

ское сродство с углеродом, обеспечивает качественное нанесение углеродной алмазоподобной пленки.

Кроме того, наличие на алюминиевой основе промежуточных слоев, позволяет осуществить переход от мягкой основы к сверхтвердому внешнему слою из углеродной алмазоподобной пленки. Это увеличивает жесткость и адгезию пленки к основе за счет демпфирующих свойств многослойного покрытия и более благоприятного распределения напряжений по сечению покрытия.

Осаждение внешнего слоя из углеродной алмазоподобной пленки на основу из алюминия и ранее нанесенные слои, обеспечивает получение твердости поверхностного слоя детали порядка 10000 МПа при высокой адгезии и хороших эксплуатационных свойствах покрытия.

Таким образом, разработанная технология и конструкции многослойных покрытий обеспечивают формирование качественных вакуумно-плазменных покрытий на деталях из алюминия и его сплавов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Спиридонов Н.В., Кобяков О.С., Куприянов И.Л. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин. – Мн.: Высшая школа, 1988. – с. 2. Эксплуатационные характеристики тонкопленочных покрытий на немагнитных деталях/ С.А. Иващенко, А.М. Самаль, В.И. Плехотнюк и др.// Машиностроение. – Мн., 1988. - Вып. 13. – С. 81-86. 3. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с. 4. Исследование и внедрение технологии электролитно-гшазменной обработки конструкционных сталей и алюминия: Отчет о НИР (заключит.) / Бел. политехн. ин-т; Рук. В.К. Станишевский; № 01.88.0014649. — Мн., 1990. — 68 с. 5. Волин Э.М., Суворов И.С., Булычев Г.Т. Нанесение ионно-плазменных износостойких покрытий на деформирующий инструмент // Современное электротермическое оборудование для поверхностного упрочнения деталей машин и инструментов: Тез. докл. 1-го Всесоюзного науч.-технич. симпозиума, Саратов, 30 мая-3 июня 1988 г. — М.: Информэлектро, 1988. — С. 27-28.

УДК 621

*Шелез В.В., Журкевич Н.И.*

## ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

*Сморгонский завод оптического станкостроения Сморгонь,  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

До настоящего времени оборудованием, способным наносить функциональные покрытия на основе Ti (и его соединений с азотом и углеродом) и тетраэдрического аморфного углерода, являлось вакуумная установка УВНИПА-1-001. Для данной вакуумной установки характерны следующие недостатки, а именно:

- маленькая зона нанесения углеродного покрытия (не более 60 мм);
- углеродное покрытие наносится на прямом потоке без сепарации;
- крайне низкая надежность работы углеродного источника;
- маленький запас материала графитового катода;
- возможность нанесения из стационарного дугового испарителя только одного покрытия.

Все вышеперечисленные недостатки устранены в предлагаемой системе.

Вакуумная система для нанесения комбинированных функциональных тонкопленочных покрытий на основе Ti (и его соединений с азотом и углеродом) и тетраэдрического аморфного углерода (рисунок 1) состоит из источника сепарированного по массам потока металлических ионов, низкоэнергетического ионного источника и источника сепарированного по массам потока ионов углерода. Для обработки поверхности образцов перед осаждением покрытия, а также для модификации пленки в процессе работы в систему введен низкоэнергетический (50 – 150 эВ) ион-

ный источник (АИДА). Ионный источник представляет собой вариант исполнения торцевого Холловского [1] ускорителя с прямонакальным катодом.

Источник сепарированного по массам потока металлических ионов состоит из:

- корпуса 2;
- электродуговых источников металлической плазмы 3 и 4;
- системы соленоидов 1,5,8,12;
- ловушек многоатомных ионов 6,7.

Электродуговые источники металлической плазмы 3 и 4 имеют собственные системы соленоидов для получения осевого магнитного поля. Эти системы состоят из трех независимо запитанных от источника постоянного тока соленоидов, что позволяет точнее подобрать режим работы источника для работы его в системе плазменного фильтра.

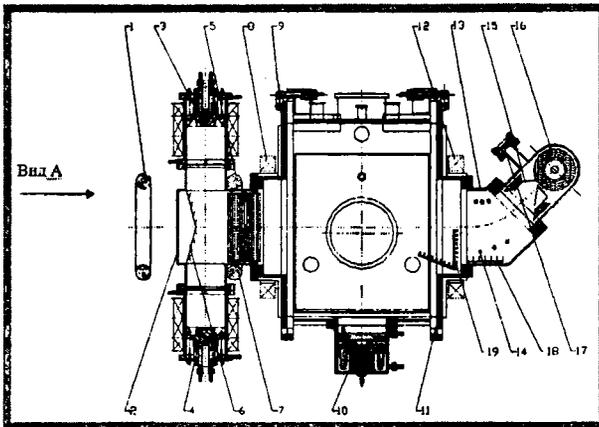


Рисунок 1 Вакуумная система для осаждения тонкопленочных комбинированных покрытий

Принцип работы плазменного фильтра состоит в замагничивании электронов плазмы в результате которого они начинают двигаться по направлению силовых линий магнитного поля, увлекая за собой «легкие» ионы за счет сил электрического взаимодействия. Новизна разработки состоит в конструкции плазменного фильтра, образованного несущими элементами вакуумной системы, электромагнитами (соленоидами) и механическими ловушками многоатомных «тяжелых» ионов.

Нужное направление магнитных силовых линий получается в результате суперпозиции полей соленоидов 1,5,8,12 и электромагнитных систем источников металлической плазмы 3 и 4. Соленоиды 1 и 5, также как и соленоиды 8 и 12, образуют системы, аналогичные катушкам Геймгольца [2] и создают в охватываемом пространстве магнитное поле перпендикулярное изначальному потоку плазмы и направленное внутрь камеры и к двери камеры, противоположной той на которую установлен плазменный фильтр. (Соленоиды не круглые, а вытянутые в вертикальной плоскости (рисунок 2), что уменьшает aberrации ионно-оптической системы) Электромагнитные системы источников металлических ионов создают внутри себя магнитное поле, которое радиально расходится за срезом магнитной системы. В результате сложения этих полей (рисунок 3) в любой точке внутри корпуса 2 вектор магнитной индукции направлен в сторону камеры установки, а при приближении к двери камеры, на которой установлен корпус, вектор магнитной индукции становится ортогональным плоскости двери.

Фильтры-ловушки предназначены, прежде всего, для исключения попадания «тяжелых» ионов в камеру установки за счет упругого столкновения со стенкой корпуса плазменного фильтра. В то же время они изолированы от корпуса и могут быть использованы для управления потоком плазмы путем подачи небольшого смещения относительно катодов источников металлической плазмы.

Источник сепарированного по массам потока ионов углерода (рисунок 1) состоит из:

- корпуса плазменного фильтра 13;
- отклоняющей катушки 14;
- фильтров-ловушек «тяжелых» ионов 18, 19;
- импульсного электродугового источника ионов 15, 16.

Импульсный дуговой источник имеет лазерную систему инициализации дугового разряда оснащенную устройством шагового перемещения точки фокусировки на поверхности катода на расстояние

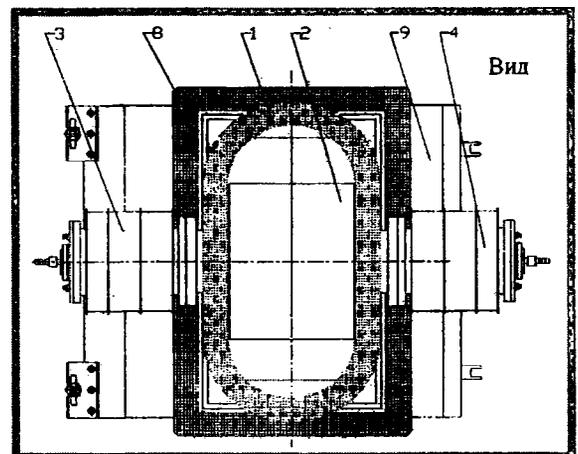


Рисунок -2- Вакуумная система для осаждения тонкопленочных комбинированных покрытий. Вид со стороны источника сепарированного потока металлических ионов

300 мм. Между катодом 16 (диаметр катода 140 мм, высота 320 мм) и анодом 15 источника, гальванически соединенных с накопителем электрической энергии – батареей конденсаторов емкостью 2000 мкФ, изначально создана разность потенциалов 300 – 320 В. Луч лазера направляется через оптический порт 17 и фокусируется на поверхности катода 16. Вследствие абляции повышается проводимость промежутка катод 16 – анод 15. По мере нарастания тока разряда на поверхности катода возникает катодное пятно (пятна) дугового разряда, ток разряда при этом лавинообразно возрастает. Из катодного пятна испаряется материал катода (углерод), при этом поток паров сильно ионизирован. Разряд имеет длительность около 10 мкс, длительность разряда определяется емкостью накопителя и суммой электрических сопротивлений разрядного промежутка и соединения накопитель – разрядный промежуток. По завершении разряда оптическая система лазерной инициализации за счет вертикального перемещения зеркала фокусирует импульс излучения в точке поверхности катода отстоящей на 1 мм от предыдущей. Цикл разряда повторяется.

Плазменный фильтр поворачивает плазменный поток на 45° и представляет собой систему вертикально расположенных проводников 14 (медные нити или трубки), изолированных от корпуса 13 плазменного фильтра и соединенных снаружи плазменного фильтра таким образом, чтобы получился изогнутый соленоид с прямоугольной формой витка. Питается соленоид током основного дугового разряда. Катод и анод источника гальванической связи с корпусом испарителя не имеют. Катод подключается к накопителю непосредственно, анод – через соленоид плазменного фильтра. На стенке корпуса плазменного фильтра, расположенной в прямой видимости катода размещен изолированный от корпуса фильтр-ловушка 18, 19 с развитой поверхностью для предотвращения попадания «тяжелых» частиц в камеру установки вследствие упругого столкновения со стенкой корпуса плазменного фильтра. Часть фильтра-ловушки 19 подвижна и может фиксироваться в пределах крайних положений указанных на рисунке, что позволяет регулировать долю «тяжелых» ионов в выходном потоке.

Новизна решения источника сепарированного по массам потока ионов углерода заключается в отказе от поворота плазменного потока на угол 90° так как в большом числе приложений глубокая сепарация потока ионов не требуется. Предложенная конструкция источника позволяет работать как на условно прямом потоке плазмы (условно - потому что в любом случае сепарация по массе ионов будет иметь место) практически без потери производительности, так и получать достаточно однородный по массе поток ионов углерода в камере системы, но с пониженной производительности. Это решение является компромиссным и ориентировано в основном на применение в промышленных вакуумных системах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вакуумная техника: Справочник/Е. С. Фролов, В. Е. Минайчев, А. Т. Александрова и др.; под общ. ред. Е. С. Фролова, В. Е. Минайчева. — М.: Машиностроение, 1985. —360 с., ил. 2. Розанов Л.Н. Вакуумная техника: учебник для вузов. — М.: Высш. школа, 1982. —207 с., ил.

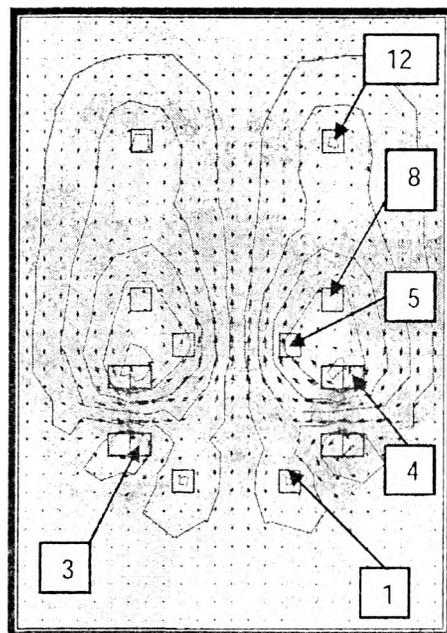


Рисунок 3 – Конфигурация магнитного поля в системе соленоидов плазменного фильтра. Номера позиций соответствуют рисунку 1