

глубины лунки износа 0,05 мм. Наличие данного этапа особенно важно при изготовлении прецизионных и мелкогабаритных деталей машин и инструментальной оснастки. На данном этапе происходит предельное накопление трещин контактной усталости, что способствует увеличению скорости изнашивания слоев.

В результате проведенных испытаний установлено, что несмотря на наличие крупных вторичных карбидов размером 40–50 мкм и пониженной микротвердости поверхности цементованные слои стали 16CrMnS5 обладают повышенной износостойкостью по отношению к аналогичным слоям сталей 18ХГТ и 20ХН3А.

Литература

1. Ворошнин, Л. Г. Теория и технология химико-термической обработки : учеб. пособие / Л. Г. Ворошнин, О. Л. Менделеева, В. А. Сметкин. – М. : Новое знание ; Минск : Новое знание, 2010. – 304 с.
2. Поздняков, Е. П. Влияние длительности цементации на структуру и свойства конструкционных среднеуглеродистых сталей 40Х, 35ХГСА и 42CrMoS4 / Е. П. Поздняков, И. Н. Степанкин // Литье и металлургия. – 2024. – № 1. – С. 69–77.
3. Полезная модель ВУ 8260. Устройство для испытания на контактную усталость и износ / И. Н. Степанкин, И. А. Панкратов, В. М. Кенько, Е. П. Поздняков, Степанкина Л. В. ; опубл. 30.06.2012.

УДК 621.793

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗОВОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНАРНОГО МАГНЕТРОНА

В. М. Комаровская¹, О. И. Терещук², А. Г. Артемчик¹

¹Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск

²ООО «Изовак», г. Минск, Республика Беларусь

Проведено физико-математическое моделирование распределения газового потока по объему вакуумной камеры при использовании линейного коллектора для подвода рабочего газа к стандартному планарному магнетрону, используя среду COMSOL Multiphysics.

Ключевые слова: покрытие, магнетронный метод, вакуумная камера, плотность газового потока.

MODERNIZATION OF THE GAS SYSTEM OF A PLANAR MAGNETRON

V. M. Komarovskaya¹, O. I. Tereshchuk², A. G. Artemchik¹

¹Physicotechnical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk

²ООО Izovak, Minsk, the Republic of Belarus

Physical and mathematical modeling of gas flow distribution across the vacuum chamber volume was performed using a linear manifold to supply the working gas to a standard planar magnetron using the COMSOL Multiphysics environment.

Keywords: coating, magnetron method, vacuum chamber, gas flow density.

Как известно из практики, одной из основных задач при нанесении покрытий магнетронным методом остается снижение неравномерности толщины покрытия по

всей поверхности изделия. Одним из ключевых факторов, влияющих на равномерность формируемых покрытий методом магнетронного распыления, является конструкция системы газоподачи магнетронной распылительной системы (МРС). Правильно сконструированная система газоподачи к МРС позволяет снизить неравномерность распределения плотности атомов рабочего газа на поверхности мишени и значительно уменьшить градиент плотности по площади, т. е. повысить равномерность толщины получаемых покрытий.

На практике наиболее распространенными являются три способа подвода газа к мишени магнетрона [1, 2]:

- подача газа непосредственно в объем камеры;
- подача газа в магнетрон с использованием линейного коллектора;
- подача газа в магнетрон с использованием бинарного газораспределителя.

Основным недостатком первых двух способов подачи газа является неудовлетворительное соотношение между однородностью потока газа и постоянной времени (отклик на управление). Решить данную проблему возможно за счет системы бинарного газораспределителя.

Для подтверждения выдвинутого предположения авторы данной работы провели физико-математическое моделирование распределения газового потока по объему вакуумной камеры при использовании линейного коллектора для подвода рабочего газа к стандартному планарному магнетрону, используя среду COMSOL Multiphysics. Для расчетов использовались следующие входные данные: рабочий газ – аргон; поток рабочего газа 200 сссм; скорость откачки высоковакуумного диффузионного насоса 5000 л/с; диаметр выходного отверстия впускного патрубка 4,2 мм. Результаты моделирования приведены на рис. 1 и 2.

На рис. 1 представлено распределение плотности газа в единицу объема внутри вакуумной камеры. Анализ данных, полученных в результате моделирования, позволяет сделать вывод о неравномерности распространения газового потока по объему камеры.

В результате моделирования установлено, что в рассматриваемом планарном магнетроне с прямоугольной мишенью градиент плотности газового потока над поверхностью мишени колеблется снизу вверх в пределах 10,5 % (рис. 2), что может приводить к получению неравномерных по толщине покрытий.

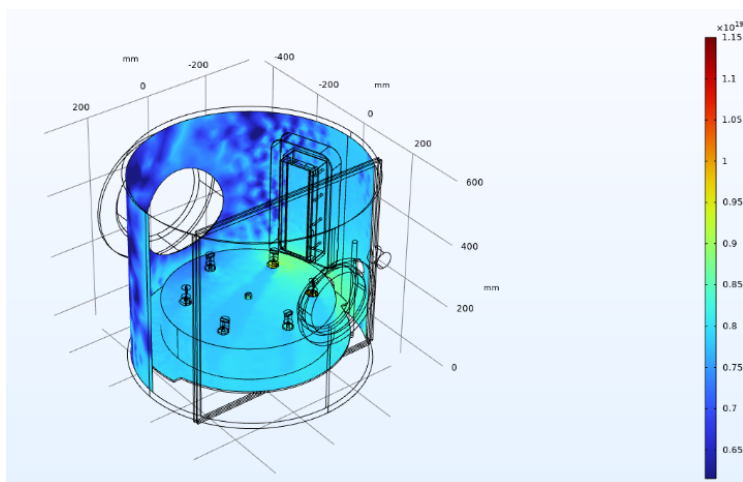


Рис. 1. Плотность рабочего газа в объеме вакуумной камеры, $1/\text{м}^3$

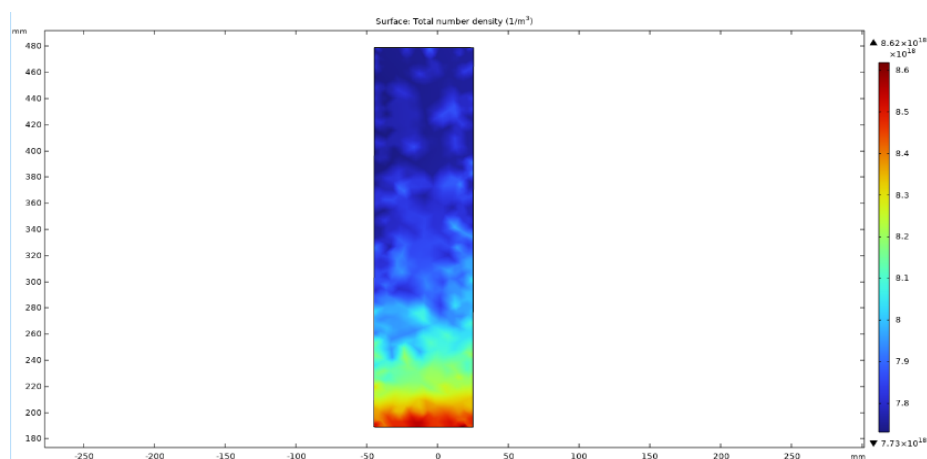


Рис. 2. Градиент плотности газового потока по поверхности мишени магнетрона

Полученные результаты моделирования указывают на необходимость модернизации системы газораспределения рассматриваемой конструкции планарного магнетрона. Для увеличения однородности распределения рабочих газов около поверхности мишени магнетрона предлагается использовать систему бинарных газораспределительных каналов (рис. 3).

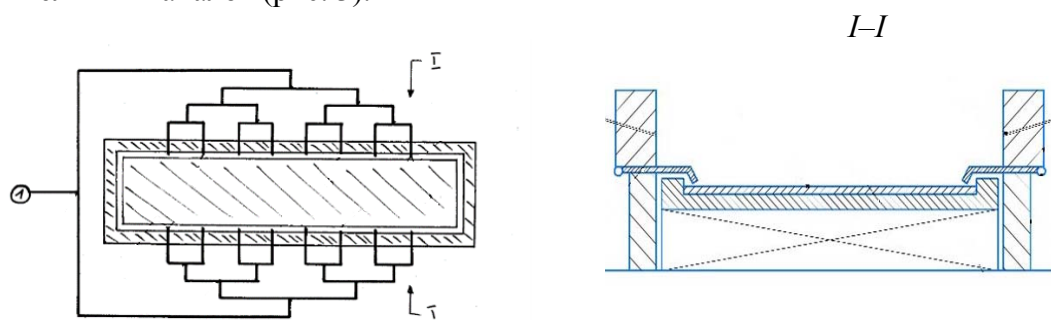


Рис. 3. Схема реализации бинарного газораспределительного устройства

Такая конструкция системы газораспределения гарантирует, что каждое выпускное отверстие имеет одинаковый коэффициент сопротивления и, таким образом, через каждое выпускное отверстие в единицу времени проходит одинаковое количество газа. Для предложенной схемы будет проведено физико-математическое моделирование, что позволит разработать газовую станцию с учетом предложенной модернизации системы газораспределения магнетрона.

Литература

1. Milde, F. Gas inlet systems for large area linear magnetron sputtering sources / F. Milde, G. Teschner, C. May // 44th Annual Technical Conference Proceedings – Philadelphia, April 21–26, 2001 / Society of Vacuum Coaters, 2001. – С. 204–209.
2. Берлин, Е. В. Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением / Е. В. Берлин, Л. А. Сейдман. – М. : Техносфера, 2014. – 256 с.