

УДК 004.02:621.793.1

В.М. Тонконогий, канд. техн. наук, доц., Одес.
нац. политехн. ун-т

УПРАВЛЕНИЕ ВАКУУМНЫМ ДУГОВЫМ РАЗРЯДОМ ПРИ НАНЕСЕНИИ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

В.М. Тонконогий. Керування вакуумним дуговим розрядом при нанесенні іонно-плазмових зносостійких покриттів на різальний інструмент. Проведено аналіз особливостей процесу нанесення зносостійких іонно-плазмових покриттів, виявлені проблеми, що виникають при керуванні технологічним процесом нанесення покриттів. Запропоновано блок-схему автоматизованої системи керування вакуумною дугою при нанесенні іонно-плазмових покриттів.

V.M. Tonkonogy. Vacuum arch discharge control in applying ionic-plasma wearproof coatings onto a cutting tool. The analysis of the features of a wearproof ionic-plasma coverings application process is carried out, the problems arising in controlling the by technological process of applying the coatings are revealed. The block diagram of the automated system is offered for vacuum arch control in applying ionic-plasma coverings.

В последнее время получили дальнейшее развитие технологии нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент, которые являются весьма перспективными для использования в современных автоматизированных производствах [1, 2]. Однако, новые технологии эффективны только тогда, когда они работают в едином комплексе с современными системами управления.

Процесс нанесения ионно-плазменных покрытий методом конденсации вещества в вакууме в условиях ионной бомбардировки (КИБ) фактически является композицией нескольких, протекающих одновременно физических процессов, управление которыми в реальном времени представляет собой весьма сложную задачу как со стороны объекта управления — вакуумной установки, так и со стороны субъекта управления, вынужденного принимать решения в условиях нечеткой информации и запаздывания с ее получением. В методе КИБ металлургические процессы создания покрытия ведутся на совершенно особом, атомно-ионном уровне, что позволяет получать материалы с более высокими физико-механическими свойствами, чем в других методах, зачастую более сложных и трудоемких.

Принципиальной особенностью метода КИБ является использование двух мощных потоков частиц: нейтралов и ионов (как металлов, так и неметаллов — азота, кислорода и др.). Испарение и частичная ионизация пара металла осуществляется с помощью вакуумной электрической дуги, при необходимости в вакуумную камеру подается легирующий газ (в нейтральном или ионизированном состоянии). На мишень подается отрицательный потенциал, под действием которого осуществляется ускорение ионов, и в результате ионы бомбардируют твердое тело — конденсат или нейтральные атомы, находящиеся в фазе сорбции на поверхности конденсата. Первый случай, реализующийся при условии малости плотности потока нейтральных атомов, в определенной мере аналогичен процессу ионного легирования материалов. Однако, при одновременном использовании потоков нейтралов и ионов осуществляется и осаждение конденсата, и его ионная обработка. Приповерхностные проявления ионной бомбардировки “замуровываются” оседающими частицами и оказываются в глубине слоя конденсата. По этой причине толщина слоя, подвергаемого ионной бомбардировке, практически не ограничена, а необходимые энергии ионов в методе КИБ существенно ниже значений, характерных для традиционного ионного легирования.

Если плотность потока нейтральных атомов достаточно велика, ионы взаимодействуют с нейтралами в фазе их сорбции на поверхности конденсата. При этом происходит локальный “перегрев” нейтральных атомов на поверхности конденсата, что приводит к возможности получения качественно новых кристаллических структур и химических связей. Возможности метода КИБ проявляются наиболее ярко в условиях большой плотности потока конденсирующихся частиц при сравнительно высокой (~50...70 %) степени их ионизации. Установлено,

что в условиях сравнительно большой скорости осаждения конденсата ($10^{-2}+10^{-1}$ мкм/с), когда на поверхности существует слой подвижных атомов в фазе сорбции, бомбардировка поверхности ионами низких энергий ($E_i=10...40$ эВ) существенно влияет на процесс конденсации и может быть использована для направленного формирования структуры конденсата. При этом ионная бомбардировка обеспечивает очистку поверхности перед нанесением покрытия, разогрев до необходимых температур только приповерхностного слоя конденсата и увеличение химической активности реагирующих веществ. Таким образом, при использовании метода КИБ плазма служит для формирования определенных свойств покрытия, а стандартная плазмотронная техника обеспечивает лишь разогрев и испарение материалов и не оказывает влияния на построение структуры конденсата.

С точки зрения создания современной автоматизированной системы управления метод КИБ обладает существенными особенностями, из которых необходимо отметить следующие:

Параллельность протекающих подпроцессов. Способ дает возможность проводить эффективную очистку подложки перед осаждением покрытия путем интенсивной бомбардировки ее ионами осаждаемого материала. При высоком потенциале подложки (более 1 кВ) ускоренные ионы не только полностью распыляют осаждающийся металл, но и распыляют частично поверхностный слой подложки. Таким образом, осуществляется ионное травление подложки, обеспечивающее надежную очистку поверхности. Одновременно ускоренные ионы внедряются в подложку и насыщают тонкий приповерхностный слой. Глубина проникновения ионов в этом случае оказывается достаточной для обеспечения высокой адгезии покрытия, соизмеримой с прочностью соединяемых материалов. Столь высокая прочность соединения подложки и покрытия характерна только для метода КИБ.

Управляемость. Изменяя энергию ионов, можно регулировать размеры кристаллитов, образующихся в покрытии. Регулируя поток ионов, можно непрерывно создавать в процессе осаждения новые центры конденсации (зародыши зерен), прерывать рост крупных зерен и получать таким образом мелкокристаллические покрытия. Ионной бомбардировкой можно производить также отжиг осаждаемого покрытия и получать крупнозернистую структуру пленки. В отличие от других способов осаждения метод КИБ позволяет полностью исключить влияние субструктуры подложки на структуру получаемого покрытия и сравнительно просто изменять структуру конденсата по толщине слоя.

Сочетание инерционных и безынерционных подпроцессов. Поверхностный характер нагрева конденсата пучком ионов (при отводе тепла от подложки) позволяет полностью исключить процессы рекристаллизации и диффузии, не ухудшая при этом условий формирования соответствующей структуры конденсата. Однако возникающие при этом интенсивные термические процессы в системе “подложка — покрытие” требуют учета инерционности теплообмена. С другой стороны, характерной особенностью электродуговых испарителей металла, используемых в способе КИБ, является практически безынерционное начало испарения при подаче напряжения на испаритель.

Если рассматривать метод КИБ как комплексный объект управления, то наиболее сложным его элементом является источник ионов (испаритель), от стабильности работы которого во многом зависит эффективность управления процессом в целом. Испарение металлов и ионизация пара осуществляются в нем с помощью вакуумного электродугового разряда [3].

По своей структуре вакуумная дуга имеет две области, различающиеся по внешнему виду и той роли, которую они выполняют в разряде. Одна из них прижата к катоду и имеет вид ярко светящегося пятна, совершающего в обычных условиях быстрое беспорядочное перемещение по поверхности катода (так называемое “катодное пятно”). Другая часть разряда почти не светится и, заполняя пространство между анодом и катодом (анодом является корпус вакуумной камеры), играет роль проводника, соединяющего катодное пятно с анодом. Катодное пятно может распадаться на ряд автономных пятен, количество которых возрастает с увеличением тока. В пределах катодного пятна локализуется практически весь поток заряженных частиц катодной области разряда; все характерные явления дуги связаны с процессами, происходящими в малой области катодного пятна.

Одной из важных характеристик дугового разряда является время его непрерывного горения до погасания (распада). Причинами распада катодного пятна могут быть:

— погасание дуги при уменьшении тока: если уменьшить ток ниже критического или отключить дугу с металлическим катодом от источника напряжения на 10^{-7} с, разряд обрывается;

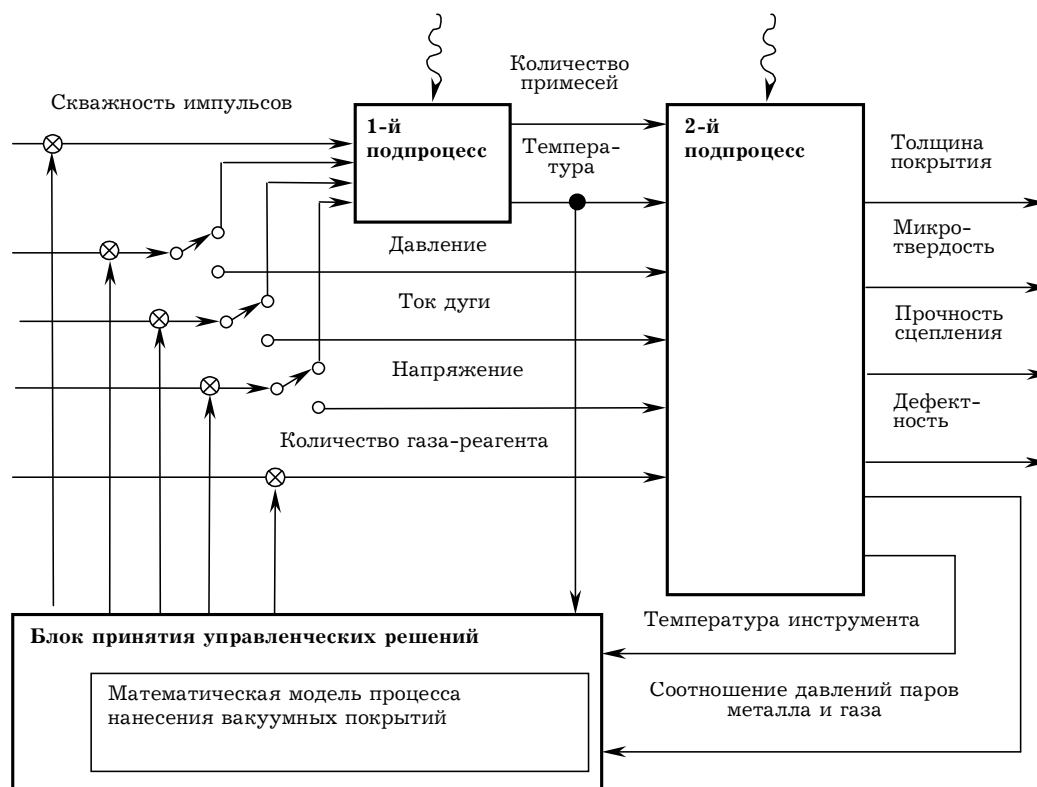
— погасание дуги вследствие снижения напряжения ниже критической величины;

— самопроизвольное погасание.

Приведенные случаи погасания дуги характеризуется тем, что распад катодного пятна происходит в результате внешних воздействий на разряд. Однако явления погасания дуги могут иметь место без какого-либо воздействия извне. Основные закономерности самопроизвольного погасания дуги описываются статистическими распределениями времени существования определенных разрядов, причем вероятность погасания дуги уменьшается с ростом тока.

Как показали эксперименты, продолжительность горения разряда до его самопроизвольного погасания во многом зависит от конструкции узла катода. Катодное пятно при перемещении по поверхности катода легко проваливается в электрически экранированные зазоры между деталями катода или трещины и пустоты в материале катода, и дуга при этом погасает. Таким образом, для обеспечения возможно более длительного и устойчивого горения дуги, что чрезвычайно важно для стабильности процесса нанесения покрытия, движение катодного пятна должно быть ограничено определенной частью поверхности катода, причем, на пути движения пятна не должно быть углов, выступов и трещин.

Проблема управления вакуумной дугой при нанесении износостойких покрытий методом КИБ была решена путем создания АСУ, блок-схема которой приведена на рисунке. Блок управления включает в себя математические модели объекта управления и подсистему интеллектуальной поддержки принятия решений в условиях неопределенности. АСУ процессом нанесения покрытия обеспечивает оптимальные толщину покрытия, его микротвердость и прочность сцепления с инструментом.



Блок-схема АСУ нанесением износостойких вакуумных покрытий

Использование АСУ нанесением ионно-плазменных покрытий, построенной по указанной схеме в фирме "Викта" (г. Одесса), позволило исключить случаи брака из-за перегрева напыляемых изделий при ионной очистке, а также способствовало стабильному получению покрытий с заданным соотношением компонентов.

Литература.

1. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. — М.: Машиностроение, 1993.— 335 с.

2. Грабченко А.И., Внуков Ю.Н., Дюбнер Л.Г. Ионно-плазменный синтез покрытий как составляющая интегрированных генеративных технологий // Высокие технологии: тенденции развития / Харьков: НТУ "ХПИ", 2003. — С. 72 — 78.
3. Аксенов И.И., Хороших В.М. Потоки частиц и массоперенос в вакуумной дуге. — М.: ЦНИИАтоминформ, 1984. — 57 с.

Поступила в редакцию 30 апреля 2003 г.