Расчёт тепловой работы индукционной нагревательной печи

Екатеринбург 2010

**Реферат**

В данной работе описана индукционная нагревательная печь, служащая для нагрева заготовок из алюминиевых сплавов перед прессованием на горизонтальном гидравлическом прессе усилием 19,1 МН.

Произведен тепловой расчет индуктора сквозного нагрева металла.

**Введение**

Электропечи обладают существенными преимуществами по сравнению с топливными печами: обеспечивают большие скорости нагрева и высокую производительность, легкость и точность регулировки теплового режима, возможность нагрева отдельных участков изделия, легкость герметизации и возможность нагрева в вакууме, лучшие условия труда, более высокий КПД (отсутствуют потери с выходящими газами). Основным недостатком таких печей является большая стоимость электроэнергии по сравнению со стоимостью топлива. Условия теплообмена в рабочем пространстве электропечей определяются способом преобразования электрической энергии в тепловую.

В индукционных печах нагрев происходит за счет выделения теплоты непосредственно в нагреваемом металле вихревыми токами, наводимыми в нем переменным магнитным полем. Данные печи широко применяются в качестве нагревательных печей при обработке цветных металлов и сплавов, а так же для получения особо качественных изделий, так как в такой печи отсутствует окислительная атмосфера продуктов сгорания топлива.

Применение индукционного нагрева взамен нагрева в печах сопротивления позволяет:

– быстро выводить печь на рабочую температуру;

– исключает простои, связанные с перегоранием нагревательного элемента;

– обеспечивает энергосбережение при одно- и двусменной работе;

– обеспечивает равномерную температуру заготовки.

Индукционный нагрев позволяет эффективно и быстро нагревать проводящие материалы (металлы, графит др.), за счёт наведения в них вихревых токов. Устройство, с помощью которого в нагреваемом теле наводятся вихревые токи, называется индуктором. К индуктору может быть подведено напряжение промышленной или повышенной (средней, высокой) частоты. От частоты подведённого к индуктору напряжения зависит коэффициент полезного действия и глубина одновременно нагреваемого слоя металла. Наиболее эффективен нагрев на повышенных частотах.

Постоянно расширяющееся многообразие технологий, в которых применяется индукционный нагрев, определяет многообразие форм и видов индукторов, функциональный, мощностной и частотный диапазон индукционного оборудования.

Сегодня индукционный нагрев занимает доминирующее положение в ряде технологий, вытеснив другие виды нагрева. Например, литейные участки большинства машиностроительных предприятий оснащены именно индукционными установками, для пайки инструмента применяется только ТВЧ-нагрев.

1. **Конструкция печи**

Индукционные нагревательные установки в настоящее время становятся неотъемлемой частью многих технологических процессов обработки черных и цветных металлов, что определяет разнообразие их конструкций.

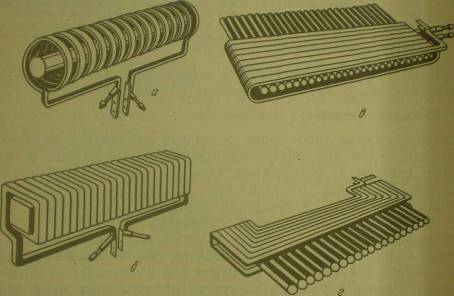


Рис. 1. Схемы индукционных нагревательных установок с проходными индукторами разного поперечного сечения: а – круглого; б – квадратного; в - овального; г – щелевого

Для нагрева заготовок по всей длине применяют соленоидные многовитковые проходные индукторы круглого, квадратного или прямоугольного сечения (рис. 1, а и б), для местного нагрева концов длинных заготовок (прутки, трубы) – овальные и щелевые (рис. 1**,** в и а), для нагрева пластин и лент – овальные, для нагрева кольцевых заготовок (бандажи колес) – индукторы с замкнутым магнитопроводом аналогично принципу работы индукционных канальных печей, при нагреве листового материала – индукторы с поперечным магнитным полем.

В индукционных нагревательных установках заготовки перемещают толкателем с кривошипным (в кузнечных нагревателях типа КИН-К), реечным, гидравлическим или пневматическим приводом (типа КИН-П), «шагающей» направляющей при возвратно-поступательном ее перемещении внутри индуктора от кулачкового механизма (в кузнечных нагревателях типа КИН-Ш); длинные стальные заготовки перемещают приводными «магнитными» роликами (с постоянными магнитами), немагнитные – роликовыми протяжными механизмами, когда ролики устанавливают между секциями длинного индуктора. [2]

Нагрев алюминиевых слитков перед прессованием производят в индукционной печи методического действия.

Нагрев заготовок в установке осуществляется методическим способом, который заключается в последовательном нагреве заготовок до заданной температуры, по мере прохождения их через индуктор, состоящий из трех однофазных индукторов, включенных на три фазы питающей сети.

Индукционная печь представляет собой нагревательную установку, работающую по принципу трансформатора с разомкнутым сердечником, первичной обмоткой которого является индуктор, а вторичной – поверхностные слои нагреваемой заготовки. При действии переменного электромагнитного поля, создаваемого индуктором, в поверхностных слоях слитков, находящихся в этом поле, индуцируются электрические токи, которые разогревают эти слои заготовки. Передача тепла от поверхностных слоев слитка и его глубинным объемом осуществляется теплопроводностью.

Для этого метода нагрева характерно наличие температурного перепада по сечению слитка, пропорционально скорости нагрева, то есть мощности, приходящейся на единицу поверхности слитка.

Конструктивно индуктор, состоящий из трех однофазных индукторов, представляет собой трубу, в которую с одного конца загружаются не нагретые слитки, а с другого конца выгружаются нагретые слитки. Продвижение слитков через индуктор производится с помощью толкателя. За один проход толкателя одновременно происходит загрузка одного слитка в индуктор, продвижение всех слитков, находящихся в индукторе, на длину одного слитка и выгрузка из индуктора одного нагретого слитка. Нагрев слитков в индукторе до заданной температуры происходит постепенно по мере продвижения их по индуктору.

Для постоянного контроля температуры слитка, находящегося на выходе из индуктора, печь снабжена торцевой термопарой, которая своими электродами постоянно уперта в торец слитка и автоматически отводится в сторону специальным механизмом на период выгрузки слитка из индуктора. Кроме контроля температуры термопара выполняет функцию датчика, по сигналу которого производится включение и отключение индуктора от сети. При нагреве слитка, находящегося на выходе из индуктора, до заданной температуры термопара дает сигнал на отключение индуктора, то есть прекращение нагрева, при охлаждении слитка на 8–15оС ниже заданной – на включение индуктора, то есть на возобновление нагрева.

Для нагрева слитка каждого размера до заданной температуры необходимо определенное время нахождения его в индукторе. Поэтому в зависимости от темпа работы пресса и возможности печи, возможны следующие варианты работы пресса и печи:

– пресс закончил предыдущий цикл прессования, готов принять новый слиток, печь готова выдать очередной, нагретый до заданной температуры слиток. Пресс и печь работают синхронно;

– пресс готов принять новый слиток, печь не готова выдать очередной слиток, то есть его температура не достигла заданной. Пресс и печь работают не синхронно, темп работы пресса превышает темп работы печи;

– пресс не готов принять новый слиток, печь готова выдать очередной, нагретый до заданной температуры слиток. Пресс и печь работают не синхронно, темп работы пресса отстает от темпа работы печи.

Печь может работать в автоматическом режиме. В этом случае загрузка слитков в печь, их нагрев и выгрузка нагретых слитков из печи осуществляется автоматически по команде аппаратчика с пульта управления прессом. При необходимости указанная команда может быть подана с пульта управления печью.

Мощность индуктора отрегулирована таким образом, чтобы при нагреве слитков любого размера из любого высоколегированного сплава перепад температуры по поперечному сечению слитка не превышал 40оС.

Нагретый до заданной температуры слиток следует выгружать из индукционной печи не раньше, чем за 2 минуты до задачи его в контейнер.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1. Техническая характеристика индукционной печи

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Величина |
| Габаритные размеры, мм:  длинна  ширина  высота | 7945  1700  1902 |
| Размеры нагреваемых слитков, мм:  диаметр  длина | 270  500 |
| Длина индуктора, мм | 4200 |
| Максимальная температура нагрева, ºС | 550 |
| Производительность печи, кг/ч | 2500 |
| Расход воды, охлаждающей индуктор, м3/ч | 5 |
| Материал нагреваемых заготовок | Алюминий и его сплавы |
| Температура охлаждающей воды, °С:  – на входе  – на выходе | +20  +40 |

**2. Расчётная часть**

Тепловой расчет индуктора сквозного нагрева металла сводится к определению тепловой, а следовательно и электрической мощности установки сквозного нагрева.

Суммарная тепловая мощность индуктора складывается из полезной мощности, затрачиваемой на нагрев металла, и из тепловых потерь в окружающее пространство:

, (1)



где – мощность затрачиваемая на нагрев металла, кВт;



– тепловые потери, кВт.



Полезную мощность индуктора (нагрев заготовок) можно определить по формуле

, (2)



где – производительность печи, кг/с;



– удельная теплоемкость металла, ;



– разность температур заготовки после и до нагрева в печи, оС;



, (3)



– температура заготовки после нагрева в печи (температура прессования), оС; – температура заготовки до нагрева, оС.



При заданных производительность печи кг/ч или кг/с, удельной теплоемкость сплава из алюминия [1] и разность температур заготовки после и до нагрева



,



по формуле (2) найдем полезную мощность индуктора (нагрев заготовок) кВт.



Тепловые потери складываются из потерь тепла с охлаждающей водой индуктора и потерь излучением, через выходное отверстие печи:

, (4)



где – потери тепла с охлаждающей водой, кВт;



– потери излучением, кВт.



Потери с охлаждающей водой можно определить по формуле.

, (5)



где – расход охлаждающей воды, кг/с;



– теплоемкость воды, ;



– разность температуры воды на выходе и входе индуктора, оС.



, (6)



где – температура воды на выходе из индуктора, оС;



– температура воды на входе в индуктор, оС.



При заданных расходе охлаждающей воды , или кг/с, теплоемкости воды [2] и разности температуры воды на выходе и входе индуктора



,



По формуле (5), найдём тепловые потери с охлаждающей водой

кВт.



Потери излучением можно определить по формуле:

, (7)



где – температура излучаемой поверхности, К;



– температура окружающей среды, К;



– площадь излучаемой поверхности, ;



– коэффициент излучения абсолютно черного тела, .



, температура излучаемой поверхности К и К.



Площадь излучаемой поверхности определим по формуле:

, (8)



где – диаметр выходного отверстия печи, м.



Диаметр выходного отверстия печи м, тогда площадь излучаемой поверхности .



Потери тепла излучением по формуле (7):

кВт.



Тепловые потери

кВт.



Суммарная тепловая мощность индуктора

кВт.



КПД индуктора можно рассчитать по формуле

, (9)



тогда



Таблица 2. Тепловой баланс индуктора

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Приход теплоты | | | | Расход теплоты | | | |
| № | Наименование статьи | Количество | | № | Наименование статьи | Количество | |
| кВт | % | кВт | % |
| 1 | Подводимая мощность к индуктору | 506,49 | 100 | 1 | Нагрев заготовок | 388,4 | 76,7 |
| 2 | Тепловые потери с охлаждающей водой | 116,4 | 22,7 |
| 3 | Тепловые потери излучением | 1,689 | 0,33 |
|  | Итого | 506,49 | 100 |  | Итого | 506,49 | 100 |

**Заключение**

После проведенных расчетов получили индукционную печь с технической характеристикой, указанной в табл. 3.

Таблица 3. Техническая характеристика печи с учетом рассчитанных показателей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование параметра | Ед. изм. | Величина |
| 1 | Материал нагреваемых заготовок | Алюминий и его сплавы | |
| 2 | Температура нагрева слитков | oС | 550 |
| 8 | Производительность | кг/с | 0,7 |
| 9 | Длина индуктора | м | 4,2 |
| 10 | Диаметр индуктора | м | 0,29 |
| 11 | Расход охлаждающей воды | кг/с | 1,39 |
| 12 | Температура охлаждающей воды:  – на входе  – на выходе | °С  °С | +20  +40 |

Развитие индукционного нагрева идет по пути совершенствования его технологии и автоматизации, в том числе и на основе достижений современной вычислительной техники. Расширяется применение высоких температур как при традиционных способах нагрева, так и при индукционном плазменном нагреве. В связи с ростом мощности установок и расширением их использования в промышленности особое значение приобрело совершенствование основной аппаратуры и источников питания, направленное на улучшение энергетических показателей и надежности установок для нагрева проводящих материалов и диэлектриков.

**Библиографический список**

1. Расчет нагревательных и термических печей: справочник. Василькова С.Б. [и др.] – М.: Металлургия, 1983. – 480 с.
2. Тымчак В.М. Конструирование и расчет нагревательных и термических печей. М.: Металлургия, 1984. – 442 с.
3. СТП УГТУ-УПИ 1–96. Общие требования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ). Свердловск: Изд-во УПИ, 1996.