

Министерство образования Республики Беларусь

**Учебно-методическое объединение по образованию
в области машиностроительного оборудования и технологий**

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра образования
Республики Беларусь

_____ В.А.Богуш

Регистрационный № ТД-_____

**РАСЧЕТЫ И КОНСТРУКЦИИ
НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

**Типовая учебная программа по учебной дисциплине
для специальности**

1-36 01 05 Машины и технология обработки материалов давлением

СОГЛАСОВАНО

Председатель Учебно-методического
объединения по образованию
в области машиностроительного
оборудования и технологий

_____ В.К.Шелег

СОГЛАСОВАНО

Начальник Главного управления
профессионального образования
Министерства образования
Республики Беларусь

_____ С.А.Касперович

Проректор по научно-
методической работе
Государственного учреждения
образования «Республиканский
институт высшей школы»

_____ И.В.Титович

Эксперт-нормоконтролер

Минск 2017

СОСТАВИТЕЛИ:

В.С.Карпицкий, доцент кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» Белорусского национального технического университета, кандидат технических наук, доцент;

С.А.Ленкевич, ассистент кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» Белорусского национального технического университета

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра «Металлургия и технологии обработки материалов» Учреждения образования «Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого» (протокол № 10 от 26 октября 2017 г.);

М.В.Кудин, начальник Научно-исследовательской части Учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», кандидат технических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:

Кафедрой «Машины и технология обработки металлов давлением» Белорусского национального технического университета (протокол № 3 от 16 октября 2017 г.);

Научно-методическим советом Белорусского национального технического университета (секция «Совершенствование учебного процесса и учебно-нормативной документации») (протокол № _____ от _____ 2017 г.);

Секцией по специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» Учебно-методического объединения по образованию в области машиностроительного оборудования и технологий (протокол № _____ от _____ 2017 г.)

Ответственный за редакцию: В.С.Карпицкий

Ответственный за выпуск: В.С.Карпицкий

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Типовая учебная программа по учебной дисциплине «Расчеты и конструкции нагревательных устройств» разработана для учреждений высшего образования Республики Беларусь в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования I степени по специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением».

Целью дисциплины «Расчеты и конструкции нагревательных устройств» является подготовка специалистов, способных правильно эксплуатировать нагревательные устройства, правильно выбрать тип и параметры нагревательных устройств, обосновать и разработать техническое задание и эскизный проект нагревательного устройства, выполнять расчеты нагревательных устройств, выдвигать и обосновывать предложения по совершенствованию операций нагрева и конструкций нагревательных устройств.

Задача дисциплины – ознакомить студента с конструкциями нагревательных устройств и установок (пламенных и электрических), научить правильно определять параметры режима нагрева, обеспечивая получение продукции с заданными характеристиками, познакомить с основными этапами проектирования и расчета нагревательных устройств и с новейшими направлениями по применению прогрессивной технологии нагрева и нагревательных устройств в кузнечно-штамповочном производстве.

Нагрев металла – одна из важнейших операций кузнечно-штамповочного производства, осуществляемая в различных нагревательных устройствах и определяющая качество и себестоимость продукции. Теплотехнические и технологические процессы, протекающие в нагревательных печах и установках, сложны и многообразны. Поэтому без глубокого понимания физической сущности происходящих в печи явлений и без достаточной теоретической подготовки невозможно решать сложные инженерные задачи, связанные с конструированием и эксплуатацией печных агрегатов.

Решение этих задач с учетом указанной выше цели дисциплины достигается на основе знаний, умений и навыков, приобретенных студентами при изучении данной дисциплины, необходимых для освоения последующих специальных дисциплин «Технологияковки и горячей штамповки», «Технология листовой штамповки», «Автоматизация кузнечно-штамповочного производства», «Проектирование цехов».

В результате освоения дисциплины «Расчеты и конструкции нагревательных устройств» студент должен:

знать:

- физическую сущность происходящих в печи явлений и процессов, конструкции нагревательных устройств и установок;
- основы расчета основных параметров режима нагрева, основные этапы проектирования и методику расчета нагревательных устройств;

- прогрессивные технологии нагрева;

уметь:

- правильно выбирать конструкцию и параметры нагревательного устройства;
- выполнять технологические расчеты параметров нагрева заготовок, тепловой и конструкторский расчет нагревательной печи или установки;
- построить эскизный проект нагревательного устройства и выполнить его расчет;

владеть:

- устойчивыми навыками выбирать рациональный температурный режим нагрева заготовок при горячем формообразовании и выполнять необходимые технологические расчеты параметров нагрева;
- методикой теплового и конструкторского расчета нагревательной пламенной электрической печи или установок;
- навыками по применению прогрессивной технологии нагрева и нагревательных устройств в кузнечно-штамповочном производстве.

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечить формирование следующих компетенций:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-10. Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности.
- АК-11. Применять соответствующий физико-математический аппарат, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в физике, химии, экологии для решения проблем, возникших в ходе профессиональной деятельности.
- СЛК-4. Владеть навыками здоровьесбережения.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в коллективе.
- СЛК-7. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности.
- ПК-2. Создавать условия для соответствия режимов работы агрегатов (поточных линий, технологических участков) действующим правилам и нормам, используя результаты (данные) технологического процесса производства.
- ПК-6. Проводить технические разработки и на их основе принимать на современном уровне инженерные решения по уменьшению материало- и энергоемкости производства.

- ПК-14. Профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы.
- ПК-15. На основе технической документации производить монтаж и наладку технологического оборудования и штамповой оснастки.
- ПК-16. Производить своевременно ремонт и техническое обслуживание технологического оборудования и штамповой оснастки.
- ПК-17. Осуществлять оперативный контроль за функционированием технологических систем (агрегатов, линий, участков) и их элементов и режимами их работы.
- ПК-20. Контролировать соблюдение норм охраны труда, техники безопасности при работах на технологическом оборудовании, противопожарной безопасности.

На изучение учебной дисциплины «Расчеты и конструкции нагревательных устройств» отведено всего 98 часов, из них – 68 аудиторных часов.

Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий:

лекции – 34 ч.;

практические занятия – 34 ч.;

Предусмотрено выполнение курсового проекта.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Наименование раздела и темы	Количество аудиторных часов			
	лекции	практические занятия	лабораторные занятия	всего
Раздел 1. Введение	2			2
Тема 1.1. Сущность и необходимость нагрева металла при его обработке. Классификация видов нагрева	2			2
Раздел 2. Расчеты горения топлива	4	6		10
Тема 2.1. Общие сведения. Методы расчета горения жидкого и газообразного топлива	2	4		6
Тема 2.2. Теплота сгорания топлива и методы ее определения. Температуры горения и методика их расчета	2	2		4
Раздел 3. Выбор и расчет топливосжигающих устройств	4	4		8
Тема 3.1. Назначение, классификация, устройство и работа форсунок для сжигания жидкого топлива. Выбор и расчет форсунок	2	2		4

Тема 3.2. Назначение, классификация, устройство и работа горелок для сжигания газообразного топлива. Выбор и расчет горелок. Радиационные трубы	2	2		4
Раздел 4. Расчет сложного теплообмена в промышленных печах	2	2		4
Тема 4.1. Виды теплообмена в рабочей камере печи. Методика расчета интенсивности внешнего теплообмена	2	2		4
Раздел 5. Расчет нагрева металла	4	8		12
Тема 5.1. Выбор температурного графика нагрева и методика его построения. Расчет нагрева тонких тел	2	4		4
Тема 5.2. Расчет нагрева массивных тел. Сущность процессов окисления и обезуглероживания. Сущность работы и конструкции печей безокислительного и малоокислительного нагрева	2	4		6
Раздел 6. Основные конструкции пламенных печей	4			4
Тема 6.1. Классификация печей. Пламенные печи периодического действия. Их назначение, достоинства, недостатки и конструктивное исполнение	2			2
Тема 6.2. Основные конструкции пламенных печей непрерывного действия	2			2
Раздел 7. Основные элементы конструкций печей	2	2		4
Тема 7.1. Назначение и конструктивное исполнение основных элементов печей. Основы расчета и выбор механического оборудования	2	2		4
Раздел 8. Основы проектирования и методика расчета пламенных печей	2			2
Тема 8.1. Последовательность основных этапов проектирования пламенных печей и их детальная проработка	2			2
Раздел 9. Повышение эффективности работы пламенной печи	2	2		4
Тема 9.1. Пути повышения эффективности работы пламенных печей. Рекуператор, их устройство и работа. Тепловой расчет рекуператоров	2	2		4

Раздел 10. Электрические способы нагрева заготовок	8	10		18
Тема 10.1. Электрические печи сопротивления. Материалы для нагревательных элементов электрических печей сопротивления	2			2
Тема 10.2. Тепловой расчет электрических печей сопротивления. Расчет нагревательных элементов	2	4		6
Тема 10.3. Физические основы индукционного нагрева. Выбор частоты и определение времени нагрева. Методика расчета установки индукционного нагрева	2	4		6
Тема 10.4. Установка электроконтактного нагрева. Методика расчета электроконтактных установок	2	2		4
ВСЕГО	34	34		68

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Введение

Тема 1.1. Сущность и необходимость нагрева металла при его обработке.

Классификация видов нагрева

Сущность нагрева металла. Необходимость нагрева металла при его обработке. Явления, сопутствующие нагреву. Классификация видов нагрева. Понятие об основных конструкциях нагревательных устройств. Краткий обзор развития, состояние и перспективы совершенствования нагрева и нагревательных устройств.

Раздел 2. Расчеты горения топлива

Тема 2.1. Общие сведения. Методы расчета горения жидкого и газообразного топлива

Общие сведения. Допущения, применяемые при расчете горения топлива. Методы расчета горения топлива. Теплота сгорания топлива и методы ее определения. Определение теоретического количества воздуха (окислителя), количества и состава продуктов сгорания при сжигании жидкого и газообразного топлива. Использование эмпирических формул для определения окислителя и объема продуктов сгорания. Действительное количество воздуха, поступающего на горение. Коэффициент избытка воздуха и его влияние на показатели работы печи. Определение воздуха и объема влажных продуктов

горения при $\alpha_{в} > 1$. Примеры расчета расхода воздуха, количества и состава продуктов полного горения при сжигании жидкого и газообразного топлива.

Тема 2.2. Теплота сгорания топлива и методы ее определения.

Температуры горения и методика их расчета

Температура горения. Понятие о калориметрической температуре и способах расчета ее. Теоретическая температура горения. Влияние избытка воздуха на температуру горения. Действительная температура. Пирометрический коэффициент и его значение.

Подбор топлива для пламенных печей. Мероприятия по повышению действительной температуры.

Некоторые особенности расчета горения смеси газов. Расчет горения топлива при неполном сжигании топлива ($\alpha_{в} < 1$).

Раздел 3. Выбор и расчет топливо-сжигающих устройств

Тема 3.1. Назначение, классификация, устройство и работа форсунок для сжигания жидкого топлива. Выбор и расчет форсунок

Назначение форсунок и их классификация. Устройство и работа форсунок низкого давления (прямоструйной, стальной, турбулентной, двойного распыления и т.п.) и высокого давления (форсунки Шухова, Доброхотова-Казанцева и т.п.). Выбор и расчет форсунок низкого и высокого давления. Подача воздуха и мазута. Тупиковая и циркуляционная схема подачи мазута к печам.

Тема 3.2. Назначение, классификация, устройство и работа горелок для сжигания газообразного топлива. Выбор и расчет горелок.

Радиационные трубы

Назначение горелок. Основные способы смешения в горелках газа с воздухом. Классификация горелок: по способу смешения – внешнего, полного или частичного внутреннего и предварительного; по давлению газа – низкого, среднего, высокого давления; по длине факела – длиннофакельные, короткофакельные и бесфакельные; по конструктивным особенностям – по форме выходного сечения (круглые, щелевые), по количеству турбопроводов – однопроводные, двухпроводные; по степени очистки газа – для очищенного и неочищенного (грязного) газа; по материалу, идущему для изготовления горелок – металлические, керамические, кирпичные. Устройство и работа горелок низкого давления – щелевой ГЩО, ГЩК, турбулентной, с двухзональным подводом воздуха. Устройство и работа инжекционных горелок. Преимущества и недостатки инжекционных горелок. Выбор и расчет горелок. Схема подачи газа к промышленным печам. Контрольная и регулировочная аппаратура в системе подачи горячего газа. Новые направления в конструировании горелок. Комбинированные горелки-форсунки. Радиационные трубы.

Раздел 4. Расчет сложного теплообмена в промышленных печах

Тема 4.1. Виды теплообмена в рабочей камере печи. Методика расчета интенсивности внешнего теплообмена

Схема теплообмена в рабочем пространстве пламенной нагревательной печи. Виды теплообмена в рабочей камере печи: лучеиспускание от печных газов и кладки к металлу, лучеиспускание от газов к кладке печи, конвективная передача тепла от печных газов к металлу, к внутренней поверхности кладки и от наружных стенок печи в окружающую среду, передача тепла теплопроводностью в металле и через стенки в печи. Допущения, применяемые при расчете тепла, передаваемого металлу. Определение количества тепла, переданного от газов к металлу с учетом косвенной передачи стен и свода. Методика расчета интенсивности внешнего теплообмена в рабочем пространстве печи. Суммарный приведенный коэффициент излучения, степень черноты реальных газов в печном пространстве, формула теплообмена для разных температурных диапазонов.

Раздел 5. Расчет нагрева металла

Тема 5.1. Выбор температурного графика нагрева и методика его построения. Расчет нагрева тонких тел

Понятие о термически «тонких» и «массивных» телах. Выбор температурного графика нагрева и методика его построения. Расчет нагрева тонких тел при преимущественной передаче тепловой энергии конвекцией или излучением в печах с постоянной или переменной температурой. Расчет нагрева массивных тел.

Тема 5.2. Расчет нагрева массивных тел. Сущность процессов окисления и обезуглероживания. Сущность работы и конструкции печей безокислительного и малоокислительного нагрева

Определение продолжительности нагрева заготовок по эмпирическим формулам. Рекомендации по режимам нагрева металла.

Сущность процессов окисления и обезуглероживания. Факторы, влияющие на эти процессы. Определение количественных показателей окисления. Сущность работы и конструкции печей безокислительного и малоокислительного нагрева.

Раздел 6. Основные конструкции пламенных печей

Тема 6.1. Классификация печей. Пламенные печи периодического действия. Их назначение, достоинства, недостатки и конструктивное исполнение

Классификация печей. Конструкции пламенных печей периодического действия.

Основные требования, предъявляемые к нагревательным печам. Классификация их по технологическому назначению, способу нагрева, по температуре рабочего пространства, источнику тепловой энергии, принципу действия (по режиму работы), по степени механизации и автоматизации,

характеру среды в рабочем пространстве, по основному способу передачи теплоты, по характеру взаимного перемещения материала и теплоносителя, по использованию уносимой из печи теплоты дымовых газов. Индексация печей.

Пламенные печи периодического действия: печи для нагрева малогабаритных заготовок массой до нескольких килограммов (кузнечные горны, очковые, камерные с площадью пода до 2-3 куб.м, камерные щелевые немеханизированные); камерные нагревательные печи со стационарным подом и сжиганием топлива непосредственно в рабочем пространстве печи и в нижних (подовых) топках; камерные печи с выдвижным подом. Их основное технологическое назначение, достоинства, недостатки и конструктивное исполнение.

Назначение, работа и устройство двухкамерных печей.

Тема 6.2. Основные конструкции пламенных печей непрерывного действия

Общие сведения о конструкциях пламенных печей непрерывного действия. Основные конструкции пламенных печей непрерывного действия: толкательные кузнечные печи; перекатные печи с наклонным подом; полуметодические и методические печи с гладким, желобчатым подом и водоохлаждаемыми направляющими; нагревательные печи с вращающимся (кольцевым или тарельчатым) подом; конвейерные печи; печи с шагающими балками; с роликовым подом. Основное технологическое назначение указанных типов печей, тепловые и температурные режимы работы их, достоинства, недостатки и конструктивное исполнение. Схемы выдачи металла из полуметодических и методических печей.

Перспективы развития конструкций пламенных печей.

Раздел 7. Основные элементы конструкций печей

Тема 7.1. Назначение и конструктивное исполнение основных элементов печей. Основы расчета и выбор механического оборудования

Основные элементы конструкции печей: фундамент, кладка, заслонки, механизм подъема заслонки, металлический каркас печи. Основные элементы каркаса. Жесткие и подвижные каркасы. Рамы и заслонки рабочих окон: сварные без водяного охлаждения, сварные с водяным охлаждением, литые. Кладка стен и свода, устройство пода.

Основы расчета и выбора механического оборудования (механизмы и устройства для загрузки, выгрузки, транспортирования металла и механизмы привода) нагревательных печей периодического действия (камерных, печей с выдвижным подом) и непрерывного действия (толкательных, с вращающимся подом, конвейерных печей, с роликовым подом, с шагающим подом, пульсирующим подом). Выбор и расчет механизмов для подъема заслонок.

Раздел 8. Основы проектирования и методика расчета пламенных печей

Тема 8.1. Последовательность основных этапов проектирования пламенных печей и их детальная проработка

Основы проектирования и расчета пламенных печей. Последовательность этапов проектирования: анализ исходных данных; предварительный выбор метода нагрева и конструкции печи; расчет основных параметров нагрева деталей – выбор температуры нагрева деталей, температуры печного пространства и режима нагрева, расчет времени нагрева одиночных деталей, определение времени выдержки заготовок в печи; тепловой и конструкторский расчет пламенной печи – расчет горения топлива, определение размеров рабочей камеры печи, выбор материалов для футеровки (кладки) печи и вспомогательных материалов для ее элементов, определение внешних размеров печи, составление расчетного эскиза печи с предварительным указанием размещения топливо-сжигающих устройств, рабочих окон и дымоходов, расчет теплового баланса печи и определение расхода топлива, организация движения газов в рабочем пространстве печи и расчет дымоходов, выбор и расчет рекуператора, выбор и расчет топливо-сжигающих устройств (горелок, форсунок), расчет привода механизированных печей и вспомогательных механизмов, выбор контрольно-измерительных и регулирующих приборов, автоматизация операций нагрева, автоматическое регулирование и контроль основных параметров теплового режима печей, определение технико-экономических показателей, характеризующих эффективность работы печи и стоимости печи, оформление графической и расчетно-пояснительной записки.

Каждый этап проектирования подробно рассматривается с детальными проработками и необходимыми расчетами.

Раздел 9. Повышение эффективности работы пламенной печи

Тема 9.1. Пути повышения эффективности работы пламенных печей. Рекуператор, их устройство и работа.

Тепловой расчет рекуператоров

Пути повышения эффективности работы пламенной печи. Организационные мероприятия по повышению эффективности работы пламенных печей: поддержание стабильного минимального коэффициента избытка воздуха, рациональный выбор топливо-сжигающих устройств, автоматизация тепловых режимов работы. Использование тепла отходящих газов для подогрева воздуха, металла и воды. Экономическое значение этого мероприятия. Рекуператоры, их устройство и работа. Классификация и основные конструкции: трубчатые, игольчатые, термоблочные, радиационные (щелевые и трубчатые). Комбинированные рекуператоры. Методические указания по тепловому расчету рекуператоров. Уменьшение потерь тепла через кладку, подогрев металла отходящими продуктами горения. Понятие об устройстве и работе регенераторов и котлов-утилизаторов.

Раздел 10. Электрические способы нагрева заготовок

Тема 10.1. Электрические печи сопротивления. Материалы для нагревательных элементов электрических печей сопротивления

Краткая история развития электронагрева и его современное состояние. Методы нагрева.

Электрические печи сопротивления. Сущность процесса. Области применения и распространения электрических печей. Преимущества электрических печей по сравнению с пламенными. Классификация промышленных печей сопротивления по способу выделения тепла – на печи косвенного и прямого действия; по принципу действия – периодического и непрерывного действия; по способу загрузки и выгрузки нагреваемых изделий и их перемещения в печах; по технологическому назначению, по характеру среды в рабочем пространстве печи; по конструкции рабочего пространства. Особенности теплопередачи в электрических печах сопротивления.

Материалы для нагревательных элементов электрических печей сопротивления и основные требования, предъявляемые к ним: жаростойкость, жаропрочность, большое удельное сопротивление, малый температурный коэффициент сопротивления, постоянство электрических свойств, постоянство размеров, обрабатываемость. Основные конструкции проволочных и ленточных нагревателей и их крепление. Область применения и характеристика неметаллических нагревателей: силитовых, глобаровых (карборундовых), нагревателей из дисилицида молибдена. Трубчатые нагреватели.

Тема 10.2. Тепловой расчет электрических печей сопротивления.

Расчет нагревательных элементов

Определение времени нагрева заготовок и основных размеров рабочего пространства электрических печей сопротивления. Составление энергетического баланса и определение установочной мощности печи.

Расчет металлических и неметаллических нагревательных элементов печей сопротивления.

Тема 10.3. Физические основы индукционного нагрева.

Выбор частоты и определение времени нагрева. Методика расчета установки индукционного нагрева

Установки индукционного нагрева. Физические основы индукционного нагрева. Тепловое действие тока. Глубина проникновения электрического тока и ее зависимость от температуры. Формулы, связывающие глубину проникновения тока с параметрами нагрева. Электрическая схема индукционного нагрева. Классификация частот: высокие, промышленные, повышенные. Коэффициент полезного действия: электрический, термический, полный. Оборудование для получения токов высокой частоты: конструкция, характеристики и область применения.

Выбор частоты тока и определение времени нагрева. Нагревательный индуктор для нагрева кузнечных заготовок. Виды индукторов: круглые, квадратные, овальные и щелевые. Определение размеров индукторов.

Устройство индукционного нагревателя повышенной частоты. Виды индукционных установок (кинематические схемы): периодические, комбинированные, для непрерывного нагрева, одноручьевые и двухручьевые, толкательные, с шагающей балкой, карусельные; их устройства и назначение. Методические указания по расчету индукционных нагревателей. Область применения, преимущества и недостатки индукционного нагрева. Перспективы развития индукционного нагрева.

Общие сведения по нагреву металла на промышленных частотах, на двух частотах, в установках ускоренного изотермического нагрева.

Тема 10.4. Установка электроконтактного нагрева. Методика расчета электроконтактных установок

Установки электроконтактного нагрева. Сущность процесса и область применения контактного электронагрева. Коэффициент полезного действия установки и его зависимость от конструктивного исполнения узлов и технологического использования. Устройство и основные виды конструкций установок. Контакты. Контактное давление и распределение температуры по длине и сечению заготовки. Определение времени нагрева заготовок. Методические указания к расчету контактных установок. Перспективы развития нагрева металла методом электросопротивления.

Обслуживание пламенных, электрических печей и установок.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Мاستрюков, Б.С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. В 2 т. Т.2. Расчеты металлургических печей. – М.: Металлургия, 1978. – 272 с.
2. Кривандин, В.А. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. Том 1. Теория и конструкция металлургических печей: (Учебник). / В.А.Кривандин, О.П.Филимонов; под ред. В.А.Кривандина. – М.: Металлургия, 1979. – 350 с.
3. Промышленные теплотехнологии. Машиностроительное и металлургическое производство: учебник: В 2 ч. / А.П.Несенчук [и др.]; под общ. ред. А.П.Несенчука. – Мн.: Вышэйшая школа, 1997.
4. Промышленные теплотехнологии. Методики и инженерные расчеты оборудования высокотемпературных теплотехнологий машиностроительного и металлургического производства: учебник. / В.И.Тимошпольский [и др.]; под общ. ред. А.П.Несенчука, В.И.Тимошпольского. – Мн.: Вышэйшая школа, 1998. – 222 с.
5. Скворцов, А.А. Нагревательные устройства / А.А.Скворцов [и др.]. – М.: Высшая школа, 1965.
6. Логачев, М.В. Расчеты нагревательных устройств: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-36 01 05 «Машины и технология обработки металлов давлением», 1-36 01 02 «Материаловедение в машиностроении»: в 3 ч. / М.В.Логачев, Н.И.Иваницкий, Л.М.Давидович. – Минск: БНТУ, 2007. – Ч. 1. : Расчет пламенных печей. – 160 с.
7. Логачев, М.В. Расчеты нагревательных устройств: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-36 01 05 «Машины и технология обработки металлов давлением», 1-36 01 02 «Материаловедение в машиностроении»: в 3 ч. / М.В.Логачев, Н.И.Иваницкий, Л.М.Давидович. – Минск: БНТУ, 2010. – Ч. 2.: Расчеты электрических печей и установок. – 131с.

Дополнительная литература

1. Свенчанский, А.Д. Электрические печи сопротивления / А.Д.Свенчанский. – М.: Энергия, 1975. – 384 с.
2. Сатановский, Л.Г. Нагревательные и термические печи в машино-строении. / Л.Г.Сатановский, Ю.А.Мирский. – М.: Металлургия, 1971.
3. Ковка и штамповка: справочник. В 4 т. Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. / Под ред. Е.И.Семенова. – М.: Машиностроение, 1985. – 568 с.
4. Безручко, И.И. Индукционный нагрев для объемной штамповки. / И.И.Безручко. – Л.: Машиностроение, 1987. – 126 с.
5. Романов, Д.И. Электроконтактный нагрев металлов / Д.И.Романов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981. – 166 с.

6. Справочник конструктора печей прокатного производства / под общ. ред. В.М.Тымчака. – М.: Металлургия, 1970.
7. Промышленные теплотехнологии. Печи и сушила машиностроительного и металлургического производства: учебник: в 5 ч. / А.П.Несенчук [и др.]; под общ. ред. А.П.Несенчука, В.И.Тимошпольского. – Мн.: Вышэйшая школа, 1999. Ч.4. – 238 с.
8. Логачев, М.В. Расчеты нагревательных устройств: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-36 01 05 «Машины и технология обработки металлов давлением» и 1-36 01 02 «Материаловедение в машиностроении»: в 3 ч. / М.В.Логачев, Н.И.Иваницкий, Л.М.Давидович. – Минск: БНТУ, 2008. – Ч. 3: Основы расчета и выбора механического оборудования нагревательных и термических печей. – 75 с.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- контролируемая самостоятельная работа в виде решения индивидуальных задач в аудитории во время проведения практических занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- управляемая самостоятельная работа, в том числе в виде выполнения индивидуальных расчетных заданий с консультациями преподавателя;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам, в том числе с использованием патентных материалов;
- подготовка курсовой работы по индивидуальным заданиям, в том числе разноуровневым заданиям.

Перечень рекомендуемых средств диагностики

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- устный и письменный опрос во время практических занятий;
- защита выполненных на практических занятиях индивидуальных заданий;
- защита выполненных в рамках управляемой самостоятельной работы индивидуальных заданий;
- защита курсового проекта;
- сдача экзамена.

Примерный перечень тем практических занятий

1. Аналитический расчет горения жидкого и газообразного топлива.
2. Табличный расчет горения жидкого и газообразного топлива.

3. Расчет интенсивности внешнего теплообмена в рабочем пространстве печи.
4. Выбор температурного режима нагрева и построение температурного графика нагрева.
5. Расчет продолжительности нагрева заготовок.
6. Определение основных размеров рабочего пространства печи.
7. Выбор материалов для постройки печи и конструктивное исполнение основных элементов печи.
8. Составление теплового баланса пламенной печи.
9. Тепловой расчет рекуператора.
10. Расчет нагревательных элементов электрических печей сопротивления.
11. Тепловой расчет электрических печей сопротивления.
12. Выбор частоты тока и определение продолжительности нагрева при индукционном нагреве.
13. Методика расчета установки электроконтактного нагрева.

Примерное содержание курсового проекта

Курсовой проект по проектированию нагревательных печей выполняют на основании технического задания, включающего следующие данные:

- тип и конструкция печи (установки);
- производительность печи;
- источник тепловой энергии (электроэнергия, газ или мазут, его состав, марка);
- технологический процесс, для которого предназначается печь (нагрев изделий под обработку давлением либо вид термической обработки) и основные параметры нагрева;
- характеристика нагреваемого изделия (марка материала, форма и размеры заготовки);
- степень механизации.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки объемом 30-40 страниц с необходимыми эскизами, схемами и таблицами и графической части в объеме 1,5–2,0 листа чертежей формата А1.

Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разбору вопросов) указывается в задании на курсовое проектирование в зависимости от типа печи (установки) – пламенная, электрическая, печь сопротивления, установка индукционного или электроконтактного нагрева.

Графическая часть курсового проекта представляется чертежами, включающими:

1. Общий вид печи (установки) с необходимыми разрезами (продольным, поперечным), раскрывающими конструктивное исполнение печи и план с указанием основных размеров рабочего пространства, толщины стен, свода, пода, размеров рабочих окон, каналов, а также габаритных размеров печи (1 лист формата А1).

2. Отдельный узел печи, схему или приспособление (по заданию руководителя), например, механизмы вращения или выдвигания пода, подъема

заслонки, толкатель, выталкиватель, механизмы перемещения заготовок, поддон и направляющие, рекуператор или регенератор, кладка отдельных узлов печи, схема автоматического регулирования температуры печи, работающей на газе, мазуте, схема разводки мазутопровода, газопровода, форсунка, горелка и др. (0,5–1,0 лист формата А1).

При оформлении чертежей необходимо выполнять все требования, предъявляемые межгосударственными стандартами.

Спецификация деталей к чертежам выполняется на листах формата А4; в соответствии с ЕСКД (Единой системой конструкторской документации).

Различные материалы кладки печи обозначаются штриховкой, которая указывается в условных обозначениях. На чертеже общего вида приводится краткая техническая характеристика печи.

Характеристика рекомендуемых методов и технологий обучения

Основными методами обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

- элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично-поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, реализуемые на практических занятиях и при самостоятельной работе;
- коммуникативные технологии (дискуссия, учебные дебаты, «мозговой штурм» и другие формы и методы), реализуемые на практических занятиях и конференциях;
- проектные технологии, используемые при проектировании конкретного объекта, реализуемые при выполнении курсового проекта.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы

1. Сущность и классификация видов нагрева.
2. Материалы для нагревательных элементов электрических печей сопротивления и методика расчета нагревательных элементов.
3. Устройство и работа форсунок низкого давления.
4. Сущность нагрева. Основные явления, протекающие в металле при нагреве.
5. Глубина проникновения тока при индукционном нагреве.
6. Устройство и работа форсунок высокого давления.
7. Определение теоретического и действительного количества воздуха, количества и состава продуктов сгорания при горении жидкого топлива.
8. Физические основы индукционного нагрева. Схема установки индукционного нагрева с машинным генератором.
9. Технологическое назначение и конструктивное исполнение методических печей.
10. Определение теоретического и действительного количества воздуха, количества и состава продуктов сгорания при горении газообразного топлива.
11. Электрические печи сопротивления. Конструкции печей и особенности теплопередачи в них.

12. Классификация и основные конструкции рекуператоров.
13. Температуры горения и методика их определения.
14. Тепловой расчет электрических печей сопротивления.
15. Технологическое назначение, достоинство, недостатки и конструктивное исполнение камерных печей.
16. Схема и расчет сложного теплообмена в промышленных печах.
17. Основы электроконтактного нагрева. Устройство, основные элементы конструкции установки электроконтактного нагрева.
18. Выбор и расчет форсунок, горелок.
19. Расчет нагрева тонких тел в печах с постоянной и переменной температурой.
20. Устройство индукционного нагревателя и расчет его размеров.
21. Тепловой расчет рекуператоров.
22. Расчет нагрева массивных тел.
23. Контактное давление и распределение температуры по длине и сечению заготовки при электроконтактном нагреве.
24. Сравнительная характеристика форсунок низкого и высокого давления.
25. Расчет продолжительности нагрева заготовок по критериальным зависимостям и эмпирическим формулам.
26. Методика расчета установки индукционного нагрева.
27. Устройство и работа инжекционных горелок.
28. Сущность процессов окисления и обезуглероживания. Факторы, влияющие на эти процессы. Количественные показатели окисления.
29. Выбор частоты тока и определение времени нагрева заготовок при индукционном нагреве.
30. Конструкция и принцип работы печи с выдвижным подом.
31. Методика расчета и основные этапы проектирования пламенных печей.
32. Определение времени нагрева заготовок при электроконтактном нагреве.
33. Устройство и работа горелок низкого давления.
34. Расчет приходной части теплового баланса пламенных печей.
35. Коэффициент полезного действия установки электроконтактного нагрева и его зависимость от конструктивного исполнения установки.
36. Конструкции и принцип работы печи с вращающимся подом.
37. Расчет расходной части теплового баланса пламенных печей.
38. Методика расчета установки электроконтактного нагрева.
39. Основные элементы конструкций печей.
40. Определение технико-экономических показателей, характеризующих эффективность работы печи и путь их повышения.
41. Выбор частоты тока и мощности генератора при индукционном нагреве заготовок.
42. Конструкции и принцип работы конвейерных печей.
43. Сущность работы рекуператоров и их тепловой расчет.
44. Расчет нагревательных элементов электрических печей сопротивления.
45. Конструкция и принцип работы печи с излучающим сводом.
46. Безокислительные и малоокислительные способы нагрева заготовок.

47. Конструкция индукционного нагревателя и расчет его параметров.
48. Назначение, конструкция и принцип работы двухкамерной печи.
49. Табличный метод определения расхода воздуха и количества продуктов сгорания при горении жидкого топлива.
50. Электрическая схема установки индукционного нагрева. Назначение основных элементов.
51. Сжигание топлива в радиационных трубах.
52. Табличный метод определения расхода воздуха и количества продуктов сгорания при горении газообразного топлива.
53. Определение установочной мощности электрической печи сопротивления.
54. Назначение, конструкция и принцип работы методической печи малоокислительного нагрева.
55. Расчет сложного теплообмена в пламенных нагревательных печах.
56. Материалы для нагревательных элементов электрических печей сопротивления и способы их размещения в печи.
57. Назначение, принцип работы и конструкция печей с шагающими балками.
58. Температурные графики режима нагрева заготовок.
59. Выбор материалов для постройки печи. Определение основных размеров рабочего пространства пламенных и электрических нагревательных печей.
60. Конструкция и принцип работы печи скоростного нагрева заготовок.
61. Расчет интенсивности внешнего теплообмена в зонах рабочего пространства печи.
62. Устройство и основные конструктивные элементы установки электроконтактного нагрева.
63. Конструкция и принцип работы печи с «кипящим» слоем.
64. Основные тепловые критерии процесса нагрева, их физическая сущность и функциональная связь.
65. Электрическая схема установки индукционного нагрева. Назначение основных ее элементов и механизмов.
66. Устройство и особенности работы горелок высокого давления.
67. Понятия о термически «тонких» и «массивных» заготовках. Расчетная толщина заготовки.
68. Электрические печи сопротивления. Достоинства и недостатки их. Классификация и основные конструкции электрических печей сопротивления.
69. Методы борьбы с окислением и обезуглероживанием.
70. Построение температурного графика нагрева.
71. Глубина проникновения тока при индукционном нагреве.
72. Конструкции и принцип работы печей с роликовым подом.