

**ПОРИСТОСТЬ ТИТАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ
И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖКИ**

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Защитные свойства титановых покрытий в значительной степени зависят от их пористости. Известно [1], что шероховатость поверхности, на которую наносится покрытие и его толщина оказывают существенное влияние на пористость.

Исследовались пористость электродуговых вакуумных покрытий в зависимости от шероховатости поверхности, характер распределения покрытия на микронеровностях и его толщина при осаждении титана на образцы из малоуглеродистой стали. При этом использовали прямоугольные пластины размером $20 \times 30 \times 3$ мм с микронеровностями, образованными механической обработкой лезвийным инструментом и шлифовальным кругом. Величина микронеровностей составляла от 2,4 до 12,3 мкм. Шероховатость контролировали профилометром-профилографом. Перед нанесением покрытий образцы обезжиривали органическими растворителями и окончательно очищали ионной бомбардировкой при ускоряющем напряжении 1,2 кВ в течение 90 с [2] в камере установки ОНИ-06-008 с модернизированным источником питания, обеспечивающем регулирование тока дуги и высокого напряжения. Титан осаждали при ускоряющем напряжении 120 В, тока фокусирующей катушки 1,5 А, остаточном давлении в камере $6,5 \cdot 10^{-3}$ Па и токе дуги 50 А. Время осаждения составляло 20 мин, скорость конденсации – 0,2 мкм/мин. Для определения пористости покрытий стальную подложку стравливали в растворе HNO_3 (1:1) до прекращения кипения. При этом железо полностью переходило в раствор, а титановое покрытие, имея очень низкую растворимость (0,01 мм/год), практически не меняло своей толщины. Переходный слой, состоящий из соединений Ti-Fe, в этих условиях растворялся полностью [3].

Пористость пленки титана определяли по разработанной программе с использованием системы “Лейтц-Тас” в проходящем свете микроскопа при 600-кратном увеличении. Величина ячейки считывающего автоматического устройства $1,5 \times 1,5$ мкм, что позволило

точно фиксировать поры площадью свыше 3 мкм². Более мелкие поры считывались прибором также, как и поры площадью 3 мкм. На рисунке 1 представлены результаты определения количество пор N в одном см² покрытия, средней площади пор $S_{\text{ср}}$ и площади, занятой порами, по отношению ко всей поверхности покрытия $S_{\text{отн}}$:

$$S_{\text{отн}} = \frac{S_n}{S_{\text{обр}}} \cdot 100 \%,$$

где S_n – площадь образца, занятая порами, мкм²;

$S_{\text{обр}}$ – площадь образца, мкм².

Распределение покрытия по профилю микронеровностей определяли с помощью металлографического микроскопа “Nearphot-21”. Шлифы изготавливали таким образом, чтобы направление шлифовки было перпендикулярно направлению рельефа микронеровностей, образованных при обработке поверхности образца. Соблюдение этого условия вызвано тем, что вследствие деформации более твердую подложку ошибка в измерениях параметров покрытия при традиционном изготовлении шлифов [4] может быть значительной. Шлифы травил 4 %-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

С увеличением высоты микронеровностей от 2,4 до 12,3 мкм (рисунк 1) количество пор в покрытии возрастает примерно в 7 раз, что вызвано не только влиянием шероховатости поверхности, но и формой микронеровностей. Средняя площадь пор при этом увеличивается значительно меньше. Это можно объяснить влиянием условий конденсации материала покрытия и наличием капельной фазы, что особенно сильно проявляется при осаждении покрытий на поверхности с параметром шероховатости $1,6 \leq Ra \leq 3,2$ мкм.

Относительная площадь, занятая порами, повышается от 0,1 % при высоте микронеровностей 2,4 мкм и до 3 % при высоте микронеровностей 12,3 мкм, что связано с увеличением общего количества пор и их площади.

Электродуговое вакуумное покрытие в отличие от гальванического или химического, которое образует на выступах микронеровностей наросты /5/, распределяется более равномерно с тенденцией к увеличению толщины покрытия во впадинах микронеровностей, чем и объясняется их высокая пористость.

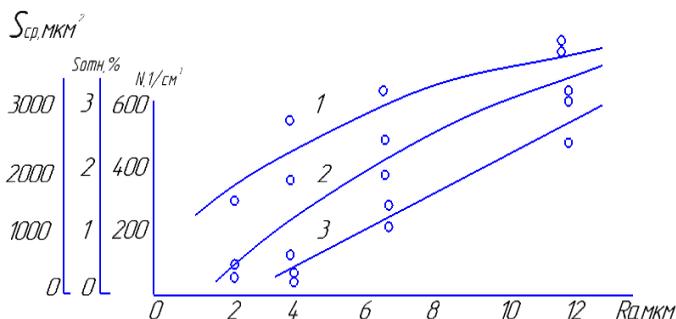


Рисунок – 1 Изменение средней площади пор (1– $S_{ср}$), площади пор по отношению к площади покрытия (2– $S_{отн}$) и их количества (3– N) в зависимости от шероховатости поверхности подложки

При меньшей шероховатости в покрытии на выступах микронеровностей образуются более мелкие поры, соответственно снижается и их количество (рисунок 1). Покрытия, осаждённые на шлифованную поверхность с высотой микронеровностей 3,4 мкм, распределяются более равномерно и имеет низкую пористость (рисунок 1).

Большое влияние на пористость покрытия оказывает изменение толщины осажденного слоя (рисунок 2). В покрытиях, толщиной 0,5–1 мкм количество пор достигает 1000 см², а относительная площадь, занятая порами – 3 %. При увеличении толщины до 4 мкм количество пор и относительная площадь, занятая ими, резко снижается до 150 пор/см и 0,8 %. Дальнейшее увеличение толщины покрытия снижает пористость в меньшей степени, что можно объяснить возросшим влиянием капельной фазы плазменного потока. Беспористыми титановые покрытия становятся при увеличении толщины до 16 мкм.

Таким образом, результаты исследования позволили установить, что на пористость титановых покрытия существенное влияние оказывает как высота, так и форма микронеровностей.

Пористость покрытия наиболее резко снижается при увеличении его толщины до 4 мкм. Покрытия следует наносить на поверхности, образованные режущим инструментом с высотой микронеровностей не более 3 мкм или на поверхности имеющие сглаженные выступы микрорельефа, например холоднокатанные или образованные электрохимическим полированием.

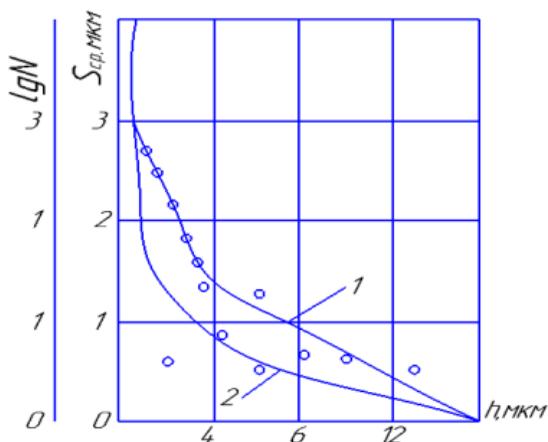


Рисунок – 2 Изменение количества пор ($1 - \lg N$) и их площади ($2 - S_{\text{ср}}$) в зависимости от толщины титанового покрытия

ЛИТЕРАТУРА

1. Ройх, И. Л. Защитные вакуумные покрытия на стали / И. Л. Ройх, Л. Н. Калтунова. – М.: Машиностроение, 1971.
2. Мрочек Ж. А. Защитные вакуумные покрытия. Применение покрытий для защитных коммуникаций и металлоконструкций / Ж. А. Мрочек, В. А. Лойко. – М., 1981.
3. Электронно Зондовый микроанализ / под ред. И. Б. Боровского. – М., 1974.
4. Колачев Б. А. Металлография титановых сплавов / Б. А. Колачев, С. Т. Глазунов. – М.: Металлография, 1980.