

УДК 004

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ПЛАЗМЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОЛОМ КАТОДЕ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

Нгуен Бао Хынг

Научный руководитель: А.А. Ефремов, ассистент каф. АиКС ИК ТПУ
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: baohung.ng@gmail.com

Using numerical modeling in this article, we theoretically investigate the non-self-sustained mode of the low-pressure plasma generation in the large size hollow cathode. We also discuss the influence of the plasma parameters, material and geometry of the parts on the heating rate and the processed part temperature.

Keywords: Glow discharge, hollow cathode, fluid model, heat transfer model.

Ключевые слова: Тлеющий разряд, полый катод, гидродинамическая модель, модель теплопередачи.

Введение

Поверхностная радиационно-термическая обработка деталей, основанная на получении низкотемпературной плазмы тлеющего разряда [2], улучшает свойства их поверхностных слоев детали, увеличивает срок службы и снижает стоимость деталей машин. Одним из важных вопросов является возможность регулировки тока разряда и напряжения его горения независимо от рода используемого газа и его давления, от площади обрабатываемой поверхности.

В данной работе теоретически с применением численного моделирования исследуются несамостоятельный режим генерации плазмы низкого давления в полем катоде большой площади, влияние параметров плазмы, материала и геометрии деталей на скорость нагрева и температуру деталей. Результаты теоретического исследования сравниваются с экспериментом.

Газовый разряд в полем катоде

В экспериментах [1] плазма формируется внутри полого цилиндрического катода. Анод располагается на боковой стенке катода, изменение площади которого S_a осуществлялось его перемещением вглубь камеры – полого катода.

Уравнение баланса быстрых электронов для разряда в полем катоде в общем случае записывается в виде:

$$\frac{\gamma I_i}{e} + \frac{I_{ext}}{e} = \left(\frac{I_{ext}}{e} - \frac{\delta I_i}{e} \right) + \frac{n_f V v_i}{u} + \frac{S_a}{4} n_f \langle v \rangle. \quad (1)$$

Из уравнения (1) можно получить условие основного разряда в несамостоятельном режиме горения

$$u = \frac{P}{P(\gamma + \delta) - 1}, \quad (2)$$

связывающее безразмерные напряжение горения $u = e U_d / W$ и давление газа $P = (p/kT_e) \sigma_i L$, δ – доля потока внешних быстрых электронов, участвующих в процессе ионизации, по отношению к потоку ионов I_i на катод.

Для определения пространственного распределения электронной температуры и концентрации плазмы, влияния геометрии, размеров и материала деталей, помещаемых в полость катода, использовалось численное исследование с применением гидродинамической модели, которая описывает электронные плотности заряженных частиц и их средние энергии как функцию времени и пространства [2].

Исследование стабилизации напряжения горения 370 В при увеличении объема деталей от 2500 до $2 \times 10^4 \text{ см}^3$ (S_d / S_c от 0,071 до 0,57) показало, что ток дополнительной эмиссии изменяется от 9 до 14 А (рис. 1). При этом потенциал плазмы слабо изменяется. Детали цилиндрической формы имеют размеры $\varnothing 100 \text{ мм}$ и 400 мм, анода 30 А, давление азота 0,65 Па. На рис. 2 показаны расчетные линии уровня концентрации плазмы в несамостоятельном режиме при $I_{ext} = 30 \text{ А}$ и $U = 370 \text{ В}$ в двух сечениях полого катода с деталями.

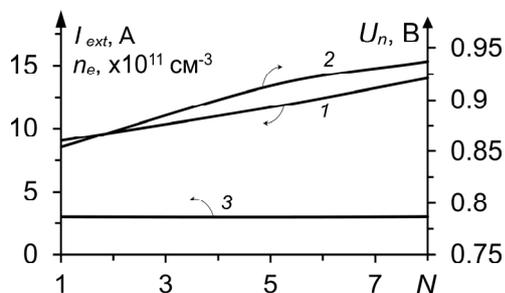


Рис. 1. Зависимость тока внешней инъекции (1), концентрации плазмы (3) и потенциала плазмы (2) от количества деталей

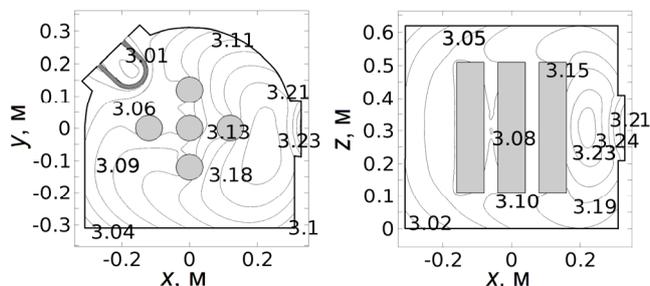


Рис. 2. Распределение концентрации плазмы (10^{11} см^{-3}) в поперечном и продольном сечениях полого катода с деталями

Свойства материала катода, конфигурация и размер детали могут оказывать влияние характеристики разряда и на степень обработки детали. Расчеты показали, что без экрана температура образцов не превышает $330 \text{ }^\circ\text{C}$ при $p = 1 \text{ Па}$, что является меньше оптимальной $530 \text{ }^\circ\text{C}$ для азотирования.

Активный экран, окружая всю загрузку деталей, играет роль создателя активных частиц и излучением обеспечивает дополнительный нагрев деталей. В табл. 1 приведено время нагревания деталей разной геометрии до температуры $400 \text{ }^\circ\text{C}$ при наличии активного экрана, расположенного на расстоянии 2 см от катода. Время нагревания деталей зависит от материала и их размеров.

Таблица 1

Время нагревания деталей

Размер детали	Время нагревания Fe, мин	Время нагревания Ti, мин
$\varnothing 100 \times 400 \text{ мм}^2$	123	86
$\varnothing 100 \times 200 \text{ мм}^2$	113	75
$\varnothing 50 \times 400 \text{ мм}^2$	66	43
$\varnothing 130 \times 400 \text{ мм}^2$	155	108
$\varnothing 130 \times 200 \text{ мм}^2$	140	93

Заключение

Проведено теоретическое исследование генерации плазмы в несамостоятельном режиме при низком давлении газа в полой катоде большого размера. Показано, что независимо от площади поверхности и материала обрабатываемых деталей возможна независимая регулировка плотности ионного тока и напряжения его горения за счет тока дополнительной инъекции.

С применением гидродинамической модели показано, что при напряжениях горения 300–400 В и давлении газа 0,65 Па достигается концентрация плазмы соответственно $3 \times 10^{11} \text{ см}^{-3}$ (азот) и $6 \times 10^{11} \text{ см}^{-3}$ (аргон) при температуре плазмы порядка 1 эВ.

Активный экран обеспечивают равномерный нагрев деталей разных форм и размеров до температуры, необходимой для азотирования. Время нагрева деталей зависит от их мате-

риала и размеров и уменьшается с увеличением количества деталей за счет их взаимного теплового излучения.

Список литературы

1. Lopatin I.V., Schanin P.M., Akhmadeev Y.H., Kovalsky S.S., Koval N.N. Self-sustained low pressure glow discharge with a hollow cathode at currents of tens of amperes // *Plasma Physics Reports*. 2012. Vol. 38, Issue 7. P. 583–589.
2. Коваль Т.В., Лопатин И.В., Огородников С.А., Нгуен Бао Хынг. Исследование генерации низкотемпературной плазмы в тлеющем разряде с полым катодом большой площади // *Известия вузов. Физика*. 2014. Т. 57, № 3/2. С. 122–125.

УДК 004

MODERN OPTIMIZATION PROBLEMS DECISION MADE USING NEURAL NETWORK HOPFIELD

Hatem Hassanin

Scientific advisor: Berestneva O.Gr.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

E-mail: Hatem@tpu.ru

Annotation

The purpose of writing this paper was to study the solution of optimization problems using Hopfield neural network in Matlab environment in order to improve that Neural network as artificial intelligence best method for provide the solutions for optimization problems. This purpose can be achieved through the following steps:

1. *Formation of the basic operation of neural networks;*
2. *Allocation of the problems encountered when solving optimization problems using Hopfield neural network using Matlab [1];*

*Neural network operates cyclically. Each of the four Hopfield neural network has outputs a signal, which is input, to all other neurons but himself, however, this network cannot be taught almost anything. Network consisting of N neurons cannot remember more than $\sim 0.15 * N$ images. Therefore, the real network should contain enough impressive number of neurons. This is one of the major flaws of the Hopfield network – a small container. In addition to all the images, do not need to be very similar to each other, or in some cases perhaps looping for recognition.*

Keywords: Optimization, hemispherical, minimization of nonlinear functions, stable point, the basin of attraction.

Ключевые слова: Оптимизация, полусфера, минимизация нелинейных функций, устойчивая точка, бассейн притяжения.

The task is to consider the discrete Hopfield network with nine bipolar neurons to recognize non-ideal images of letters H. Images S^1 , this letter are shown in fig. 1, the same numbering given pixel corresponding Hopfield neural network and their vector representation [2]:

$$S^1 = (s_1^1, \dots, s_9^1) = (1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, 1),$$

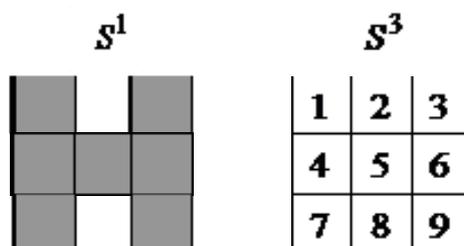


Fig. 1. Images of S^1 , S^3