

Промышленная вакуумно-плазменная установка NanoARC^{master}

для ионного осаждения защитных и триботехнических покрытий

В.В. Береговский, Н.В. Комаров, С.А. Щуренкова, НПО «ЦНИИТМАШ»

Промышленная установка NanoARC^{master} предназначена для нанесения широкого спектра защитных покрытий методом ионного осаждения с дуговым испарением. На данном оборудовании можно получать защитные покрытия для режущего инструмента, износостойкие, жаростойкие, коррозионностойкие, эрозионностойкие покрытия для деталей машин. По структуре покрытия могут быть однослойные, многослойные, нанослойные и нанокompозитные. По составу – металлические, алмазоподобные, диэлектрические, полупроводниковые.

Установка обеспечивает:

- очистку поверхности изделий перед напылением, а также ионное ассистирование в процессе напыления с помощью ионного источника;
- равномерный нагрев изделий до заданной температуры, контроль и поддержание температуры в процессе напыления покрытий;
- стабилизацию заданного расхода технологических газов по трем каналам и контроль расхода газа по каждому каналу;
- автоматическую работу от управляющего контроллера, множество запрограммированных режимов нанесения покрытий;

- равномерность покрытий благодаря использованию планетарного стола для размещения изделий.

Состав оборудования

Основные узлы:

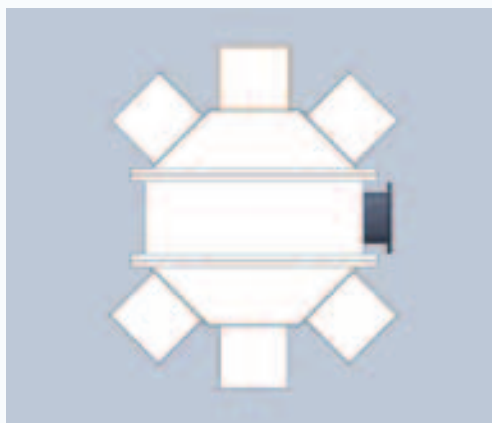
- вакуумная камера;
- откачная система;
- оборудование для нанесения покрытий:
 - мультикатодные дуговые испарители;
 - ионные источники.
- планетарный стол для размещения изделий внутри вакуумной камеры;
- источник питания для подачи смещения на подложку;
- резистивные нагреватели;
- система управления;

Вакуумная камера

Вакуумная камера содержит две двери, выполненные в виде половин шестигранника. К каждой из граней с помощью фланца крепится соответствующее устройство (дуговой испаритель, магнетрон, ионный источник). Стенки, двери и основания вакуумной камеры водоохлаждаемые.

В зависимости от требований к комплектации установка может включать в себя различные комбинации





из протяженных ионных источников, дуговых испарителей и магнетронов. Каждое из устройств может работать как самостоятельно, так и совместно с другими устройствами.

Для защиты устройств используются специальные заслонки, работающие в автоматическом режиме, расположенные на внутренней поверхности граней двери. Если в данном цикле работы какой-либо из приборов не используется, то его заслонка закрыта и прибор защищен.

Заслонки применяются также и для начальной стадии работы дуговых испарителей. В момент включения дугового испарителя заслонка закрыта, что позволяет защитить напыляемые изделия от загрязнений поверхности катода и микрокапель (их большая часть летит с катода в момент включения дугового испарителя). После включения дуга горит некоторое время, чистит поверхность катода, после чего автоматически открывается заслонка, и начинается рабочий цикл напыления.

Камера оборудована трехканальной системой напуска газа типа MKS, управляемой контроллером. Габаритные размеры:

- высота камеры (внешняя / внутренняя) 1080/900 мм;
- ширина камеры (внешняя / внутренняя) 1010/904 мм;
- глубина камеры от двери до двери (внешняя/внутренняя) 1232/1192 мм;

Рабочий объем вакуумной камеры 0,6 м³.

Предельный вакуум 1x10⁻⁶ торр.

Откачная система

Откачная система состоит из форвакуумного пластинчато-роторного (ALCATEL PASCAL series 2063SD) и высоковакуумного турбомолекулярного (LEYBOLD TURBOVAC 1000C) насосов, а также содержит электропневматические запорные элементы.

Параметры пластинчато-роторного насоса ALCATEL PASCAL series 2063SD:

- скорость откачки – 60 м³/ч,
- предельный вакуум 3·10⁻⁴ торр.

Параметры турбомолекулярного насоса LEYBOLD TURBOVAC 1000 C:

- скорость откачки 970-1100 л/с,
- предельный вакуум – 10⁻¹⁰ торр.

Оборудование для нанесения покрытий

Мультикатодный дуговой испаритель

Главным узлом установки NanoARC^{master} является уникальный по конструкции мультикатодный дуговой испаритель, разработанный и испытанный в ЦНИИТ-МАШ. Как известно, при вакуумно-дуговом методе нанесения покрытий обеспечиваются высокие скорости осаждения, низкая энергоемкость, высокая адгезия, однако существенным недостатком является наличие капельной фазы в продуктах эрозии катода. Наличие капель в толще покрытия приводит к несплошности покрытия, повышается вероятность образования трещин, снижаются его прочностные свойства. На данный момент неизвестны способы получения безкапельного вакуумно-дугового разряда. Уникальность мультикатодного вакуумно-дугового испарителя, разработанного для установки NanoARC^{master}, заключается в существенном снижении капельной фазы в покрытиях по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами. При определенных режимах капли в покрытии практически отсутствуют, а скорость осаждения остается высокой. Покрытия равномерные по составу и имеют высокие рабочие характеристики.

Мультикатодный дуговой испаритель состоит из трех торцевых дуговых испарителей, оснащенных магнитной системой управления траекторией движения катодного пятна.

Уникальная магнитная система дугового испарителя обеспечивает равномерную выработку катода и минимизацию капельной фазы. Дуга равномерно сканирует практически всю поверхность катода.

Основные характеристики:

- диаметр катода – 150 мм,
- толщина катода – 28 мм,
- рабочий ток 80-130 А,
- рабочее напряжение – 24-35 В,
- подводимая мощность моноблока – 6-15 кВт,

- коэффициент использования материала катода – 80%,
- работа дуговых испарителей полностью автоматическая, управляется контроллером,
- размер посадочного фланца мультикатодного дугового испарителя – 784x285 мм.

Дуговые испарители могут работать как по отдельности, так и в составе моноблока. Каждый дуговой испаритель имеет независимый инверторный источник питания, а также собственную систему зажигания разряда.

Блок управления дуговым испарителем состоит из:

- системы зажигания дугового разряда;
- питания электромагнитной системы дугового испарителя;
- системы гашения дугового разряда;
- защитных фильтров;
- блока питания.

Блок управления дуговым испарителем обеспечивает:

- постоянный ток разряда в дуговом испарителе;
- фильтрацию электрических колебаний, генерируемых плазмой разряда;
- защиту источника питания от высоковольтных коммутационных импульсов и импульсов, генерируемых системой зажигания дугового разряда;
- подачу напряжения питания в электромагнитную систему дугового испарителя;
- контроль наличия тока разряда;
- гашение дугового разряда путем кратковременного шунтирования дугового разряда через включенное параллельно разряду электрическое сопротивление.

Система зажигания дугового разряда подает высоковольтный сильноточный импульс в инжектор плазмы. При подаче разрядного импульса происходит пробой и испарение металлической пленки на поверхности керамического изолятора. Созданная плазма инжектируется в разрядный промежуток дугового испарителя, что обеспечивает зажигание дугового разряда. Циклограмма разрядного импульса подобрана таким образом, что в инжекторе плазмы происходит эрозия центрального электрода (катода), что обеспечивает восстановление металлической пленки на изоляторе инжектора и готовность его к следующему разрядному импульсу.

Контроль наличия напряжения на выходе сварочного выпрямителя производится внутри блока управления дуговым испарителем. Система поджигает срабатывает автоматически при погасании дуги.

Источник питания электромагнитной системы подаёт на центральную магнитную катушку постоянное стабилизированное напряжение. На боковую магнитную катушку подается переменное напряжение с постоянным смещением.

Система гашения обеспечивает гашение дугового разряда с током от 80 до 130 А путём кратковременного шунтирования разряда.

Защитные фильтры обеспечивают фильтрацию электрических колебаний, генерируемых плазмой разряда, защиту сварочного выпрямителя от высоковольтных коммутационных импульсов и импульсов, генерируемых системой зажигания разряда.

Ионный источник

Протяженный ионный источник предназначен для получения пучка ускоренных ионов различных газов и используется для проведения процессов ионной очистки и модификации поверхностей, а также для ионного ассистирования.

Основные характеристики:

- максимальная электрическая мощность – 4 кВт,
- ток разряда – 2 А,
- напряжение разряда – 1-3 кВ,
- рабочее давление в режиме ионной очистки – $(9-1) \times 10^{-4}$ торр.,
- размер посадочного фланца – 784x285 мм.



Государственный научный центр РФ «ЦНИИТМАШ» – современная научно-исследовательская организация, известная своими уникальными разработками материалов (сталей, сплавов, напыления и т.д.). А технологические процессы машиностроительного производства, созданные в ЦНИИТМАШ, широко используются предприятиями энергетического, тяжелого, транспортного, нефтехимического машиностроения, ОПК.

Основные проекты института:

- *Разработка материалов и технологии изготовления корпусных изделий реакторов на быстрых нейтронах Проект «БРЕСТ».*
- *Разработка технологии местной термической обработки замыкающих сварных швов корпусных изделий.*
- *Разработка материалов для тепловых станций, работающих в условиях суперсверхкритических параметров.*

Работа проводится по основным направлениям:

- *разработка современных материалов, отличающихся новыми оригинальными и экономными системами легирования, обеспечивающих уровень свойств надежности и ресурс для конвенциональных и атомных установок XXI века;*
- *разработка новейших технологий, в том числе нанотехнологий и оборудования для их осуществления;*
- *обеспечение качества, технологии контроля и разработка нормативной документации для всего технологического цикла и последующей эксплуатации изделий.*

ЦНИИТМАШ активно занимается обновлением технологического и исследовательского оборудования. Особо важной задачей ЦНИИТМАШ является подготовка в кратчайший период нового поколения исследователей и специалистов.

Магнетроны

При необходимости установка может быть оборудована сбалансированными или разбалансированными магнетронными распылительными системами.

Планетарный стол для размещения изделий внутри вакуумной камеры

Для расположения напыляемых деталей и повышения равномерности нанесения покрытий в вакуумной камере предусмотрен планетарный стол, состоящий из планшайбы с приводом и 12 спутников. Скорость вращения планшайбы регулируется от 0 до 12 об/мин, при этом каждый спутник совершает 9 оборотов за один оборот планшайбы.

Управление скоростью вращения – от контроллера.

На стол может подаваться постоянное или импульсное напряжение смещения до 900 В.

Источник питания для подачи смещения на подложку

Источник питания работает от контроллера.

Может работать в двух режимах: постоянном и импульсном.

- напряжение 0-300 В или 0-900 В;
- ток 60 или 20 А;
- частота генерации импульсов 40 кГц.

Резистивное нагревательное устройство

Камера содержит 6 трубчатых ТЭНов, расположенных по 3 с каждого торца. Суммарная мощность 24 кВт.

Нагреватели обеспечивают равномерный прогрев изделий.

Для контроля температуры изделий и поддержания необходимой температуры используются датчики нагрева типа Pt100. Установка обеспечивает автоматическое регулирование рабочей температуры.

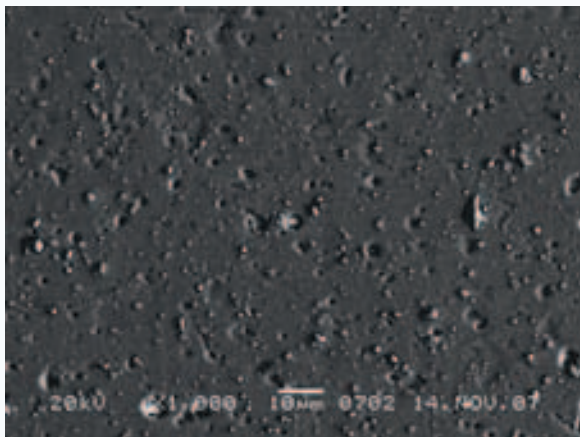
Система управления

Программирование и управление всеми узлами установки осуществляется через сенсорный экран 17" от контроллера Robo (Taiwan). Все процессы: откачки, охлаждения, поддержания необходимого давления (рабочего газа), и температуры полностью автоматизированы. Запрограммированы стандартные режимы нанесения покрытий, имеется возможность программирования собственных режимов напыления.

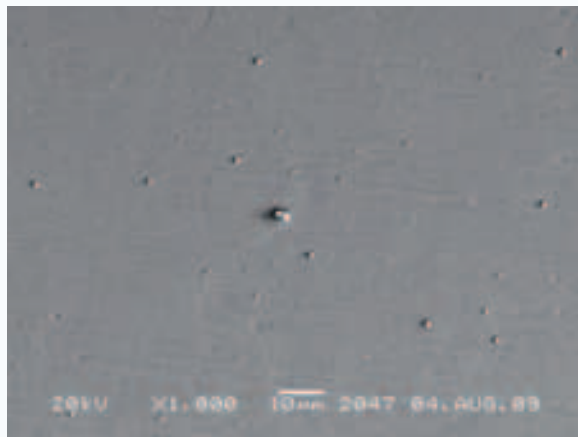
Простой и удобный интерфейс.

Получаемые на установке NanoARC^{master} покрытия могут применяться в различных областях машиностроения, атомной промышленности, космической отрасли для защиты деталей, работающих в агрессивных средах, при циклически изменяющихся нагрузках, высоких температурах и в узлах трения.

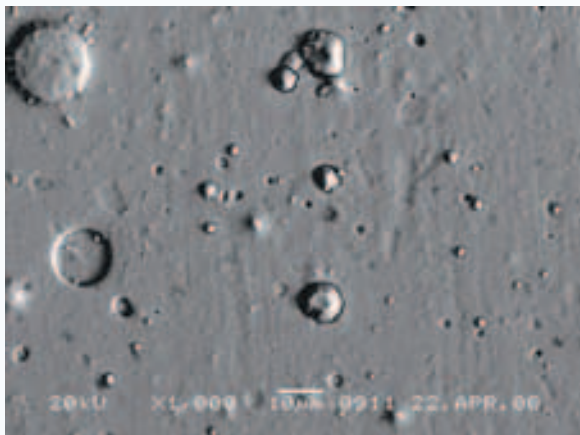
Установка Platit (Швейцария)



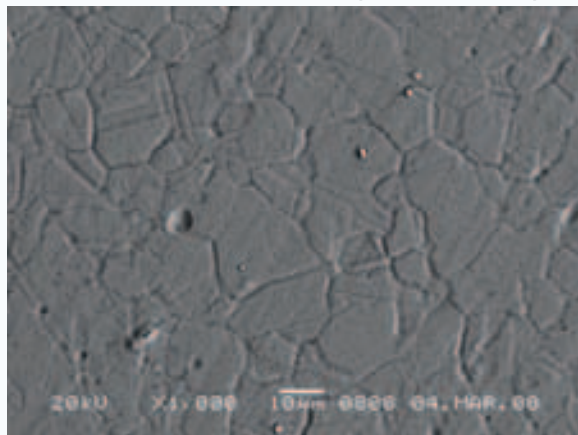
Установка NanoARC^{master}(ЦНИИТМАШ)



Установка типа ННВ 6.6



Установка с магнитной сепарацией капельной фазы



Сравнительные фото покрытий, полученных на различных типах установок