

С целью разделения продукта с листка, применяются разнообразные методы отрезки. Подбор оснащения в существенном уровне находится в зависимости от вида разреза, объема изготавливаемого продукта, коэффициента вытяжки, толщины использованного материала, а также размеров изготовления. Кроме того, данное условия, какие необходимо принимать во внимание, присутствует установление инвестиционная цена требуемого оборудования.

Элементы какими обладают узкие части, нередко обрезаются в машинной обрезочной печати. Продукты нелегкой фигуры извлекаются из формы, выносятся в зажимы, а также обязаны подвергаться обработке вместе с поддержкой особого оснащения: шлифовка, сверление, фрезеровка, токарная обработка.

Список использованных источников

1. Баран, Ю. В. Типы нагревателей для вакуумной формовки // Инженерно-педагогическое образование в XXI веке: материалы республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов / Минск: БНТУ, 2021. – С. 197–198.

2. Vaquiform – оборудование вакуумной формовки [Электронный ресурс] // электронный каталог. URL: <https://www.vaquiform.com/>.

УДК 621.785.532

Влияние температуры муфеля камеры с горячими стенками на параметры тлеющего разряда

Опиок А. А., магистр

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Босяков М. Н.

Аннотация:

В данной статье рассматривается влияние температуры муфеля камеры с горячими стенками на параметры тлеющего разряда. Тем-

пература стенки камеры является еще одним управляющим параметром при проведении процесса обработки в тлеющем разряде.

Для реализации процесса упрочняющей обработки методом ионного азотирования используются различные установки, в состав которых входят вакуумные камеры, которые могут иметь как горячие, так и холодные стенки. Наличие в вакуумной камере дополнительных электронагревателей как внутри ее (см. рисунок 1, а), так и за ее пределами (см. рисунок 1, б) позволяет уменьшить время нагрева деталей и существенно сократить длительность процесса, особенно при обработке массивных деталей, так как разогрев садки деталей до температуры изотермической выдержки 530–540 °С при ионном азотировании, может длиться несколько часов в зависимости от массы садки, мощности нагревателя и плазмогенератора.



Рис. 1 – Камеры с горячими стенками: нагреватели расположены внутри вакуумной обечайки (а) и снаружи вакуумной обечайки (б)

Считается, что в камерах с горячими стенками, имеющими несколько секций нагрева (как правило, три и более) в одной садке возможна обработка деталей разной массы и геометрии [1], которые, к тому же, могут иметь различную температуру. Это основано на том факте, что поток тепла от садки к стенке в камерах с горячими и холодными стенками зависит от разности температур садки и стенки согласно [2]:

$$P_{\text{охл}} = Q_{|с,ст|з} = C_o \times A_{|с,ст|з} \times F_c \times \left[\left(\frac{T_c}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ст}}{100} \right)^4 \right], \quad (1)$$

где $A_{|c, ст|э}$ – приведенный коэффициент поглощения рассматриваемой излучающей системы, имеющий различные значения для случая цилиндрических и плоских теплозащитных экранов:

$$A_{|c, ст|э} = 1 / (\varepsilon_{12}^{-1} + \Sigma (F_c / F_{эi}) (2 / \varepsilon_{эi}^{-1} - 1) + F_c / F_{ст}), \quad (2)$$

для системы цилиндрических экранов – боковая поверхность камеры;

$$A_{|c, ст|э} = \frac{1}{\varepsilon_c^{-1} + 2 \Sigma \varepsilon_{эi}^{-1} + \varepsilon_{ст}^{-1} - (n+1)}, \quad (3)$$

для системы плоских экранов – основание и верх камеры;

$\varepsilon_c, \varepsilon_{эi}$ и $\varepsilon_{ст}$, n – соответственно степень черноты садки, экранов и стенки;

n – количество теплозащитных экранов;

$C_0 = 5,67 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К}^4$ – константа излучения черного тела;

F_c – площадь садки, участвующая в теплообмене со стенкой камеры, м^2 ;

$F_{ст}$ – площадь стенки камеры, м^2 ;

$F_{эi}$ – площадь i -го экрана, м^2 ;

T_c – температура садки, К;

$T_{ст}$ – температура стенки, К.

Если камера имеет «горячую» стенку, то величина $A_{(c, ст)}$ определяется следующим образом [9]:

$$A_{|c, ст|э} = 1 / (\varepsilon_c^{-1} + (\varepsilon_{ст}^{-1} - 1) (F_c / F_{ст})), \quad (4)$$

где ε_c и $\varepsilon_{ст}$ – соответственно степень черноты садки и стенки;

F_c и $F_{ст}$ – площадь излучающей поверхности садки и стенки соответственно.

Таким образом, как следует из (1), если температуру стенки камеры локально повысить за счет внешнего нагрева, то, тем самым она начнет подогревать детали садки, находящиеся напротив соответствующей секции нагревателя, и их температура повысится относительно других деталей, находящихся соответственно выше или ниже данной локальной области стенки.

Как было рассмотрено ранее, величина тепловых потерь в камере установки зависит от интенсивности теплообмена между наружной поверхностью садки (ее обычно принимают как огибающая цилиндрической загрузки) и температурой стенки. Следовательно, величина тепловых потерь в камере определяет мощность тлеющего разряда, как на стадии разогрева садки, так и на стадии изотермической выдержки. Таким образом, в камерах с холодными стенками практически отсутствует возможность изменять мощность тлеющего разряда при сохранении неизменной температуры садки за счет вариации температуры стенки.

С целью выявления влияния температуры муфеля на параметры разряда проводились эксперименты по нагреву садки деталей в камере, которая внутри имеет встроенный четырехсекционный нагреватель, муфель и систему теплоизоляции

После загрузки камеры деталями проводилось ее вакуумирование и одновременно подавалось питание на секционный нагреватель, т. е. температура муфеля увеличивалась и, соответственно, от него нагревались детали. После достижения в камере давления 30 Па подавалось питание на катод-рабочий стол с деталями и нагрев деталей осуществлялся комбинированным способом – тлеющим разрядом и потоком тепла от муфеля.

По условиям проведения технологического процесса ионного азотирования температура садки на стадии изотермической выдержки должна быть неизменной, поэтому мощность тлеющего разряда автоматически выбирается такой, чтобы обеспечить постоянство температуры садки. Так как именно мощность тлеющего разряда обеспечивает его химическую активность, т. е. его «азотирующую способность», то этот фактор необходимо учитывать при назначении режима обработки.

С целью более детального выяснения влияния температуры муфеля на параметры тлеющего разряда проводился следующий эксперимент: в камере с встроенным четырехсекционным нагревателем, муфелем и системой теплоизоляции, монотонно поднималась температура муфеля (контроль проводился по температуре нагревателя – ТЭНа), а температура садки задавалась постоянной величиной и равной 540 °С. Следовательно, для обеспечения ее постоянства, мощность тлеющего разряда автоматически снижалась (таблица 1).

Таблица 1. – Изменение параметров нагревателя и тока тлеющего разряда в зависимости от мощности нагревателя

% задания мощности нагревателя	$T_{\text{нагр}}, ^\circ\text{C}$	$I_{\text{разр}}, \text{A}$
20	458	85
30	471	83
40	523	66
50	565	46

Таким образом, эти эксперименты показали, что температура стенки камеры (в данном случае это муфель, так как нагреватель расположен внутри камеры) является еще одним управляющим параметром при проведении процесса обработки в тлеющем разряде, т. к. она в значительной мере влияет на параметры тлеющего разряда.

Список использованных источников

1. IonitechLtd.Products. [Electronicresource]. – Mode of access: <http://www.ionitech.com/products/coldwall-equipment.html>.
2. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. В. Сукомел. Изд. 4-е. – М.: Энергоиздат, 1981. – 415 с.

УДК 621.785.532

Расчет температуры горячей стенки камеры для реализации низко-и высокотемпературного режима упрочняющей обработки

Опиок А. А., магистр

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель; к.ф.-м.н., доцент Босяков М. Н.

Аннотация:

В данной статье рассматривается расчет температуры горячей стенки камеры для реализации низко и высокотемпературного режима упрочняющей обработки. Поток тепла от садки к стенке ка-