

В. С. МУХИН, Р. М. КИРЕЕВ, С. Р. ШЕХТМАН

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ Ti-TiN

Рассматривается технология нанесения многослойных вакуумных ионно-плазменных наноструктурированных покрытий системы Ti-TiN на сложнопольные детали ГТД высокой точности. *Вакуумные ионно-плазменные покрытия; многослойные покрытия; субкристаллическая структура*

ВВЕДЕНИЕ

В подавляющем большинстве случаев разрушение деталей начинается с поверхности, поэтому чрезвычайно важно и экономически более целесообразно разработать технологии получения защитных и упрочняющих наноструктурированных покрытий, свойства которых по прочности и пластичности недостижимы для традиционных моно- и поликристаллических структур. При этом возможна реализация одного из принципов нанотехнологии: создание объекта осуществляется не «сверху-вниз» (например, когда при формообразовании снимается припуск с заготовки), а «снизу-вверх», когда поверхность «достраивается» до необходимых размеров детали, причем последняя приобретает новое качественное состояние (по точности, прочности, пластичности, износостойкости, коррозионной стойкости и др.).

1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Была разработана технология осаждения многослойного покрытия системы Ti-TiN, реализованная на модернизированной установке ННВ 6,6-И1, предназначенной для нанесения покрытий на детали диаметром до 200 мм и длиной до 250 мм.

Сущность предлагаемой технологии осаждения многослойных вакуумных ионно-плазменных покрытий композиции Ti-TiN состоит в том, что в едином операционном цикле предусматривается совмещение дугового разряда, горящего в парах титанового катода, с несамостоятельным сильноточным разрядом, создаваемым плазменным источником с накальным катодом «ПИНК» [1, 3].

Разработанная технология, позволяющая создавать многослойные ионно-плазменные покрытия композиции Ti-TiN в условиях плазменного ассистирования, основана на следующих физических и химических процессах:

- бомбардировка поверхности обрабатываемой детали несамостоятельным сильноточным диффузионным разрядом производилась с помощью плазменного источника «ПИНК» в среде инертного газа аргона, в результате чего происходит предварительная очистка поверхности;

- дополнительная бомбардировка поверхности несамостоятельным сильноточным диффузионным разрядом в среде азота;

- осаждение ионов Ti на поверхность обрабатываемой детали с формированием слоя покрытия и взаимодействие с реакционным газом.

Технология предусматривает проведение в одном технологическом цикле предварительной ионной очистки поверхности плазмой несамостоятельного сильноточного диффузионного разряда, нагрев деталей ионами металла, нанесение многослойных покрытий. Совмещение основных технологических операций, сравнительная простота их реализации в одном вакуумном цикле определяют высокую эффективность ионно-плазменной технологии [2, 4].

Травление поверхности образцов с целью ее очистки проводится бомбардировкой низкоэнергетическими ионами аргона при давлении 10^{-1} Па, при отрицательном смещении (1100 В) на подложке. Такой режим аргонного травления позволяет избежать внедрения ионов металлической плазмы на стадии предварительной очистки, исключить привязывание микроудуг к поверхности, снизить температуру предварительного нагрева.

Бомбардировка поверхности ионами инертного газа аргона проводится для подготовки поверхности обрабатываемой детали перед нанесением многослойных ионно-плазменных покрытий и заключается в термической активации поверхности и образовании центров зародышеобразования, что в свою очередь обеспечивает высокую адгезионную прочность покрытий [3].

Напыление многослойных покрытий происходит в процессе последовательного осаждения Ti и TiN из плазмы, генерируемой электродуговым источником. Осаждение покрытий осуществляется при одновременном воздействии плазменного источника «ПИНК». В процессе осаждения покрытий может быть осуществлено равномерное планетарное вращение обрабатываемой детали относительно собственной оси и одновременно вокруг оси стола, благодаря чему обеспечивается равномерность распределения толщины формируемых покрытий (рис.1).

Процесс осаждения слоев на подложку осуществляется при температуре 400–450 °С. Нагрев обусловлен энергией, приносимой осаждаемыми частицами.

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разработанная технология позволяет получать многослойные покрытия с толщинами слоев до 100 нм и многослойные покрытия с микрометровыми слоями, содержащими в поверхностном слое нитриды титана. Количество слоев и их толщина задаются режимами напыления.

При назначении режимов ионно-плазменного осаждения необходимо учитывать требования, предъявляемые к детали в следующей последовательности:

- параметры, обеспечивающие заданные физико-химические свойства покрытий;
- расположение детали и размеры обрабатываемой зоны, обеспечивающие заданную точность;
- при выполнении первых двух условий выбирают режимы с максимальной производительностью;
- коррекция режимов осаждения ионно-плазменных покрытий происходит после проведения пробного запуска установки (для конкретной установки).

Сложность назначения и расчета режимов обработки обусловлена тем, что совместное действие управляющих факторов приводит к большому разбросу параметров покрытий. Точные расчеты возможны только на основе применения ЭВМ. Существующие модели ионного осаждения покрытий не позволяют связать технологические параметры (ток дуги J_d , давление реакционного газа P , потенциал смещения U_n , радиус катода, положение детали относительно катода) осаждения покрытий со скоростью роста на локальной поверхности, расположенной в произвольной точке объема вакуумной камеры.

Кроме того, изменением положения детали относительно плазменного потока возможно добиться изменения толщины слоев покрытия. Так,

например, при расположении образцов или обрабатываемых деталей параллельно плазменному потоку толщина слоев в 2 раза меньше, чем при расположении перпендикулярно потоку; толщина меняется при удалении обрабатываемых деталей от оси плазменного потока (b) и при увеличении расстояния от торца катода (h) (рис.1).

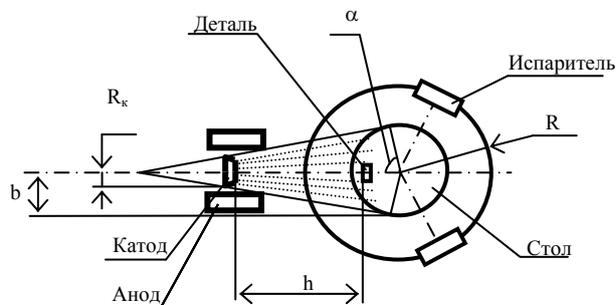


Рис. 1. Схема расположения обрабатываемой детали относительно плазменного потока

Ионная очистка и активация на поверхности центров адсорбции и адгезии несамостоятельным сильноточным диффузионным разрядом производилась с помощью плазменного источника «ПИНК» в среде инертного газа аргона при давлении 10^{-1} Па. Напряжение на подложке 1100 В при токе разряда 35 А, длительность обработки – 1...2 минуты до прекращения возникновения микродуг. Такой режим аргонного травления позволил избежать внедрения ионов металлической плазмы на стадии предварительной очистки, исключить привязывание микродуг к поверхности, снизить температуру предварительного нагрева.

Следующей стадией технологического процесса является осаждение покрытия системы Ti-TiN. Осаждение покрытий осуществлялось при одновременном воздействии плазменного источника «ПИНК», то есть реализуется режим плазменного ассистирования.

В качестве катода использовался технически чистый титан марки ВТ-1.0. В процессе осаждения покрытий приспособление с закрепленными на нем обрабатываемыми деталями планетарно вращается вокруг оси стола, одновременно осуществляя вращение вокруг своей оси, благодаря чему обеспечивается равномерность распределения толщины формируемых покрытий.

Схема технологического процесса получения многослойного покрытия системы Ti-TiN толщиной 5–7 мкм, состоящего из нанометровых слоев 30–101 нм, представлена на рис. 2.

Экспериментально установлено, что оптимальными параметрами процесса напыления многослойного покрытия системы Ti-TiN являются значения $J_d = 50$ А, $U_n = 120$ В, при давлении 10^{-1} Па.

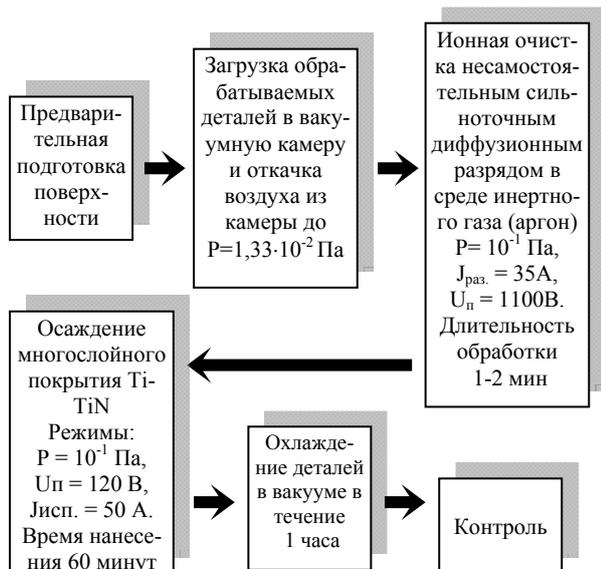


Рис. 2. Схема технологического процесса получения многослойного покрытия системы Ti-TiN

Чтобы получить многослойные наноструктурированные вакуумные ионно-плазменные покрытия, обладающие повышенными эксплуатационными свойствами, необходимо следовать следующим основным правилам. Многослойные композиции должны состоять из множества сверхтонких (50–100 нанометров) слоев. При синтезе необходимо стремиться поддерживать температуру конденсации близкой к минимальной. Многослойные покрытия композиции Ti-TiN обладают повышенными эксплуатационными свойствами благодаря чередующимся тонким слоям переменной твердости и различного фазового состава, эффективно тормозящими развитие трещин, и обладают меньшими остаточными напряжениями.

Разработанная технология была реализована на опытной партии деталей ГТД типа «стакан» (рис. 3) с обеспечением 6-го качества точности размеров, формы и расположения поверхностей.



Рис. 3. Детали вертолетной техники

ВЫВОДЫ

Разработана и реализована на практике технология ионно-плазменного осаждения наноструктурированных покрытий системы Ti-TiN в условиях дополнительной ионной бомбардировки, обеспечивающая повышение качества поверхностного слоя деталей ГТД и высокую адгезионную прочность наноструктурированных покрытий.

Предлагаемый технологический процесс нанесения многослойного наноструктурированного покрытия позволяет:

- обеспечить точность обработки;
- снизить остаточные напряжения в покрытии;
- обеспечить равномерный нагрев детали;
- обеспечить равномерную толщину покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киреев Р. М. Синтез покрытий из интерметаллида систем Ti-Al конденсацией плазменных потоков, генерируемых вакуумной дугой // Вестник УГАТУ. 2008. №1. С. 96–99.
2. Верещака А. С., Третьяков М. П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1986. 192 с.
3. Будилов В. В., Мухин В. С., Шехтман С. Р. Нанотехнологии обработки поверхности деталей на основе вакуумных ионно-плазменных методов. Физические основы и технические решения. М.: Наука, 2008. 194 с.
4. Воронин Н. А., Семёнов А. П. Вакуумные ионно-плазменные технологии упрочнения поверхностей деталей машин // Методы и средства упрочнения поверхностей деталей концентрированными потоками энергии: сб. М.: Наука, 1991. 402 с.
5. Башков В. П. Износостойкие покрытия режущего инструмента, состояние и тенденции развития // Вестник машиностроения. 1999. №1. С. 35–39.

ОБ АВТОРАХ

Мухин Виктор Сергеевич, проф. каф. технологии машиностроения. Засл. деят. науки и техн. РБ и РФ. Чл.-кор. Акад. наук РБ. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1962). Д-р техн. наук (МАИ, 1975). Иссл. в обл. прочн., надежн. и долговечности деталей технол. методами.

Киреев Радик Маратович, доцент каф. ТМ. Дипл. инж. (УГАТУ, 1993). Канд. техн. наук по тепл. двиг. ЛА (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. вакуумных ионно-плазм. технологий.

Шехтман Семен Романович, и.о. декана ВФ декана УГАТУ при УМПО. Дипл. инж. (УГАТУ, 1993). Канд. техн. наук по тепл. двиг. ЛА (УГАТУ, 1999). Иссл. в обл. вакуумных ионно-плазм. технологий.