

## СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ КОНДЕНСАТОВ ТИТАН-КРЕМНИЙ

Ж.А. Мрочек (БГПА), И.А. Иванов (БАТУ)

Вакуумно-плазменные технологии находят все более широкое применение в машиностроении для повышения эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин. Связано это как с высокими технологическими возможностями методов так и с их экологической чистотой и простотой оборудования. Однако, практическое использование этих технологий значительно опережает теоретические исследования механизмов формирования вакуумных покрытий в условиях ионной бомбардировки. Цель работы - представить результаты экспериментальных исследований закономерностей формирования микрогеометрии поверхности и структуры вакуумных электродуговых покрытий титан-кремний и дать им теоретические объяснения.

Исследовались основные закономерности формирования покрытий осаждением плазменных потоков, генерируемых при испарении в вакуумной дуге сплавов титан - кремний с содержанием кремния 70 вес % и более. Процесс получения вакуумно - плазменных конденсатов титан-кремний реализован на установке вакуумного осаждения покрытий типа ЮНИОН Рентгенофазовый анализ формируемых покрытий проводился на ДРОН - 3.0 при излучении  $\text{CuK}\alpha$  с графитовым монохроматором и последующей расшифровкой рентгенограм на ЭВМ. Микрогеометрия поверхности и структура конденсатов исследовалась с помощью оптического и растрового микроскопов.

Наличие в плазменном потоке капель в значительной степени определяет морфологию поверхности формируемых вакуумных электродуговых конденсатов титан - кремний, что видно на фотографиях их поверхностей. Увеличение количества капельной фазы в потоке, определяемое током дугового разряда, ведет к росту шероховатости поверхности осаждаемых покрытий. При этом наиболее сильно эта зависимость проявляется при токах дугового разряда выше 80 А. Показано, что при шероховатости поверхности конденсации менее 0.3 мкм микрогеометрия поверхности покрытий титан - кремний будет определяться режимом взаимодействия плазменного потока с поверхностью твердого тела. Так, увеличение энергии конденсирующихся ионов ведет к уменьшению шероховатости поверхности формируемых покрытий. При этом форма микронеровностей профиля не меняется. Наличие легирующего газа в рабочем

объеме вакуумной камеры несколько сглаживает эту зависимость. В этом случае, уменьшение шероховатости поверхности покрытий с ростом энергии конденсирующихся частиц потока происходит более плавно. Проведенный рентгенофазовый анализ состава конденсатов титан - кремний показывает, что покрытия формируются многофазными. В составе покрытий обнаружены как низшие так и высшие силициды титана. При этом, с ростом энергии конденсирующихся ионов в фазовом составе покрытий наблюдается сдвиг в сторону образования низших силицидов. Получено, что при низких значениях энергии ионов конденсирующегося плазменного потока и низком давлении легирующего газа покрытия не имеют каких - либо особенностей строения. С увеличением давления азота до  $10^{-2}$  Па и при энергиях ионов до 100...150 эВ получена конусообразная структура конденсата. Температура подложки для данных условий конденсации не превышает  $500^{\circ}\text{C}$  и попадает в температурный интервал, в котором наблюдается формирование таких структур. Вертикальные границы кристаллов видны на изломах этих покрытий. Увеличение энергии конденсации ионов приводит к формированию полосчатой структуры. Ширина полос «темная + белая» меняется от 0.5 до 1 мкм и зависит от энергии конденсирующихся ионов. Дальнейший рост энергии ионов потока приводит к формированию покрытий с равноосной структурой. При этом температура поверхности конденсации во всех рассмотренных случаях ниже  $0.3 \times T_{\text{пл}}$  силицидов титана. Это позволяет сделать предположение о независимости механизмов структурообразования от температуры поверхности конденсации. Наблюдаемая полосчатая структура покрытий объясняется слабым участием азота в процессах фазообразования при низких энергиях ионов осаждаемого потока и вытеснением его, как примеси, на границу фронта кристаллизации.

Результаты исследований процессов структурообразования конденсатов титан-кремний позволяют сделать следующие выводы:

1. Технологический процесс вакуумного электродугового нанесения покрытий типа титан-кремний относится к методам финишной обработки. Оптимальным для нанесения таких покрытий является 9 класс шероховатости исходной поверхности детали.

2. Исследованные покрытия формируются многофазными. С ростом энергии конденсирующихся ионов в составе покрытия происходит сдвиг в сторону образования низших силицидов

3. Определяющее влияние на формирование структуры вакуумных электродуговых покрытий титан-кремний оказывает величина потенциала смещения подаваемого на подложку.