

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТЕПЛА ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКЕ ШТАМПОВ****Савчук Д. О., магистрант**

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Босяков М. Н.

Аннотация. При проектировании конструкции вакуумной камеры для химико-термической обработки крупногабаритной штамповой оснастки часто возникают вопросы, связанные с подбором и проведением расчетов системы нагрева. При решении данных вопросов необходимо учитывать достаточно много параметров, таких как сила тока, рабочая температура, тип электрической сети и т. д. В данной статье приводятся находения энергетических затрат при проведении технологического процесса.

Химико-термическая обработка является одним из наиболее эффективных и широко применяемых методов упрочнения поверхности, приводящих к повышению долговечности многих ответственных деталей, которая воздействует на поверхностные слои металла, т. е. на те слои, в которых концентрируются максимальные напряжения, возникают трещины, развиваются процессы износа и коррозии. Данный вид обработки металлов и сплавов заключается в нагреве и выдержке их при определенной температуре в активных газовых, жидких или твердых средах, в результате чего изменяются химический состав, структура и свойства поверхностных слоев металлов и сплавов. При выборе материала нагревателя для вакуумных камер необходимо учитывать ряд факторов, чтобы обеспечить оптимальную производительность и долговечность [1]. Самыми распространенными материалами в производстве нагревателей являются прецизионные сплавы с высоким электрическим сопротивлением. Примерами таких сплавов являются сплавы на основе хрома и никеля (хромоникелевые), железа, хрома и алюминия (железохромоалюминиевые). Данные сплавы являются жаропрочными и жаростойкими, благодаря чему они могут работать при высоких температурах. Наличие хрома способствует образованию на поверхности материала защитной пленки, которая и обеспечивает хорошую жаростойкость. В качестве примера рассмотрим вакуумную камеру установки ионного азотирования со следующими габаритами: диаметр – 3 200 мм, длина – 5 000 мм. Вакуумные камеры с данными габаритами могут обрабатывать изделия общей массой до 20 т. Предположим, что изделия изготовлены из чугуна, например штампы, а обработка будет происходить при температуре $T = 600$ °С. Так как масса деталей и габариты камеры достаточно велики, то и масса оснастки может составлять порядка 3 т. Также исходя из технологического процесса, предположим, что вакуумная камера оснащена теплозащитными экранами ($m_{\text{экр}} = 500$ кг). Экранирование в вакуумной камере применяется для защиты от возможного взаимодействия нагревательных элементов с обрабатываемыми материалами, обеспечения равномерного нагрева и улучшения качества процесса.

На первом этапе рассчитывается полезная энергия на нагрев по формуле (1) [2, с. 18]:

$$Q_{\text{пол}} = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 23,5 \cdot 10^3 \cdot 540 \cdot (823,15 - 293,15) = 6,7257 \cdot 10^9 \text{ (Дж)}, \quad (1)$$

где m – масса деталей, оснастки, теплозащитных экранов, кг;

c_p – удельная теплоемкость материала деталей, Дж/кг·К (для чугуна 540 Дж/кг·К);

ΔT – разница температур, К.

Продолжительность технологического процесса представлен на рисунке 1, откуда видно, что на нагрев можем затратить порядка 13 ч.



Рис. 1. Процесс ионно-плазменного азотирования крупногабаритных штампов

Тогда при переводе энергии в Ватты разделим полученную энергию на время (13 ч), за которое массу садки, оснастки и т. п. нужно нагреть до заданной температуры:

$$P = \frac{6,7257 \cdot 10^9}{46800} \approx 143,712 \text{ (кВт)}.$$

Следующим этапом найдем потери тепла через стенки камеры по формуле (2):

$$Q_{\text{пот}} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot (T^4 - T_0^4), \quad (2)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана ($5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$);

ε – степень черноты (коэффициент излучения), безразмерная величина от 0 до 1, которая учитывает суммарный эффект всех теплозащитных экранов и их отражающую способность (примем следующие значения: $\varepsilon = 0,2$ – высокоэффективные экраны, $\varepsilon = 0,4$ – стандартные экраны, $\varepsilon = 0,6$ – минимальное экранирование);

A – площадь поверхности, участвующей в излучении ($A = 22,5 \text{ м}^2$).

В конструкциях вакуумных камер также имеются устройства, соединяющие рабочее пространство камеры с окружающим воздухом (нагреватели, трубы, муфелы и т. д.). Потери тепла через эти устройства называют потерями на тепловое короткое замыкание (можно принимать до 70 % от потерь тепла теплопроводностью). Примем «среднюю» поправку 30 %.

Потери на тепловые короткие замыкания (кВт) найдем по формуле (3):

$$Q_{\text{к.т.з.}} = 0,3 \cdot Q_{\text{пот}}. \quad (3)$$

Данные расчетов по вышеуказанным формулам сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Значения потерь тепла

Значение ε	Потери тепла ($Q_{\text{пот}}$), кВт	Потери на тепловые короткие замыкания ($Q_{\text{к.т.з.}}$), кВт	Общий расход тепла за цикл ($Q_{\text{общ}}$), кВт
0,2	115,257	34,58	293,549
0,4	230,515	69,15	443,377
0,6	345,772	103,73	593,214

Список использованных источников

1. Выбор нагревательных элементов для вакуумных печей : [сайт]. – Kintek Solution, 2002–2024. – URL: <https://ru.kindle-tech.com/articles/selecting-heating-elements-for-vacuum-furnaces> (дата обращения: 26.11.2025).