

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Машины и технология обработки
металлов давлением»

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

Методические указания
для студентов специальности 1-36 01 05
«Машины и технология обработки материалов давлением»

Минск
БНТУ
2015

УДК 669.04(075.8)
ББК 34.316я7
М54

Составитель
Л. М. Давидович

Рецензенты:
А. П. Ласковнев, А. Н. Крутилин

Методические указания предназначены для студентов машиностроительных специальностей вузов, изучающих дисциплину «Металлургическая теплотехника» (специальность 1-36.01.05 «Машины и технология обработки материалов давлением»).

В издании приведены программа дисциплины, сопровождаемая методическими указаниями для ее самостоятельной проработки и контрольными вопросами по соответствующим разделам, а также список рекомендуемой литературы.

© Белорусский национальный
технический университет, 2015

ВВЕДЕНИЕ

«Металлургическая теплотехника» представляет собой дисциплину, дающую инженеру необходимые знания в области производства и использования тепловой энергии. Подавляющее большинство технологических процессов осуществляется при высоких температурах, связанных с большими энергетическими затратами, поэтому в последнее время в металлообрабатывающей промышленности большое внимание уделяется созданию высокопроизводительных прогрессивных методов нагрева и разработке современных нагревательных агрегатов.

Целью преподавания дисциплины является подготовка специалистов, владеющих теоретическими и технологическими основами получения, преобразования и использования тепловой энергии, для обеспечения эффективной и стабильной работы металлургических агрегатов и промышленных нагревательных устройств.

В результате прохождения дисциплины студенты должны:

- изучить теоретические основы металлургической теплотехники;
- усвоить методики расчета горения топлива, теплообменных передач и движения газов в печах;
- ознакомиться с выбором и работой контрольно-измерительных и регулирующих приборов, используемых для стабильной работы печей.

Сфера применения металлургической теплотехники включает в себя не только теплофизические процессы, лежащие в основе работы металлургических печных агрегатов и нагревательных устройств, но и важнейшие вопросы, сопутствующие работе этих агрегатов. Среди них следует отметить использование вторичных энергоресурсов, охрану окружающей среды и др. В условиях постоянно развивающегося металлургического и металлообрабатывающего производства «Металлургическая теплотехника» является важнейшей специальной

дисциплиной для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением».

В результате освоения курса «Металлургическая теплотехника» студент должен:

знать:

- основы технической термодинамики;
- теорию и расчет горения топлива;
- теорию подобия и моделирования;
- основы теории теплообмена;
- механику жидкостей и газов;
- огнеупорные и теплоизоляционные материалы и их основные свойства;

уметь:

- производить аналитический и табличный расчет горения жидкого и газообразного топлива;
- определять калориметрическую и действительную температуру горения топлива;
- квалифицированно решать задачи интенсификации и оптимизации технологических процессов нагрева;
- рассчитывать теплообменные процессы в нагревательных печах;
- обосновывать выбор огнеупорных и теплоизоляционных материалов при конструировании печей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнов, В. А. *Металлургическая теплотехника* : в 2 т. / В. А. Арутюнов, В. И. Миткалинный, С. Б. Старк. – М. : Metallurgia, 1974. – Т. 1 : Теоретические основы. Топливо и огнеупоры. – 671 с.

2. *Металлургическая теплотехника* : учеб. для вузов : в 2 т. / В. А. Кривандин [и др.]. – М. : Metallurgia, 1986. – Т. 1. Теоретические основы. – 424 с.

3. Логачев, М. В. *Расчеты нагревательных устройств* : учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-36 01 05

«Машины и технология обработки материалов давлением», 1-36 01 02 «Материаловедение в машиностроении»: в 3 ч. / М. В. Логачев, Н. И. Иваницкий, Л. М. Давидович. – Минск : БНТУ, 2007–2009. – Ч. 1 : Расчет пламенных печей. – 2007. – 160 с.

4. Промышленные теплотехнологии. Методики и инженерные расчеты оборудования высокотемпературных теплотехнологий машиностроительного и металлургического производства : учебник / А. П. Несенчук [и др.]; под общ. ред. А. П. Несенчука, В. И. Тимошпольского. – Минск : Вышэйшая школа, 1998. – 422 с.

5. Бондарев, В. А. Теплотехника / В. А. Бондарев, А. Е. Процкий, Р. Н. Гринкевич. – Минск : Вышэйшая школа, 1976. – 382 с.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ

Введение в дисциплину «Металлургическая теплотехника»

Предмет и задачи дисциплины. Краткая история и перспективы развития металлургической теплотехники. Значение тепловой энергетики и теплообмена в машиностроительной и металлургической промышленности.

Литература: [1, с. 14–16; 2, с. 8–10].

Методические указания

При изучении этого раздела следует уделить особое внимание вопросам использования тепловой энергии в металлургических процессах, осуществляемых в доменных и сталеплавильных печах, а также при дальнейшей обработке металлов: прокатке, ковке, штамповке, литье и термической обработке.

Контрольные вопросы

1. Значение тепловой энергетики в черной металлургии.
2. Значение тепловой энергетики и теплообмена в процессах обработки металлов давлением и термической обработки.

2. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

2.1. Основные понятия и законы термодинамики

Техническая термодинамика как один из основных разделов металлургической теплотехники. Термодинамическая система и ее взаимодействие с окружающей средой. Основные параметры, характеризующие термодинамическую систему. Первый закон термодинамики. Применение 1-го закона термодинамики для определения теплоемкости. Понятие «энтальпия». Второй закон термодинамики. Энтропия как один из параметров термодинамической системы.

Литература: [1, с. 17–30; 2, с. 11–23].

Методические указания

В данном разделе необходимо изучить основные термины и определения термодинамики; знать параметры, характеризующие термодинамическую систему и устройство приборов, применяемых для контроля высоких температур; уметь сформулировать и написать в дифференциальной форме первый и второй законы термодинамики.

Контрольные вопросы

1. Основные положения и определения термодинамики. Термодинамическая система и характеризующие ее параметры. Приборы, используемые для контроля основных параметров.

2. Первый закон термодинамики. Понятие «энтальпия». Применение 1-го закона для определения теплоемкости.

3. Второй закон термодинамики. Вывод уравнения 2-го закона термодинамики. Энтропия как один из параметров состояния термодинамической системы.

2.2. Термодинамика рабочего тела

Термодинамика рабочего тела. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Политропный процесс. Определение показателя политропного процесса. Адиабатный процесс. Уравнение адиабаты. Определение показателя адиабаты. Графический анализ термодинамических процессов идеальных газов.

Литература: [1, с. 39–45; 2, с. 23–35].

Методические указания

В результате изучения данного раздела с помощью первого закона термодинамики и уравнения состояния идеального газа необходимо уметь детально исследовать протекание политропного процесса и устанавливать зависимость между изменяющимися параметрами состояния, определять работу, а также подводимое и отводимое тепло.

Контрольные вопросы

1. Идеальный газ. Уравнение Клапейрона–Менделеева. Удельная, объемная и массовая теплоемкости газа.

2. Политропный процесс. Вывод уравнения политропного процесса.

3. Частные случаи политропного процесса. Графический анализ термодинамических процессов идеальных газов.

2.3. Термодинамика тепловых двигателей

Термодинамические циклы. Прямой и обратный термодинамический цикл. Термодинамические циклы Карно. Термодинамические циклы поршневых газовых двигателей.

Литература: [1, с. 80–90; 2, с. 50–54].

Методические указания

В данном разделе необходимо ознакомиться с принципом работы поршневых газовых двигателей, изучить их термодинамические циклы и научиться определять термодинамический коэффициент полезного действия.

Контрольные вопросы

1. Термодинамика тепловых двигателей.
2. Прямой и обратный термодинамические циклы. Циклы Карно, Тринклера, Дизеля и Отто.

3. ТЕОРИЯ ПОДОБИЯ

Основы теории подобия и моделирования

Общие положения теории подобия. Геометрическое подобие. Механическое подобие и критерии механического подобия. Критерии Ньютона и Фруда. Гидромеханическое подобие. Критерий режима движения потока жидкости. Подобие термодинамических явлений. Критерии Био, Фурье и температурный критерий. Основные теоремы подобия. Моделирование физических явлений. Метод аналогии.

Литература: [1, с. 105–136; 2, с. 140–154].

Методические указания

При ознакомлении с теорией подобия необходимо научиться использовать теоремы подобия для расчета теплообменных передач в нагревательных установках.

Контрольные вопросы

1. Общие положения теории подобия. Механическое и геометрическое подобие. Критерии Ньютона и Фруда.
2. Гидромеханическое подобие. Критерий режима движения потока жидкости и газа. Подобие термодинамических явлений. Критерии Био, Фурье и температурный критерий.
3. Основные теоремы подобия. Моделирование физических явлений.

4. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧ

4.1. Основные понятия теории теплообмена

Виды теплообменных передач. Теплообмен в рабочем пространстве нагревательных установок.

Литература: [1, с. 292–300; 2, с. 155–158].

Методические указания

Ознакомиться с основными теплообменными передачами в рабочем пространстве нагревательных установок, такими как теплопроводность, конвекция и излучение.

Контрольные вопросы

1. Виды теплообменных передач.
2. Теплообменные передачи в рабочем пространстве печи.

4.2. Теплопроводность в твердых телах

Основные положения учения о теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия.

Литература: [1, с. 292–300; 2, с. 202–206].

Методические указания

Изучая теплопроводность в твердых телах, особое внимание следует уделить решению дифференциального уравнения теплопроводности для одномерного температурного поля; ознакомиться с начальными и граничными условиями, используемыми для его решения.

Контрольные вопросы

1. Теория теплопроводности.
2. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия.

4.3. Теплопроводность при стационарном и нестационарном режиме

Решение уравнения теплопроводности для стационарного теплового поля. Теплопроводность в современных пламенных печах. Теплопроводность от среды к среде через плоскую разделяющую стенку. Теплопроводность цилиндрической и шаровой стенок. Приближенные методы расчета задач теплопроводности. Метод конечных разностей.

Литература: [1, с. 300–339; 2, с. 206–233; 5, с. 110–150].

Методические указания

Изучить методики расчета теплопроводности через плоские, цилиндрические и шаровые стенки при стационарном

режиме. Освоить применение метода конечных разностей для расчета теплопроводности плоских стенок при нестационарном режиме.

Контрольные вопросы

1. Теплопроводность плоской стенки при стационарном режиме.
2. Теплопроводность от среды к среде через разделяющую плоскую стенку.
3. Теплопроводность цилиндрической и шаровой стенок при стационарном режиме.
4. Применение метода конечных разностей для решения задач теплопроводности при нестационарном режиме.

4.4. Конвективный теплообмен

Передача тепла конвекцией. Уравнение Ньютона–Рихмана. Коэффициент теплоотдачи конвекцией и методы его определения. Основные критерии подобия, используемые в конвективном теплообмене. Теплопередача при свободном движении газа. Теплопередача в неограниченном пространстве печи. Теплопередача при вынужденном движении потока.

Литература: [1, с. 352–355; 2, с. 199–202; 5, с. 150–186].

Методические указания

В процессах конвективного теплообмена научиться использовать критерии подобия Грасгофа, Прандтля, Нуссельта и Рейнольдса для определения коэффициента теплоотдачи конвекцией.

Контрольные вопросы

1. Конвективный теплообмен. Уравнение Ньютона–Рихмана. Методы определения коэффициента теплоотдачи конвекцией.

2. Теплопередача при свободном и вынужденном движении потока газа. Конвективная теплопередача в неограниченном пространстве печи. Основные критерии подобия, используемые в конвективном теплообмене.

4.5. Теплообмен излучением

Теплообмен излучением. Основные понятия и законы. Закон Планка и закон смещения. Константа излучения абсолютно черного тела, степень черноты и коэффициент лучеиспускания. Закон Стефана–Больцмана. Закон Кирхгофа. Теплообмен излучением через окна и отверстия печи. Излучения при наличии экрана. Излучение газов.

Литература: [1, с. 422–470; 2, с. 233–264; 5, с. 208–223].

Методические указания

Освоить методики расчета потерь тепла за счет излучения через окна и отверстия в кладке печей, а также научиться определять тепловое излучение газов.

Контрольные вопросы

1. Теплообмен излучением. Законы Планка, Стефана–Больцмана и закон смещения. Вывод уравнения закона Кирхгофа.
2. Теплообмен излучением через окна и отверстия печи. Излучения при наличии экрана. Излучение газов.

5. МЕХАНИКА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

5.1. Основные свойства и характеристика действующих сил. Движение дымовых газов в печах

Основные свойства газов и жидкостей. Характеристики действующих сил. Уравнение неразрывности газового потока. Урав-

нение Бернулли для идеальных и реальных потоков газов. Движение газов в замкнутом пространстве печи. Силы, вызывающие движение газов в пламенных печах. Свободное и вынужденное движение газов. Сопротивление движению газов в печах.

Литература: [1, с. 137–195; 2, с. 66–82; 3, с. 125–127].

Методические указания

Изучить режимы движения текучих сред и влияние вязкости на распределение скоростей в потоке. Ознакомиться с уравнением Бернулли и его практическим применением при расчете движения газов в нагревательных печах с дымовыми трубами.

Контрольные вопросы

1. Уравнение неразрывности газового потока. Уравнение Бернулли для идеальных и реальных потоков газа.

2. Силы, вызывающие движение газов в пламенных печах. Свободное и вынужденное движение газов. Сопротивление движению газов в печах.

6. ТОПЛИВО И ЕГО ГОРЕНИЕ

6.1. Характеристика топлива

Требования, предъявляемые к топливу. Классификация топлива. Химический состав топлива. Характеристика составляющих топлива. Теплота сгорания топлива. Высшая и низшая теплота сгорания топлива. Условное топливо.

Литература: [1, с. 479–514; 3, с. 12–29; 4, с. 27–77].

Методические указания

При освоении этого раздела следует научиться пересчитывать составляющие топлива на рабочую массу и овладеть методикой расчета высшей и низшей теплоты его сгорания.

Контрольные вопросы

1. Химический состав жидкого и газообразного топлива. Характеристика составляющих топлива. Пересчет составляющих топлива на рабочую массу.

2. Высшая и низшая теплота сгорания топлива. Условное топливо.

6.2. Основы теории горения

Процесс горения топлива. Основные элементы теории горения. Реакции, характерные для процесса горения топлива. Гомогенный и гетерогенный процессы горения. Тепловая теория горения. Цепная теория горения. Кинематика цепных реакций. Температура воспламенения и влияющие на нее факторы. Скорость распространения пламени. Анализ устойчивости горения. Характеристика жидкого топлива. Сущность и стадии горения жидкого топлива. Характеристика газообразного топлива. Сущность и стадии горения газообразного топлива.

Литература: [1, с. 514–560; 4, с. 62–77].

Методические указания

Научиться анализировать процесс горения топлива с точки зрения тепловой и цепной теории горения. Уметь изображать процесс горения жидкого и газообразного топлива в виде схемы факела.

Контрольные вопросы

1. Процесс горения топлива. Химические реакции, характерные для процесса горения топлива. Гомогенный и гетерогенный процессы горения. Кинетика цепных реакций.

2. Сущность и стадии горения жидкого и газообразного топлива.

3. Температура воспламенения и влияющие на нее факторы. Скорость распространения пламени. Анализ устойчивости горения.

6.3. Расчет горения топлива

Аналитический способ расчета горения топлива. Определение расхода воздуха, количества и состава продуктов сгорания. Определение калориметрической и действительной температуры горения топлива.

Литература: [1, с. 80–90; 3, с. 12–55; 4, с. 27–77].

Методические указания

При изучении этого раздела необходимо ознакомиться с методиками расчета расхода воздуха, количества и состава продуктов сгорания, а также калориметрической и действительной температуры горения топлива.

Контрольные вопросы

1. Аналитический расчет горения жидкого и газообразного топлива.
2. Определение калориметрической, действительной и требуемой температур горения.

7. ОГНЕУПОРНЫЕ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

7.1. Свойства огнеупорных и теплоизоляционных материалов и их применение

Огнеупорные материалы, применяемые в нагревательных печах. Классификация и применение огнеупорных материалов. Физические и химические свойства огнеупоров. Рабочие свой-

ства огнеупоров и их контроль. Условия работы огнеупоров. Естественные и искусственные теплоизоляционные материалы, используемые в нагревательных печах.

Литература: [1, с. 589–645; 3, с. 97–103].

Методические указания

Изучить основные требования, предъявляемые к футеровочным материалам, и при конструировании печей уметь рационально выбрать огнеупорные и теплоизоляционные материалы.

Контрольные вопросы

1. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы, используемые в нагревательных печах.
2. Основные свойства огнеупоров и их контроль.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Литература.....	4
Программа дисциплины. Методические указания и вопросы для самопроверки	5
1. Общие вопросы металлургической теплотехники	5
2. Основы технической термодинамики.....	6
3. Теория подобия	8
4. Основы теории теплопередач	9
5. Механика жидкостей и газов	12
6. Топливо и его горение.....	13
7. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы	15

Учебное издание

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

Методические указания
для студентов специальности 1-36 01 05
«Машины и технология обработки материалов давлением»

Составитель
ДАВИДОВИЧ Людмила Михайловна

Редактор *Т. Н. Микулик*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 12.06.2015. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 1,10. Уч.-изд. л. 0,82. Тираж 100. Заказ 1002.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.