

## МОДУЛЬ РАСЧЕТА ПЛАЗМООБРАЗУЮЩЕЙ СРЕДЫ В ПЛАЗМОТРОНЕ

<sup>1</sup>М.А. Кузнецов, к.т.н., <sup>1</sup>С.А. Солодский С.А., к.т.н., <sup>1</sup>М.А. Крампит, <sup>1</sup>А.В. Крюков, <sup>2</sup>В.Д. Сарычев, к.т.н., доц., <sup>2</sup>С.А. Невский, к.т.н.

<sup>1</sup>Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета, 652050, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,  
тел. (38451)7-77-65

<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, г. Новокузнецк, пр. Бардина, 25,  
тел. (3843) 46-22-77

E-mail: kuznechik85@tpu.ru

Математическое моделирование в настоящее время рассматривается как средство теоретического исследования нелинейных проблем в различных областях науки. Оно применяется в ситуациях, когда постановка эксперимента невозможна, очень сложна или очень дорога [1, 2].

Развитие компьютерной техники создает хорошие перспективы для разработки и применения достаточно сложных моделей, отражающих многофакторность и взаимосвязь различных физических процессов и явлений [3, 4]. Разработку подобных моделей удобно проводить путем использования программного комплекса CONSOL Multiphysics. CONSOL – это гибкая платформа, которая позволяет адаптировать модель к реальным условиям, добавляя или изменяя те или иные физические процессы, как описываемые стандартными интерфейсами, так и на основе установленных пользователем дифференциальных уравнений в частных производных. Все это дает возможность максимально точно приблизить полученную модель к реальности [5].

В работе рассмотрен расчет распределения скоростей, температур и плотности тока плазмообразующей среды в разработанной конфигурации плазматрона.

Пример расчета распределения скоростей, температур и плотности тока плазмообразующей среды в разработанной конфигурации плазматрона в пакете Comsol Multiphysics. Начальные и граничные условия представлены на рисунке 1.

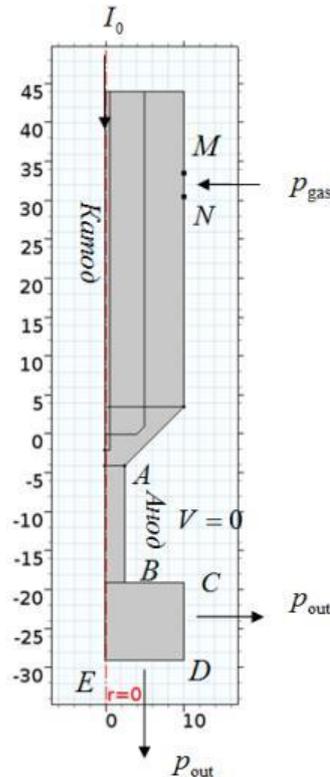


Рис. 1. Начальные и граничные условия.

Для электромагнитного поля:

На конце катода задается входная плотность электрического тока:

$$j_0 = \frac{I_0}{\pi R_0^2} \quad (1)$$

где  $I_0$  - полная сила тока,  $R_0$  - радиус катода.

На аноде задается напряжение:

$$V = 0 \quad (2)$$

На остальных границах ставится условие непроницаемости:

$$\vec{n} \cdot \vec{j} = 0 \quad (3)$$

Гидродинамические условия:

В корпус в отверстие MN подается газ под давлением:

$$p = p_{gas} \quad (4)$$

Плазма выходит из сопла в открытое пространство ограниченное расчетной областью BCDE, на границах которого задается выходное давление:

$$p = p_{out} \quad (5)$$

На остальных границах ставится условие скольжения:

$$\vec{n} \cdot \vec{u} = 0 \quad (6)$$

Термодинамические условия:

На границах выхода плазмы BCDE температура равна окружающей температуре:

$$T = T_0 \quad (7)$$

На остальных границах ставится изоляционное условие для теплового потока  $\vec{q}$  :

$$-\vec{n} \cdot \vec{q} = 0 \quad (8)$$

Начальные условия и характеристики материала:

В качестве материала катода было выбрано АРМКО-железо. В качестве газа использовался воздух. Расчеты выполнены для силы тока  $I_0=100\text{A}$ . Поле скоростей плазмы в момент времени  $t=1\text{мс}$  представлено на рисунке 2. Распределение температуры в момент времени  $t=1\text{мс}$  представлено на рисунке 3. Распределение векторного поля плотности тока в момент времени  $t=1\text{мс}$  представлено на рисунке 4.

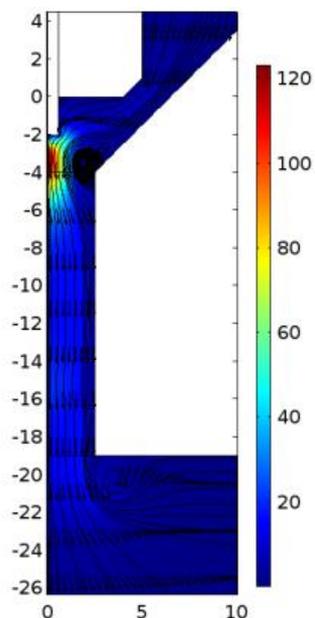


Рис. 2. Поле скоростей плазмы в момент времени  $t=1\text{мс}$ .

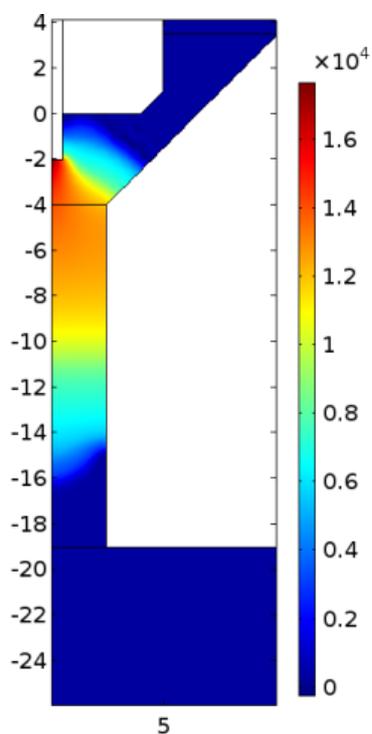


Рис. 3. Распределение температуры в момент времени  $t=1\text{мс}$ .

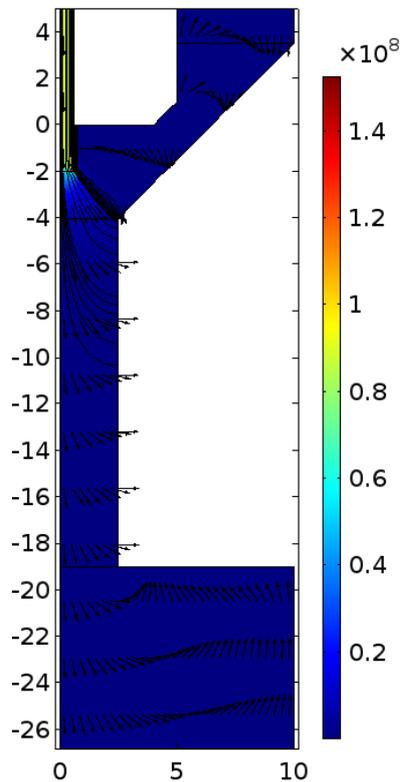


Рис. 4. Распределение векторного поля плотности тока в момент времени  $t=1$ мс.

#### **Вывод:**

Создан модуль расчета плазмы, позволяющий варьировать параметры на входе плазмотрона и получать оптимальные параметры на выходе из плазмотрона. Созданный модуль позволит моделировать различные процессы, происходящие внутри плазмотрона и на его выходе. Использование пакета для параметрического анализа условий формирования и переноса капель. Для управления размерами частиц создана математическая модель, в которую следующие параметры: материал электрода, его размер, характеристики защитного газа, силу тока, скорость подачи проволоки. Меняя входные параметры (материал электрода и диаметр, силу тока, скорость движения плазменных потоков) получим математическую модель, которая позволит управлять размерами полученных частиц.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10035)*

#### **Список литературы:**

1. Tashev P, Koprinkova-Hristova P, Petrov T, Kirilov L, Lukarski Y.J. Mathematical modeling and optimization of parameters of the mode for tungsten-inert gas remelting with nanomodification of the surface layer // J. Mater. Sci. Technol. – 2016. – V. 24. – № 4. – P 230–243.
2. Peng J, Yang L. Mathematical model on characteristics of V groove molten pool during MIG welding // Huagong Xuebao / CIESC J. – 2016. – V. 67. – № S131. – P. 117-126.
3. Биленко Г.А., Хайбрахманов Р.У, Коробов Ю.С., Компьютерное моделирование при разработке технологии сварки тонкостенных деталей из высокопрочной стали // Металлург. – 2017. – №4. – С. 25-29.

4. Kumar N., Bandyopadhyay A. Simulation of the effects of input parameters on weld quality in laser transmission welding (LTW) using a combined response surface methodology (RSM)-finite element method (FEM) approach // Opt. Lasers Eng. – 2017. – V. 36. – № 4-6. – P. 225-243.

5. Chinakhov D.A., Vorobjev A.V., Tomchik A.A. Simulation of active shielding gas impact on heat distribution in the weld zone // Mater. Sci. Forum. – 2013. – V. 762. – P. 717-721.