

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТИ ДВУХСЛОЙНЫХ TiN/Al₂O₃ ПОКРЫТИЙ

О.П. Кульментаева

Сумский государственный университет, 2, ул.Р.-Корсакова, а/я227, Сумы, 40030, Украина;
тел. +3(054-2) 63-90-18, E-mail: opkulm@mail.ru

В работе представлены результаты исследований двухслойных TiN/Al₂O₃ покрытий после обработки электронным пучком в разных режимах. С помощью растровой электронной микроскопии изучена морфология поверхности образцов и определены количественные параметры шероховатости поверхности. Качественно и количественно показано, что с увеличением плотности мощности электронного пучка происходит сглаживание поверхностного рельефа. Проведен микроанализ поверхности с помощью энергодисперсионного микроанализатора EDS и определен элементный состав поверхностного слоя. На основании проведенных исследований установлены режимы, при которых происходит расплавление покрытия и перемешивание покрытия с основой.

Введение

Сочетание таких качеств как высокая прочность, твердость и сопротивление коррозии обусловили широкое использование во многих отраслях промышленности покрытий на основе титана. В то же время часто условия их эксплуатации ужесточают и/или усложняют предъявляемые к ним требования. В результате становится необходимой дополнительная обработка поверхностных слоев. Популярными становятся виды обработки, основанные на воздействии концентрированных потоков энергии (ионов, плазмы, электронов). Интенсивное развитие этих методов обработки поверхности позволяет целенаправленно изменять такие служебные характеристики как усталостная прочность, износостойкость, электроэрозийная стойкость, стойкость к ударным воздействиям. Каждый их возможных способов обработки своими преимуществами обуславливает приоритетность применения. Дополнительные ресурсы для улучшения функциональности поверхности дает формирование многослойных, часто многофазных покрытий и комбинирование разных обработок [1]. В данной работе исследовано влияние воздействия высокоэнергетического электронного пучка различной мощности на морфологию поверхности двухслойного покрытия, состоящего из нитрида титана и оксида алюминия, нанесенного на стальную подложку.

Материалы, оборудование и методики исследования

В качестве подложки для получения двухслойного покрытия была использована низколегированная сталь 3. На пластину размером 150x40x1,8 мм методом импульсной высокоскоростной детонационной плазмы было нанесено порошковое покрытие из оксида алюминия. Фракционный состав исходного порошка составлял 40-60 мкм. Режимы обработки описаны в [2]. Полученные покрытия имели толщину 60-100 мкм. Вторым слоем служило покрытие из нитрида титана толщиной 1-2 мкм, полученное вакуумно-дуговым методом на установке Булат-3Т. Двухслойное покрытие подвергалось обработке высокоэнергетическим электронным пучком на установке У-212. Расфокусированный электронный пучок перемещался по подложке с покрытием. При оста-

новке пучка его ток составлял 10, 15, 20, 25 и 35 мА/см². После обработки пластина с двухслойным покрытием разрезалась электроискровым методом на фрагменты так, чтобы каждый образец был обработан только одним режимом.

Полученные таким образом образцы изучались различными методами. Морфология поверхности исследовалась методом растровой электронной микроскопии в отраженных и вторичных электронах с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-103. Для определения элементного состава поверхности использовались спектрометры EDS и WD-2 с дисперсией по длине волны и с дисперсией по энергии.

Для измерения шероховатости поверхности была применена специально разработанная методика, на которой растровый электронный микроскоп настраивался на режим осциллографа. В этом режиме электронный луч осциллирует по поверхности вдоль горизонтальной линии, видимой на экране, повторяющей рельеф поверхности. Остановку растра можно производить на любом конкретном выбранном участке. Предложенная методика позволяет получить необходимое количество сечений по всей высоте изображения на экране с заданным шагом. Перемещение сверху вниз или снизу вверх вдоль изображения позволяет получать наиболее полную качественную информацию о рельефе поверхности исследуемого образца. С экрана монитора полученные таким образом изображения осциллограмм фиксировались цифровым фотоаппаратом. Для получения количественных характеристик поверхностного рельефа проводилась дальнейшая обработка полученных осциллограмм в соответствии с ГОСТ 2789-73.

Экспериментальные данные и их обсуждение

Изучение морфологии поверхности покрытия порошкового оксидного покрытия показало, что величина его шероховатости обусловлена размером частиц исходного порошка.

Тонкое покрытие из TiN повторяет рельеф поверхности, сформированный первым слоем, но в нем появляются частицы капельной фракции, поскольку расположение вакуумно-дугового источника установки для нанесения покрытий не

позволяет избежать капельной ее сепарировать. Микроанализ этих частиц показал, что они состоят из титана.

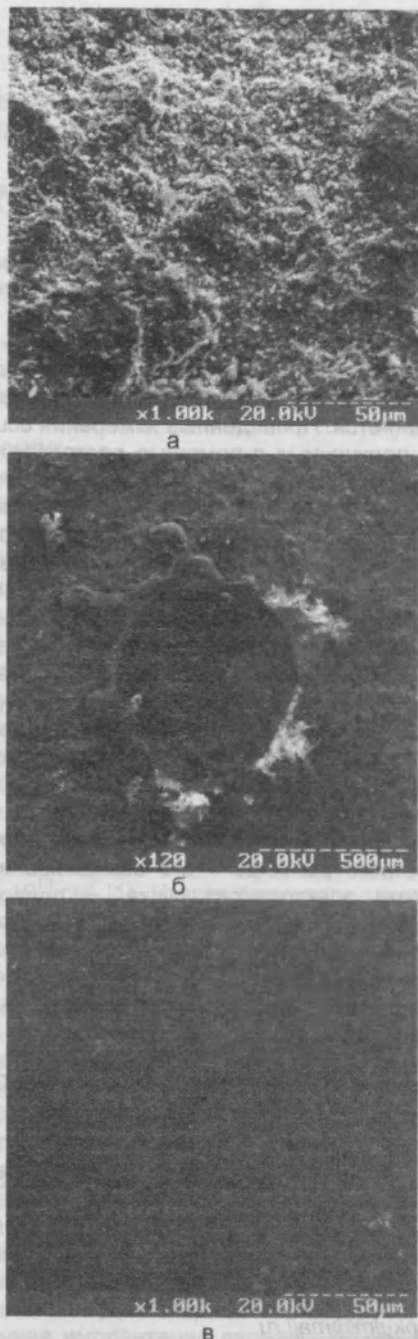


Рис.1. Вид поверхностного слоя покрытия TiN/Al_2O_3 , после облучения электронным пучком 10 мА (а) и 30 мА (б, в).

На рис.1 приведены микрофотографии поверхности исследуемых покрытий после обработки электронным пучком с различной плотностью тока. Микрофотографии получены в режиме работы растрового электронного микроскопа в режиме отраженных электронов. После обработки двойного покрытия электронным пучком в 10 мА/см^2 рельеф поверхности практически не изменяется, лишь на отдельных очень маленьких участках появляются фрагменты оплавления, что можно объяснить филоментацией, т.е. неодно-

родностью электронного пучка.

Обработка покрытий электронным пучком с большей плотностью энергии приводит к постепенному сглаживанию поверхностного рельефа. Причем электронный пучок с плотностью 30 мА/см^2 не только сглаживает рельеф поверхности покрытия, но и приводит к полному расплавлению покрытия на значительную глубину (рис.1 б). Об этом можно судить и по уменьшению амплитуды осциллограмм РЭМ-изображений, приведенных на рис.2.

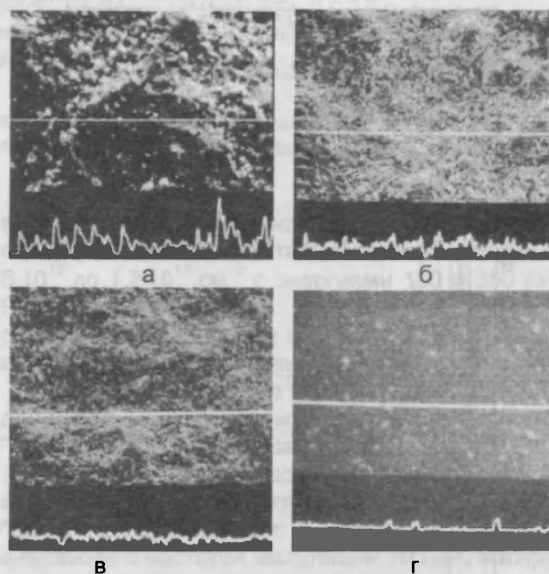


Рис.2. Рельеф поверхности и осциллограммы покрытий TiN/Al_2O_3 , после облучения электронным пучком: 15 мА/см^2 (а), 20 мА/см^2 (б) и 30 мА/см^2 (в).

На основании проведенных измерений были построены гистограммы распределения по размерам соответствующих параметров. Для примера на рис.3 приведены гистограммы распределения поперечного параметра шероховатости R_a для исследуемых покрытий. Номер образца соответствует величине плотности тока электронного пучка. Как видно из рисунка, после обработки пучком электронов на поверхности двухслойного покрытия наблюдается широкий спектр неровностей, сильно различающихся между собой по величине – гистограммы имеют растянутый вид. Так, после обработки малой плотности тока только около 10% выступов имеют величину больше 2 мкм , максимальная величина выступа составляет 43 мкм ; после обработки электронным пучком в 15 мА/см^2 число выступов с малой амплитудой (до 5 мкм) достигает 12%, а максимальная величина выступов составляет уже 34 мкм ; дальнейшее увеличение плотности тока в пучке приводит к обрезанию хвоста гистограммы и увеличению количества выступов, приближающихся к наиболее вероятному значению.

На рис.4 приведен график зависимости средней величины параметра R_a от величины плотности тока электронного пучка для двухслойного покрытия. Видно, что в результате обработки происходит сглаживание рельефа – шероховатость уменьшилась в 5 раз.

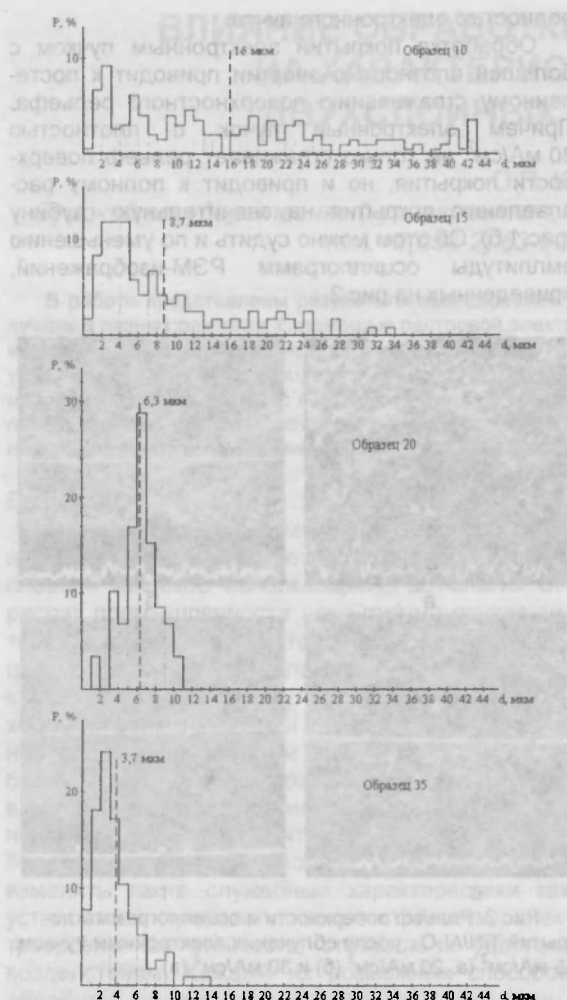


Рис.3. Гистограммы распределения по размеру параметра R_a для двухслойного покрытия, обработанного электронным пучком.

Заключение

Методом растровой электронной микроскопии проведены исследования морфологии поверхности двухслойного покрытия, обработанного сильноточным электронным пучком с различной плот-

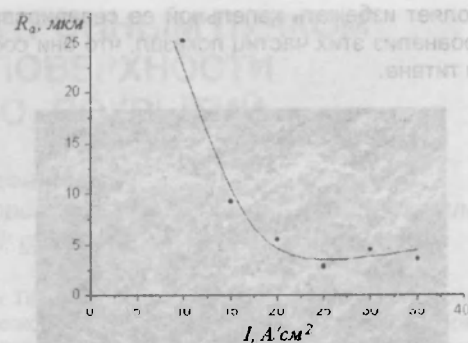


Рис.4 Зависимость средней величины параметра R_a от величины плотности тока электронного пучка для двухслойного покрытия.

ностью мощности. Установлено, что в результате такой обработки рельеф поверхности качественно изменяется. Проведенные измерения осциллограмм, полученных с помощью растрового электронного микроскопа, и их статистическая обработка позволили определить количественные характеристики параметров микрорельефа поверхности покрытий после воздействия электронного пучка. Показано, что по мере увеличения плотности тока электронного пучка, которым обрабатывалось двухслойное покрытие, разница между величинами неровностей постепенно уменьшается и наблюдается достаточно хорошее совпадение среднего значения параметра R_a с наиболее вероятным его значением. Кроме того, установлено, что при плотности тока пучка 35 mA/cm^2 происходит проплавление покрытия на глубину до 80 мкм . Показанные изменения поверхностного рельефа – его выглаживание под действием электронного пучка, – приводят к уменьшению коэффициента трения покрытия.

Список литературы

1. Анишик В.М., Злоцкий С.В., Konarski P. и др. Трибологические свойства градиентных окрытий Ti-Cr-N / ВИТТ 2003. – С.214-216.
2. Pogrebnjak A.D., Il'jashenko M., Kul'ment'eva O.P., et al. // Vacuum, 2001.- V.62. – P.21-26.

EFFECT OF ELECTRON BEAM TREATMENT (processing) ON THE SURFACE PARAMETERS OF DOUBLE-LAYER TiN/Al₂O₃ COATINGS

O.P. Kul'ment'eva

Sumy state university, 2, str. R.-Korsakov, PO box 227, Sumy, 40030, Ukraine;
phone +3(054-2) 63-90-18, E-mail: oopkulm@mail.ru

The results of investigation of double-layer TiN/Al₂O₃ coatings after electron beam treatment are present. The surface morphology and quantitative roughness parameters were studied with help of the scanning electron microscope. In a qualitative and a quantitative manner it was shown that increasing of power density of electron beam leads to surface relief smoothing. With the help of the energy dispersion spectrometer the microanalysis of a surface is performed and the element composition of a near surface layer is determined. On the basis of the carried researches the regimes of treatment which lead to the melting of coatings and intermixing with bulk material are established.