

УДК 621.793.7

Ю.А. СЫСОЕВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ПРОБЛЕМЫ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Приведен анализ основных проблем ионно-плазменных технологий, в которых плазма генерируется вакуумно-дуговым разрядом с интегрально холодным катодом. Эти проблемы разделены на группы по выделенным основным зонам, характерным для рассматриваемых технологий. Кратко охарактеризованы известные методы и оборудование, позволяющие решить некоторые из существующих проблем, а также предложены новые решения, позволяющие повысить эффективность применяемых в промышленности технологий. Разработанное оборудование является незаменимым при создании нового поколения сложнокомпозиционных покрытий, в состав которых входят как металлы, так и несколько реакционных газов, а также при автоматизации процессов ионно-плазменной обработки.

Ключевые слова: ионно-плазменная технология, вакуумно-дуговой разряд, формирование покрытий, ионная очистка, автоматизация процессов ионно-плазменной обработки.

Введение

Из всех методов нанесения покрытий различного назначения особое положение по масштабам своего внедрения в промышленность занимают ионно-плазменные технологии, в основе которых лежит метод КИБ (конденсация покрытий в вакууме из плазменного потока в условиях ионной бомбардировки конденсата) [1]. Рассматриваемые технологии (КИБ, КИБ + магнетронное распыление, КИБ + азотирование и др.) характеризуются высокими производительностью и адгезией покрытия к основе. Используемый в них вакуумно-дуговой разряд с интегрально-холодным катодом отличается высокой эффективностью генерации катодным пятном (КП) дуги плазмы проводящих материалов.

Вместе с тем в ходе реализации ионно-плазменных технологических процессов возникают определенные проблемы, связанные, в том числе, с особенностями возбуждения и существования вакуумной дуги (минимальные токи дуги, микрокапли и пр.), наличием микродуговых привязок на этапе ионной очистки, недостаточным контролем за параметрами техпроцесса. Кроме этого, отсутствие целого ряда оборудования не позволяет создавать новые техпроцессы формирования поверхностных слоев с повышенными эксплуатационными характеристиками. Этот, далеко неполный перечень вопросов, определяет тот круг проблем, которые сдерживают дальнейшее развитие ионно-плазменных технологий.

В настоящей работе выполнен краткий обзор, посвященный анализу известных проблем. Эти проблемы разделены на группы по выделенным основ-

ным зонам, характерным для ионно-плазменных технологий. Предложены новые решения, направленные на повышение производительности и качества обработки изделий.

1. Современное состояние вопроса и его анализ

В работе [2] выделены четыре основные зоны, характерные для ионно-плазменной обработки, отличающиеся протекающими в них физическими и плазмо-химическими процессами. В каждой из зон существует присущий только ей определенный круг проблем, а поскольку все они тесно взаимосвязаны, то нерешенные, или решенные не в полном объеме вопросы в одной из них будут сказываться на процессах обработки в целом.

К настоящему моменту накопился достаточно большой опыт по решению основных проблем ионно-плазменной технологии, обобщенный в работах [3 – 5]. Исходя из этих данных, с учетом [2], можно сгруппировать известные проблемы следующим образом.

В зоне формирования потоков металлической плазмы:

- обеспечение надежного зажигания вакуумно-дугового разряда в широком интервале токов, давлений и материалов катода как в стационарном, так и в импульсных режимах;
- стабилизация КП дуги на рабочей поверхности катода;
- минимизация количества и размеров микрочастиц (МЧ) в плазменном потоке;

- формирование диаграммы направленности плазменного потока оптимальной конфигурации;
- ускорение и доионизация плазменного потока в магнитном поле;
- повышение эксплуатационных характеристик: коэффициента использования плазмообразующего материала катода и его запаса; оперативностью смены отработанного катода.

Проблемы в данной зоне в основном определяются физикой вакуумно-дугового разряда и конструктивным исполнением источников плазмы. В настоящий момент большинство из них удовлетворительно решены.

В зоне взаимодействия потоков металлической плазмы с газовой мишенью:

- полное устранение МЧ за счет их испарения при взаимодействии с плазмой разряда;
- перераспределение ионного компонента плазмы оптимальным образом;
- обеспечение необходимых парциальных давлений реакционных газов;
- максимальная активация молекул и атомов реакционных газов;
- создание электромагнитных полей, обеспечивающих равномерное распределение ионного тока по сечению плазменного потока.

Следует отметить, что предложенное в [2] разделение на зоны достаточно условное. Процессы, начавшись в одной зоне, могут продолжаться в следующих. Так, например, взаимодействие потоков плазмы с газовой мишенью происходит и в зоне формирования потоков металлической плазмы, т.е. непосредственно в объеме источника плазмы.

Следующая зона является переходной между зоной взаимодействия потоков металлической плазмы с газовой мишенью и зоной формирования покрытия. Ее величина определяется температурой и плотностью плазменного потока, давлением реакционных газов, электромагнитными полями в системе и, по разным оценкам, выполненным исходя из размеров дебаевского радиуса при параметрах, характерных для различных режимов технологических процессов, может лежать в диапазоне от долей и единиц миллиметра до нескольких десятков миллиметров. В этой зоне преобладает преимущественно ионный ток на подложку.

Основные вопросы, решаемые в рассматриваемой зоне и связанные с ними задачи следующие:

- транспортировка в необходимых концентрациях и с достаточной энергией частиц, входящих в состав покрытия, к обрабатываемой поверхности;
- дополнительная расфокусировка плазменного потока.

Последняя зона – это поверхность обрабатываемого изделия, на которой идет процесс формиро-

вания покрытия. Для получения качественных покрытий здесь необходимо обеспечить:

- процесс ионной очистки без образования микродуговых привязок;
- необходимую для формирования покрытия температуру поверхности без перегрева локальных участков;
- создание условий для протекания химических реакций синтеза соединений металлов с реакционными газами.

Решение каждой из представленных задач является далеко непростым делом, поскольку требует комплексного, многофакторного учета разнообразных процессов, происходящих при реализации ионно-плазменных технологий в объеме вакуумной камеры. Для примера, кажущаяся легкость и простота зажигания дуги в вакуумно-дуговых источниках плазмы долгое время создавали видимость отсутствия проблемы поджига. Однако ее сложность в полном объеме проявилась при решении задач автоматизации ионно-плазменных процессов и обеспечения длительной работы источников плазмы в импульсном режиме. Нерешенность проблемы поджига на годы задержало развитие ряда перспективных ионно-плазменных технологических процессов [3].

Среди представленных выше проблем есть более актуальные, есть более проработанные, но ни одну из них нельзя считать окончательно решенной. Так, если стабилизация КП дуги на рабочей поверхности катода из немагнитного металла (в частности, титана) не представляет особых трудностей, то в случае катода из ферромагнитного металла (например, никеля) эта проблема становится существенной.

Решение любой технической задачи и проблемы заключается в нахождении компромисса между конкурирующими процессами. В нашем случае это наглядно проявляется на примере поиска путей устранения появления микропривязок на обрабатываемой поверхности.

В настоящий момент одним из лучших решений, применяемых для борьбы с микродугами на этапе ионной очистки, считается импульсная подача высокого напряжения на подложкодержатель с длительностью импульсов несколько мкс и паузами близкой длительности [4]. Такой метод позволяет практически полностью избавиться от микродуговых привязок. Однако при детальном рассмотрении это решение имеет и существенные недостатки, заключающиеся в следующем.

Использование импульсного режима ионной очистки увеличивает время проведения процесса. При импульсной последовательности, близкой к меандру, длительность ионной очистки увеличится более чем в 2 раза, что снижает производительность

процесса. Затем, для каждого вида покрытий и материала обрабатываемых деталей необходимо определять наиболее подходящий режим между длительностью импульса и паузой между ними. Это связано с тем обстоятельством, что за время паузы на обрабатываемой поверхности идет формирование пленки из атомов и ионов плазмы, генерируемых источником плазмы. За время, равное длительности импульса, необходимо не только удалить образовавшуюся пленку, но и произвести очистку и самой поверхности материала детали. Поскольку материалы имеют отличающиеся коэффициенты распыления, то и время удаления пленок различных материалов будет разным. Все это в конечном итоге скажется на качестве покрытий.

Среди наиболее актуальных проблем ионно-плазменной технологии на данный момент можно выделить следующие:

- надежное зажигание дуги в импульсных источниках плазмы с ресурсом на уровне $10^7 - 10^9$ срабатываний;
- устранение МЧ из плазменного потока вакуумной дуги;
- ликвидация дугообразования на этапе ионной очистки;
- разработка оборудования для получения новых сложнокомпозиционных покрытий (в частности, генераторов смесей газов заданного процентного содержания повышенной точности);
- создание приборов контроля за параметрами техпроцессов, учитывающих специфику ионно-плазменных технологий.

Решение большинства из данных проблем необходимо для решения комплексной проблемы – создание полностью автоматизированных систем ионно-плазменной обработки, а также получения нового поколения сложнокомпозиционных покрытий.

Подробный анализ этих, а также других проблем выходит за рамки данной работы. Наметим лишь некоторые возможные пути их решения.

2. Повышение эффективности ионно-плазменных технологий

Эффективность ионно-плазменных технологий определяется в первую очередь совершенством применяемого оборудования и реализуемых методов. Новые разработки, позволяющие получать улучшенные характеристики покрытий, представлены ниже.

2.1. Системы иницирования вакуумно-дугового разряда. Комплексные исследования систем иницирования (СИ) вакуумно-дугового разряда, выполненные в [3, 6], показывают, что наиболее

перспективным направлением повышения надежности и долговечности СИ технологических источников плазмы является применение композиционных материалов (КМ) для заполнения пусковых разрядных промежутков. Такие КМ отличаются повышенной устойчивостью к воздействию электрических разрядов и низким напряжением поверхностного пробоя (до 100 – 200 В/мм). Эти характеристики обеспечиваются особенностями структуры КМ, представляющей собой диэлектрическую стекловидную матрицу, заполненную мелкодисперсными частицами проводящих и полупроводниковых составляющих. Их применение обеспечивает возбуждение дуги в источниках плазмы бесконтактными системами поджига с вероятностью на уровне 95 – 98% при энергии пускового импульса 5 Дж с ресурсом СИ на уровне $10^6 - 10^7$ срабатываний.

Высокие параметры СИ при работе источника плазмы в стационарном режиме обеспечиваются также за счет подачи на пусковой инжектор импульсов поджига чередующейся полярности, при условии равенства нулю постоянной составляющей числа поданных пусковых импульсов [7]. Выполнение этих требований препятствует образованию в разрядном промежутке пускового инжектора толстой металлической пленки из продуктов эрозии катода, снижающей надежность поджига.

Повышение долговечности СИ достаточно эффективно обеспечивается также за счет принудительного перемещения КП возникшего дугового разряда от места инициации. Необходимость такого перемещения связана с тем, что КП является основным источником разрушения элементов СИ. Обычно с этой целью применяют внешнее магнитное поле. Представляется более правильным использовать магнитное поле, создаваемое током, протекающим через электрод специальной конструкции, непосредственно участвующий в создании начального сгустка плазмы. Пример такого конструктивного решения представлен в работах [8, 9].

Значительный интерес представляет запуск технологических источников плазмы путем перехода различных разновидностей тлеющего разряда в вакуумно-дуговой (ПТД). В этом случае пусковая плазма может создаваться системой массивных электродов достаточно больших размеров. Это обстоятельство резко повышает устойчивость электродной системы против разрушающего воздействия дугового разряда, что особенно необходимо в импульсном режиме работы. Кроме того, поскольку КП дугового разряда, иницируемое тлеющим разрядом, в определенных условиях с равной вероятностью возникает в любой точке рабочей поверхности катода, то эрозия последнего даже в импульсном режиме достаточно равномерна, в связи с чем сни-

маются ограничения по размерам катода, тем самым повышая ресурс источника плазмы. В данный момент использование таких источников возможно в технологических процессах, использующих реакционные газы, которые образуют на поверхности катода химические соединения с его материалом. Возникающие пленки являются активными центрами, где идет формирование КП.

2.2. Устранение микрочастиц из плазменного потока. Существенной при формировании покрытий является проблема МЧ. Являясь следствием самой природы существования КП, они непременно присутствуют в плазме вакуумной дуги. Количество МЧ зависит от материала катода, тока дуги, теплового режима, геометрии катода и может достигать до 90% от полного массопереноса материала катода. Размер МЧ лежит в основном в интервале 10 – 100 мкм, скорость движения $10^2 - 10^4$ см/с [10]. В ряде техпроцессов (например, при формировании алмазоподобных пленок, получении оптических пленок, конденсации слоев в микроэлектронике) их присутствие необходимо минимизировать, в идеале добиться полного отсутствия.

К настоящему моменту разработан ряд конструкций плазменных фильтров, выполняющих с различным соотношением числа МЧ на входе и выходе функцию очистки от МЧ [11]. Однако решение проблемы применением сепарирующих устройств усложняет и удорожает процесс, а также почти всегда снижает производительность.

Более перспективным представляется использование импульсного дугового разряда, в достаточно плотной плазме которого происходит испарение МЧ [12]. В свою очередь, использование таких разрядов требует максимального решения проблемы поджига дуги.

Интересна в рассматриваемом аспекте «шунтирующая дуга» в вакууме, являющаяся, по-сути, альтернативной разновидностью импульсного разряда. Этот вид разряда, перспективен для применения в качестве мощного импульсного источника плазмы, свободного от МЧ [11]. Главным достоинством такого источника является отсутствие в нем проблем с зажиганием дугового разряда.

2.3. Подавление микродуговых разрядов. При ионной очистке в методе КИБ срыв несамостоятельного высоковольтного тлеющего разряда низкого давления в дуговой разряд инициируется различными неоднородностями и загрязнениями – диэлектрическими пленками и включениями, микровыступами, источниками локальных газовыделений и др. [4], практически всегда присутствующими на поверхности обрабатываемого изделия. В ионно-плазменных технологических процессах подобное дугообразование является одним из основных не-

достатков, снижающих качество обработки. Снижение качества заключается в том, что возникающие КП оставляют на обрабатываемой поверхности характерный автограф – эрозионный след в виде «елочки». Предотвращение этого отрицательного явления – дугообразования, является важной задачей, полноценное решение которой позволит существенно повысить качество обработки изделий ионно-плазменными методами.

Несмотря на наличие ряда технических решений, направленных на устранение появления микродуговых разрядов на поверхности изделия при ионной очистке [5], эта проблема по-прежнему является актуальной. В определенной мере это связано с тем, что в известных решениях не учитывается энергия, запасаемая в подводящей линии. Оценка этой энергии, выполненная в [13], показывает, что при токе ионной очистки 10А и падении напряжения на микродуговой привязке порядка 30В ее достаточно для поддержания возникшего разряда еще в течении $2,6 \cdot 10^{-6}$ с после отключения источника питания. При этом, полагая скорость катодного пятна v порядка $100 \div 200$ м/с, на поверхности обрабатываемого изделия может образоваться эрозионный след протяженностью от долей до одного миллиметра.

Учет данного обстоятельства позволит повысить эффективность работы систем защиты от микродуговых привязок, а значит и качество обработки изделий в ионно-плазменных процессах.

2.4. Автоматизация процессов ионно-плазменной обработки. Трудности автоматизации процессов ионно-плазменных технологий связаны в основном со спецификой вакуумных дуговых разрядов и особенностями самой технологии. Некоторые решения в данном направлении представлены в [4]. Рассмотрим один из вопросов этой многогранной проблемы – измерение температуры деталей. Наиболее перспективным здесь является бесконтактный метод с применением пирометра. Причем для корректного получения информации необходимо решить следующие задачи:

- устранение эффекта подпыления оптической системы пирометра;
- предотвращение попадания в измерительную схему излучения плазмы из объема камеры;
- возможность попадания в фокус пирометра требуемого участка поверхности изделия.

Наиболее полно эти вопросы решены в автоматизированной системе измерения температуры, представленной в работе [14].

Не менее остро стоит вопрос о автоматизации получения смесей реакционных газов с заданным процентным соотношением компонент с погрешностью по каждому газу менее 1%. Способ получения

многокомпонентной газовой атмосферы путем напуска отдельных газов через отдельные каналы, снабженные регулируемыми элементами, имеет низкую точность. Получить этим способом смесь газов с точным соотношением компонент в рабочем объеме в течении всего времени проведения технологического процесса крайне затруднительно, а подчас и невозможно в первую очередь по причине нестабильности во времени производительности откачной системы и ее избирательности по отдельным газам.

Перспективным в этом плане является метод создания смесей газов из N газов путем циклической дискретной последовательной подачи порций исходных газов в смесительную камеру [15]. Возможности метода по обеспечению заданной точности соотношения компонент в смеси газов ограничиваются только точностью применяемых датчиков измерения давления. Разработанный на основе данного метода генератор смесей газов обеспечивает создание смесей с заданным процентным соотношением компонент (с дискретой изменения процентного соотношения 1%) с погрешностью менее 1% и может являться локальным звеном полностью автоматизированной ионно-плазменной установки. С его помощью можно как обрабатывать новые технологические процессы формирования сложнокомпозиционных покрытий, так и получать их на промышленных установках.

Заключение

В результате выполненного анализа детализирован круг проблем ионно-плазменных технологий, в основе работы которых лежит вакуумно-дуговой разряд с интегрально холодным катодом. Существующие проблемы классифицированы на четыре группы, в соответствии с выделенными основными зонами, характерными для ионно-плазменной обработки. Особенности проблем обусловлены характером протекающих в зонах физических, химических и плазменных процессов и их комбинаций. Причинно-следственная связь процессов, их взаимосвязь и существование некоторых из них в различных зонах определяют тот объем сложных, далеко нетривиальных проблем.

Существующее оборудование для реализации ионно-плазменных технологий, в котором не в полной мере решены очерченные вопросы, не позволяет получать качественные покрытия с высокими эксплуатационными свойствами.

В последнее время появились новые разработки, позволяющие если не полностью устранить, то по крайней мере существенно снизить остроту существующих проблем. К их числу относятся:

– системы инициирования вакуумно-дугового разряда, использующие для заполнения пусковых промежутков новые композиционные материалы, а в отдельных случаях переход тлеющего разряда в дуговой;

– эффективные плазменные фильтры (сепарирующие устройства) с возможностью практически полного устранения МЧ из плазменного потока, а также источники плазмы на основе импульсного разряда и «шунтирующей» дуги;

– системы защиты от микродуговых разрядов, в которых учтены все факторы их возникновения и существования (в частности, энергия, запасаемая подводящей линией);

– автоматизированные локальные системы контроля за параметрами ионно-плазменного процесса формирования покрытий и подготовки как поверхности изделий к обработке, так и необходимых рабочих сред.

Среди наиболее полно проработанных автоматизированных локальных систем можно выделить:

– автоматизированную систему измерения температуры, в которой решены вопросы запыления оптики, подсветки излучением плазмы и измерения температуры требуемой зоны поверхности детали;

– генератор смесей газов, обеспечивающий создание смесей из N газов заданного процентного соотношения с погрешностью соотношения компонент меньше 1%.

Литература

1. 50 лет Харьковскому физико-техническому институту АН УССР / Отв. ред. В.Е. Иванов. – К.: Наук. думка, 1978. – 320 с.
2. Сысоев Ю.А. Исследования по инженерии формирования поверхности с применением смесей газов / Ю.А. Сысоев, Г.И. Костюк, А.Ю. Сысоев // Новые технологии в машиностроении: труды XXI Междунар. конф., Рыбачье (3-8 сент. 2011). – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т „ХАИ”. – С. 25.
3. Аксенов И.И. Вакуумная дуга в эрозионных источниках плазмы / И.И. Аксенов. – Х.: ННЦ ХФТИ, 2005. – 212 с.
4. Андреев А.А. Вакуумно-дуговые покрытия / А.А. Андреев, Л.П. Саблев, С.Н. Григорьев. – Х.: ННЦ ХФТИ, 2010. – 317 с.
5. Барвинок В.А. Физические основы и математическое моделирование процессов вакуумного ионно-плазменного напыления / В.А. Барвинок, В.И. Богданович. – М.: Машиностроение, 1999. – 309 с.
6. Сысоев Ю.А. Иницирование вакуумно-дугового разряда в технологических источниках плазмы / Ю.А. Сысоев // Вопр. проектир. и произв. констр. лет. аппар.: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2010. – Вып. 3 (63). – С. 280-295.

7. А.с. 1792206 СССР, МКИ Н 01 Т 1/20. Способ иницирования вакуумно-дугового разряда в источниках плазмы и управляемых разрядниках / Ю.А. Сысоев. (СССР). – № 4880773/07; 11.11.90. – 6 с.

8. А.с. 1598836 СССР, МКИ Н 05 В 7/18. Вакуумно-дуговая плазменная установка / Ю.А. Сысоев, Г.И. Костюк, А.В. Козаченко (СССР). – № 4429386/24-07; 24.05.88. – 3 с.

9. А.с. 1558284 СССР, МКИ Н 05 В 7/22. Вакуумно-дуговое плазменное устройство / Ю.А. Сысоев, Г.И. Костюк, И.И. Аксенов (СССР). – 19.04.88. – № 4429386/24-07; 24.05.88. – 3 с.

10. Аксенов И.И. Поток частиц и массоперенос в вакуумной дуге: Обзор / И.И. Аксенов, В.М. Хорроших. – М.: ЦНИИатоминформ, 1984. – 57 с.

11. Стрельницкий В.Е. Пленки алмазоподобного углерода / В.Е. Стрельницкий, И.И. Аксенов. – Х.: ИПП «Контраст», 2006. – 344 с.

12. Испарение макрочастиц в плазме сильно-точного импульсного дугового разряда низкого давления / А.А. Бизюков, К.Н. Середа, А.Е. Кашаба, Е.В. Ромащенко, А.Д. Чибисов, В.В. Поневчинский, В.В. Слепцов // Вопросы атомной науки и техники.

Сер.: Плазм. электр. и нов. методы ускор. – 2006. – № 5 (5). – С. 136-141.

13. Подавление микродуг в ионно-плазменных процессах / Ю.А. Сысоев, Г.И. Костюк, А.Ю. Сысоев, А.В. Белявский, Р.В. Воронай, А.А. Бреус // *Вопр. проект. и произв. констр. летат. ап-пар.: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*. – Х., 2010. – Вып. 3 (63). – С. 304-310.

14. Сысоев Ю.А. Автоматизированная система измерения температуры для вакуумных многоцелевых технологических установок / Ю.А. Сысоев // *Новые технологии в машиностроении: материалы III Междунар. конф. Рыбачье (20-23 сент. 1994г.)*. – Х., 1994. – С. 72-74.

15. Патент України № 85625, МПК B01F3/00, B01F13/00, G05D11/00. Спосіб підготовки суміші газів для технологічних установок заданого відсоткового складу і пристрій для його реалізації / Сысоев Ю.О., Костюк Г.И., Евко Ю.С., Сысоев А.Ю.; № а 2007 05543, заявл. 21.05.2007; надрук. 10.02.2009, Бюл. №3. – 11с.; 4 табл.; 6 ил.

Поступила в редакцию 24.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры технология самолетостроения С.И. Планковский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ПРОБЛЕМИ ІОННО-ПЛАЗМОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ОСНОВІ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РОЗРЯДУ Й ШЛЯХИ ЇХНЬОГО РІШЕННЯ

Ю.О. Сысоев

Наведено аналіз основних проблем іонно-плазмових технологій, у яких плазма генерується вакуумно-дуговим розрядом з інтегрально холодним катодом. Ці проблеми розділені на групи відповідно до основних зон, які характерні для розглянутих технологій. Коротко охарактеризовані відомі методи й обладнання, що дозволяють вирішити деякі з існуючих проблем, а також запропоновані нові рішення, які дозволяють підвищити ефективність застосовуваних у промисловості технологій. Розроблене обладнання є незамінним при створенні нового покоління складнокомпозиційних покриттів, до складу яких входять як метали, так і кілька реакційних газів, а також при автоматизації процесів іонно-плазмової обробки.

Ключові слова: іонно-плазмова технологія, вакуумно-дуговий розряд, формування покриттів, іонне очищення, автоматизація процесів іонно-плазмової обробки.

PROBLEMS OF ION-PLASMA TECHNOLOGIES ON BASIS OF VACUUM-ARC DISTHAGE AND WAY OF THEIR DECISION

Ju.A. Sysoev

In this paper considers the basic problems of ion-plasma technologies in which plasma is generated by a vacuum-arc discharge with a cold cathode. These problems are divided into groups according to the main zones which are characteristic for these technologies. The characteristics of well-known methods and equipment, which allowing us to solve some of the existing problems were generalized. The equipment is developed necessary for to produce a new generation of complex composite coatings consisting of metals, as well as several reactive gases and also for automation of processes of ion-plasma treatment.

Key words: ion-plasma technology, a vacuum-arc discharge, deposition of coatings, ion cleaning, automation of processes of ion-plasma treatment.

Сысоев Юрий Александрович – канд. техн. наук, ст. научн. сотр., доцент кафедры робототехники Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: JuriiS@ukr.net.