

Правительство Санкт-Петербурга
Комитет по науке и высшей школе
Санкт-Петербургское государственное бюджетное
профессиональное образовательное учреждение
«Санкт-Петербургский политехнический колледж»

Комитет по науке и высшей школе
Санкт-Петербурга № 603-рз от 20.03.2019 г.
Санкт-Петербургское государственное бюджетное
профессиональное образовательное учреждение
«Санкт-Петербургский политехнический колледж»
перемановано с 20.03.2019 года в
Санкт-Петербургское государственное бюджетное
профессиональное образовательное учреждение
«Академия промышленных технологий»
(СПб ГБПОУ «АПТ»)



ТВЕРЖДАЮ
Директор СПб ГБОУ «СПбПК»
Ю.П. Шабурин
августа 2018 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

ОП.06 Теплотехника

для специальности
среднего профессионального образования

22.02.05 Обработка металлов давлением

Базовая подготовка

Санкт-Петербург
2018

29

Методические рекомендации по выполнению курсового проекта разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования (далее – СПО) 22.02.05 Обработка металлов давлением, утвержденного Приказом Министерства образования и науки от 21 апреля 2014 г. № 359

Организация-разработчик:

Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Санкт-Петербургский политехнический колледж» (СПб ГБОУ «СПбПК»)

Преподаватель СПб ГБПОУ «СПбПК»

Методические рекомендации рекомендованы и одобрены учебно-цикловой комиссией сварки и металлургических дисциплин

Протокол № 10 от 05 июня 2018 г.

Председатель УЦК Чекмаров С.В.

Программа одобрена на заседании Педагогического совета и рекомендована к использованию в учебном процессе

Протокол № 01 от 31 августа 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1. Требования к оформлению курсового проекта | 5 |
| 2. Характеристика содержания пояснительной записки | 6 |
| 3. Температурный режим методических нагревательных печей | 7 |
| 4. Процессы, происходящие в металлургических печах | 10 |
| 5. Конструкции и тепловые режимы печей | 10 |
| 6 Расчетная часть проекта | 13 |
| Приложения | 25 |

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания разработаны с учетом требований ФГОС СПО к уровню подготовки выпускника по специальности 22.02.05 «Обработка металлов давлением» и рабочей программой по учебной дисциплине Теплотехника для студентов с целью оказания помощи студентам в организации их самостоятельной работы при выполнении курсового проекта. А также для систематизации и закрепления знаний, полученных при изучении дисциплины «Теплотехника».

В результате изучения дисциплины студенты обязаны уметь:

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

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен знать:

- основные положения теплотехники и теплоэнергетики;
- конструкцию топливосжигающих устройств;
- основы механики печных газов;
- общие сведения о нагреве металла;
- назначение и свойства огнеупорных материалов;
- устройства и принципы действия металлургических печей;
- топливо металлургических печей и методику расчетов горения;
- закономерности процессов тепломассообмена в металлургических печах.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен иметь практический опыт:

- расчетов металлургических печей (нагревательных и плавильных).

1. Требования к оформлению курсового проекта

Курсовой проект (КП) состоит из пояснительной записки и приложения.

Объем пояснительной записки 15-30 страниц печатного текста (шрифт 14, интервал 1,5) расположенного с одной стороны формата А-4.

Курсовое проектирование включает следующие этапы:

- выдача заданий;

- подбор материала для выполнения проекта в соответствии с заданием;

- подготовка чернового варианта пояснительной записки (в течение времени, отведенного на курсовое проектирование в соответствии с графиком учебного процесса);

- проверка чернового варианта курсового проекта руководителем, корректировка возможных ошибок (в течение времени, отведенного на курсовое проектирование в соответствии с графиком учебного процесса);

- выполнение и нормоконтроль чистового варианта пояснительной записки (в течение времени, отведенного на курсовое проектирование в соответствии с графиком учебного процесса);

- сдача чистового варианта курсового проекта на проверку руководителю в течение времени, отведенного на курсовое проектирование в соответствии с графиком учебного процесса);

- защита курсового проекта.

Защита курсового проекта является подтверждением уровня подготовки студента по дисциплине «Теплотехника».

Защита курсового проекта производится во время учебного занятия и включает: доклад студента по КП и ответы на вопросы руководителя проекта.

2. Характеристика содержания пояснительной записки

- 1) Титульный лист;
- 2) Лист расчетно-пояснительная записка;
- 3) Лист задания;
- 4) Лист содержания;
- 5) Введение;
- 6) Описательная часть;
- 7) Техника безопасности при работе на печах;
- 8) Расчетная часть;
- 9) Заключение;
- 10) Список использованной литературы.

Во введении раскрывается актуальность темы, формулируется цель; объем 1-2стр.;

В описательной части предлагается подробное описание температурного и теплового режимов нагревательных печей, процессов, происходящих в металлургических печах, конструкций печей; объем 5-10стр.;

В расчетной части выполняются расчеты горения топлива; определение времени нагрева металла; определение основных размеров печи; составление материального и теплового баланса печи; объем 10-20стр.;

В части техники безопасности описываются мероприятия по охране труда и окружающей среды, предлагаемые студентом для условий проекта; объем 5-10стр.;

В заключении содержатся итоги выполненной работы, делается акцент на результаты расчетов и возможности использования материалов проекта в учебном процессе; объем 1стр.;

Список использованной литературы выполняется в алфавитном порядке, в соответствии с требованиями ГОСТ; объем 1-2стр.

3. Температурный режим нагревательных печей

Методические нагревательные печи относятся к наиболее распространенному типу нагревательных печей и характеризуются наличием нескольких зон по длине печи. В зависимости от распределения температур в печи ранее различали двухзонные или трехзонные методические печи, причем в методической зоне этих печей, как правило, не было сожигательных устройств. Построенные в последнее время многозонные методические печи называются четырехзонными, пятизонными — в зависимости от количества участков печи, оборудованных топливосжигательными устройствами.

Стремление к обеспечению высокопроизводительной работы печи ведет к повышению температуры, которая определяется тем, что к моменту выдачи металл должен быть соответствующим образом прогрет по всему сечению.

Чтобы не происходило оплавления поверхности металла, температуру в сварочной зоне в ряде случаев поддерживают на уровне 1300—1350° С.

При относительно длинной сварочной зоне, поддерживая температуру по длине зоны примерно на одинаково высоком уровне, можно ускорить нагрев металла, не прибегая к чрезмерному повышению температуры в ней.

Для повышения производительности печи и ускорения нагрева в ней относительно толстых заготовок без чрезмерного повышения температуры применяют двусторонний нагрев металла. В этом случае температура в нижней камере сварочной зоны печи обычно составляет 1250—1300° С, но бывает и выше.

Наиболее форсированный нагрев массивных тел происходит, если их нагревают с максимальной интенсивностью до заданной температуры поверхности с последующей выдержкой (томлением) при этой температуре.

Практически при нагреве рядовой стали температуру ее поверхности приходится ограничивать, чтобы не допустить оплавления окалины. Вследствие этого часто при форсированной работе печи температура поверхности металла в сварочной зоне превышает заданную температуру выдачи металла, а затем при выдержке происходит одновременно некоторое подствывание поверхности металла и выравнивание температуры по сечению (прогрев). Описанный режим осуществляется в трехзонных, а в последние годы и в многозонных печах, где после сварочной зоны металл продвигается в томильную зону.

Поскольку при таком режиме нагрев металла не заканчивается в сварочной зоне и прогрев его по сечению происходит в томильной зоне, в сварочной зоне представляется возможным поддерживать повышенную температуру. В результате нагрев поверхности металла в сварочной

зоне до конечной температуры ускоряется, что повышает производительность печей. Наличие томильной зоны в трехзонных печах повышает производительность печей на 15—20%.

Как правило, в томильной зоне поддерживается постоянная температура продуктов сгорания, что легко достигается применением существующих средств автоматизации теплового режима печей.

В печах с томильной зоной температура поверхности металла несколько ниже, чем в методических печах без этой зоны, но металл лучше прогревается по сечению во время томления в печи.

Топливосжигающие устройства томильной и сварочной зон располагают на торцовых стенках печи, но есть методические печи, где топливосжигающие устройства расположены на боковых стенах сварочной зоны. Это позволяет обеспечить постоянную высокую температуру по длине зоны и интенсифицировать работу печи. Однако при этом затрудняются обслуживание печи и ее автоматизация.

В большинстве случаев в трехзонных методических печах наблюдались следующие температуры, °С: в томильной зоне 1250—1300, в верхней камере сварочной зоны 1280—1380 и выше (при форсированной работе), в нижней камере 1250—1340.

Широкий диапазон колебания температур в сварочной зоне наблюдается при неравномерной работе стана и резко меняющейся производительности печи. При установившейся нормальной работе поддерживаются промежуточные температуры, причем температурный режим выбирают, исходя из необходимости обеспечения: заданной температуры нагрева металла с допустимым перепадом температур по сечению, требуемой производительности печи при отсутствии брака по нагреву, предотвращения или сведения к минимуму оплавления окалины и образования жидкого или тестообразного шлака на поде печи.

Методические трехзонные печи часто работают с температурой в томильной зоне выше температуры в верхней камере сварочной зоны или равной ей; например, когда нельзя обеспечить необходимую повышенную производительность печи без продолжения интенсивного нагрева металла в томильной зоне. Бывает, что трехзонные печи с боковой выдачей металла приспособливают для удаления шлака в жидком виде (особенно в тех случаях, когда греют слитки спокойной стали с необрезанной прибыльной частью).

В этом случае температура в томильной зоне повышается до 1400° С и выше, что необходимо для образования жидкого шлака. Имеются методические печи относительно короткие и с односторонним нагревом металла (так как в них греются тонкие заготовки), обслуживающие непрерывные мелкосортные и проволочные станы. Каждая из этих печей оборудована камерой, в которой может происходить томление металла, но работают они с температурой в томильной зоне выше, чем в сварочной, так как этот режим при малом значении

томильной зоны для нагрева тонких заготовок при умеренных температурах в печи обеспечивает большую ее производительность. В рассматриваемых печах поддерживают следующие температуры: в томильной зоне 1250—1350° С; в сварочной зоне 1150—1250° С и в конце печи 900—1100° С. Чтобы с достаточной производительностью греть аналогичные заготовки небольшого сечения в двухзонных печах, не имеющих томильной камеры, в них поддерживают температуру 1400° С и выше.

При нагреве легированных и высоколегированных сталей при неправильном температурном режиме (здесь эти режимы не рассматриваются) наиболее вероятно возникновение брака по нагреву. В этом случае для поддержания должного режима нагрева более пригодны трехзонные методические печи с нижним отоплением, чем двухзонные.

В связи с ростом производительности прокатных станов возникла необходимость в повышении производительности печей. Это привело к постройке многозонных методических печей. В построенных четырехзонных печах дополнительная сварочная зона расположена в верхней части печи, в пятизонных — также и в нижней части печей. Эти печи оборудованы томильной зоной и в них при поддержании соответствующих температур в отдельных зонах, возможно, обеспечить трехступенчатый режим нагрева металла, как и в трехзонных печах; топливосожигательные устройства устанавливают также на боковых стенах в конце методической зоны, увеличивая, таким образом, число отапливаемых зон печи и повышая тем самым ее производительность. Естественно, что при этом возрастает температура продуктов сгорания, уходящих из печи, что требует повышенного внимания к использованию тепла этих продуктов. Так как в этих печах сварочная зона занимает относительно большую часть длины печи, повышенная производительность может быть достигнута без чрезмерного повышения температуры в этой зоне. С этим обстоятельством особенно приходится считаться, когда дело касается нижних камер, так как высокая температура в них существенно влияет на рост пода томильной зоны, обусловленный накоплением шлака.

Созданию необходимого температурного режима в печи способствует должная конструкция ее профиля: на границе между сварочной и методической зонами свод печи выполняют с пережимом для уменьшения прямого излучения тепла из сварочной зоны в методическую; поддержанию пониженной температуры в томильной зоне (чтобы не перегреть поверхность металла) способствует наличие пережима в ее своде, уменьшающего прямое излучение на нее из сварочной зоны. Наличие пережима между томильной и сварочной зонами дает также возможность поддерживать положительное давление в томильной зоне, что особенно важно в печах с торцовой выдачей металла, где подсос воздуха в эту зону может быть особенно значителен.

При некотором росте пода в результате образования шлака требуется, чтобы высота рабочего пространства в месте пережима была несколько больше суммы максимальной толщины двух заготовок (слитков). Встречаются печи с завышенной высотой рабочего пространства в месте пережима, что затрудняет одновременное обеспечение необходимого давления в томильной зоне и в конце печи.

4. Процессы, происходящие в металлургических печах

Любая печь, как энергетический агрегат, может быть представлена общей схемой: "источник энергии" → "теплота" → "объект тепловой обработки (материалы)". В этой общей схеме должны быть звенья, соединяющие источник энергии с объектом её приложения.

В топливной печи эти звенья представлены наиболее полно. Можно выделить следующие четыре звена тепловой работы топливной печи:

- 1) сжигание топлива, т.е. превращение химической энергии топлива в теплоту, носителями которой являются продукты горения – дымовые или печные газы;
- 2) движение печных газов, с помощью которого теплота переносится во все зоны рабочего пространства, а отработанные газы уходят из печи;
- 3) внешняя теплопередача, т.е. передача теплоты от печных газов излучением и конвекцией на поверхность нагреваемых материалов;
- 4) внутренняя теплопередача от поверхности материалов (кусков, массивных изделий) к их середине теплопроводностью.

5. Конструкции и тепловые режимы печей

Нагревательная печь – печь для нагрева твёрдых материалов с целью повышения пластичности или изменения структуры этих материалов. В дальнейшем изложении мы будем понимать нагревательные печи как печи для нагрева материалов под обработку давлением. Нагрев материалов с целью изменения их структуры производится в термических печах.

Нагревательные печи – самый распространённый класс печей, поскольку широко применяются не только в чёрной металлургии, но и в цветной металлургии, в машиностроении и т.д. На заводах чёрной металлургии используются нагревательные колодцы и методические печи для нагрева слитков и заготовок.

Методическая печь – проходная печь для нагрева металлических заготовок перед обработкой давлением (прокатка, ковка, штамповка). В свою очередь проходной печью называется печь непрерывного действия, в которой нагреваемые заготовки движутся вдоль печи,

перемещаемые толкателем, рольгангом или другими механизмами. Загрузка и выгрузка проходной печи производится через окна в торцовых стенах печи или в боковых стенках вблизи торцов.

В методической печи заготовки обычно передвигаются навстречу движению продуктов сгорания топлива; при таком противоточном движении достигается высокая степень использования теплоты, подаваемой в печь. Хотя встречаются прямоточные и прямо противоточные печи.

Заготовки проходят последовательно три теплотехнические зоны: методическую (зону предварительного подогрева), сварочную (зону нагрева) и томильную (зону выравнивания температур в заготовке). Иногда томильная зона может отсутствовать.

Методические печи классифицируют:

а) по числу зон отопления в сварочной зоне плюс методическая зона, и, если есть, томильная зона (2-, 3-, 4-, 5-зонные);

б) по способу транспортирования заготовок (толкательные, с подвижными балками и др.);

в) по конструктивным особенностям (с нижним обогревом, с наклонным подом, с плоским сводом и т.д.).

Методические печи отапливают газообразным или жидким топливом с помощью горелок или форсунок.

Преимущество многозонных печей перед двухзонными: гибкость в регулировке режима нагрева и, соответственно, меньший расход топлива при высоком качестве нагрева металла.

Недостаток: усложнение конструкции системы отопления.

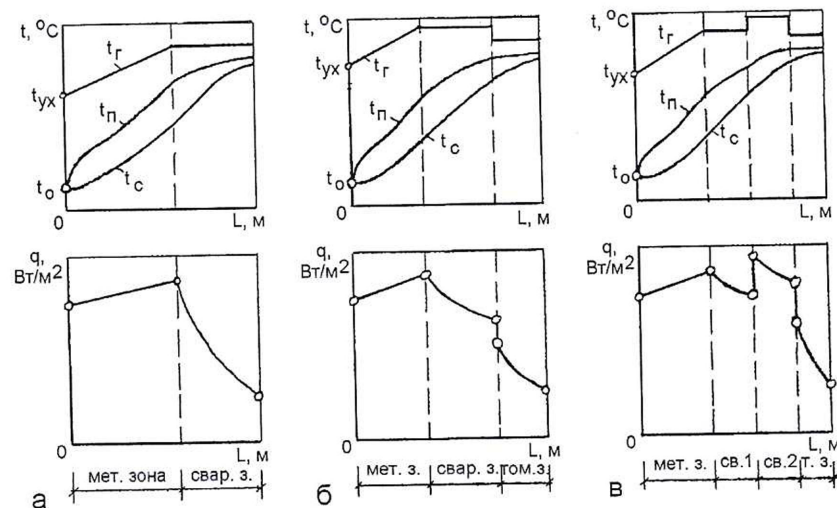


Рис. 1 - Режимы нагрева заготовок в зависимости от числа зон методической печи

а) 2-зонная печь;

б) 3-зонная печь;

в) многозонная печь;

t_r - температура дыма;

t_{yx} - температура уходящего дыма;

t_0 - начальная температура металла;

t_n - температура поверхности металла;

t_c - температура середины металла;

q_n - плотность теплового потока на поверхности металла

Под качеством нагрева понимается: точность получения заданных температур в конце нагрева, величина окисления и обезуглероживания поверхности заготовок, точность сохранения формы заготовок после воздействия термических напряжений.

Ориентировочные значения отдельных показателей качества: температура нагрева заготовок в методических печах – 1100- 1250 °С; перепад температуры в конце нагрева – 400-1000 °С/метр толщины заготовки;

количество окислившегося металла – 0,5- 2 %; толщина обезуглероженного слоя – 0,5-1,5 мм.

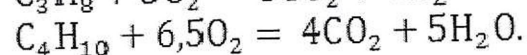
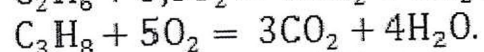
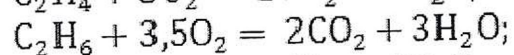
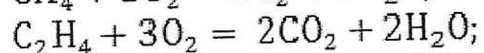
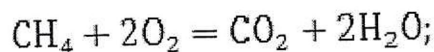
6. Расчетная часть проекта

1 Расчет горения топлива

Исходными данными для расчета являются: вид топлива, его состав. Расчет производится на 100 м^3 топлива.

Для расчета необходимо:

1. Написать уравнения реакций горения горючих составляющих топлива:



2. Заполнить таблицу расчета горения топлива;
3. Определить количество воздуха, необходимого для горения и определить количество дымовых газов, образовавшихся при горении топлива;
4. Произвести проверку путем составления материального баланса горения топлива;
5. Вывод.

Таблица 1 – Расчет горения топлива:

| | | Участвуют в горении | | | | | Образуются продуктов горения | | | |
|---------------------------|---------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------|-------|------------------------------|----------------------|--------------|-------|
| Состав топлива | Содержание, % | Кол-во, м^3 | Реакции горения компонентов топлива | Воздух, м^3 | | | CO_2 | H_2O | N_2 | Всего |
| | | | | O_2 | N_2 | Всего | | | | |
| CH_4 | | | | | 3,762x | | | | | |
| C_2H_4 | | | | | | | | | | |
| C_3H_8 | | | | | | | | | | |
| C_4H_{10} | | | | | | | | | | |
| CO_2 | | | | | | | | | | |
| N_2 | | | | | | | | | | |
| Σ | | 100 | | | | | | | | |
| | % | 100 | | 21 | 79 | | | | 100 | |

При занесении всех результатов расчета в таблицу необходимо сделать проверку, для этого составляется материальный баланс печи. Приход материалов в печь при горении должен быть равен расходу материалов. Погрешность – не более 0,2.

Проверка:

| Поступило газа: | Продукты сгорания: |
|---|--|
| $CH_4 = \frac{16 *}{22,4} = \text{кг}$ | $CO_2 = \frac{44 *}{22,4} = \text{кг}$ |
| $C_2H_4 = \frac{28 *}{22,4} = \text{кг}$ | $H_2O = \frac{18 *}{24,4} = \text{кг}$ |
| $C_3H_8 = \frac{44 *}{22,4} = \text{кг}$ | $N_2 = \frac{28 *}{22,4} = \text{кг}$ |
| $C_4H_{10} = \frac{58 *}{22,4} = \text{кг}$ | Всего получено: кг |
| $N_2 = \frac{28 *}{22,4} = 0 \text{ кг}$ | |
| $\sum N_2 = \frac{28 *}{22,4} = \text{кг}$ | |
| $\sum O_2 = \frac{32 *}{22,4} = \text{кг}$ | |
| Всего поступило: кг | |

Вывод: Расхождений между количеством поступивших материалов и продуктами сгорания составляет.....кг, таким образом расчет выполнен верно.

.2 Расчет температуры горения

Исходными данными для расчета температуры горения являются: состав топлива и объем продуктов сгорания V_g . Состав топлива задан, а V_g получен в предыдущем расчете в таблице 1.

Расчет температуры производится в следующем порядке.

1. Определение низшей теплоты сгорания топлива Q_H^P по формуле:

Общая формула

$$Q = 127CO + 108H_2 + 358CH_4 + 555C_2H_2 + 590C_2H_4 + 636C_2H_6 + 913C_3H_8 + 1185C_4H_{10} + 1465C_5H_{12} + 234H_2S \text{ (кДж/м}^3\text{)},$$

Формула для расчета - $Q_H^P = 358CH_4 + 586C_2H_4 + 913C_3H_8 + 1185C_4H_{10}$;

$$Q_H^P = \dots \text{кДж/м}^3$$

2. Определение начальной энтальпии I_0 ;

$$I_0 = \frac{Q_H^P}{V_{\Sigma}};$$

$$I_0 = \dots \text{кДж/м}^3.$$

3. Применяется метод последовательных приближений, задаемся температурой $t'_k = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$. Находим энтальпию I' :

$$I' = I_{CO_2} + I_{H_2O} + I_{N_2},$$

где $I = V * C * t'_k$ (V – объём компонента м^3 , C – теплоемкость компонентов, $\text{кДж/м}^3 * \text{К}$, t'_k – температура калориметрическая).

(справочные данные),

$C * t'_k$ выбирается из таблицы № 2

Таблица №2-Энтальпия, кДж/м^3 воздуха и газов при различных температурах и постоянном давлении

| Температура $^\circ\text{C}$ | Температура $^\circ\text{C}$ (+273К) | CO_2 | N_2 | H_2O |
|------------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------|----------------------|
| 1400 | 1400(+273К) | 3276,75 | 2012,36 | 2540,25 |
| 1500 | 1500(+273К) | 3545,34 | 2170,55 | 2758,39 |
| 1600 | 1600(+273К) | 3815,86 | 2328,65 | 2979,13 |
| 1700 | 1700(+273К) | 4087,10 | 2486,28 | 3203,05 |
| 1800 | 1800(+273К) | 4360,67 | 2646,74 | 3429,90 |
| 1900 | 1900(+273К) | 4634,76 | 2808,22 | 3657,85 |
| 2000 | 2000(+273К) | 4910,51 | 2970,25 | 3889,72 |
| 2100 | 2100(+273К) | 5186,81 | 3131,96 | 4121,79 |
| 2200 | 2200(+273К) | 5464,20 | 3295,84 | 4358,83 |
| 2300 | 2300(+273К) | 5746,39 | 3457,20 | 4485,34 |
| 2400 | 2400(+273К) | 6023,25 | 3620,58 | 4724,37 |
| 2500 | 2500(+273К) | 6303,53 | 3786,09 | 5076,74 |

$$I_{CO_2} = \dots * = \dots \text{кДж/м}^3;$$

$$I_{H_2O} = \dots * = \dots \text{кДж/м}^3;$$

$$I_{N_2} = \dots * = \dots \text{кДж/м}^3;$$

$$I' = \dots + \dots + \dots = \dots \text{кДж/м}^3.$$

Сравнив I' и I_0 получим, что $I' < I_0$, поэтому делаем перерасчет под

$$t''_k = 2100 \text{ }^\circ\text{C} (\text{при } I'' > I_0 \text{ температура } t''_k = 2100 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$I_{CO_2} = \dots * = \dots \text{кДж/м}^3;$$

$$I_{H_2O} = \dots * = \dots \text{кДж/м}^3;$$

$$I_{H_2O} = \dots \dots \dots * = \dots \dots \dots \text{кДж/м}^3;$$

$$I'' = \dots \dots + \dots \dots + \dots \dots = \dots \dots \text{кДж/м}^3.$$

3.3 Определение calorиметрической температуры

Calorиметрическая температура находится по формуле(основываясь на предыдущих расчетах), °C:

$$t_k = t'_k + \left(\frac{I_0 - I'}{I'' - I'} \right) * 100;$$

Определяем t_g – действительную температуру горения:

$$t_g = t_k * \eta,$$

где η – пирометрический коэффициент для нагревательных и термических печей, который равен 0,65...0,8.

Расчет:

$$t_k = \dots + \left(\frac{\dots - \dots}{\dots - \dots} \right) = \dots \dots \text{°C.}$$

$$t_g = \dots \dots * 0,8 = \dots \dots \text{°C}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК

По заданным размерам пода печи и размерам заготовки определяется количество заготовок в печи, при этом учитываются следующие правила:

1. Расстояние между заготовками в печи должно быть не менее 100 мм;
2. Расстояние от боковых и задней стенок печи до заготовок должна быть не менее 100 мм;
3. Расстояние от передней стенки печи до заготовок должна быть не менее 300 мм.

| Расположение изделий | Коэффициент времени нагрева $K_{расп}$ | Расположение изделий | Коэффициент времени нагрева $K_{расп}$ |
|----------------------|--|----------------------|--|
| | 1 | | 1 |
| | 1 | | 1,4 |
| | 2 | | 4 |
| | 1,4 | | 2,2 |
| | 1,3 | | 2,0 |
| | | | 1,8 |

Количество заготовок на поду печи

n – шт, количество заготовок. **Должен быть выполнен эскиз**

Для определения времени нагрева заготовок необходимо определить:

1. Площадь поверхности металла, воспринимающего тепло

Данные для расчета берутся из **исходных данных**.

Определяем поверхности металла, воспринимающего тепло:

Площадь поверхности металла F_M для заготовки с **прямоугольным сечением** находится по формуле, m^2 :

$F_M = (lb + 2lh + 2bh) * n$, где l – длина заготовки, м; b – ширина, м; h – высота, м;
 n – количество заготовок.

Площадь поверхности металла F_M для **цилиндрической заготовки** находится по формуле, m^2 :

$F_M = \pi dh + \pi d^2/2$, где d - диаметр заготовки в мм, h – высота заготовки в мм.

Расчет:

$$F_M = \dots \dots M^2$$

2. Площадь внутренней поверхности кладки печи

Данные для расчета берутся из **исходных данных**.

Площадь поверхности пода $F_{кт}$ находится по формуле, m^2 :

$$F_{кт} = 2BL + 2LH + 2BH - F_M,$$

где

L – длина пода, м; B – ширина, м; H – высота, м., n - количество заготовок, расположенных на поду печи (каждый определяет сам. Делаем эскиз, исходя из размеров своей заготовки)

Расчет:

$$F_{кт} = \dots \dots M^2.$$

3. Эффективная длина луча

Длина луча находится по следующей формуле, м:

$$S_{эфф} = \frac{0,9 * 4V_{Г}}{F_M + F_{кт}}$$

где, V_{Γ} – объем, заполненный излучающим газом, м^3 ;

$$V_{\Gamma} = V_{\text{пр}} - V_{\text{М}};$$

где $v_{\text{пр}}$ – объем рабочего пространства печи, м^3 , $V_{\text{М}}$ – объем металла, м^3 ;

$$V_{\text{пр}} = L * B * H, \text{м}^3;$$

$$V_{\text{М}} = l * b * h, \text{м}^3 \text{.- для заготовки с прямоугольным сечением}$$

$$V_{\text{М}} = (\pi d^2 / 4) h, \text{м}^3 \text{- для цилиндрической заготовки}$$

Эти формулы для одной заготовки, не забываем умножать на количество ваших заготовок

4. Степень черноты газов.

Степень черноты объема продуктов сгорания определяется по формуле:

$$\epsilon_{\Gamma} = \epsilon_{\text{CO}_2} + \beta * \epsilon_{\text{H}_2\text{O}};$$

где ϵ_{CO_2} – степень черноты CO_2 , $\epsilon_{\text{H}_2\text{O}}$ – степень черноты H_2O , β – поправочный коэффициент.

Степень черноты CO_2 и H_2O является функцией температуры газовой смеси и произведения парциального давления P и эффективной длины луча $S_{\text{эф}}$. То есть $S_{\text{эф}} * P$. Парциальное давление компонентов газовой смеси определяется по формулам, кН/м^2 :

$$P_{\text{CO}_2} = 98,1 * V_{\text{CO}_2};$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 98,1 * V_{\text{H}_2\text{O}};$$

где V – объем в % дымовых газов из таблицы 1. (Расчет горения топлива)

Определяем :

$$P_{\text{CO}_2} \times S_{\text{эф}} =$$

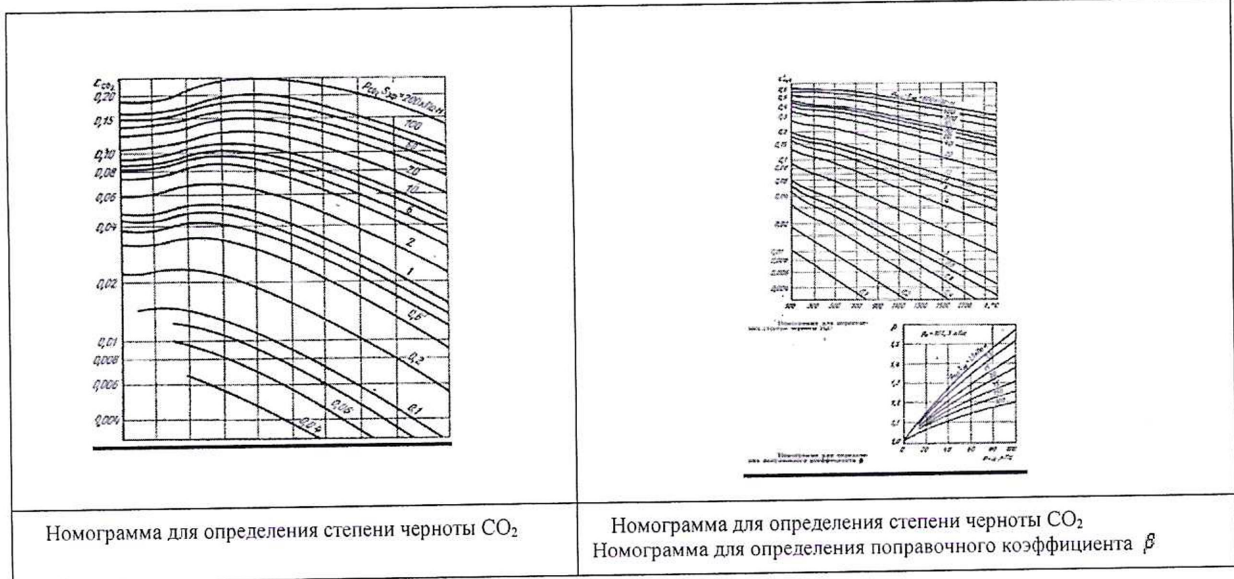
$$P_{\text{H}_2\text{O}} \times S_{\text{эф}} =$$

По номограммам в зависимости от температуры и произведений парциального давления и эффективной длины луча определяется степень черноты CO_2 и H_2O . Температура для этого расчета – это температура печи, которая определяется следующим образом:

$$T_{\text{п}} = T_{\text{М}}^{\text{К}} + 50^{\circ}\text{C},$$

где $T_{\text{М}}^{\text{К}}$ – конечная температура металла, К.

Конечная температура металла определяется по справочнику термической обработки металлов. Для определения температуры необходимо знать марку стали и вид термообработки- выбираем из марочника сплавов- можно найти в интернете для своей марки материала



Расчет:

$P_{CO_2} =$

$P_{H_2O} =$

$T_{II} = \dots + 50 = \dots \text{ } ^\circ\text{C} = \dots \text{ } ^\circ\text{K}$

$\varepsilon_T =$

Определение коэффициента излучения

Так как тепло в печи передается заготовкам в основном излучением и конвекцией, то необходимо определить их коэффициенты теплоотдачи. Коэффициент излучения определяется по следующей формуле:

$$\alpha_{изл} = C_{зкм} \frac{\sqrt{\left(\left(\frac{T_{II}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_M^H}{100}\right)^4\right)\left(\left(\frac{T_{II}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_M^K}{100}\right)^4\right)}}{\sqrt{(T_{II} - T_M^H)} \cdot \sqrt{(T_{II} - T_M^K)}} ; \text{B/m}^2 \text{ K}$$

где

$C_{зкм}$ – приведенный коэффициент излучения в системе газ – кладка – металл, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ K}^4}$;

T_{II} – температура печи, °K;

T_M^H – начальная температура металла, °K,

T_M^K – конечная температура металла, °K.

$C_{зкм}$ – приведенный коэффициент излучения в системе газ-кладка –металл находят с помощью формулы:

$$C_{зкм} = C_0 \frac{\varepsilon_M \left(\frac{F_{кз}}{F_M} + 1 - \varepsilon_T \right)}{(\varepsilon_M + \varepsilon_T (1 - \varepsilon_M)) \frac{1 - \varepsilon_T}{\varepsilon_T} + \frac{F_{кз}}{F_M}} ; \text{B/m}^2 \text{ K}^4$$

где C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела

(справочная величина – $5,7 \text{ В/м}^2 \text{ К}^4$),

ε_M – степень черноты металла (из справочника),

ε_G – степень черноты газа,

$F_{\text{кл}}$ – площадь поверхности кладки, м^2

F_M – площадь поверхности металла.

Расчет:

$$C_{\text{ГКМ}} = \dots \dots \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4};$$

$$\alpha_{\text{изл}} = \dots \dots \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$$

Определение суммарного коэффициента теплоотдачи

Коэффициент α_{Σ} теплопередачи определяется по формуле:

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{\text{изл}} + \alpha_{\text{конв}}$$

Для печей с передачей тепла преимущественно излучением конвективная составляющая теплопередачи при свободной конвекции принимается

$$\alpha_{\text{конв}} = 11,63 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}.$$

Расчет:

$$\alpha_{\Sigma} = \dots \dots + 11,63 = \dots \dots \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}.$$

Для дальнейших расчетов необходимо определить критерий Био (Bi), который позволит определить массивность тела.

Определение критерия Био

Критерий Био определяется по следующей формуле:

$$Bi = \frac{\alpha_{\Sigma} * S}{\lambda};$$

где α_{Σ} – суммарный коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$; S – расчетная толщина заготовки, м; λ – теплопроводность металла, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$ (из справочника).

Расчетной толщиной заготовки прямоугольного сечения является ее толщина h . Если критерий $Bi < 0,25$, то тело тонкое, если $Bi > 0,5$ – массивное.

Если критерий Bi находится между интервалами 0,25 и 0,5, то тело можно считать, как тонким, так и массивным. В зависимости от массивности нагреваемого тела выбирается методика расчета времени его нагрева.

Расчет:

$$Bi = ,$$

так как критерий Vi находится в интервале, то тело считается

Определение времени нагрева заготовки

Время нагрева тонкого тела определяется по следующей формуле:

$$\tau = \frac{A * C_M}{\alpha * F_M} * 2,3 * \lg \frac{T_{II} - T_M^H}{T_{II} - T_M^k};$$

где A – садка, кг ($A = V_M * \rho$, где ρ – плотность металла, V_M – объем металла, m^3); C_M – теплоемкость металла (из справочника); = 29,6

α – суммарный коэффициент теплопередачи, $\frac{Вт}{м^2 \cdot K}$

F_M – площадь поверхности металла, m^2 (без произведения на заготовки);

T_{II} – температура печи, $^{\circ}C$;

T_M^H – начальная температура металла, $^{\circ}C$;

T_M^k – конечная температура металла, $^{\circ}C$.

Расчет:

$$A = V_M * \rho = \quad * 7800 = \quad \text{кг};$$

$$\tau = \dots \dots \dots \text{часа.}$$

Определение производительности печи

Часовая производительность печи показывает количество металла, нагреваемого за час, и определяется по формуле:

$$G = \frac{A}{\tau_0}, \text{ кг/час,}$$

где A – садка, кг; τ_0 – общее время нагрева металла, час.

Учитывая, что заготовки располагаются не в плотную, а на расстоянии, время нагрева заготовки умножаем на коэффициент 1,4.

$$\tau_0 = 1,4 \tau.$$

Удельная производительность печи определяется по формуле:

$$g = \frac{G}{F_{II}}, \frac{\text{кг}}{\text{час} * \text{м}^2},$$

где, F_{II} – площадь поверхности пода, m^2 ;

G – часовая производительность печи, кг/час.

Расчет

1 Тепловой баланс печи. Определение расхода топлива.

Тепловой баланс печи составляет с целью определения расхода топлива. Определяются все статьи расхода и прихода тепла в печь. Для расчета приходных и расходных статей теплового баланса печи, необходимо знать такие величины, как производительность печи,

теплота сгорания топлива, количество во дымовых газов, получаемых при сжигание и другие.

Необходимо также задаваться температурами нагрева металла, подогрева воздуха и отходящих из печи дымовых газов.

Все это позволяет, просуммировав отдельно приходные и расходные статьи теплового баланса, приравнять Q прихода и расхода и получить, таким образом, одно уравнение с неизвестным, которым является расход топлива B .

Приход тепла в рабочее пространство печи.

1. Тепло, образующееся при сжигании топлива:

$$Q = B * Q_H^P,$$

где B – расход топлива, м³/с;

Q_H^P – низшая теплота сгорания топлива, Дж/м³.

2. Физическое тепло, вносимое подогретым воздухом:

$$Q_B = B * V_B * C_B * t_B;$$

где, V_B – расход воздуха на 1 м³ (берется из расчета горения воздуха); C_B – теплоемкость воздуха, Дж/м³К, t_B – температура подогрева воздуха, °С.

3. Тепло экзотермические реакций.

В этой статье учитываются все химические реакции, идущие с положительным эффектом, за исключением реакций горения топлива. В нагревательных печах учитывается только тепло окисления железа:

$$Q_{\text{окз}} = 5650 * G * \alpha;$$

где 5650 – кол-во тепла, получаемое от окисления железа, кДж/кг;

α – угар металла (в кузнечных печах $\alpha = 0,005 \dots 0,01$).

Расход тепла в рабочем пространстве печи

4. Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла, находится по формуле:

$$Q_{\text{пол}} = G * C_M * (T_M^K - T_M^H);$$

где C_M – средняя теплоемкость металла, Дж/кг*К; T_M^K, T_M^H – конечная и начальная температура металла, °С; G – производительность печи, кг/час.

5. Тепло, уносимое уходящими продуктами сгорания, можно найти по формуле:

$$Q_{\text{ух}} = B * V_{\text{д}} * C_{\text{д}} * t_{\text{д}};$$

где $V_{\text{д}}$ – количество продуктов сгорания на 1 м³ топлива; $C_{\text{д}}$ – теплоемкость продуктов сгорания, Дж/м³К; $t_{\text{д}}$ – температура дымовых газов.

6. Потери тепла теплопроводностью через кладку печи. Можно найти по формуле:

$$Q_{\text{тепл}} = \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{ос}}}{\frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_K}} * F_{\text{п}};$$

Где $T_{\text{п}}$ – температура печи, °C; $T_{\text{ос}}$ – температура окружающего печи воздуха, °C; S_1 – толщина огнеупорного слоя стенки, м; S_2 – толщина теплоизоляционного слоя стенки, м; λ_1 – коэффициент теплопроводности слоя стенки $S_1, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; λ_2 – коэффициент теплопроводности слоя стенки $S_2, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; α_K – коэффициент теплоотдачи конвекцией от стенки воздуху, для термических печей – $\alpha_K = 11,63 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; $F_{\text{п}}$ – площадь поверхностикладки, м²;

7. Потери тепла излучением через открытое окна печи можно найти по формуле:

$$Q_{\text{изл}} = C_0 * \varepsilon_{\text{пр}} * \left(\frac{T_{\text{п}}}{100}\right)^4 * F_{\text{ок}} * \tau;$$

где C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $5,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$; $T_{\text{п}}$ – температура печи, °K; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты; $F_{\text{ок}}$ – площадь открытого окна, м²; τ – доля времени, когда окно открыто, выбирается в зависимости от вида печи и степени ее механизации.

8. Неучтенные потери принимаются равными 10...15% от приходной части теплового баланса. Просуммировав отдельно приходные и расходные статьи теплового баланса и приравняв их друг к другу, получаем уравнение с одним неизвестным, где неизвестным является расход топлива B .

Расчет:

1. $Q = B * \dots = \dots B;$
2. $Q_B = B * \dots * \dots = \dots B;$
3. $Q_{\text{эвз}} = \dots * \dots * \dots = \dots;$
4. $Q_{\text{мол}} = \dots * \dots * (\dots - \dots) = \dots;$
5. $Q_{\text{ух}} = B * \dots * \dots * \dots = \dots B;$
6. $Q_{\text{тепл}} = \dots;$
7. $Q_{\text{изл}} = 5,7 * \dots * \left(\frac{\dots}{100}\right)^4 * (\dots * \dots) * \dots = \dots;$

Приравниваем приход и расход, чтобы получить B :

$$B = \dots \text{м}^3/\text{с}$$

$$\text{Находим } Q_{\text{прих}} = \dots \text{Дж/м}^3$$

Определение КПД печи

Коэффициент полезного действия печи определяется по формуле:

$$\eta = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{пр.пх}}} * 100\%;$$

где $Q_{\text{пол}}$ – полезное тепло, расходуемое на нагрев металла в печи; $Q_{\text{пр.пх}}$ – сумма статей прихода тепла в печь.

Расчет:

$$\eta = \dots * 100\% = \dots\%$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В своём курсовом проекте «Расчет камерной печи с неподвижным подом» я сделал(а):

- выбрал печь;
- произвел расчеты;
- сделал графическую часть проекта;
- ознакомился с конструкцией кузнечной камерной печами.
- изучил технику безопасности при работе на газовых печах

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дзюзер, В.Я. Теплотехника и тепловая работа печей: Учебное пособие / В.Я. Дзюзер. - СПб.: Лань, 2016. - 384 с.
2. Иванов, И.Е. Теплотехника: Учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / М.Г. Шатров, И.Е. Иванов, С.А. Пришвин; Под ред. М.Г. Шатров. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 288 с.
3. Руднева, Л.В. Теплотехника: Учебное пособие / Л.В. Руднева. - СПб.: Лань П, 2016. - 208 с.