

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

М. С. Харитонов

ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический
материал по изучению дисциплины для студентов магистратуры
по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника /
Electrical Power Engineering and Electrical Engineering

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 621.365

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
И. Е. Кажекин

Харитонов, М. С.

Электронагревательная техника: учеб.-методич. пособие – локальный электронный методический материал по изучению дисциплины «Electroheat Engineering / Электронагревательная техника» для студ. магистратуры по направлению подгот. 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / Electrical Power Engineering and Electrical Engineering / **М. С. Харитонов.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 33 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины содержится рекомендации по изучению теоретического материала и самостоятельной подготовке, дано описание видов текущего контроля, критерии оценок и условия допуска к текущей и промежуточной аттестации.

Табл. – 4, список литературы – 3 наименования

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 31.05.2023 г., протокол № 09

УДК 621.365

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.

Оглавление

Введение	4
1 Тематический план дисциплины	7
2 Содержание дисциплины.....	7
Тема 1. Общие сведения о электротехнологиях.....	7
Тема 2. Основные закономерности тепловых явлений	9
Тема 3. Нагрев сопротивлением	12
Тема 4. Дуговой нагрев.....	14
Тема 5. Индукционный нагрев.....	17
Тема 6. Электрическая сварка	20
3 Методические указания по самостоятельной работе студентов	23
Заключение.....	25
Библиографический список.....	26
Приложение № 1.....	27
Приложение № 2.....	31

Введение

Дисциплина «Electroheat Engineering / Электронагревательная техника» обеспечивает формирование у обучающихся знаний, умений и навыков для планирования, организации и осуществления управления режимами работы объектов профессиональной деятельности с учетом показателей эффективности.

Целью освоения дисциплины является ознакомление обучающихся с основами электронагревательной техники, основными типами электронагревательных установок и сферами применения, особенностями их конструкции, эксплуатации, режимами работы

Задачи изучения дисциплины:

- изучение основных видов, областей применения и показателей эффективности электронагревательной техники;
- изучение принципа действия распространенных типов оборудования, используемого в электронагревательных установках;
- освоение методов расчета основных параметров электронагревательных установок;
- формирование навыков эксплуатации, управления и контроля технологических режимов электронагревательных установок с учетом их эффективности;
- изучение основных подходов к проектированию и исследованию электронагревательных и установок.

По завершении изучения дисциплины «Electroheat Engineering / Электронагревательная техника» у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

Знать: основные виды и принципы функционирования электронагревательной техники.

Уметь: рассчитывать режимы работы электронагревательной техники.

Владеть: навыками эксплуатации и управления технологическими режимами электронагревательных установок

Текущая и промежуточная аттестация студентов

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания (для студентов всех форм обучения);
- задания и контрольные вопросы по темам лабораторных работ (для студентов всех форм обучения);

- задания по контрольной работе (для студентов заочной формы обучения) (приложение 1).

Задания и контрольные вопросы по лабораторным работам по дисциплине приведены в соответствующем учебно-методическом пособии по выполнению лабораторных работ.

Промежуточная аттестация в форме зачета проходит по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости. Контрольные вопросы по дисциплине, которые при необходимости (в случае не прохождения обучающимся всех видов текущего контроля) могут быть использованы для промежуточной аттестации, приведены в приложении 2. Результаты промежуточной аттестации определяются по системе «зачтено / не зачтено» в соответствии с критериями, представленными в таблице 1.

Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0-40 %	41-60 %	61-80 %	81-100 %
Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1 Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2 Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление	Не может делать научно корректных выводов из имею-	В состоянии осуществлять научно	В состоянии осуществлять систематический и	В состоянии осуществлять систематический и

изучаемого явления, процесса, объекта	щихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	корректный анализ предоставленной информации	научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные	научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Структура учебно-методического пособия

Структура учебно-методического пособия включает тематический план дисциплины, содержание каждой темы дисциплины, указания для самостоятельной работы студентов, библиографический список. По каждой теме дисциплины в учебно-методическом пособии приводятся: методические указания по проведению занятия, список рекомендуемой литературы и методические материалы к занятию. В приложениях приведены задания по контрольной работе для студентов заочной формы обучения и контрольные вопросы по дисциплине.

1 Тематический план дисциплины

Темы занятий приведены в таблице 2. На изучение каждой темы дисциплины выделяется не менее 2 академических часов лекционных занятий. Общее количество лекционных занятий по дисциплине составляет 16 академических часов (лекционные занятия для очной формы обучения).

Таблица 2 – Разделы и темы занятий по дисциплине

№ п/п	Темы занятий по дисциплине
1	Тема 1. Общие сведения о электротехнологиях
2	Тема 2. Основные закономерности тепловых явлений
3	Тема 3. Нагрев сопротивлением
4	Тема 4. Дуговой нагрев
5	Тема 5. Индукционный нагрев
6	Тема 6. Электрическая сварка

Примечание: Чтение лекций осуществляется традиционным способом с использованием технических средств обучения.

2 Содержание дисциплины

Тема 1. Общие сведения о электротехнологиях

Методические указания по проведению занятия:

Лекционное занятие предполагает связанное, последовательное представление материала в соответствии с новейшими данными науки и актуальными инженерно-техническими сведениями с целью изложения студентам основного содержания темы дисциплины в целостном, систематизированном виде. Форма проведения занятий и методы изложения материала, в том числе с использованием мультимедийных средств, определяются преподавателем из соображений обеспечения удобства и качества усвоения учебного материала.

В рамках лекционных занятий по данной теме дисциплины рассматриваются следующие ключевые вопросы:

1. Понятие электротехнологии
2. Электронагревательные установки
3. Частотный диапазон электротехнологических процессов
4. Классификация электротермических технологий

Рекомендуемая литература:

1. Юдаев, И.В. Электрический нагрев: основы физики процессов и конструктивных расчетов [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. В. Юдаев, Е. Н. Живописцев; ред. С. В. Макаров; рец.: П. Л. Лекомцев, А. М. Башилов, А. И. Алиферов. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система
2. Лысаков, А. А. Электротехнология. Курс лекций: учебное пособие / А. А. Лысаков. – Ставрополь: СтГАУ, 2013. – 124 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система

Методические материалы к занятию:

Под электротехнологией понимают область науки и техники, охватывающую изучение, исследование и применение таких технологических процессов, в которых непосредственно участвует электрическая энергия, преобразуясь в рабочем пространстве в различные другие виды энергии, например: тепловую, химическую, механическую и т.п. Во многих процессах, где применяется электрическая энергия, электрический ток является не просто энергоносителем, но также и инструментом воздействия на материалы, среду, продукты обработки.

Установки, в которых происходит преобразование электрической энергии в другие виды с одновременным и непосредственным её использованием в технологических процессах, называют электротехнологическими. К ним относятся: электрические печи и электронагревательные установки, электросварочное оборудование всех видов, электросепараторы, аппараты для размерной электрофизической и электрохимической обработки металлов и т.п. Методы электротехнологии отличаются высокой эффективностью, универсальностью и возможностью применения их для непосредственного воздействия на различные объекты.

Принято разделять электротехнологические процессы и соответствующие им электроустановки на следующие классы:

- электротермические процессы и установки, в которых используется превращение электрической энергии в тепловую для нагрева сред, материалов и изделий в целях изменения их свойств, характеристик или формы, а также для их плавления и испарения;

- электросварочные процессы и оборудование, в котором получаемая из электрической энергии тепловая энергия используется для нагрева тел в целях осуществления неразъемного соединения с обеспечением непосредственной однородности материала или материалов в месте сварки;

- электрофизические процессы и установки, в которых для воздействия на материалы используется превращение электрической энергии в механическую, тепловую и другие виды энергии;

- электрохимические процессы и установки, в которых с помощью электрической энергии осуществляется разложение химических соединений или их разделение путем перемещения заряженных частиц (ионов) в жидкой среде под действием электрического поля;

- аэрозольные технологии, при которых энергия электрического поля используется для сообщения электрического заряда взвешенным в газовом потоке мелким частицам вещества с целью перемещения их под действием электрического поля в нужном направлении и т.п.

Термин «электротехнологические установки (оборудование)» включает в себя агрегаты, в которых осуществляются электротехнологические процессы, а также вспомогательные электротехнические аппараты и приборы (источники питания, устройства защиты, управления и др.).

Электрический нагрев или электротермия - раздел науки и технологии, изучающей преобразование электроэнергии в термическую энергию для полезных целей. Электронагревательным называется устройство, в котором электрическая энергия непосредственно или за счет косвенных преобразований превращается в тепловую энергию.

Тема 2. Основные закономерности тепловых явлений

Методические указания по проведению занятия:

Лекционное занятие предполагает связанное, последовательное представление материала в соответствии с новейшими данными науки и актуальными инженерно-техническими сведениями с целью изложения студентам основного содержания темы дисциплины в целостном, систематизированном виде. Форма проведения занятий и методы изложения материала, в том числе с использованием мультимедийных средств, определяются преподавателем из соображений обеспечения удобства и качества усвоения учебного материала.

В рамках лекционных занятий по данной теме дисциплины рассматриваются следующие ключевые вопросы:

1. Общие положения теории теплопередачи
2. Теплопроводность
3. Конвективная теплопередача
4. Тепловое излучение

Рекомендуемая литература:

1. Юдаев, И.В. Электрический нагрев: основы физики процессов и конструктивных расчетов [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. В. Юдаев, Е. Н. Живописцев ; ред. С. В. Макаров; рец.: П. Л. Лекомцев, А. М. Башилов, А. И. Алиферов. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система

Юдаев, И. В. Расчет электротермических процессов и оборудования: учебное пособие / И. В. Юдаев, С. В. Машков, М. Р. Фатхутдинов. – Самара: СамГАУ, 2018. – 218 с. – ISBN 978-5-88575-541-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система

Методические материалы к занятию:

В процессе теплообмена, при тепловом воздействии одного, более нагретого тела, на другое, менее нагретое, внутренняя энергия первого тела уменьшается, а второго, в соответствии с законом сохранения энергии, - настолько же увеличивается. При протекании этого процесса теплота, в соответствии со вторым началом термодинамики, самопроизвольно переходит от более нагретого тела к менее нагретому.

Процесс теплообмена протекает тем интенсивнее, чем выше разность температуры тел, обменивающихся теплотой. При отсутствии разности температур, процесс теплообмена прекращается, и наступает тепловое равновесие тел.

Различают три способа распространения и передачи тепла в природе: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение (лучеиспускание) и два вида теплообмена между телами: конвективный и лучистый. Элементарные виды теплопередачи (теплопроводность, конвекция и тепловое излучение) в чистом виде встречаются крайне редко, поэтому обычно один вид теплообмена сопряжен с другими видами и это определяет протекание сложного типа теплообмена.

Теплопроводность представляет собой процесс передачи теплоты в неравномерно нагретом теле или непосредственно соприкасающихся телах, при котором теплоту переносят микрочастицы веществ, перемещающиеся из областей высокой температуры в области низких температур. В наиболее чистом виде теплопроводность проявляется внутри твёрдых монолитных тел или в очень тонких неподвижных слоях жидкости или газа. Теплота передаётся лишь при наличии разности температур между частями тела, системами тел и т.д., то есть в температурном поле.

Теплопроводность тел объясняется тепловым движением структурных частиц тела (молекул, атомов, свободных электронов). Лучше проводят теплоту чистые и жидкие металлы, технические сплавы металлов, хуже неметаллические твердые материалы, а органические и неорганические жидкости и газы - плохие проводники теплоты.

Объяснить это достаточно просто. Атомы металлов расположены на определенном расстоянии по отношению один к другому, образуют кристаллическую решетку. Теплота в них передается вследствие колебания кристаллической решетки, но еще в большей мере вследствие хаотичного движения свободных элект-

тронов, слабо связанных с атомами и способных от последних отрываться. В результате движения свободных электронов выравнивается температура во всех точках нагреваемого или охлаждаемого металла.

Конвекция - процесс переноса теплоты текущей жидкостью или газом из области с одной температурой в область с другой температурой. Различают теплоотдачу при вынужденном движении жидкости или газа (вынужденная конвекция) и при свободном движении (естественная конвекция).

Свободная конвекция тем интенсивнее, чем больше разность температур горячих и холодных слоев жидкости или газа, чем больше коэффициент объемного расширения жидкости или газа и чем меньше их кинематический коэффициент вязкости, так как большая вязкость затрудняет возникновение конвективных токов воды или газа.

Свободные конвективные токи, с точки зрения практического применения, не обеспечивают необходимой интенсивности распространения теплоты. Для устранения этого недостатка конвекцию усиливают искусственно за счет применения внешних побудителей - насосов, компрессоров, вентиляторов, дымососов. Поток жидкости или газа по каналам или трубам любой формы, побуждаемый внешней силой, называется вынужденным конвективным потоком, а соответствующее при этом распространение тепла - вынужденной или искусственной конвекцией.

Конвекция теплоты всегда сопровождается теплопроводностью: при движении жидкости или газа неизбежно соприкосновение отдельных частиц с различной температурой. При соприкосновении, например, потока жидкости или газа с более холодной стенкой теплота передается от жидкости или газа к стенке конвекцией и теплопроводностью. Конвективный теплообмен между поверхностью твердого тела одной температуры и потоком жидкости или газа с другой температурой называют конвективной теплоотдачей.

Тепловое излучение - процесс переноса теплоты от одного тела к другому посредством электромагнитных волн через разделяющую тела среду, прозрачную для волн. На поверхности излучающего тела происходит превращение внутренней энергии тела в энергию электромагнитных волн различной длины, которые затем распространяются в свободном пространстве со скоростью света.

Большинство твердых и жидких тел излучают энергию всех длин волн (имеют сплошной спектр). Чистые металлы и газы излучают энергию только в определенных интервалах длин волн (имеют прерывистый спектр), а их излучение является прерывистым или селективным. Излучение всех тел в значительной степени зависит от абсолютной температуры их поверхности: с ростом темпера-

туры увеличивается интенсивность в целом и при этом повышается интенсивность коротковолнового при одновременном снижении длинноволнового излучения, что и определяет «цвет» излучения.

Тема 3. Нагрев сопротивлением

Методические указания по проведению занятия:

Лекционное занятие предполагает связанное, последовательное представление материала в соответствии с новейшими данными науки и актуальными инженерно-техническими сведениями с целью изложения студентам основного содержания темы дисциплины в целостном, систематизированном виде. Форма проведения занятий и методы изложения материала, в том числе с использованием мультимедийных средств, определяются преподавателем из соображений обеспечения удобства и качества усвоения учебного материала.

В рамках лекционных занятий по данной теме дисциплины рассматриваются следующие ключевые вопросы:

1. Прямой нагрев сопротивлением
2. Установки электроконтактного нагрева
3. Косвенный нагрев сопротивлением
4. Электроды сопротивления

Рекомендуемая литература:

1. Юденич, Л. М. Светотехника и электротехнология: учеб. пособие / Л. М. Юденич. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 104 с. – ISBN 978-5-8114-4507-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Лысаков, А. А. Электротехнология. Курс лекций: учеб. пособие / А. А. Лысаков. – Ставрополь: СтГАУ, 2013. – 124 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система

Методические материалы к занятию:

Нагрев сопротивлением основан на пропускании электрического тока через металлические или неметаллические электропроводные материалы. При этом в соответствии с законом Джоуля-Ленца в этих материалах выделяется тепловая энергия, способствующая повышению температуры материала до значения, определяемого соотношением мощности, выделяемой в материале за счет протекающего тока, теплоемкости материала и тепловых потерь конвекцией и излучением с его поверхности.

Нагрев сопротивлением может быть прямого или косвенного действия. При прямом нагреве сопротивлением электрический ток протекает непосредственно по нагреваемому изделию, а при косвенном - в специальных нагревательных элементах, расположенных в печи, от которых тепло передается нагреваемому телу конвекцией или излучением.

Прямой нагрев сопротивлением реализуется в установках прямого нагрева, включающих систему контактов, посредством которых нагреваемое изделие подключается непосредственно в электрическую цепь. В некоторых особых случаях контакт может быть получен с помощью промежуточной токопроводящей жидкости. Преимущества установок прямого нагрева: быстрое включение; быстрый нагрев в силу расположения внутренних источников тепла в нагреваемом изделии; равномерное распределение температуры при создании равномерного распределения внутренних источников теплоты; высокий КПД (80-90 %) и экономия электроэнергии; малое окисление нагреваемых изделий; хорошие условия работы обслуживающего персонала.

К недостаткам установок прямого нагрева следует отнести: требование к форме нагреваемого изделия (заготовки должны быть длинными, прямолинейными и с равномерным по длине сечением); наличие токоподводящих контактов (они в ряде случаев являются водоохлаждаемыми, что приводит к неравномерному распределению температуры по длине заготовки и дополнительным тепловым потерям от заготовки к контактам).

Косвенный нагрев сопротивлением осуществляется в электропечах сопротивления. Существует много различных конструкций электропечей, зависящих от их максимальной рабочей температуры и от того, как загрузка подается в рабочую камеру и как проходит цикл нагрева. По уровням температуры печи можно разделить на три группы, которые отличаются материалами огнеупорных, изоляционных слоев, количеством слоев футеровки, материалами элементов конструкций, расположенных в рабочей камере электропечи, конструкцией и материалами нагревателей.

По характеру технологического процесса электропечи разделяются на печи периодического и непрерывного действия. Печи периодического действия используются в большинстве промышленных процессов для нагрева и термообработки различных изделий из разных материалов (от металлов до керамики) и с разными размерами (от небольших деталей до крупных металлических слитков). В этих электропечах нагреваемые изделия загружаются и выгружаются через дверь рабочей камеры и остаются неподвижными в печи на весь период нагрева. Энергетическая эффективность процесса нагрева существенно зависит от коэффициента использования рабочего пространства электропечи. Он может быть

улучшен применением более рациональной укладки нагреваемых изделий. Такая укладка возможна при механизированной загрузке изделий на под электропечи

В печах непрерывного действия загрузка проходит через электропечь, которая, как правило, выполнена в виде тоннеля. Главное отличие таких печей друг от друга заключается в механизме перемещения загрузки через электропечь. Печи часто делятся на несколько тепловых зон с различной установленной мощностью, которая, как правило, уменьшается от загрузочного окна к разгрузочному. В отличие от электропечей периодического действия, в которых обычно возможна реализация различных режимов нагрева и охлаждения загрузки, электропечи непрерывного действия работают, не прерываясь, на протяжении большей части времени при постоянных мощности и температурных режимах. Главный недостаток печей непрерывного действия - наличие повышенных тепловых потерь через периодически открываемые для загрузки и выгрузки дверцы. Это снижает энергоэффективность процесса нагрева. Кроме того, конструкции электропечей непрерывного действия меньше подходят для операций с контролируемой атмосферой или вакуумом.

Тема 4. Дуговой нагрев

Методические указания по проведению занятия:

Лекционное занятие предполагает связанное, последовательное представление материала в соответствии с новейшими данными науки и актуальными инженерно-техническими сведениями с целью изложения студентам основного содержания темы дисциплины в целостном, систематизированном виде. Форма проведения занятий и методы изложения материала, в том числе с использованием мультимедийных средств, определяются преподавателем из соображений обеспечения удобства и качества усвоения учебного материала.

В рамках лекционных занятий по данной теме дисциплины рассматриваются следующие ключевые вопросы:

1. Структура дугового разряда и электродинамические явления в дугах
2. Дуговая плавка
3. Конструкция и принцип действия дуговой печи
4. Энергетические показатели дуговой печи

Рекомендуемая литература:

1. Юденич, Л. М. Светотехника и электротехнология: учеб. пособие / Л. М. Юденич. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 104 с. – ISBN 978-5-8114- 4507-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Лысаков, А. А. Электротехнология. Курс лекций: учеб. пособие / А. А. Лысаков. – Ставрополь: СтГАУ, 2013. – 124 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система

Методические материалы к занятию:

Разнообразное промышленное электротехнологическое оборудование, такое как промышленные лазеры, промышленные печи, установки поверхностной обработки тлеющим разрядом, плазмотроны, использует различные ионизированные состояния газообразных веществ (плазму) для таких технологических процессов, как плавление, рафинирование, нагрев, резка, напыление.

Термин «дуговая плавка» подразумевает два параллельных физических процесса: плавление и рафинирование металлов или их сплавов. Дуговая плавка определяется как метод электронагрева, предназначенный для плавки металлов или их сплавов, основанный на использовании явления электрической дуги и закона Джоуля-Ленца. Дуговые электрические печи предпочтительны при производстве стали вследствие их высокой производительности, прецизионности, гибкости и ряда перспективных применений; характеризуются низкими эксплуатационными затратами и относительно коротким временем строительства. Однако они имеют большие габариты и нелинейные электрические характеристики. При своей работе дуговые электрические печи негативно влияют на качество электроэнергии в сети, создавая проблемы для других потребителей электроэнергии.

В настоящее время основным ограничивающим фактором развития дуговой плавки является большое потребление электроэнергии и графитовых электродов. Однако технология дуговой плавки постоянно совершенствуется в целях увеличения КПД за счет внедрения различных нововведений: продувка кислородом; обработка металла в ковше; водяное охлаждение стен и крышки печи; использование мощных систем питания, современных систем перемешивания расплава, расширенной шлаковой технологии; подогрев скрапа; высокое напряжение питания дуговых печей и т.д.

На практике существует четыре основных применения дуговой плавки: выплавка стали; предварительный нагрев металлов (главным образом скрапа); переплавление металлов; обработка стали в ковше.

Дуговая электрическая печь представляет собой вид электрической печи, в которой загруженный материал нагревается посредством электрической дуги. Дуговые печи отличаются от индукционных или резистивных тем, что загрузка подвергается непосредственному воздействию электрической дуги и ток дуги проходит через нее. Существует два главных типа дуговых печей: печи прямого действия (разряд между электродами и загрузкой); косвенного действия (разряд между электродами).

Дуговые печи косвенного действия используются редко, только для специальных целей. Разряд возникает между двумя электродами, расположенными горизонтально над загрузкой, после чего между ними зажигается дуга. Тепло передается от дуги к загрузке излучением и (частично) отражением от стенок печи.

Дуговые печи прямого действия являются фундаментом металлургии и литейного производства. Различные виды таких печей давно применяются в промышленности, но самыми популярными оказались трехфазные дуговые печи с тремя электродами и непроводящим дном. Графитовые электроды всегда располагаются перпендикулярно поверхности загрузки в вершинах равностороннего треугольника. Дуги горят между каждым из электродов и загрузкой в цилиндрической камере с крышкой.

Дуговая печь имеет три графитовых электрода, закрепленных в специальном держателе электродов. Стенки и крышка печи водоохлаждаемые. Для увеличения производительности используются кислородно-топливная горелка и продувочная фурма. Их применение позволяет осуществлять более равномерный нагрев загрузки. Дополнительная химическая энергия обеспечивается впрыском в печь кислорода и углерода через специальные инжекторы, вмонтированные в стенки печи. Электрическая дуга горит между электродами и загрузкой. Нагрев загрузки осуществляется током, протекающим через нее, и излучением дуги.

Для того чтобы жидкую сталь можно было слить из печи в другой сосуд для ее транспортировки, печь располагается на наклоняющейся платформе. Операцию наклона печи для осуществления разливки называют выпуском расплава. Для уменьшения количества азота и шлака в слитой стали современные печи часто имеют эксцентрично расположенное по отношению к дну нижнее выпускное отверстие. Форма нижней части печи может быть полусферической или, как в случае эксцентричной печи с донным выпуском расплава, иметь форму половины яйца. Часто часть печи располагается ниже нулевой отметки цеха, но так, чтобы ковши для приема жидкой стали и тигли для приема расплавленного шлака легко могли бы быть подведены под печь.

В общую структуру печи входят системы электроснабжения и поддержки электродов. Система электроснабжения содержит трехфазный печной трансформатор, гибкие кабели и шинопроводы. Электроды имеют круглое поперечное сечение и, как правило, разделены на части с резьбовыми соединениями, чтобы по мере износа их можно было легко нарастить. Столбы с консолями, удерживающими электроды, несут также и тяжелые шины из медных водоохлаждаемых труб, по которым подается ток к держателям электродов. Электроды автоматически поднимаются и опускаются с помощью системы позиционирования. Система регулирования электрического режима работы печи обеспечивает поддержание постоянства тока и/или мощности во время плавления загрузки.

Использование дуговых электрических печей позволяет получать сталь из 100 % металлического скрапа, поэтому он является регламентированным материалом при ее выплавке. Основное достоинство использования скрапа - значительное сокращение энергозатрат при производстве стали. Другое достоинство - гибкость технологического процесса: в то время как доменные печи не позволяют изменить процесс производства и никогда не останавливаются, любая дуговая электрическая печь может быстро начать работать или остановиться, давая возможность сталеплавильному заводу изменить производство согласно реальному рыночному спросу. Хотя дуговые сталеплавильные печи обычно применяют стальной скрап в качестве основного сырья, если доступны горячий доменный чугун или восстановленное из руды железо, то они также могут использоваться. В качестве третьего достоинства можно отметить возможность утилизации тепла. Тепло, уносимое вместе с газами и пылью, так же как тепло, уносимое системой охлаждения стенок и крышки печи, возвращается обратно с помощью систем рекуперации. Это также относится и к горячему шлаку. Тепло, уносимое отходящими от печи газами с температурой 800 - 1000°С составляет 10-20 % от общих потерь тепла. Если это тепло вернуть, то его можно использовать, например, для подогрева скрапа в загрузочном ковше.

Тема 5. Индукционный нагрев

Методические указания по проведению занятия:

Лекционное занятие предполагает связанное, последовательное представление материала в соответствии с новейшими данными науки и актуальными инженерно-техническими сведениями с целью изложения студентам основного содержания темы дисциплины в целостном, систематизированном виде. Форма проведения занятий и методы изложения материала, в том числе с использованием мультимедийных средств, определяются преподавателем из соображений обеспечения удобства и качества усвоения учебного материала.

В рамках лекционных занятий по данной теме дисциплины рассматриваются следующие ключевые вопросы:

1. Физические основы индукционного нагрева
2. Классификация индукционных установок
3. Индукционные канальные печи
4. Индукционные тигельные печи
5. Индукционные установки для сквозного нагрева металла

Рекомендуемая литература:

1. Юденич, Л. М. Светотехника и электротехнология: учебное пособие / Л. М. Юденич. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 104 с. –

ISBN 978-5-8114- 4507-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Лысаков, А. А. Электротехнология. Курс лекций: учебное пособие / А. А. Лысаков. – Ставрополь: СтГАУ, 2013. – 124 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система

Методические материалы к занятию:

Индукционные установки по принципу действия относятся к электротермическим установкам, где энергия выделяется непосредственно в нагреваемых изделиях. Поэтому они обладают большей производительностью, а часто и более высоким КПД по сравнению с установками косвенного нагрева (с передачей энергии путем теплопроводности, конвекцией, излучением).

Индукционный нагрев проводящих тел - проводников первого и второго рода - основан на поглощении ими электромагнитной энергии, возникновении наведенных вихревых токов, нагревающих тело по закону Джоуля-Ленца. Переменное магнитное поле создается индуктором, который по отношению к нагреваемому телу является первичной обмоткой трансформатора. Нагреваемое тело выполняет роль вторичной обмотки трансформатора, содержащей один короткозамкнутый виток.

Переменный магнитный поток, создаваемый первичной обмоткой - индуктором пропорционален его МДС и обратно пропорционален сопротивлению магнитной цепи. Возникающая в нагреваемом теле ЭДС, при известном значении сопротивления нагреваемого тела обеспечивает возникновение в нем вихревого тока и выделение соответствующей мощности:

Таким образом, индукционный нагрев по физике тепловыделения является прямым нагревом сопротивлением, а включение нагреваемого тела в цепь тока производится за счет магнитной связи. Индукционный нагрев обладает достоинствами прямого нагрева сопротивлением - высокая скорость нагрева, пропорциональная вводимой мощности, неограниченный уровень достигаемых температур, достаточных для нагрева металлов, плавления металлов и неметаллов, перегрева, расплава, испарения материалов и получения плазмы.

Режим выделения мощности при индукционном нагреве обладает большим быстродействием и легко поддается автоматизации по требованию технологических процессов, проходящих в открытой атмосфере, в защитных газах и вакууме. Особенностью индукционного ввода энергии является возможность регулирования пространственного расположения зоны протекания вихревых токов. Во-первых, вихревые токи протекают в пределах площади, охватываемой индуктором. Нагревается только та часть тела, которая находится в магнитной связи с индуктором независимо от общих размеров тела. Во-вторых, глубина

зоны циркуляции вихревых токов и, следовательно, зоны выделения энергии зависит от частоты тока индуктора (увеличивается при низких частотах и уменьшается с повышением частоты).

Эффективность передачи энергии от индуктора к нагреваемому телу зависит от величины зазора между ними и повышается при его уменьшении. Как и нагрев сопротивлением, индукционный нагрев обеспечивает высокую производительность и хорошие санитарно-гигиенические условия труда, хотя для его осуществления требуются более сложные источники питания и повышенный удельный расход электроэнергии на технологические операции.

По назначению индукционные установки делятся на плавильные печи, миксеры и нагревательные установки. Под индукционными электропечами подразумевают индукционные установки, предназначенные для нагрева металлов и сплавов выше температуры их расплавления и перегрева металла до температуры разливки. В эту группу входят электропечи для плавки черных металлов и для плавки цветных металлов и сплавов. Миксеры служат как для подогрева жидкого металла до температуры разливки, так и для выравнивания его состава и поддержания его температуры.

По частоте тока источника питания индукционные установки делятся на печи и нагревательные установки низкой (промышленной) частоты (50 Гц), печи и нагревательные установки средней частоты (150-10000 Гц), печи и нагревательные установки высокой частоты (50-1000 кГц) и установки диэлектрического нагрева - установки сверхвысокой частоты (5-5000 МГц).

По конструкции индукционные печи и нагревательные установки могут выполняться открытыми, т.е. работающими при атмосферном давлении воздуха, и герметически закрытыми, т.е. работающими или с разрежением воздуха внутри плавильного пространства, или с повышенным давлением при заполнении рабочего пространства нейтральным газом (азотом, аргоном, водородом). По режиму работы различают печи и установки периодического и непрерывного действия.

По принципу действия индукционные печи подразделяются на тигельные (печи без сердечника) и канальные (печи с сердечником), названные так по элементам конструкции печи, где находится расплавленный металл.

Индукционные нагревательные установки применяют главным образом для нагрева мерных заготовок под горячую ковку в кузнечных цехах машиностроительных заводов. Для индукционных установок сквозного нагрева используют ток частотой от 50 до 10 кГц от промышленных сетей и преобразователей частоты. Путем подбора частоты для определенного диаметра детали можно добиться прогрева только поверхностного слоя требуемой глубины либо более глубокого - глубинного прогрева.

Тема 6. Электрическая сварка

Методические указания по проведению занятия:

Лекционное занятие предполагает связанное, последовательное представление материала в соответствии с новейшими данными науки и актуальными инженерно-техническими сведениями с целью изложения студентам основного содержания темы дисциплины в целостном, систематизированном виде. Форма проведения занятий и методы изложения материала, в том числе с использованием мультимедийных средств, определяются преподавателем из соображений обеспечения удобства и качества усвоения учебного материала.

В рамках лекционных занятий по данной теме дисциплины рассматриваются следующие ключевые вопросы:

1. Основы процессов сварки
2. Контактная сварка
3. Машины контактной сварки
4. Дуговая сварка плавлением

Рекомендуемая литература:

1. Юденич, Л. М. Светотехника и электротехнология: учеб. пособие / Л. М. Юденич. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 104 с. – ISBN 978-5-8114-4507-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Лысаков, А. А. Электротехнология. Курс лекций: учеб. пособие / А. А. Лысаков. – Ставрополь: СтГАУ, 2013. – 124 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система

Методические материалы к занятию:

Сварка представляет собой процесс получения неразъёмных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или сочетании этих методов.

Основная цель процесса сварки – получение непрерывного соединения материалов. Под непрерывностью понимается отсутствие какого-либо физического разрушения на атомном уровне, при этом химический состав материала в поперечном сечении шва может изменяться. Сварка может быть однородной, когда соединяются детали из одного материала (например, нержавеющей стали), или гетерогенной, когда соединяются два различных материала (например сварка двух деталей, изготовленных из чугуна, с помощью бронзы в качестве наполнителя). Основа сварки – достижение непрерывности структуры путем формирования химических связей. Непрерывность достигается только для определенных

типов материалов в отличие от склеивания, то есть процесс сварки может быть осуществлен только с материалами, способными к свариваемости.

Существует несколько классификаций процессов сварки от наиболее общих до подробных. Ряд процессов сварки, использующих электрическую энергию, относятся к области электротехнологий. В электрической сварке тепловая энергия может быть в основном получена из электрических или электромагнитных источников тремя различными способами: за счет электрического сопротивления материала, с помощью электрической дуги или от кинетической энергии пучка частиц.

Контактная сварка представляет собой процесс сварки давлением, в котором тепло, необходимое для доведения свариваемых поверхностей до температуры плавления, обеспечивает эффект Джоуля вследствие протекания электрического тока через участки материалов, которые должны быть соединены. Во время этого процесса свариваемые детали прижимаются друг к другу и помещаются между двумя электродами, затем подается электрический ток.

Формирование сварного шва, который образуется в основной области сварки, в значительной степени зависит от электрических и тепловых свойств свариваемых материалов, давления между электродами и состояния поверхности (покрытия) материалов. Контактное сопротивление между свариваемыми материалами сильно зависит от приложенного давления и температуры.

Основные области применения рассматриваемых видов сварки - автомобильная и авиационная промышленность. Здесь они широко используются для соединения перекрывающихся металлических листов, шпилек, электрической проводки, ребер теплообменников, труб и т. д. Автомобили могут иметь несколько тысяч точек сварки. В подобных случаях точечная и шовная сварка имеют неоспоримые преимущества по сравнению с другими видами сварки, в том числе эффективное использование энергии, минимальные деформации заготовки, высокую производительность, легкую автоматизацию и отсутствие необходимости использования сварочных материалов. Наиболее распространенной вне упомянутых отраслей является сварка крестом проволоки и, используемых в производстве стальных клеток при армировании бетона.

Основной способ сварки плавлением – электродуговая сварка – имеет много разновидностей, связанных со степенью механизации: ручная, механизированная, автоматическая, с применением различных защитных веществ – толстого покрытия на электродах (при ручной сварке), флюсов, защитных газов или порошковой проволоки при механизированной сварке, контролируемой атмосферы (защитных газов или вакуума) при некоторых способах дуговой и электронно-лучевой сварки. Сварка плавлением применяется для весьма широкого

спектра материалов: углеродистые, высокоуглеродистые, высоколегированные стали, цветные металлы и сплавы, а также неметаллы – стекло, керамика, графит.

Для получения неразъёмного соединения при сварке плавлением кромки металла свариваемых элементов (основной металл) и дополнительный металл (сварочная проволока и др.) в месте соединения расплавляются, самопроизвольно или принудительно сливаются в общую сварочную ванну, в которой происходят физико-химические процессы и устанавливаются металлические связи.

При удалении источника нагрева металл сварочной ванны кристаллизуется, образуя сварной шов, который и соединяет свариваемые элементы в одно целое. Металл сварного шва обычно значительно отличается от основного свариваемого металла по химическому составу и структуре, так как металл шва всегда имеет структуру литого металла. Рядом со швом в основном металле под действием термического цикла сварки образуется зона термического влияния различной протяженности. Это участок основного металла, который нагревался в интервале температур плавления и подвергся действию напряжений во время сварки, в результате чего в металле происходят структурные изменения.

Процесс сварки может быть непрерывным, подразумевается, что параметры режима постоянны во времени. Использование прерывистых (импульсных) процессов позволяет значительно расширить технологические возможности сварки. При использовании импульсных технологий можно уменьшить толщины свариваемых материалов, получить более благоприятную структуру сварного шва вследствие изменения термического цикла сварки, обеспечить управляемый перенос электродного металла при сварке и т.д.

При ручных способах сварки, как правило, подача электродной или присадочной проволоки, и перемещение источника нагрева производятся сварщиком. Поэтому ручная сварка остаётся самым сложным по технике исполнения способом. Изменение степени механизации с ручной на механизированную сварку подразумевает подачу электродного материала сварочным оборудованием (механизм подачи электродной проволоки), а перемещение сварочной горелки или головки осуществляется вручную. При автоматической сварке механизмируются все операции процесса, включая подачу проволоки и перемещение автомата. При автоматизированной сварке дополнительно производят подачу, перемещение, отвод изделий или оборудования в автоматическом режиме, например автомобильный конвейер по сборке кузова. При этом роль человека сводится к наблюдению за протекающим технологическим процессом и контролю необходимых параметров и показателей.

3 Методические указания по самостоятельной работе студентов

Самостоятельная работа студентов – это планируемая работа, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия, является одним из основных видов деятельности обучающихся. Самостоятельная работа студентов включает в себя изучение лекционного материала и первоисточников, подготовку ко всем видам аудиторных занятий, текущему контролю и промежуточной аттестации.

Целью самостоятельной работы является более глубокое изучение студентами отдельных вопросов дисциплины с использованием рекомендуемой дополнительной литературы и других информационных источников.

Задачами самостоятельной работы обучающихся являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умения использовать научно-техническую, нормативную и справочную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности, творческой инициативы, ответственности и организованности.

Основными формами внеаудиторной самостоятельной работы, используемыми при изучении дисциплины «Electroheat Engineering/ Электронагревательная техника», являются:

- изучение программного материала дисциплины (работа с учебником, конспектом лекции и иными информационными ресурсами);
- изучение и конспектирование рекомендуемых источников;
- работа с электронными информационными ресурсами (ЭИОС КГТУ) и ресурсами Internet;
- работа с компьютерными программами;
- получение консультаций по вопросам изучаемой дисциплины (аудиторно, в дни консультаций по расписанию; в любой доступной форме в электронной образовательной среде ЭИОС КГТУ и другими доступными способами);
- поиск (подбор) литературы (в том числе электронных источников информации) по заданной теме;
- подготовка к текущему контролю и промежуточной аттестации.

Для подготовки к занятиям, текущему контролю и промежуточной аттестации обучающиеся могут воспользоваться электронной библиотекой Университета, где имеется возможность получить доступ к учебно-методическим материалам как библиотеки Университета, так и иных электронных библиотечных систем. Также студенты могут взять на дом необходимую литературу на абонементе или воспользоваться читальным залом. Ответы на вопросы, выносимые

для самостоятельного изучения (повторения), должны быть кратко законспектированы в тетради для лекций. При подготовке к лабораторным работам студентам рекомендуется изучить соответствующий лекционный материал, а также вопросы, выносимые для самостоятельного изучения.

Заключение

В учебно-методическом пособии даны рекомендации по изучению дисциплины «Electroheat Engineering / Электронагревательная техника». Объем сведений, рассматриваемых на аудиторных занятиях по данной дисциплине, обеспечивает формирование базового уровня знаний и умений студентов и предполагает значительный объем самостоятельной работы для более широкого и качественного освоения основных тем дисциплины.

В пособии содержатся рекомендации по изучению теоретического материала и самостоятельной подготовке. Знания, умения и навыки в соответствующем разделе электроэнергетики и электротехники, приобретенные в ходе изучения дисциплины, позволят будущим специалистам в дальнейшем успешно решать практические задачи в профессиональной деятельности.

Библиографический список

1. Юдаев, И.В. Электрический нагрев: основы физики процессов и конструктивных расчетов [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. В. Юдаев, Е. Н. Живописцев; ред. С. В. Макаров; рец.: П. Л. Лекомцев, А. М. Башилов, А. И. Алиферов. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система
2. Юдаев, И. В. Расчет электротермических процессов и оборудования: учебное пособие / И. В. Юдаев, С. В. Машков, М. Р. Фатхутдинов. – Самара: СамГАУ, 2018. – 218 с. – ISBN 978-5-88575-541-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система
3. Юденич, Л. М. Светотехника и электротехнология: учебное пособие / Л. М. Юденич. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 104 с. – ISBN 978-5-8114- 4507-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система
4. Лысаков, А. А. Электротехнология. Курс лекций: учебное пособие / А. А. Лысаков. – Ставрополь: СтГАУ, 2013. – 124 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система

ЗАДАНИЯ ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ
(для студентов заочной формы обучения)

Задание по контрольной работе, выполняемой студентами заочной формы обучения предполагает решение двух задач по вопросам расчета параметров печей сопротивления. Подготовка работы осуществляется студентом самостоятельно с использованием лекционного материала, материалов лабораторных занятий и учебной литературы.

Задание 1 - Тепловой расчет печи сопротивления

Целью теплового расчета является определение параметров (энергетических, тепловых, геометрических), при которых обеспечивается проведение заданного технологического процесса. По результатам расчета определяют установленную мощность, проводят выбор материалов и толщины футеровки. Варианты исходных данных для выполнения задания приведены в таблице 3

Определить:

1. Время цикла, нагрева и приведенный коэффициент излучения.
2. Потребляемое тепло и мощность печи.
3. Удельный расход электроэнергии и производительность печи.
4. Тепловой коэффициент полезного действия.

Таблица 3 – Исходные данные для выполнения задания № 1

Наименование данных	Номер варианта				
	01	02	03	04	05
Наименование нагреваемых изделий	З	И	Пал	С	В
Масса изделия М, кг	405	67	96	89	166
Длина электропечи, L, м	4,5	1,1	1,6	1,3	1,7
Начальная температура, t_H , °С	27	34	42	37	30
Конечная температура t_K , °С	1200	1010	1000	760	790
Тепловое излучение нагреваемого объекта, ε_1	0,6	0,6	0,4	0,5	0,6
Поверхность обрабатываемого изделия F, м ²	2,3	1,5	1,7	1,6	1,3
Время выдержки, $\tau_{\text{выд}}$, сек	$6 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^4$	$11 \cdot 10^4$	$10 \cdot 10^4$	$21 \cdot 10^4$
Время охлаждения, $\tau_{\text{охл}}$, сек	$3 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$
Время загрузки и выгрузки, $\tau_{\text{з,в}}$, сек	1250	1300	1360	1450	1100

Продолжение таблицы 3

Наименование данных	Номер варианта				
	06	07	08	09	10
Наименование нагреваемых изделий	М	Г	А	Гал	К
Масса изделия М, кг	155	406	370	330	310
Длина электропечи, L, м	2,4	3,8	3,4	2,9	2,0
Начальная температура, t_H , °С	20	18	26	29	32
Конечная температура t_K , °С	895	880	660	1010	1000
Тепловое излучение нагреваемого объекта, ε_1	0,27	0,35	0,45	0,44	0,5
Поверхность обрабатываемого изделия F, м ²	1,6	2,4	2,6	1,0	0,9
Время выдержки, $\tau_{\text{выд}}$, сек	$22 \cdot 10^4$	$15 \cdot 10^4$	$13 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^4$	$8,5 \cdot 10^4$
Время охлаждения, $\tau_{\text{охл}}$, сек	$1,9 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$
Время загрузки и выгрузки, $\tau_{\text{з,в}}$, сек	1350	1600	2000	1850	1770

Продолжение таблицы 3

Наименование данных	Номер варианта				
	11	12	13	14	15
Наименование нагреваемых изделий	Коб	Мол	Н	О	Св
Масса изделия М, кг	290	275	520	505	355
Длина электропечи, L, м	2,7	2,6	3,0	2,8	3,5
Начальная температура, t_H , °С	31	55	67	97	17
Конечная температура t_K , °С	1200	1300	1250	1115	1005
Тепловое излучение нагреваемого объекта, ε_1	0,66	0,29	0,23	0,32	0,43
Поверхность обрабатываемого изделия F, м ²	1,5	1,3	1,4	1,1	1,6
Время выдержки, $\tau_{\text{выд}}$, сек	$8 \cdot 10^4$	$6,6 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^4$	$6,6 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^4$
Время охлаждения, $\tau_{\text{охл}}$, сек	$2,1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$
Время загрузки и выгрузки, $\tau_{\text{з,в}}$, сек	1440	1140	1370	1630	1580

Задание 2 - Расчет и выбор нагревательных элементов печи сопротивления

Целью расчета является определение параметров нагревательных элементов, необходимых для обеспечения требуемых параметров электротехнологического процесса при заданных электрических параметрах печи сопротивления (мощность, напряжение). Варианты исходных данных для выполнения задания приведены в таблице 4.

Определить:

1. Основные электрические величины: I_l , I_f , R_l , R_f , P_f .
2. Параметры нагревательного элемента d , W , L_f , R_f , W_d .
3. Массу и способ укладки нагревательного элемента в печи.

Таблица 4 – Исходные данные для выполнения задания № 2

Наименование данных	Номер варианта				
	01	02	03	04	05
Мощность печи, P_n , кВт	21,6	1,8	1,65	1,55	1,7
Напряжение питающей сети, U_n , В	220	380	220	380	220
Рабочая температура печи $T_{п}$, °С	450	150	560	620	750
Ширина печи, м	0,5	0,6	0,55	0,52	0,6
Высота печи, м	0,4	0,5	0,5	0,42	0,4
Значение параметра $m=a/b$	6	6	7	5	5

Продолжение таблицы 4

Наименование данных	Номер варианта				
	06	070	08	09	10
Мощность печи, P_n , кВт	5,5	9,3	13,1	10,9	8,6
Напряжение питающей сети, U_n , В	380	380	660	380	660
Рабочая температура печи $T_{п}$, °С	920	1110	1200	700	900
Ширина печи, м	0,7	0,7	0,9	0,68	1,4
Высота печи, м	0,5	0,6	0,6	0,5	1,0
Значение параметра $m=a/b$	6	8	12	11	8

Продолжение таблицы 4

Наименование данных	Номер варианта				
	11	12	13	14	15
Мощность печи, P_n , кВт	7,7	27,5	13,5	5,7	9,6
Напряжение питающей сети, U_n , В	380	660	380	220	660
Рабочая температура печи T_n , °С	850	1120	900	800	660
Ширина печи, м	0,8	1,5	0,9	0,5	0,75
Высота печи, м	0,6	1,2	0,75	0,35	0,6
Значение параметра $m=a/b$	7	15	12	6	9

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ELECTRONEAT
ENGINEERING / ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА»**

1. Что понимается под словами «электропечи сопротивления»?
2. Какие типы печей сопротивления Вы знаете?
3. Что такое косвенный и прямой нагрев?
4. Как осуществляется передача тепла при прямом и косвенном нагреве?
5. Какие огнеупорные материалы Вы знаете?
6. Какие теплоизоляционные материалы Вы знаете?
7. Назовите жароупорные материалы.
8. Из чего изготавливаются нагревательные элементы?
9. Как осуществляется тепловой расчет печи?
10. Как определяется расчет и выбор нагревательных элементов?
11. Отличие электропечей периодического и непрерывного действия.
12. Как обозначаются электропечи?
13. Как осуществляется автоматическое регулирование температуры электропечей?
14. Что такое индукционный нагрев?
15. Чем отличаются канальные печи от тигельных?
16. Как маркируются канальное и тигельные печи?
17. Как рассчитываются канальные и тигельные печи?
18. Что такое сквозной нагрев?
19. Что такое поверхностный нагрев?
20. При каких частотах осуществляется глубинный и поверхностный нагрев?
21. Назовите область применения индукционных установок средней частоты.
22. Какое электрооборудование используется в установках средней частоты?
23. Какой диапазон частот в установках для нагрева полупроводников и диэлектриков?
24. Электрооборудование установок высокой частоты, техника безопасности при эксплуатации ВЧУ.
25. Что такое электрическая дуга?
26. Чем отличается дуга постоянного тока от переменного?
27. Как классифицируются дуговые электрические печи?
28. Какие печи относятся к печам прямого нагрева?
29. Какие печи относятся к печам косвенного нагрева?
30. Какие печи относятся к печам смешанного нагрева?
31. Что такое дуговые сталеплавильные печи (ДСП)?
32. В каких пределах бывают ДСП по емкости и мощности?

33. Какие печи называются руднотермическими (РТП)?
34. Отличие ДСП и РТП.
35. Что такое вакуумные дуговые печи (ВДВ)?
36. Принцип действия плазменных дуговых печей (ПДД).
37. Принцип работы печей электрошлакового переплава (ЭШП).
38. Автоматическое регулирование ДСП.
39. Рациональное использование электродуговых печей.
40. Использование ДСП, РТП в качестве потребителя-регулятора.
41. Особенности сварочной дуги постоянного и переменного тока.
42. Что такое электродуговая сварка?
43. Что такое контактная сварка?
44. Значение электросварки в современной промышленности.
45. Каковы условия устойчивого горения дуги?
46. Какие требования предъявляются к внешним характеристикам и динамическим свойствам источников питания?
47. Какие Вы знаете источники питания?
48. Как работают сварочные трансформаторы?
49. Для чего служат выпрямители и как они работают?
50. Для чего служат генераторы постоянного тока и как они работают?
51. Какие разновидности дуговой сварки Вы знаете?
52. Электрооборудование контактной сварки.
53. В чем сущность рациональной эксплуатации установок электрической сварки и пути экономии электроэнергии?

Локальный электронный методический материал

Максим Сергеевич Харитонов

ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Редактор И. Голубева

Уч.-изд. л. 2,3. Печ. л. 2,1.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1