1. Теоретические основы электрического нагрева

Основные методы преобразования электрической энергии в тепловую. Энергетический баланс различных методов преобразования энергий.

Особенности тепловыделения в элементах сопротивления. Основные законы теплопередачи от элемента сопротивления к объекту нагрева. Влияние геометрии рабочего пространства печи и третьих тел на теплопередачу. Основные методы расчета стационарных полей. Решение тепловых задач с внутренними источниками тепла.

Электрический разряд как преобразователь электрической энергии в тепловую. Параметры электрических дуг атмосферного и низкого давлений. Приэлектродные процессы в электрических дугах. Феноменология катодного пятна дуги. Недуговые формы электрического разряда, применяемые в электротермии.

Методы расчета электрических цепей с дугой. Вольт-амперные характеристики дуг постоянного и переменного тока. Понятие о максимуме мощности, выделяющейся в дуге. Влияние электрических режимов работы материала электродов и среды на устойчивость дугового разряда.

Перенос и преобразование энергии в электромагнитном поле. Плоская волна. Цилиндрическая волна. Электромагнитные явления в металлах с постоянной магнитной проницаемостью. Принцип индукционного нагрева. Физические основы индукционного нагрева. Методы расчета системы “индуктор-металл”. Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности системы “индуктор-металл”. Электромагнитные явления в ферромагнитных телах. Электрические цепи источников питания индукционных установок с вентильными элементами и электронными лампами. Электродинамические явления в системе “индуктор-металл”.

2. Основные виды электротермического оборудования.

2.1. Установки электронагрева сопротивления.

Основные виды и конструкции электрических печей сопротивления. Тепловой расчет печей периодического и методического действия.

Расчет нагревателей среднетемпературных и высокотемпературных печей. Особенности конструкции нагревателей с теплоотдачей преимущественно излучением.

Особенности теплового расчета электрических печей с принудительной циркуляцией атмосферы. Расчет электрических нагревателей с преимущественно конвективной теплотдачей.

2.2. Установки электродугового нагрева.

Дуговые сталеплавильные печи (ДСП). Концепция создания сверхвысокомощных ДСП (СВМ ДСП). Технологические процессы выплавки стали в ДСП обычной мощности

и СВМ ДСП. Методы интенсификации процесса плавления. Конструкция современной СВМ ДСП. Факторы, определяющие параметры плавильного пространства. Сравнительная характеристика способов выпуска металла из печи. Расчет электрических и рабочих характеристик ДСП. Критерии оптимальности при выборе электрического режима. Высокоимпедансные установки. Энергетический баланс ДСП. Технико-экономические показатели работы современных СВМ ДСП. Агрегаты ковш-печь: технологическое назначение, конструкция. Источники питания и электрооборудование ДСП. Расчет и проектирование вторичных токоподводов. Влияние электродинамических взаимодействий в системе вторичного токоподвода ДСП на вводимую в рабочее пространство мощность. Характеристика ДСП как нагрузки электрических сетей и их взаимодействие. Современные тенденции в развитии ДСП. Агрегаты комплексной обработки стали.

Руднотермические печи (РТП). Область применения, классификация, типы печей, номенклатура выпускаемых ферросплавов. Конструкция РТП периодического и непрерывного действия. Самоспекающийся электрод: конструкция, принцип работы. Схемы вторичных токоподводов печей с круглой и прямоугольной ванной. Особенности технологических процессов производства ферросилиция, силикомарганца, ферромарганца и феррохрома. Энергетический баланс РТП. Технико-экономические показатели производства ферросплавов. Расчет электрических и геометрических параметров РТП. Источники питания и электрооборудование РТП. РТП как потребитель энергии. Современные тенденции в развитии РТП.

Вакуумные дуговые печи (ВДП). Технология плавки металлов и сплавов в ВДП. Гарнисажные ВДП. Тепловой расчет гарнисажных ВДП.

2.3. Установки электрошлакового переплава.

Физические основы электрошлакового переплава (ЭШП). Современные разновидности электрошлаковой технологии. Рабочий процесс ЭШП. Основные виды и конструкции установок ЭШП. Расчет электрических параметров установки. Тепловой баланс шлаковой ванны. Конструкция кристаллизаторов и поддонов. Вторичный токоподвод, методы повышения коэффициента мощности установок ЭШП. Источники питания установок ЭШП. Системы управления, АСУТП ЭШП, алгоритмы управления электрошлаковым процессом.

2.4. Плазменные электротермические установки.

Прохождение электрического тока через газы: самостоятельный и несамостоятельный разряды, тлеющий разряд, дуговой разряд, высокочастотный разряд. Основы физики плазмы: элементарные процессы в плазме газового разряда; баланс энергии; термически равновесная и неравновесная плазмы; локальное и частичное локальное термодинамическое равновесие. Дуговой разряд: статические и динамические характеристики дуги; дуга, горящая в потоке газа; воздействие магнитного поля на дугу. Дуговые плавильные плазмотроны; дуговые струйные плазмотроны. Катоды и аноды плазмотронов. Требования, предъявляемые к катодам. Понятие о методах диагностики плазмы.

2.5. Электронно-лучевые установки.

Принцип электронного нагрева. Основные элементы электроннолучевой печи. Области применения ЭЛУ. Основные типы электронных пушек. ЭЛУ для плавки и литья металлов, их конструктивные особенности и области применения. ЭЛУ для термообработки, нанесение покрытий. Общие принципы управления электронно-лучевыми установками. Тепловой и энергетический баланс электронно-лучевой установки.

2.6. Установки индукционного нагрева.

Индукционные плавильные тигельные печи. Расчет основных параметров тигельной печи. Энергетический баланс печи. Источники питания и электрооборудование тигельных печей.

Индукционные плавильные канальные печи. Расчет печей. Энергетический баланс канальной печи. Источники питания и электрооборудование канальных печей.

Установки сквозного нагрева. Выбор основных параметров установок. Электрический расчет установок сквозного нагрева. Источники питания и электрооборудование на средних частотах. Индукционная поверхностная закалка. Выбор основных параметров установок индукционной закалки.

Высокочастотный нагрев металлов. Ламповые генераторы. Режимы работы ламповых генераторов. Высокочастотный нагрев диэлектриков. Типы рабочих конденсаторов и их расчет. Установки зонной плавки полупроводников.

3. Основы автоматического управления электротермическими процессами и установками.

Принципы и задачи автоматического управления электротермическими установками.

Автоматическое управление электропечами сопротивления. Позиционные регуляторы температуры. Системы непрерывного регулирования температуры. Современные типовые регуляторы температуры.

Автоматическое управление индукционными ЭТУ. Управление плавильными установками промышленной частоты. Принципы управления индукционными установками на средних частотах. Управление высокочастотными ЭТУ с ламповыми генераторами.

Автоматическое управление режимами дуговых сталеплавильных печей. ДСП как объект регулирования. Задачи управления. Параметры регулирования электрического режима. Промышленные регуляторы ДСП. Системы управления на базе промышленных контроллеров, структурные схемы.

Автоматическое регулирование руднотермическими печами. РТП как объект регулирования. Требования к регуляторам.

Автоматическое управление вакуумными дуговыми печами. Требования к автоматической системе ведения плавки. Автоматические регуляторы длины дуги и мощности ВДП.

Автоматическое управление электрошлаковыми печами. Режимы работы ЭШП и выбор параметров регулирования.

Номенклатура промышленных контроллеров, применяемых в системах автоматического управления электротехнологическими установками, и их основные характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основной список

1. Горева Л. П. Электротехнологические установки и системы. Электродуговые установки: учебное пособие / Л. П. Горева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. – 109 с.
2. Гудим Ю. А. Производство стали в дуговых печах: конструкции, технология, материалы / Ю. А. Гудим, И. Ю. Зинуров, А. Д. Киселев. - Новосибирск, 2010. - 546 с.
3. Васильев А. С. Источники питания высокочастотных электротермических установок: [монография] / А. С. Васильев, Г. Конрад, С. В. Дзлиев. - Новосибирск, 2006. - 425 с.
4. Алиферов А. Индукционный и электроконтактный нагрев: [монография] / А. Алиферов, С. Лупи. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. - 410 с.
5. Кувалдин А. Б. Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях: [монография] / А. Б. Кувалдин, А. Р. Лепешкин. - Новосибирск, 2006. - 282 с.
6. Чередниченко В. С. Дистилляционные электропечи / В. С. Чередниченко. - Новосибирск, 2009. - 395 с.
7. Чередниченко В. С. Электрические печи сопротивления. Конструкции и эксплуатация электропечей сопротивления / В. С. Чередниченко, А. С. Бородачев, В. Д. Артемьев; под ред. В. С. Чередниченко. - Новосибирск, 2006. - 571 с.
8. Чередниченко В. С. Электрические печи сопротивления. Теплопередача и расчеты электропечей сопротивления / В. С. Чередниченко, А. С. Бородачев, В. Д. Артемьев; под ред. В. С. Чередниченко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. - 623 с.
9. Комбинированные электротехнологии нанесения защитных покрыитй : [монография] / отв. ред.: В. С. Чередниченко, В. Г. Радченко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. - 259 с.
10. Рябов А. В. Современные способы выплавки стали в дуговых печах : учебное пособие / А. В. Рябов, И. В. Чуманов, М. В. Шишимиров. - М., 2007. - 188 с.
11. Плазменные электротехнологические установки: учебник для вузов / В.С. Чередниченко, А.С. Аньшаков, М.Г.Кузьмин.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 601 с.

12.Учебно-научная лаборатория автоматизации электротехнологических комплексов и теплообменных процессов в электротехнологическом оборудовании. Ч.1.Оборудование: учеб. пособие/ А.И.Алиферов, Р.А.Бикеев, Л.П.Горева и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011.- 124 с.

Дополнительный список

1. Марков Н. А. Электрические цепи и режимы дуговых электропечных установок / Н. А. Марков. - М., 1975. - 204 с.
2. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей: Справочник / Данцис Я. Б., Кацевич Л. С., Жилов Г. М. и др.; под ред. Данциса Я. Б., Жилова Г. М. - М., 1987. - 320 с.
3. Еланский Д.Г. Тенденции развития электросталеплавильного производства. Электрометаллургия. - 2001. - №5. – С. 3-18.
4. Устройство и работа сверхмощных дуговых сталеплавильных печей/ Поволоцкий Д.Я., Гудим Ю.А., Зинуров И.Ю. – М.: Металлургия, 1990. – 176 с.
5. Свенчанский А.Д. Электрические промышленные печи. Ч. 1. - Электрические печи сопротивления. - 2-е изд. М.: Энергия, 1980.

13.Сисоян Г.А. Электрическая дуга в электрической печи. - М.: Металлургия, 1974.

14.Электрические промышленные печи: Дуговые печи и установки специального нагрева / А.Д.Свенчанский, И.Т.Жердев, А.М.Кручинин и др./ Под ред. А.Д.Свенчанского. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1981. - 296 с.

15.Финкельнбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. - М.: Иностранная литература, 1961.

16.Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е. Индукторы для индукционного нагрева. - М.: Энергия, 1974.

17.Вайнберг А.М. Индукционные плавильные печи. - М.: Энергия. 1967.

18.Свенчанский А.Д., Гутерман К.Д. Автоматическое регулирование электрических печей. - М.: Энергия, 1965.

19.Микулинский А.С. Процессы рудной электротермии. - М.: Энергия, 1965.

20.Электрошлаковые печи. Под ред. Б.Е. Патона, Б.И.Медовара, - Киев: Наукова Думка, 1976.

21.Грановкий В.Л. Электрический ток в газах. Ч.1. Общие вопросы электродинамики газов. - М.: ГИИТЛ, 1952.

22.Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Ч.2. Установившийся ток. - М.: Наука, 1971.

23.Смелянский М.Я. Электронные плавильные печи. - М.: Энергия, 1971.

24.Турчак Л.И. Основы численных методов. - М.: Наука, 1987.

25.Тихонов А.Н., Костомаров Д.П. Вводные лекции по прикладной математике. - М.: Наука, 1984.

26.Шапалис В.В. Моделирование технологических процессов. - М.: Машиностроение, 1973.

27.Автоматическое управление электротермическими установками: Учебник для вузов./А.М.Кручинин, К.М.Махмудов, Ю.М.Миронов и др.; под ред. А.Д.Свенчанского.- М.: Энергоатомиздат, 1990. - 416 с.

28.Свенчанский А.Д. и др. Электроснабжение и автоматизация электротермических установок: Учебник для техникумов./Свенчанский А.Д., Трейзон З.Л., Мнухин Л.А. - М.: Энергия, 1980. - 320 с.

29.Электротехнологические промышленные установки: Учебник для вузов / И.П.Евтюкова, Л.С.Кашевич, Н.М.Некрасова, А.Д.Свенчанский; под ред. А.Д.Свенчанского. - М.: Энергоатомиздат, 1982.

30.Элекрооборудование и автоматика электротермических установок: Справочник / Альтгаузен А.П., Бершицкий И.М., Смелянский М.Я., Эдемский В.М. - М.: Энергия, 1978. - 304 с.

31.Электротермическое оборудование: Справочник / Под ред. А.П.Альтгаузена. - 2-е изд. переработ. и доп. - М.: Энергия, 1980.- 416с.

32.Аньшин В.Ш. и др. Трансформаторы для промышленных электропечей. - М.: Энергоатомиздат, 1982.

33.Установки индукционного нагрева / Под ред. Слухоцкого А.Е. - Л.: Энергоатомиздат, 1981. - 328 с.

34.Окороков Н.В.. Дуговые сталеплавильные печи. - М.: Металлургия, 1971.

35.Еднерал Ф.П. Электрометаллургия стали и ферросплавов. - М.: Металлургия, 1977.

36.Шевцов М.С., Бородачев А.С. Развитие электротермической техники. - М.: Энергоатомиздат, 1983.

37.Минеев Р.В. и др. Графики нагрузок дуговых электропечей. - М.: Энергия, 1977.

38.Данцис Я.Б. Методы электротехнических расчетов руднотермических печей. - Л.: Энергия, 1973.

39.Фарнасов и др. Плазменная плавка. - М.: Металлургия, 1968.

40.Волохонский Л.А. Вакуумные дуговые печи. - М.: Энергоатомиздат, 1985.

41.Исаченко В.П. и др. Теплопередача. - М.: Энергоиздат, 1981.

42.Материалы для электротермических установок: Справочное пособие / Под ред. М.Б.Гутмана. - М.: Энергоатомиздат, 1987.

43.Альтгаузен А.П. Применение электронагрева и повышение его эффективности. - М.: Энергоатомиздат, 1987.

44.Курапин И.Н., Курапина М.Н. Руднотермические печи. Учебное пособие / - Новосибирск: НГТУ, 1993. - 170 с.