

УДК 537.636

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ С ПЛОСКИМ КАТОДОМ**

В.Е. Анорин

Научный руководитель: профессор, д.т.н., Р.А. Сурменев.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 43, 634050

E-mail: vea7@tpu.ru

**SIMULATION OF THE MAGNETRONIC FIELD OF A MAGNETRON SPUTTERING SYSTEM
WITH A FLAT CATHODE**

V.E. Anorin

Supervisor: Professor, Doctor of Technical Sciences, R.A. Surmenev.

National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 43, 634050

E-mail: vea7@tpu.ru

***Abstract.** In this work, we have simulated the magnetic field of a magnetron sputtering system in a flat target cathode with specified materials using the FEMM 4.2 program. The dependence of the magnetic field on the distance from the target is provided and discussed*

Введение. Магнетронные распылительные системы (МРС) с плоским катодом являются наиболее распространенными для решения различных промышленных задач. В данной конструкции плоская мишень-катод, закрепленная над магнитной системой, распыляется на подложку за счет эффекта магнитной ловушки и локализации заряда [1, 2]. Магнитное поле, скрещенное с электрическим полем, позволяет удерживать плазму разряда у поверхности мишени [3]. Зона эрозии катода-мишени, ее ширина и положение определяются конфигурацией линий магнитного поля магнетрона [1]. В МРС используются постоянные магниты, для создания вблизи катода магнитного поля с замкнутыми силовыми линиями. Для расчета параметров зоны эрозии мишени и области локализации заряда необходимо учитывать распределение магнитного поля данной системы. Таким образом, актуальность данной работы состоит в изучении методом математического моделирования влияния геометрических размеров области эрозии мишени и конструктивных особенностей магнетрона на распределение магнитного поля в МРС с плоским катодом.

Экспериментальная часть. Для моделирования магнитного поля использовалась программа FEMM 4.2, находящаяся в свободном доступе в сети интернет, которая позволяет производить расчет конфигурации линий магнитного поля методом конечных элементов [4]. Расчеты проводятся, основываясь на уравнении (1)

$$\frac{1}{\mu} \nabla^2 \mathbf{A} = \mathbf{J} \quad (1)$$

где \mathbf{A} – векторный потенциал поля, μ – магнитная проницаемость вещества, \mathbf{J} – плотность токов.

Используя данную формулу, программа находит потенциал A , используя для этого заданные условия. Затем происходит построение силовых линий магнитного поля и расчет магнитной индукции и напряженности магнитного поля во всех точках заданной области [4].

Характер распределения магнитного поля МРС, изучаемой в данной работе, представлен на рисунке 1.

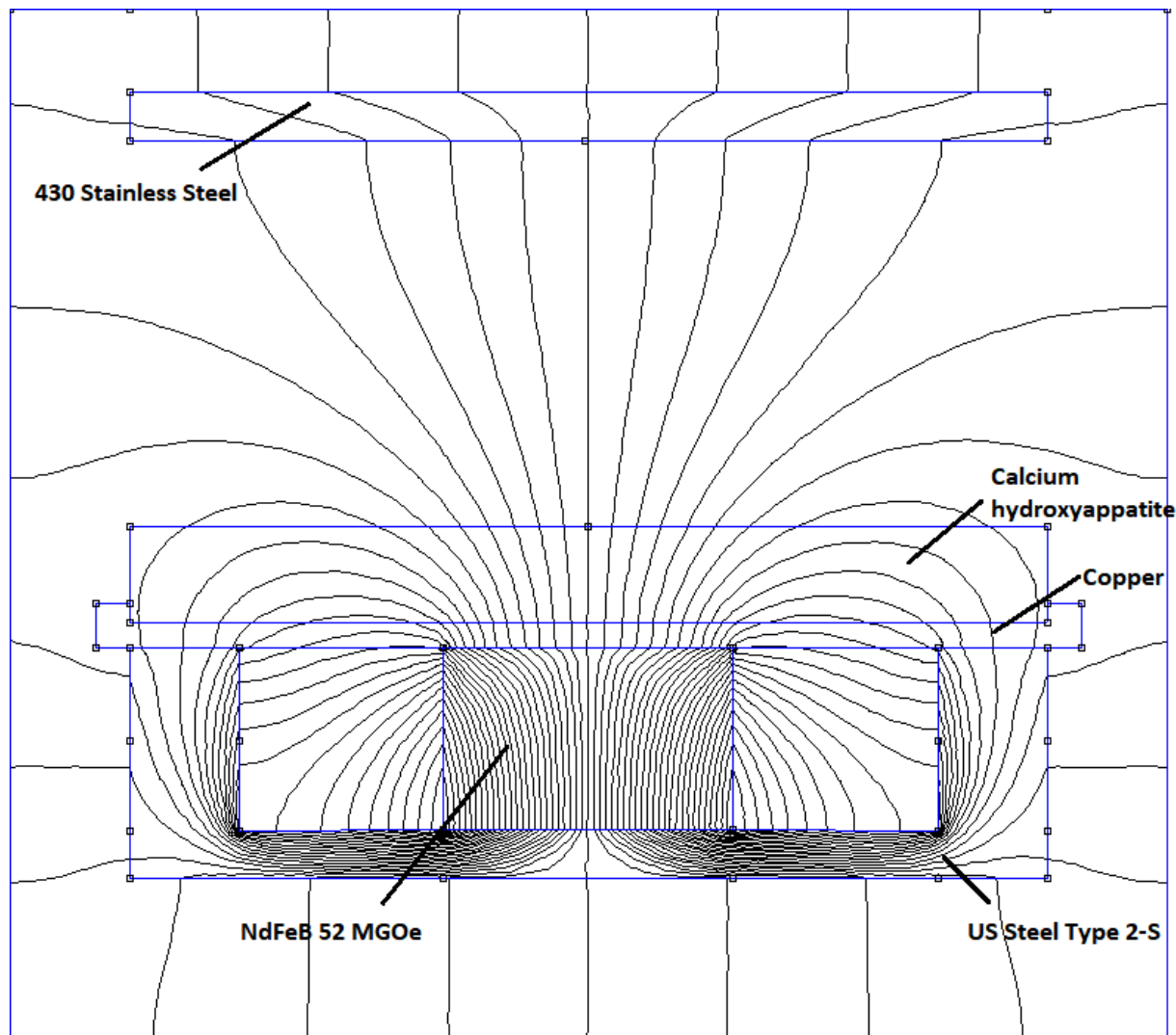


Рис. 1. Магнитное поле магнетронной распылительной системы с плоским катодом

В данной модели постоянные магниты выполнены из неодим-железо-бора 52, коэрцитивная сила материала $H_c = 891300 \text{ A/m}^2$. Материал магнитопровода – электротехническая сталь с относительной магнитной проницаемостью $\mu = 94000$. В качестве изолятора используется медь, в качестве подложки – нержавеющая сталь AISI 430 ($\mu = 409$). Материал мишени – гидроксипатит кальция. В качестве среды принимается воздух. Расстояние от мишени до подложки – 40 мм. Диаметр мишени – 95 мм. Толщина мишени – 10 мм.

Для оценки распределения магнитного поля в магнетроне целесообразно выявить зависимость индукции магнитного поля от расстояния r в пространстве «мишень-подложка». Соответствующая зависимость представлена на рисунке 2.

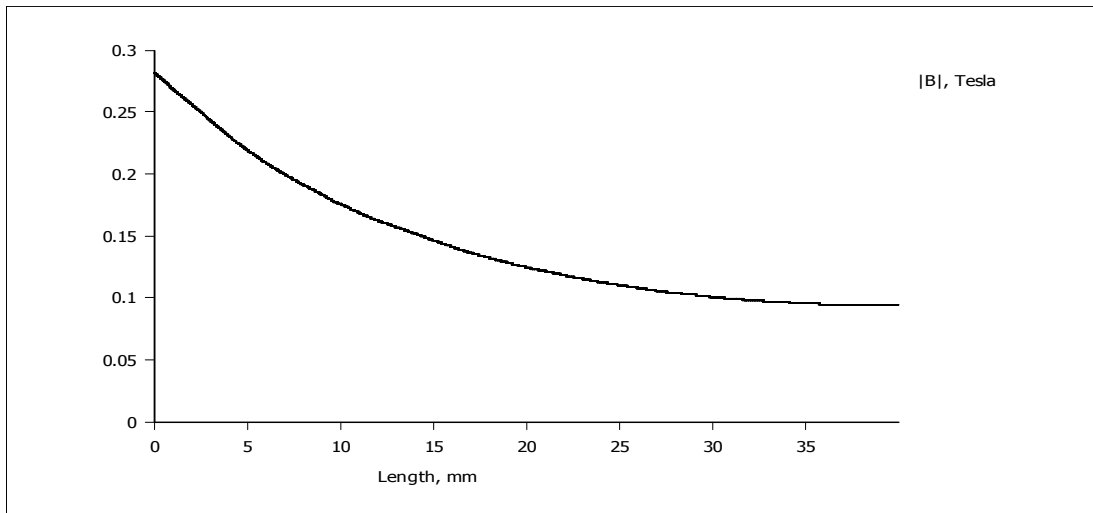


Рис. 2. График зависимости модуля индукции магнитного поля от расстояния на промежутке «мишень-подложка»

Результаты. В рамках полученной модели распределения магнитного поля, можно сделать заключение, что зона эрозии мишени имеет следующую геометрию: расстояние относительно центра – 20 мм, ширина от 10 мм до 15 мм. Вид графика зависимости модуля магнитной индукции магнитного поля от расстояния r по удалению от мишени подтверждает теоретическую зависимость $B \propto 1/r$. По полученным значениям можно сделать вывод о том, что при заданной конфигурации МРС магнитное поле вблизи мишени более чем в два раза превосходит магнитное поле вблизи подложки.

Вывод. Полученная модель магнитного поля МРС позволяет изучить его распределение в пространстве, а также геометрию зоны эрозии мишени. Данная модель может применяться для оценки ширины, формы и положения зоны эрозии мишени в МРС с плоским катодом при распылении различных немагнитных материалов.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект №22-13-20043).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмичев А.И. Магнетронные распылительные системы.– Киев: Аверс, 2008.
2. Данилин Б.С. Магнетронные распылительные системы. – Москва: Радио и связь, 1982. — 72 с.
3. Дьяконов А.Г., Фаттахов Р.К. Регулирование магнитного поля в перенастраиваемой магнетронной распылительной системе с мишенью конечных размеров // Вестник ИрГТУ. 2018. №1 (132).
4. Байда Е.И. Расчет электромагнитных и тепловых полей с помощью программы FEMM: научно-методическое пособие / Е.И Байда - Харьков: Типография НТУ "ХПИ", 2015 – 157 с.