 0,203;$$

$$V_{n.c.}=11,635\text{м}^3/\text{м}^3.$$

6. Определение процентного состава продуктов сгорания.

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{n.c.}} \cdot 100\%; & \text{N}_2 &= \frac{V_{\text{N}_2}}{V_{n.c.}} \cdot 100\%; \\ \text{CO}_2 &= \frac{1,028}{11,635} \cdot 100\%; & \text{N}_2 &= \frac{8,385}{11,635} \cdot 100\%; \\ \text{CO}_2 &= 8,83\%; & \text{N}_2 &= 72,07\%; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} &= \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{n.c.}} \cdot 100\%; & \text{O}_2 &= \frac{V'_{\text{O}_2}}{V_{n.c.}} \cdot 100\%. \\ \text{H}_2\text{O} &= 17,35\%. & \text{O}_2 &= 1,75\%. \end{aligned}$$

7. Определение плотности продуктов сгорания.

$$\rho_{п.с.} = \frac{44\text{CO}_2 + 28\text{N}_2 + 18\text{H}_2\text{O} + 32\text{O}_2}{22,4 \cdot 100};$$

где 44;28;18;32 – молекулярная масса;
22,4 – 1моль;

$$\rho_{п.с.} = \frac{44 \cdot 8,83 + 28 \cdot 72,07 + 18 \cdot 17,35 + 32 \cdot 1,075}{22,4 \cdot 100};$$

$$\rho_{п.с.}=1,24\text{кг}/\text{м}^3.$$

8. Теплота сгорания газа составит.

$$\begin{aligned} Q_H^P &= 358\text{CH}_4 + 636\text{C}_2\text{H}_6 + 913\text{C}_3\text{H}_8 + 1185\text{C}_4\text{H}_{10}; \\ Q_H^P &= 358 \cdot 94 + 636 \cdot 2 + 913 \cdot 1 + 1185 \cdot 0,4; \\ Q_H^P &= 36327\text{кДж}/\text{м}^3. \end{aligned}$$

9. Определение калориметрической температуры.

9.1. При горении природного газа в обычном воздухе энтальпия продуктов сгорания определяется:

$$\begin{aligned} i_0 &= \frac{Q_H^P}{V_{n.c.}}; \\ i_0 &= \frac{36327}{11,635}; \\ i_0 &= 3122,22\text{кДж}/\text{м}^3. \end{aligned}$$

9.2. Для определения калориметрической температуры природного газа зададимся сначала $t'_k = 2000^\circ\text{C}$ и определим при этой калориметрической температуре энтальпию.

$$i_{2000^0} = \frac{i_{CO_2}^{2000^0} \cdot V_{CO_2} + i_{H_2O}^{2000^0} \cdot V_{H_2O} + i_{N_2}^{2000^0} \cdot V_{N_2} + i_{O_2}^{2000^0} \cdot V_{O_2}}{V_{n.c.}};$$

$$i_{2000^0} = 3249,41 \text{ кДж/м}^3,$$

т.к. $i_{2000^0} > i_0$, принимаем температуру $t_K'' = 1900^0 \text{ С}$ и рассчитаем энтальпию при этой температуре

$$i_{1900^0} = 3119,88 \text{ кДж/м}^3,$$

т.к. $i_{1900^0} < i_0$ определим t_K

$$t_K = t_K'' + \frac{i_0 + i_K''}{i_K' - i_K''};$$

$$t_K = 1900 + \frac{3122,22 + 3119,88}{3249,41 - 3119,88};$$

$$t_K = 1949^0 \text{ С.}$$

10. Определение действительной температуры в печи.

$$t_D = \eta \cdot t_K,$$

где $\eta = 0,65 \div 0,80$ – коэффициент, зависящий от конструкции печи.

$$t_D = 0,70 \cdot 1949;$$

$$t_D = 1364,3^0 \text{ С.}$$

Форма представления результата:

Расчеты выполнить и оформить в рабочей тетради.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы.

«4» (хорошо): выполнены все задания; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«3» (удовлетворительно): выполнены все работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«2» (не зачтено): студент не выполнил или выполнил неправильно задания; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.2 Устройства для сжигания топлива

Практическое занятие № 2

Определение состава рабочего топлива

Цель: с помощью теоретических расчетов по формулам определить химический состав рабочего топлива.

Выполнив работу, Вы будете уметь:

- производить расчеты процессов горения и теплообмена в металлургических печах, (нагревательных и плавильных);

Материальное обеспечение

Учебно-методическая документация, дидактические средства

Задание: рассчитать состав рабочего топлива.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить методические указания к данной практической работе
2. Определить состав рабочей массы челябинского угля марки БЗ
3. Определить состав горючей массы кизеловского угля марки Г
4. Расчет оформить в рабочей тетради.
5. Сдать на проверку преподавателю

Ход работы:

1. Состав его горючей массы: $C^Г = 71,1\%$; $H^Г = 5,3\%$; $N^Г = 1,7\%$; $O^Г = 20,0\%$; зольность сухой массы $A^с = 36\%$ и влажность рабочая $W^Р = 18,0\%$ (для челябинского угля);
 2. Состав его рабочей массы: $C^Р = 48,5\%$; $H^Р = 3,6\%$; $S = 6,1\%$; $N^Р = 0,8\%$; $O^Р = 40\%$; зольность сухой массы $A^с = 33,0\%$ и влажность рабочая $W^Р = 6,0\%$. (для кизеловского угля марки Г).
 3. Твердые и жидкие топлива состоят из горючих (углерода — С, водорода — Н, летучей серы — $S_{л} = S_{ор} + S_{к}$ и негорючих (азота — N и кислорода — O) элементов и балласта (зола — А, влаги — W).
 4. Газообразные топлива состоят из горючих (CO , H_2 , CH_4 , C_mH_n) и негорючих (N_2 , O_2 , CO_2) газов и небольшого количества водяного пара (H_2O).
- При изучении характеристик твердых и жидких топлив и их состава различают рабочую, горючую и сухую массу. Состав рабочей, горючей и сухой массы обозначается соответственно индексами «р», «г» и «с» и выражается следующими равенствами:

$$C^Р + H^Р + S + N^Р + O^Р + A^Р + W^Р = 100\%;$$

$$C^Г + H^Г + S + N^Г + O^Г = 100\%;$$

$$C^с + H^с + S + N^с + O^с + A^с = 100\%.$$

В формулах содержание элементов дано в процентах на 1 кг топлива. Коэффициенты пересчета состава топлива из одной массы в другую приведены в табл. 1.1.

Таблица 1 - Коэффициенты пересчета состава топлива из одной массы в другую

Заданная масса топлива	Коэффициенты пересчета на массу		
	рабочую	горючую	сухую
Рабочая	1	$\frac{100}{100 - (A^Р + W^Р)}$	$\frac{100}{100 - W^Р}$

Горючая	$\frac{100 - (A^p + W^p)}{100}$	1	$\frac{100 - A^c}{100}$
Сухая	$\frac{100 - W^p}{100}$	$\frac{100}{100 - A^c}$	1

Пользуясь коэффициентами пересчета (табл. 1.1), определяем зольность рабочей массы топлива и находим состав рабочей массы топлива:

$$A^p = A^c \frac{100 - W^p}{100} = 36 \frac{100 - 18}{100} = 29,5\%$$

И находим состав по формулам:

$$H^p = H^c \frac{100 - (A^p + W^p)}{100} = 5,3 \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 2,8\%$$

$$C^p = C^c \frac{100 - (A^p + W^p)}{100} = 71,1 \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 37,3\%$$

$$S_A^p = S_A^c \frac{100 - (A^p + W^p)}{100} = 1,9 \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 1,0\%$$

$$N^p = N^c \frac{100 - (A^p + W^p)}{100} = 1,7 \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 0,9\%$$

$$O^p = O^c \frac{100 - (A^p + W^p)}{100} = 20,0 \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 10,5\%$$

Для проверки точности вычислений найдем сумму составляющих элементов рабочей массы топлива:

$$C^p + H^p + S^p + N^p + O^p + A^p + W^p = 37,3 + 2,8 + 1,0 + 0,9 + 10,5 + 29,5 + 18,0 = 100\%.$$

Форма представления результата:

Расчеты выполнить и оформить в рабочей тетради.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы.

«4» (хорошо): выполнены все задания; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«3» (удовлетворительно): выполнены все работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«2» (не зачтено): студент не выполнил или выполнил неправильно задания; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 2.1 Статика и динамика газов

Практическое занятие №3

Изучение пульта линии загрузки заготовок в печь

Цель: ознакомиться с пультом управления Тренажерного комплекса с реальными пультами управления "Линия загрузки заготовок"

Выполнив работу, Вы будете:

Уметь

- определять необходимые источники информации;
- распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте;

Материальное обеспечение:

Тренажерный комплекс с реальными пультами управления "Линия загрузки заготовок"

Задание: изучить устройство пульта управления .

Порядок выполнения работы:

- 1 Включить тренажерный комплекс.
- 2 На мониторе выбрать программу «Линия загрузки заготовки в печь».
- 3 Нажать кнопку «Запустить».
- 4 Запросить сессию по USB –ключу для активации.
- 5 Ввести логин и пароль и авторизоваться в системе.
- 6 Зайти в режим «Обучение».
- 7 Изучение пульта управления– запуск.

Ход работы:

Пошагово изучить устройство пульта управления в режиме обучения..

Форма представления результата:

Работа должна быть представлена в итоговом тестировании

Критерии оценки:

Процент положительных оценок	Оценка	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 - 100	5	отлично
80 - 89	4	хорошо
70 - 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 3.1 Теплопроводность и теплообмен

Практическое занятие №4

Расчет теплового потока и распределение температур в стенках печи

Цель работы: с помощью теоретических расчетов по формулам определить количество переданного тепла через стенку печи

Выполнив работу, Вы будете уметь:

производить расчеты процессов горения и теплообмена в металлургических печах, (нагревательных и плавильных);

Материальное обеспечение:

Учебно-методическая документация, дидактические средства

Задание:

Определить потери тепла через стенку печи при стационарном тепловом режиме, если температура внутренней поверхности кладки $t_{кл.}=t_{п.}=1300\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура окружающей среды $t_{ок.}=0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Толщина шамотной кладки $\delta_{ш.}=0,46\text{ м}$, толщина изоляционной кладки из диатомитового кирпича $\delta_{д.}=0,115\text{ м}$ и толщина изоляции из вермикулитовых плит $\delta_{в.}=0,05\text{ м}$. Определить температуры на границах слоев. Температура наружной поверхности кладки $t_{нар.}=100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Теплопроводность шамотного кирпича $\lambda_{ш.}=0,88+0,00023t\text{ Вт/(м К)}$; диатомитового кирпича $\lambda_{д.}=0,163+0,00023t\text{ Вт/(м К)}$; вермикулитовых плит $\lambda_{в.}=0,081+0,00023t\text{ Вт/(м К)}$.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить методические указания к данной практической работе.
2. Решить задачи теплопроводности при стационарном состоянии
3. Расчеты выполнить по методике, приведенной в разработке.

Ход работы:

1. Принимаем в первом приближении распределение температур по толщине кладки линейным. Найдем температуры на границах раздела слоев.

$$t_{ш-д} = t_{нар.} + (t_{кл.} - t_{нар.}) \frac{\delta_{д.} + \delta_{в.}}{\delta_{ш.} + \delta_{д.} + \delta_{в.}};$$

$$t_{д-в} = t_{нар.} + (t_{кл.} - t_{нар.}) \frac{\delta_{в.}}{\delta_{ш.} + \delta_{д.} + \delta_{в.}};$$

2. Средняя температура слоя шамота

$$t_{ш}^{cp} = \frac{t_{кл.} + t_{ш-д}}{2};$$

3. Коэффициент теплопроводности шамота

$$\lambda_{ш} = 0,88 + 0,00023 \cdot 858,4 = 1,077 \text{ (Вт/(м} \cdot \text{К))}$$

4. Средняя температура слоя диатомита

$$t_{д}^{cp} = \frac{t_{ш-д} + t_{д-в}}{2};$$

5. Коэффициент теплопроводности диатомита

$$\lambda_{д} = 0,163 + 0,00023 \cdot 306,4 = 0,29 \text{ (Вт/(м} \cdot \text{К))}$$

6. Средняя температура слоя вермикулита

$$t_{в}^{cp} = \frac{t_{д-в} + t_{нар.}}{2};$$

7. Коэффициент теплопроводности вермикулита

$$\lambda_B = 0,081 + 0,00023 \cdot 148 = 0,115 \text{ (Вт / (м · К))}$$

8. Плотность теплового потока через трехслойную стенку

$$q = \frac{t_{КЛ.} - t_{ОК}}{\sum_{i=1}^3 \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где α_2 - коэффициент теплоотдачи конвекцией от наружной поверхности футеровки в окружающую среду

$$\alpha_2 = 10 + 0,06 t_{НАР};$$

$$\alpha_2 = 10 + 0,06 \cdot 100 = 16 \text{ (Вт / м}^2 \cdot \text{К)}$$

тогда

$$q = \frac{1300 - 0}{\frac{0,46}{1,077} + \frac{0,115}{0,29} + \frac{0,05}{0,115} + \frac{1}{16}} = 984,8 \text{ (Вт / м}^2 \text{)}$$

9. Найдем уточненные значения температур на границах раздела слоев футеровки

$$t'_{Ш-Д} = t_{КЛ.} - q \frac{\delta_{Ш}}{\lambda_{Ш}};$$

$$t'_{Ш-Д} = 1300 - 984,8 \frac{0,46}{1,077} = 875,3 (^{\circ} \text{C})$$

$$t'_{Д-В} = t_{КЛ.} - q \left(\frac{\delta_{Ш}}{\lambda_{Ш}} + \frac{\delta_{Д}}{\lambda_{Д}} \right);$$

$$t'_{Д-В} = 1300 - 984,8 \left(\frac{0,46}{1,077} + \frac{0,115}{0,29} \right) = 484,1 (^{\circ} \text{C})$$

$$t'_{НАР} = t_{ОК} + \frac{q}{\alpha_2};$$

$$t'_{НАР} = 0 + \frac{984,8}{16} = 61,7 (^{\circ} \text{C})$$

10. Определяем уточненные значения средних температур слоев и коэффициентов теплопроводности

$$\text{при } t_{Ш}^{cp'} = \frac{t_{КЛ.} + t'_{Ш-Д}}{2};$$

$$t_{Ш}^{cp'} = \frac{1300 + 875,3}{2} = 1087,6 (^{\circ} \text{C})$$

$$\lambda'_{Ш} = 0,88 + 0,00023 \cdot 1087,6 = 1,13 \text{ (Вт / м · К)}$$

$$\text{при } t_{Д}^{cp'} = \frac{t'_{Ш-Д} + t'_{Д-В}}{2};$$

$$t_{\text{д}}^{\text{cp}'} = \frac{875,3 + 484,1}{2} = 679,7(^{\circ}\text{C})$$

$$\lambda'_{\text{д}} = 0,163 + 0,00023 \cdot 679,7 = 0,45(\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{К})$$

$$\text{при } t_{\text{в}}^{\text{cp}'} = \frac{t'_{\text{д-в}} + t'_{\text{НАР}}}{2};$$

$$t_{\text{в}}^{\text{cp}'} = \frac{484,1 + 61,7}{2} = 272,9(^{\circ}\text{C})$$

$$\lambda'_{\text{в}} = 0,081 + 0,00023 \cdot 272,9 = 0,144(\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{К})$$

$$\alpha'_2 = 10 + 0,06 t'_{\text{НАР}}$$

$$\alpha'_2 = 10 + 0,06 \cdot 61,7 = 13,7(\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К})$$

11. Найдем уточненное значение плотности потока тепла через стенку

$$q' = \frac{t_{\text{кл}} - t_{\text{ок}}}{\sum_{i=1}^3 \frac{\delta_i}{\lambda'_i} + \frac{1}{\alpha'_2}};$$

$$q' = \frac{1300 - 0}{\frac{0,46}{1,13} + \frac{0,115}{0,45} + \frac{0,05}{0,144} + \frac{1}{13,7}} = 1214,9(\text{Вт} / \text{м}^2)$$

Вывод: распределение температур по толщине стенки будет:

$$t_{\text{кл.}} = 1300^{\circ}\text{C}; t_{\text{ш-д}} = 875,3^{\circ}\text{C}; t_{\text{д-в}} = 484,1^{\circ}\text{C}; t_{\text{НАР}} = 61,7^{\circ}\text{C}.$$

Форма представления результата:

Расчеты выполнить в тетради для практических работ и предоставить преподавателю на проверку.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы.

«4» (хорошо): выполнены все задания; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«3» (удовлетворительно): выполнены все работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«2» (не зачтено): студент не выполнил или выполнил неправильно задания; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 3.2 Теплопроводность и теплообмен

Практическое занятие № 5

Расчет коэффициента теплопроводности металла

Цель работы: с помощью теоретических расчетов по формулам определить коэффициент теплоотдачи.

Выполнив работу, Вы будете уметь:

производить расчеты процессов горения и теплообмена в металлургических печах, (нагревательных и плавильных).

Материальное обеспечение:

Учебно-методическая документация, дидактические средства

Задание:

1. Определить количество переданного тепла в печи с конвективным теплообменом при нагреве заготовки размерами 0,1х0,2х0,9м с температуры $t_{нач.} = 25^{\circ} \text{C}$ до температуры $t_{кон.} = 1300^{\circ} \text{C}$ за 12мин. Температура кладки печи $t_{нар.} = 80^{\circ} \text{C}$ (Задачу решать по закону Ньютона.)
2. Определить количество переданного тепла в печи с конвективным теплообменом при нагреве заготовки размерами 0,2х0,3х1,2м с температуры $t_{нач.} = 0^{\circ} \text{C}$ до температуры $t_{кон.} = 1250^{\circ} \text{C}$ за 7мин. Температура кладки печи $t_{нар.} = 120^{\circ} \text{C}$. (Задачу решать по закону Ньютона.)

Порядок выполнения работы:

1. Изучить методические указания к данной практической работе.
2. Решить задачи теплопроводности при стационарном состоянии
3. Расчеты выполнить по методике, приведенной в разработке.

Ход работы:

1. Средний по длине методической зоны коэффициент теплоотдачи излучением определяется:

$$\alpha_{изл.} = \frac{C_{0\xi_{np}} \sqrt{\left[\left(\frac{T_z}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m^{нач.}}{100} \right)^4 \right] \left[\left(\frac{T_z}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m^{кон.}}{100} \right)^4 \right]}}{\sqrt{(T_z - T_m^{нач.})(T_z - T_m^{кон.})}}, \frac{Вт}{(м^2 \cdot К)},$$

2. α_2 - коэффициент теплоотдачи конвекцией от наружной поверхности футеровки в окружающую среду

$$\alpha_2 = 10 + 0.06t_{нар.};$$

3. Коэффициент теплоотдачи в данном случае будет суммарным $\alpha_{\Sigma} = \alpha_k + \alpha_{изл.}$

Форма представления результата:

Расчеты выполнить в тетради для практических работ

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы.

«4» (хорошо): выполнены все задания; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«3» (удовлетворительно): выполнены все работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«2» (не зачтено): студент не выполнил или выполнил неправильно задания; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 3.2 Теплопроводность и теплообмен

Практическое занятие № 6

Определение приведённого коэффициента излучения в системе «газ-кладка-металл»

Цель работы: с помощью теоретических расчетов по формулам определить коэффициент излучения в системе «газ-кладка-металл».

Выполнив работу, Вы будете уметь:

производить расчеты процессов горения и теплообмена в металлургических печах, (нагревательных и плавильных).

Материальное обеспечение:

Учебно-методическая документация, дидактические средства

Задание: Вычислить коэффициент излучения по данным.

Таблица 1 - Значения в зависимости от температуры газа

900	0,20	3,33
1000	0,18	3,21
1100	0,16	3,07
1200	0,15	2,99
1300	0,14	2,90

Порядок выполнения работы:

1. Определить геометрические параметры излучения.
2. Определить поверхность кладки.
3. Определить степень черноты газа.
4. Определить приведенный коэффициент излучения «газ-кладка-металл».

Определяем геометрические параметры излучения. Поверхность кладки:

$$F_{\text{кл}} = F_{\text{торц.ст}} + F_{\text{бок.ст}} + F_{\text{св}} + F_{\text{под}} = 2Bh_{\text{ср}} + 2Lh + \frac{\pi R \varphi}{180} L + LB =$$

$$= 2 \cdot 1,5 \cdot 1,3 + 2 \cdot 1,4 \cdot 1,2 + \frac{3,14 \cdot 1,8 \cdot 60}{180} \cdot 1,4 + 1,4 \cdot 1,5 = 11,9 \text{ м}^2$$

Объем рабочего пространства печи:

$$V_{\text{р.п}} = BLh_{\text{ср}} = 1,5 \cdot 1,4 \cdot 1,3 = 2,73 \text{ м}^3$$

Объем металла:

Объем рабочего пространства, заполненного газом:

$$V_{\text{г}} = V_{\text{р.п}} - V_{\text{М}} = 2,73 - 0,016 = 2,714^3$$

Эффективная толщина газового слоя:

$$S_{\text{эф}} = \frac{3,5V_{\text{г}}}{F_{\text{кл}} + F_{\text{М}}} = \frac{3,5 \cdot 2,714}{11,9 + 1,264} = 0,721 \text{ м}$$

Приведенный коэффициент излучения “газ-кладка-металл”.

$$C_{\text{г.к.м}} = \frac{5,77 \cdot \varepsilon_{\text{М}} \cdot \varepsilon_{\text{г}}}{\varepsilon_{\text{г}} + \varphi_{\text{км}}(1 - \varepsilon_{\text{г}})}, \text{ Вт / м}^2 \text{ К}^4$$

Принимаем:

$$\varphi_{\text{км}} = \frac{F_{\text{М}}}{F_{\text{к}} + F_{\text{М}}} = \frac{1,26}{11,9 + 1,26} = 0,0957$$

Тогда, приведенный коэффициент излучения будет равен:

$$C_{\text{печ.м}} = \frac{5,77 \cdot \varepsilon_{\text{М}} \cdot \varphi_{\text{мк}}}{1 - \varphi_{\text{м.м}}(1 - \varepsilon_{\text{М}})}, \text{ Вт / м}^2 \text{ К}^4$$

Форма представления результата:

Расчеты выполнить в тетради для практических работ.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы.

«4» (хорошо): выполнены все задания; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«3» (удовлетворительно): выполнены все работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«2» (не зачтено): студент не выполнил или выполнил неправильно задания; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы

Тема 4.1 Основы рациональной технологии нагрева металла .

Дефекты нагрева металла

Практическое занятие №7

Определение режимов нагрева тонких и массивных тел

Цель работы: научиться определять режимы нагрева тонких и массивных тел

Выполнив работу, Вы будете уметь:

производить расчеты процессов горения и теплообмена в металлургических печах, (нагревательных и плавильных).

Материальное обеспечение:

Учебно-методическая документация, дидактические средства

Задание: Решение задач по теме.

Порядок выполнения работы:

1. Определить температурный критерий поверхности пластины.
2. Определить температурный критерий центра цилиндра.
3. Определить критерий Био.
4. Рассчитать время нагрева массивного тела.

Ход работы:

Выбор режима нагрева тела определяется исходя из его термической “массивности”. Для нагрева термически “тонких” тел применяется одноступенчатый режим, для термически “массивных” – двух- и трехступенчатый.

1. Физический смысл и роль критерия Bi становятся ясными, если его значение записать в таком виде:

$$Bi = \frac{\alpha s}{\lambda} = \frac{s/\lambda}{1/\alpha}.$$

2. Большую роль играет критерий Био. С теплотехнической точки зрения весь металл подразделяется на «тонкий» и «массивный». Если критерий $Bi > 0,25$, тело «массивное», если $Bi < 0,25$ – тело «тонкое».

3. Методы расчета «тонкого» и «массивного» металла различны, поэтому в первую очередь необходимо определить значение критерия Био. Наиболее простым методом расчета времени нагрева металла является графо - аналитический метод с применением номограмм Будрина.

Задачи:

1. Определить температурный критерий поверхности пластины толщиной 150 мм, если известно, что критерий Био равен 6, коэффициент температуропроводности равен $5,56 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, время нагрева 1 час.
2. Определить температурный критерий центра цилиндра, если известно, что $Fo=8$, $Bi=0,7$; $Fo=12$, $Bi=0,14$.

Определить температурный критерий поверхности пластины, если известно, что $Fo=8, \quad Bi=0,2; \quad Fo=6, \quad Bi=0,3.$

3. Определить критерий Био для поверхности пластины, если известно, что температурный критерий поверхности равен 0,1, а критерий Фурье

4. Рассчитать время нагрева массивного тела, если известно:

температура газа 1125°C ; начальная температура металла 20°C ; толщина металла $0,066\text{м}$; $\lambda=40,8 \text{ Вт/(м К)}$; $\alpha_{\text{изл}}=122,3 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$; конечная температура металла 450°C .

Определение температурного критерия Θ и критерия Bi

$$\Theta = \frac{t_c - t_{\text{мтов.}}^{\text{кон}}}{t_c - t_{\text{м}}^{\text{нач.}}}; \quad Bi = \frac{\alpha_{\text{изл}} \cdot S}{\lambda};$$

$$\Theta = \frac{1125 - 450}{1125 - 20}; \quad Bi = \frac{122,3 \cdot 0,066}{40,8};$$

$$\Theta = 0,61.$$

$$Bi = 0,198.$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м К)

Так же находится коэффициент температуропроводности $a = 8,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

По номограммам в находится критерий Фурье $Fo=2,5$

Время нагрева массивного тела определяется:

$$\tau_{\text{м}} = Fo \frac{S^2}{a};$$
$$\tau_{\text{м}} = 2,5 \frac{0,066^2}{8,05 \cdot 10^{-6}};$$
$$\tau_{\text{м}} = 3822,4 \text{ с (1,1 ч)}$$

Форма представления результата:

Расчеты выполнить в тетради для практических работ.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы.

«4» (хорошо): выполнены все задания; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«3» (удовлетворительно): выполнены все работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«2» (не зачтено): студент не выполнил или выполнил неправильно задания; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы

Тема 4.1 Основы рациональной технологии нагрева металла .

Дефекты нагрева металла

Практическое занятие № 8

Расчет времени нагрева металла в металлургической печи

Цель работы: с помощью теоретических расчетов по формулам научиться определять время нагрева металла в методической зоне нагревательной печи.

Выполнив работу, Вы будете уметь:

-производить расчеты процессов горения и теплообмена в металлургических печах, (нагревательных и плавильных);

-анализировать качество сырья и готовой продукции.

Материальное обеспечение:

Учебно-методическая документация, дидактические средства

Задание: рассчитать время нагрева металла по индивидуальным данным.

№ варианта	P, т	δ , мм	b, мм	l, мм	$t_{\text{кон. Ме, C}^0$	$t_{\text{окр. ср, C}^0$	Материал металла
1	72	210	1400	10500	1250	30	Ст 35
2	83	250	250	11000	1200	20	08 кп
3	80	230	1450	11500	1200	0	Ст 0
4	85	240	1350	10000	1150	10	Ст 45
5	73	220	220	10500	1200	10	Ст 55
6	75	190	1150	9000	1100	0	Ст 1
7	75	195	1150	9500	1150	15	Ст 15
8	85	300	1500	11000	1300	25	Ст 45
9	82	210	210	10500	1250	30	Ст 5
10	70	185	1100	9000	1150	10	08 пс(ж)
11	77	240	1400	12000	1300	20	08 Ю
12	90	255	1500	12000	1300	15	Ст 20
13	87	245	1450	11500	1250	10	Ст 3
14	85	230	230	10000	1200	0	09 Г 2С
15	67	180	1000	8500	1150	10	08 кп
16	82	220	220	9500	1250	15	20 ХНА
17	72	200	200	9000	1200	20	Ст 0
18	85	195	1100	10000	1250	30	Ст 2
19	75	240	1000	9500	1250	15	Ст 65
20	73	240	240	10500	1200	25	Ст 70
21	87	250	1250	5600	1250	0	Ст 65 Г
22	83	250	1300	7000	1250	5	18 ЮА
23	86	250	1580	8500	1200	10	08 пс(ж)
24	70	250	1080	7600	1250	10	Ст 2

25	80	250	1500	7500	1250	15	Ст 45
26	90	250	1850	8800	1350	5	Ст 50
27	75	250	1350	9000	1200	20	Ст 20
28	73	250	250	10000	1200	25	09 Г 2 С
29	83	250	1380	5700	1250	30	08 кп
30	85	250	1800	6500	1300	35	Ст 15
31	72	230	1080	8000	1250	0	Ст 65
32	82	200	200	8500	1300	15	Ст 70
33	87	240	240	9500	1250	5	Ст 0
34	86	250	1500	7000	1200	40	18 ЮА
35	90	195	1000	10500	1350	50	20 ХНА

Порядок выполнения работы:

1. Определить ориентировочные размеры методической печи
2. Рассчитать степень развития кладки методической печи
3. Определить эффективную длину луча в методической печи
4. Определить время нагрева металла в методической печи используя номограммы Д.В. Будрина

$$\tau_M = Fo \frac{S^2}{a}$$

Ход работы:

Температура уходящих из печи дымовых газов принимаем равной $t_{yx}=1050^{\circ}\text{C}$; температура в печи в тоильной зоне на 50°C выше температуры нагрева металла, т.е. t_k+50° , значит $1150+50=1200^{\circ}\text{C}$. В методической зоне и при переходе из нее в сварочную зону температура в центре металла должна быть порядка $400 - 500^{\circ}\text{C}$.

1. Разность температур между поверхностью и серединой заготовки для методической зоны

$$\Delta t = t_{\text{пов.}} - t_{\text{ц}} = (700 \div 800) S,$$

где $S = \mu \delta$ – расчетная толщина изделия,

$\mu = 0,55$ – коэффициент несимметричности нагрева, определяется по таблице

$$S = 0,55 \cdot 0,12;$$

$$S = 0,066 \text{ м},$$

тогда

$$\Delta t = 700 \cdot 0,066;$$

$$\Delta t = 46,2^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{пов.}} = \Delta t + t_{\text{ц}};$$

$$t_{\text{пов.}} = 46,2 + 400;$$

$$t_{\text{пов.}} = 446,2^{\circ}\text{C} \approx 450^{\circ}\text{C},$$

2. Следовательно, температура поверхности сляба в конце методической зоны равна 450°C

Ориентировочные размеры печи

При однорядном расположении заготовок ширина печи будет:

$$B = l + 2a;$$

$$B = 2,0 + 2 \cdot 0,2;$$

$$B = 2,4 \text{ м},$$

где $a = 0,2 \text{ м}$ – зазор между слябами и стенками печи.

3. В соответствии с рекомендациями высоту печи принимаем равной:

в томильной зоне $H_T=1,5$ м;

в сварочной зоне $H_{CB.}=2,6$ м;

в методической зоне $H_M=2,2$ м.

4. Степень развития кладки (на 1 м длины печи) для:

методической зоны

$$\omega_M=(2H_M+B)/l;$$

$$\omega_M=(2 \cdot 2,2+2,4)/2;$$

$$\omega_M=3,4;$$

сварочной зоне:

$$\omega_{CB.}=(2H_{CB.}+B)/l;$$

$$\omega_{CB.}=(2 \cdot 2,6+2,4)/2;$$

$$\omega_{CB.}=3,8$$

томильной зоне:

$$\omega_T=(2H_T+B)/l;$$

$$\omega_T=(2 \cdot 1,5+2,4)/2;$$

$$\omega_T=2,7.$$

5.Определение эффективной длины луча.

$$S_{эф.}=3,6 \frac{V}{F} \text{ - формула А.С.Невского}$$

$$S_{эф.}=3,6 \frac{B \cdot H}{2B + 2H};$$

методическая зона:

$$S_{эф.}^M=3,6 \frac{2,4 \cdot 2,2}{2 \cdot 2,4 + 2 \cdot 2,2};$$

$$S_{эф.}^M=0,57 \text{ м};$$

сварочная зона:

$$S_{эф.}^{CB.}=3,6 \frac{2,4 \cdot 2,6}{2 \cdot 2,4 + 2 \cdot 2,2};$$

$$S_{эф.}^{CB.}=0,62 \text{ м};$$

томильная зона:

$$S_{эф.}^T=3,6 \frac{2,4 \cdot 1,5}{2 \cdot 2,4 + 2 \cdot 1,5};$$

$$S_{эф.}^T=0,46 \text{ м}$$

6.Определение времени нагрева в методической зоне

Степень черноты дымовых газов ξ_c^M при средней температуре $t_r=0,5(1200^0+1050^0)=1125^0\text{C}$

Парциальное давление CO_2 и H_2O :

$$p_{CO_2}=98,1 \cdot 0,088;$$

$$p_{CO_2}=8,66 \text{ кПа};$$

$$p_{H_2O}=98,1 \cdot 0,174;$$

$$p_{H_2O}=17,07 \text{ кПа},$$

где - 98,1-абсолютное давление смеси;

0,088 и 0,174 соответственно берется из расчета горения топлива при определении

процентного состава продуктов сгорания (CO_2 8,83%; H_2O 17,35%)

и делится на 100%.

7. Определяем :

$$p_{\text{CO}_2} \cdot S_{\text{эф}} = 8,66 \cdot 0,57 = 4,9 \text{ кПа} \cdot \text{м};$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} \cdot S_{\text{эф}} = 17,07 \cdot 0,57 = 9,7 \text{ кПа} \cdot \text{м}.$$

$$\xi_{\text{CO}_2} = 0,07, \xi_{\text{H}_2\text{O}} = 0,09, \beta = 1,09,$$

тогда

$$\xi_z^M = \xi_{\text{CO}_2} + \beta \xi_{\text{H}_2\text{O}}^e;$$

$$\xi_z^M = 0,07 + 1,09 \cdot 0,09;$$

$$\xi_z^M = 0,168.$$

8. Определение приведенная степень черноты

$$\xi_{\text{пр}} = \xi_M \frac{\omega_M + 1 - \xi_z^M}{\left[\xi_{\text{ме}} + \xi_z^M (1 - \xi_{\text{ме}}) \right] \frac{1 - \xi_z^M}{\xi_z^M} + \omega_M},$$

где $\xi_{\text{ме}}$ – степень черноты металла $\xi_{\text{ме}} = 0,8$

$$\xi_{\text{пр}} = 0,8 \frac{3,4 + 1 - 0,168}{\left[0,8 + 0,168(1 - 0,8) \right] \frac{1 - 0,168}{0,168} + 3,4};$$

$$\xi_{\text{пр.}} = 0,44.$$

9. Средний по длине методической зоны коэффициент теплоотдачи излучением определяется:

$$\alpha_{\text{изл.}} = \frac{C_0 \xi_{\text{пр}} \sqrt{\left[\left(\frac{T_z}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_M^{\text{нач.}}}{100} \right)^4 \right] \left[\left(\frac{T_z}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_M^{\text{кон.}}}{100} \right)^4 \right]}}{\sqrt{(T_z - T_M^{\text{нач.}})(T_z - T_M^{\text{кон.}})}}$$

где $C_0 = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ - константа излучения черного тела.

10. Принимаем $t_M^{\text{нач.}} = 20^\circ\text{C}$; $t_M^{\text{кон.}} = 450^\circ\text{C}$ – считали в 1) пункте.

$$\alpha_{\text{изл.}} = 122,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

11. Определение температурного критерия θ и критерия Bi

$$\Theta = \frac{t_z - t_{\text{мтов.}}^{\text{кон.}}}{t_z - t_M^{\text{нач.}}}; \quad Bi = \frac{\alpha_{\text{изл.}} \cdot S}{\lambda};$$

$$\Theta = \frac{1125 - 450}{1125 - 20}; \quad Bi = \frac{122,3 \cdot 0,066}{40,8};$$

$$\Theta = 0,61.$$

$$Bi = 0,198.$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м К)

12. Так же находится коэффициент температуропроводности

$$a = 8,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}. \text{ По номограммам находится критерий Фурье } Fo = 2,5$$

13. Время нагрева металла в методической зоне печи определяется:

$$\tau_m = Fo \frac{S^2}{a};$$

$$\tau_m = 2,5 \frac{0,066^2}{8,05 \cdot 10^{-6}};$$

$$\tau_m = 3822,4 \text{ с } (1,1 \text{ ч})$$

14. Время нагрева металла в сварочной зоне.

Найдем степень черноты дымовых газов при $t_r = 1200^\circ \text{C}$

$$p_{CO_2} = 8,66 \text{ кПа}; \quad p_{H_2O} = 17,07 \text{ кПа};$$

$$p_{CO_2} S_{эф.} = 8,66 \cdot 0,62;$$

$$p_{CO_2} S_{эф.} = 5,4 \text{ кПа} \cdot \text{м};$$

$$p_{H_2O} S_{эф.} = 17,07 \cdot 0,62;$$

$$p_{H_2O} S_{эф.} = 10,6 \text{ кПа} \cdot \text{м}.$$

По номограммам находим

$$\xi_{CO_2} = 0,07; \quad \xi_{H_2O}' = 0,09; \quad \beta = 1,08.$$

Из этого следует

$$\xi_{\varepsilon}^{св} = 0,07 + 1,08 \cdot 0,09$$

$$\xi_{\varepsilon}^{св} = 0,17$$

15. Принимаем температуру поверхности металла в конце сварочной зоны 950°C . Приведенная степень черноты определяется по формуле

$$\xi_{np}^{св} = 0,8 \frac{3,8 + 1 - 0,17}{[0,8 + 0,17(1 - 0,8)] \frac{1 - 0,17}{0,17} + 3,8}$$

$$\xi_{np}^{св} = 0,59$$

16. По формуле определим $\alpha_{изл}^{св}$

$$\alpha_{изл}^{св} = 76,4 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}$$

17.Находим среднюю по сечению температуру металла в начале сварочной зоны (в конце методической зоны)

$$t_{св}^{cp,нач.} = t_{нов} - \frac{2}{3}(t_{нов} - t_{ц});$$

$$t_{св}^{cp,нач.} = 450 - \frac{2}{3}(450 - 351);$$

$$t_{св}^{cp,нач.} = 384 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

18.Находим температурный критерий для поверхности заготовки

$$\Theta_{пов} = \frac{1200 - 950}{1200 - 384};$$

$$\Theta_{пов} = 0,31$$

19.Примем температуру в центре заготовки в конце зоны $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$, тогда средняя температура металла в сварочной зоне будет:

$$t_{св}^{cp} = 0,25(t_{м}^{кон} + t_{ц}^{кон} + t_{нов}^{св} + t_{ц}^{св});$$

$$t_{св}^{cp} = 0,25(450 + 384 + 950 + 800);$$

$$t_{св}^{cp} = 646 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

находим: $\lambda = 37,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $a = 6,39 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, далее следует

$$Bi = \frac{76,4 \cdot 0,066}{37,1};$$

$$Bi = 0,14.$$

20.По номограмме находим критерий Fo

$$Fo = 8,1$$

21.Время нагрева в сварочной зоне

$$\tau_{св} = Fo \frac{S^2}{a};$$

$$\tau_{св} = 8,1 \frac{0,066^2}{6,39 \cdot 10^{-6}};$$

$$\tau_{св} = 7236,0 \text{ с (2,01 час.)}$$

22.Время нагрева в томильной зоне.

Перепад температур по толщине в начале томильной зоны

$$\Delta t_{нач.} = 1200 - 914,4;$$

$$\Delta t_{нач.} = 285,6 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Допустимый перепад температур в конце нагрева $\Delta t_{кон.} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Степень выравнивания температур

$$\delta_{выр.} = \frac{\Delta t_{кон.}}{\Delta t_{нач.}};$$

$$\delta_{\text{выр.}} = \frac{50}{285,6};$$

$$\delta_{\text{выр.}} = 0,18$$

При коэффициенте несимметричности нагрева, равном $\mu=0,55$ критерий Fo для томильной зоны согласно номограмме равен $Fo=2,5$

23. При средней температуре металла в томильной зоне

$$t_T^{cp.} = 0,25(t_{\Gamma} + t_{\text{Ц}}^{ce} + t_{\text{М}}^{пог.с} + t_{\text{М}}^{кон});$$

$$t_T^{cp.} = 0,25(1200 + 914,4 + 950 + 1200);$$

$$t_T^{cp.} = 1066,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\lambda = 28,5 \text{ Вт/(М}\cdot\text{К)}; a = 83 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

24. Время томления

$$\tau_T = Fo \frac{S^2}{a};$$

$$\tau_T = 2,5 \frac{0,066^2}{83 \cdot 10^{-6}};$$

$$\tau_T = 1964,25 \text{ с (0,55 ч)}.$$

25. Полное время пребывания металла в печи равно

$$\tau = \tau_{\text{М}} + \tau_{\text{св}} + \tau_T;$$

$$\tau = 3822,4 + 7236,0 + 1964,25;$$

$$\tau = 13022,65 \text{ с (3,6 ч)}.$$

Вывод: время нагрева металла в трехзонной методической печи садкой 74 т составляет 13022,65с или 3,6 часа.

Форма представления результата:

Расчеты выполнить и оформить в тетради для практических работ.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы.

«4» (хорошо): выполнены все задания; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«3» (удовлетворительно): выполнены все работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«2» (не зачтено): студент не выполнил или выполнил неправильно задания; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы

Тема 4.1 Основы рациональной технологии нагрева металла

Дефекты нагрева металла

Практическое занятие №9

Расчет продолжительности нагрева «тонкого» и «массивного» тел при постоянной температуре печи

Цель работы: научиться рассчитывать продолжительность нагрева «тонкого» и «массивного» тел при постоянной температуре печи

Выполнив работу, Вы будете уметь:

производить расчеты процессов горения и теплообмена в металлургических печах, (нагревательных и плавильных)

Материальное обеспечение:

Учебно-методическая документация, дидактические средства

Задание: Определить время нагрева сляба размером 1800х240х4000мм³ из высокоуглеродистой стали при двухстороннем нагреве. Металл нагревается от 20⁰С до 500⁰С в печи с температурой 1000⁰С и коэффициентом теплоотдачи $\alpha=50\text{Вт/м}^3\cdot\text{К}$.

Таблица 2 – Исходные данные

№ варианта	Сталь
1,11,21	Малоуглеродистая
2,12,22	Среднеуглеродистая
3,13,23	Хромованадиевая
4,14,24	Хромистая
5,15,25	Марганцовистая
6,16,26	Хромокремнистая
7,17,27	Кремнемарганцовистая
8,18,28	Хромомолибденовая
9,19,29	Трансформаторная
10,20,30	Хромоникелевая

Порядок выполнения работы:

1. Определяем безразмерный температурный критерий Θ :

$$\Theta = (t_n - t_{\text{кон}}^{\text{М}}) / (t_n - t_{\text{нач}}^{\text{М}})$$

$$\Theta = (1000 - 500) / (1000 - 20) = 0,51$$

2. Определяем критерий Био Bi :

$$Bi = \alpha S / \lambda,$$

где $S = \mu \cdot \delta = 0,5 \cdot 0,240 = 0,12\text{м}$ при двухстороннем нагреве

$$\lambda = 40,9 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$$

$$Bi = 50 \cdot 0,12 / 40,9 = 0,15$$

3. Определяем критерий Фурье Fo для поверхности и центра сляба по рисунку А21, А2 приложения.

$$Fo_{\text{пов.}} = 4,2$$

$$Fo_{\text{центр.}} = 4,8$$

Отсюда,

$$\tau = Fo \cdot S^2 / a,$$

$$\text{где } a = 9,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$\tau_{\text{пов.}} = 4,2 \cdot 0,12^2 / 9,44 \cdot 10^{-6} = 3,434 \cdot 10^3 = 1,78 \text{ ч}$$

$$\tau_{\text{центр.}} = 4,8 \cdot 0,12^2 / 9,44 \cdot 10^{-6} = 6,127 \cdot 10^3 = 2,04 \text{ ч}$$

$$[\tau] = [\text{м}^2 \cdot \text{с} / \text{м}^2] = [\text{с}]$$

$$\tau_{\text{пов.}} = 1,78 \text{ ч}$$

$$\tau_{\text{центр.}} = 2,04 \text{ ч}$$

Таблица 3 – Тепловые эффекты реакций окисления

Приложение XII. Тепловые эффекты реакций окисления				
Реакция	$\Delta H_{\text{окисл.}}^{\circ}$ (кДж/моль)	$\Delta H_{\text{окисл.}}^{\circ}$ (кДж/кг)	$\Delta H_{\text{окисл.}}^{\circ}$ (кДж/л)	Примечания
Теплота при окислении металлов (в кДж/моль)	0,12+0,0010	670+0,211	400	1100
Теплота при окислении металлов (в кДж/кг)	0,05+0,0002	300	150	400
Теплота при окислении металлов (в кДж/л)	0,00+0,000010	100	100	000
Теплота при окислении металлов (в кДж/л)	0,1+0,00010	600	600	600

Приложение XIII. Основные характеристики металлов				
Металл	Атомный вес	Плотность (г/см³)	Температура плавления (°С)	Температура кипения (°С)
CO + 0,5O₂ = CO₂	44	283,50	—	12,50
H₂ + 0,5O₂ = H₂O (пар)	18	242,05	—	101,32
C₂H₄ + 3O₂ = 2CO₂ + 2H₂O (пар)	—	400,08	—	20,00
C₂H₄ + 3O₂ = 2CO₂ + 2H₂O (жидк.)	—	1339,64	—	80,40
C₂H₄ + 3,5O₂ = 2CO₂ + 2H₂O (пар)	—	1420,30	—	40,72
C₂H₄ + 3,5O₂ = 2CO₂ + 2H₂O (жидк.)	—	3020,93	—	90,32
C₂H₄ + 6,5O₂ = 4CO₂ + 2H₂O (пар)	—	3840,93	—	117,30
C₂H₄ + 6,5O₂ = 4CO₂ + 2H₂O (жидк.)	—	5544,93	—	143,30
H₂S + 1,5O₂ = 2H₂O (пар) + 2S	—	518,10	—	54,70
C + 0,5O₂ = CO	44	408,10	24,00	10,20
P₂ + 2,5O₂ = P₂O₅	140	1050,00	25,00	10,70
Al + 0,75O₂ = Al₂O₃	60	870,89	31,10	14,51
Al + 0,75O₂ = Al₂O₃	71	890,85	7,37	2,72
Fe + 0,25O₂ = FeO	72	260,60	4,42	2,13
2Fe + 1,5O₂ = Fe₂O₃	160	825,05	7,37	2,14
2Fe + 3/2O₂ = Fe₂O₃	87	254,04	5,72	2,30
C + S = CS₂	72	460,02	11,50	2,30
C + 0,5O₂ = CO	28	120,57	10,47	4,89
S + O₂ = SO₂	64	297,21	6,20	4,54

Приложение XIV. Основные характеристики металлов			
Металл	Атомный вес	Плотность (г/см³)	Температура плавления (°С)
Сплав X25H120	400	7600	0,00
Сплав X25H118	400	7600	0,00
Никром X25H100	600	8000	0,00
Никром X25H180	1100	8400	0,00
Феррал X13004	900	7400	0,00
Сплав X23005	1100	7200	0,00
Сплав X27005	1200	7200	0,00
Гаубар (содит) 50С	1000	7200	0,00
Дисперсия металлов	1000	7200	0,00

Таблица 4 – Энтальпия кДж/ воздуха и газов при различных температурах и постоянном давлении 101,3 кПа

Температура, К (°C)	CO ₂	N ₂	O ₂	H ₂ O	Воздух сухой	CO	H ₂	H ₂ S	CH ₄
373 (100)	172,00	130,13	131,93	150,18	130,51	130,21	128,96	154,08	165,39
473 (200)	361,67	260,60	267,38	303,47	261,94	262,10	259,59	314,86	353,38
573 (300)	564,24	392,41	407,48	461,36	395,42	395,67	390,65	482,34	567,75
673 (400)	777,44	526,89	551,85	623,69	532,08	532,58	520,86	658,19	808,93
773 (500)	1001,78	664,58	700,17	791,55	672,01	672,01	653,17	841,59	984,78
873 (600)	1236,76	805,06	851,64	964,68	814,96	816,46	786,41	1032,51	1071,84
973 (700)	1475,41	940,36	1005,24	1143,64	960,75	961,33	920,30	1230,98	1667,68
1073 (800)	1718,95	1094,65	1162,32	1328,11	1109,05	1112,06	1055,12	1436,98	1996,36
1173 (900)	1972,43	1243,55	1319,67	1517,87	1259,36	1262,38	1190,78	1646,75	2336,35
1273 (1000)	2226,75	1393,86	1480,11	1713,32	1411,86	1415,20	1327,28	1863,21	2696,43
1373 (1100)	2485,34	1546,14	1641,02	1913,67	1565,94	1570,54	1469,22	2081,77	3062,79
1473 (1200)	2746,44	1699,76	1802,76	2118,78	1721,36	1728,39	1612,83	2306,20	3446,74
1573 (1300)	3010,58	1857,74	1966,05	2328,01	1879,27	1883,31	1758,12	2531,04	—
1673 (1400)	3276,75	2012,36	2129,93	2540,25	2036,87	2045,76	1905,08	2760,91	—
1773 (1500)	3545,34	2170,55	2296,78	2758,39	2196,19	2200,26	2011,85	2995,80	—
1873 (1600)	3815,86	2328,65	2463,97	2979,13	2356,68	2364,82	2204,04	—	—
1973 (1700)	4087,10	2486,28	2632,09	3203,05	2517,60	2526,85	2356,02	—	—
2073 (1800)	4360,67	2646,74	2800,48	3429,90	2680,01	2690,56	2509,69	—	—
2173 (1900)	4634,76	2808,22	2971,30	3657,85	2841,43	2848,00	2657,07	—	—
2273 (2000)	4910,51	2970,25	3142,76	3889,72	3006,26	3014,64	2813,66	—	—
2373 (2100)	5186,81	3131,96	3314,85	4121,79	3169,77	3174,16	2971,93	—	—
2473 (2200)	5464,20	3295,84	3487,44	4358,83	3338,21	3343,73	3131,88	—	—
2573 (2300)	5746,39	3457,20	3662,33	4485,34	3500,54	3505,36	3293,49	—	—
2673 (2400)	6023,25	3620,58	3837,64	4724,37	3665,80	3666,82	3456,79	—	—
2773 (2500)	6303,53	3786,09	4014,29	5076,74	3835,29	3840,58	3620,76	—	—

Таблица 5 – Коэффициенты местных сопротивлений

The image shows a photograph of a technical table from a Russian engineering manual, specifically detailing coefficients of local resistance (коэффициенты местных сопротивлений) for various pipe fittings and components. The table is organized into several sections, each with a diagram of the component and a corresponding table of resistance coefficients (ζ) for different flow conditions. The components include: 1. Sharp-edged orifices (резкие отверстия), 2. Pipe entrances and exits (входы и выходы в трубы), 3. Pipe bends (колена), 4. Pipe tees (отводы), 5. Pipe elbows (отводы), 6. Pipe elbows (отводы), 7. Pipe elbows (отводы), 8. Pipe elbows (отводы). The table provides values for different flow conditions, such as laminar flow (Re ≤ 2300) and turbulent flow (Re > 2300), and for different pipe diameters (D) and flow velocities (v). The coefficients are listed for various components, including sharp-edged orifices, pipe entrances and exits, pipe bends, pipe tees, pipe elbows, and pipe elbows.

Форма представления результата:

Расчеты выполнить и оформить в тетради для практических работ.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы.

«4» (хорошо): выполнены все задания; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«3» (удовлетворительно): выполнены все работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«2» (не зачтено): студент не выполнил или выполнил неправильно задания; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы

Тема 6.1 Устройства для утилизации тепла в печах. Способы очистки газов

Практическое занятие №10

Расчет теплообменника

Цель работы: научиться применять расчетные соотношения теплообменников

Выполнив работу, Вы будете уметь:

производить расчеты процессов горения и теплообмена в металлургических печах, (нагревательных и плавильных)

Материальное обеспечение:

Учебно-методическая документация, дидактические средства

Задание:

1. Определить КПД теплообменника плавильной печи, если состав дымового газа: 13,3%CO₂; 9,87%Н₂О; 1,81%О₂; 75,02%N₂ и его температура $t_r = 2100^{\circ}\text{C}$. Температура подогрева воздуха $t_b = 1200^{\circ}\text{C}$.
2. Определить степень утилизации тепла дымового газа составом 14%CO₂; 9,91%Н₂О; 1,73%О₂; 74,36%N₂, выходящего из печи с температурой $t_r = 2000^{\circ}\text{C}$. Температура подогрева воздуха $t_b = 1300^{\circ}\text{C}$.
3. Определить процент экономии топлива плавильной печи, если температура горения топлива 1900⁰С, температура дыма 1800⁰С, состав дымовых газов: 13%CO₂; 9,1%Н₂О; 2%О₂; 75,9%N₂, температура подогрева воздуха $t_b = 1200^{\circ}\text{C}$.
4. Определить процент экономии топлива плавильной печи, если температура горения топлива 1800⁰С, температура дыма 1700⁰С, состав дымовых газов 14,4%CO₂; 9,5%Н₂О; 1,7%О₂; 74,4%N₂, температура подогрева воздуха $t_b = 1100^{\circ}\text{C}$.

Таблица 6 – Исходные данные

№ вариан та	Садка печи, т	Теплов. нагрузка, $Q_{\max}$, 10^8 кДж/ч	Темп-ра дыма, входящего в регенерато р $t_{\delta}^{\text{н}}, ^{\circ}\text{C}$	Темп-ра подогрева воздуха, $t_{\delta}^{\text{к}}, ^{\circ}\text{C}$	Начальная темп-ра воздуха, $t_{\delta}^{\text{н}}, ^{\circ}\text{C}$	Скорость воздуха в регенераторе, w_b м/с
1	400	2	1400	750	0	0,6
2	600	3	1700	850	0	0,7
3	300	2	1450	700	0	0,6
4	200	3	1500	800	0	0,6
5	200	2	1450	780	0	0,7
6	900	3	1650	900	10	0,7
7	850	3	1700	900	10	0,6
8	400	2	1400	800	5	0,6
9	300	2	1600	800	0	0,7
10	600	3	1600	650	5	0,6

11	400	3	1550	800	10	0,7
12	900	4	1800	900	10	0,8
13	300	2	1500	600	5	0,5
14	200	2	1400	600	0	0,5
15	600	3	1750	700	0	0,7
16	300	2	1600	750	5	0,7
17	900	2	1500	850	0	0,6
18	200	3	1200	500	0	0,5
19	300	2	1100	510	0	0,5
20	400	2	800	200	5	0,4
21	600	3	1300	400	10	0,5
22	400	2	1200	400	0	0,5
23	900	3	1600	850	10	0,7
24	600	3	1500	800	5	0,6
25	900	5	1350	900	0	0,7
26	600	4	1250	850	10	0,6
27	600	3	1200	700	0	0,6
28	400	3	1200	800	5	0,7
29	300	2	1300	700	5	0,6
30	400	3	1400	600	0	0,6
31	900	4	1700	870	10	0,8
32	200	2	1210	630	0	0,5
33	300	2	1330	740	5	0,6
34	600	3	1550	750	0	0,6
35	900	5	1800	900	10	0,8

Для всех вариантов: тип насадки "Сименс"; топливо – природный газ.

Порядок выполнения работы:

- 1.Решение задач
- 2.Расчет размеров теплообменника.

Ход работы:

Определение тепловой нагрузки теплообменника. Для нормальной работы печи надо обеспечить требуемую тепловую нагрузку, т.е. ежечасную подачу определенного количества тепла в печь.

В это количество пепла входят:

- Химически связанное тепло топлива (Q_x) – это тепло от сгорания топлива.
- Тепло подогретого газа и воздуха ($Q_{\text{физ.}}$).

$$Q_{\Sigma} = Q_x + Q_{\text{физ.}} \text{ – общее (суммарное) тепло.}$$

Из уравнения ясно, что при $Q_{\Sigma} = \text{const}$ увеличение $Q_{\text{физ.}}$ Позволит уменьшить Q_x .

Иными словами, утилизация тепла отходящих дымовых газов позволяет экономить топливо.

Степень утилизации тепла дымовых газов определяется:

$$R = \frac{I_{\epsilon}}{I_{\delta}}$$

Надо помнить, что $R < 1$, т.е. утилизация не может быть 100%.

$I_{\text{в}} (i_{\text{в}})$ – теплосодержание (энтальпия) подогретого воздуха (берется по таблице)

$I_{\text{д}} (i_{\text{д}})$ – теплосодержание (энтальпия) отходящих дымовых газов.

КПД (η) теплообменника:

$$\eta = \frac{I_{\epsilon}}{I_{\delta}} 100\%$$

Определить экономию топлива в %

$$\Xi = R \frac{I_{\delta} / I'_{\delta}}{1 - I_{\delta} / I'_{\delta} (1 - R)} 100\%$$

$I_{\text{д}}$ – теплосодержание (энтальпия) дымовых газов покидающих печь;

I'_{δ} - теплосодержание (энтальпия) дымовых газов при температуре горения.

Снижение расхода топлива при утилизации тепла отходящих дымовых газов является одним из путей снижения стоимости нагрева металла.

Определить объем решетки регенератора

$$V_{\text{реш}} = \frac{F_{\text{реш}}}{13}$$

Определить коэффициент стройности

$$K = \frac{H}{\sqrt{F_{\text{сеч}}}}$$

Форма представления результата:

Расчеты выполнить и оформить в тетради для практических работ.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы.

«4» (хорошо): выполнены все задания; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«3» (удовлетворительно): выполнены все работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«2» (не зачтено): студент не выполнил или выполнил неправильно задания; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы

Тема 7.2 Металлургические печи и конвертеры

Практическое занятие №11

Расчет статей теплового баланса печи

Цель работы: научиться рассчитывать тепловой баланс металлургической печи.

Выполнив работу, Вы будете уметь:

производить расчеты процессов горения и теплообмена в металлургических печах, (нагревательных и плавильных).

Материальное обеспечение:

Учебно-методическая документация, дидактические средства

Задание: рассчитать приходную часть баланса камерной печи

Порядок выполнения работы:

1. Рассчитать тепло, получаемое от топлива.
2. Рассчитать тепло, вносимое прогретым воздухом.
3. Рассчитать физическое тепло, вносимое подогретым топливом.
4. Рассчитать статьи теплового баланса.

Ход работы:

1. Тепло, получаемое при сжигании топлива

$$Q_{\text{топл}} = 0,278 \cdot B \cdot Q_n^p, \text{ Вт}$$

где B – часовой расход топлива, м³/ч – неизвестная искомая величина, определяемая из теплового баланса;

Q_n^p – низшая теплота сгорания топлива в кДж/м³. Определяется при расчете горения топлива.

2. Тепло, вносимое прогретым воздухом (физическое тепло воздуха). Эта статья учитывается при составлении теплового баланса рекуперативных печей.

$$Q_{\text{возд}} = 0,278 \cdot B \cdot L_g \cdot C_b \cdot t_b, \text{ Вт}$$

где L_g – действительный расход воздуха, необходимый для сжигания 1 м³ газа или 1 кг мазута с учетом коэффициента избытка воздуха (из расчета горения топлива), м³/м³ или м³/кг;

C_b – средняя теплоемкость воздуха в интервале температур от 0° до t_b , кДж/м³·град;

t_b – температура подогрева воздуха, °С. Определяется условиями работы рекуператора.

Для термических печей обычно принимается в пределах 200-300 °С.

3. Физическое тепло, вносимое подогретым топливом, как правило, - газообразное топливо, подается к термическим печам без подогрева, поэтому эта статья при использовании газообразного топлива в балансе не учитывается. При работе печей на мазуте последний подогревается на 70-80 °С, тогда:

$$Q_{\text{возд}} = 0,278 \cdot B \cdot C_T \cdot t_T, \text{ Вт}$$

где C_T – средняя теплоемкость мазута, кДж/кг·град;

t_T – температура подогрева мазута, °С.

4. Тепло экзотермических реакций при окислении нагреваемого металла, кДж/кг

$$Q_{\text{экз}} = 0,278 \cdot 5652 \cdot (P_M + P_{\text{тар}}) \cdot a, \text{ Вт}$$

где 5652 – тепловой эффект реакции окисления 1 кг нагреваемого металла, кДж/кг;

$(P_M + P_{\text{тар}})$ – часовая производительность печи по металлу и таре, кг/ч, (см. статьи 1 и 2 расходной части баланса);

a – относительное количество окислившегося металла (угар металла), кг/кг. Например, если угар равен 2 %, то $a = 0,02$. Для термических печей можно принимать $a = 0,02 - 0,05$ %, для нагревательных $a = 0,01 - 0,025$ %.

Если применяется защитная атмосфера, то статья 4 не учитывается (окисление отсутствует)

Расходная часть теплового баланса

Статья 1. Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла. Если металл поступает в печь:

$$\text{холодным } Q_M = 0,278 \cdot P \cdot C_M \cdot t_{M.K.}, \text{ Вт}$$

$$\text{подогретым } Q_M = 0,278 \cdot P \cdot (C_M \cdot t_{M.K.} - C_M' \cdot t_{M.H.}), \text{ Вт}$$

где P – часовая производительность печи по нагреву, кг/ч. Определяется исходя из величины садки и времени нагрева:

$t_{M.K.}$ – конечная температура нагрева металла, °С. Определяется маркой стали и характером технологического процесса.

$t_{M.H.}$ – начальная температура металла, °С;

C_M – средняя теплоемкость металла в интервале температур от 0° до $t_{M.K.}$, кДж/(кг·град);

C_M' – также для интервала температур от 0° до $t_{M.K.}$, кДж/(кг·град).

Статья 2.

$$Q_{\text{тар}} = 0,278 \cdot P_{\text{тар}} \cdot C_{\text{тар}}(t_{\text{тар.к.}} - t_{\text{тар.н.}}), \text{ Вт}$$

где $P_{\text{тар}}$ – производительность печи по таре, кг/ч

$G_{\text{тар}}$ – масса тары, одновременно находящейся в печи, кг, (поддоны, башмаки, конвейер, муфель колпаковой печи и др.)

$C_{\text{тар}}$ – средняя теплоемкость тары в интервале температур от 0° до $t_{\text{тар.к.}}$, кДж/(кг·град)
 $t_{\text{тар.к.}} = t_{M.K.}$

$t_{\text{тар.к.}}, t_{\text{тар.н.}}$ – соответственно конечная и начальная температуры тары, °С.

Статья 3. Тепло, теряемое уходящими продуктами сгорания (дымом)

$$Q_{\text{дыма}} = 0,278 \cdot B \cdot V_{\text{д}} \cdot C_{\text{д}} \cdot t_{\text{д}}, \text{ Вт}$$

где $V_{\text{д}}$ – объем дымовых газов, получаемых при сжигании 1 м³ газа или жидкого (твердого топлива) при нормальных условиях с учетом избытка воздуха, м³/кг или м³/м³) из расчета горения топлива;

$C_{\text{д}}$ – средняя теплоемкость дымовых газов при температуре $t_{\text{д}}$ кДж/(м³·град),
 $t_{\text{д}}$ – температура отходящего дыма, °С. Может быть принята: для камерных печей - $t_{\text{д}} = t_{M.K.} + (50 \div 100)$, для методических - $t_{\text{д}} = t_{M.K.} + (100 \div 300)$

Статья 4. Потеря тепла от химической неполноты сгорания топлива.

При беспламенном сжигании топлива потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива отсутствуют. При пламенном сжигании в дымовых газах обычно содержится 0,5-3 % несгоревших газов. Если принять, что на 1 % CO приходится 0,5 % H₂, то теплота сгорания такой смеси при нормальных условиях составляет 12142 кДж/м³. Если в уходящих продуктах сгорания долю несгоревшего газа CO принять равной P_{co} , то потеря тепла составит

$$Q_{хим} = 0,278 \cdot B \cdot V_d \cdot P_{co} \cdot 12142, \text{ Вт}$$

где V_d - количество уходящего дыма м³/м³ или м³/кг. Для хорошо работающих печей P_{co} можно принять 0,005 – 0,015.

Статья 5. Потери тепла от механической неполноты сгорания топлива. Под механической неполнотой сгорания понимают различные потери топлива, введенного в печь, но не принимающие участия в горении. Эти потери могут быть определены так

$$Q_{мех} = A \cdot 0,278 \cdot B \cdot Q_n^p, \text{ Вт}$$

где A – величина тепловых потерь от механической неполноты сгорания. Так при сжигании:

1. Твердого топлива $A = 0,03 \div 0,05$;
2. Газообразного топлива $A = 0,02 \div 0,05$;
3. Жидкого топлива $A = 0,01$.

Для газообразного и жидкого топлива эта величина незначительна и может не учитываться. Для твердого топлива она достигает 2-5% от Q_n^p . Поскольку современные термические печи, как правило, на твердом топливе не работают, то статья 5 из теплового баланса выпадает.

Статья 6. Тепло, теряемое в результате теплопроводности через кладку. Если известна наружная температура кладки, то потеря тепла путем теплопроводности через свод и стены определяется:

$$Q_{кл} = \alpha_{\Sigma}'' \cdot (t_{cm} - t_g) \cdot F_n, \text{ Вт}$$

где α_{Σ}'' - суммарный коэффициент конвективной теплопроводности от наружной стенки к окружающему воздуху, Вт/м²град. Например, при $t_{cm} = 90^\circ\text{C}$, $\alpha_{\Sigma}'' = 14,0$, Вт/м²град для вертикальной стенки: 16,0 – для свода и 11,4 – для пола.

Форма представления результата:

Расчеты выполнить и оформить в тетради для практических работ.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы.

«4» (хорошо): выполнены все задания; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«3» (удовлетворительно): выполнены все работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

«2» (не зачтено): студент не выполнил или выполнил неправильно задания; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы