

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ И ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Синькевич Ю.В.

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь.

Электроимпульсное полирование широко используется для подготовки поверхности металлических изделий перед нанесением гальванических и тонкопленочных вакуумно-плазменных покрытий, для которых прочность сцепления с подложкой (адгезионная прочность) является одной из основных характеристик их качества. Предлагаемая методика применялась для определения адгезионной прочности гальванического блестящего хромового покрытия (твердый хром) толщиной $10 \pm 0,5$ мкм и вакуумно-плазменного TiN покрытия толщиной 3 мкм, нанесенных на электроимпульсно полированные в течение от 1 до 20 мин подложки соответственно из углеродистой конструкционной стали 10 и коррозионностойкой стали 12X18H10T.

Адгезионная прочность покрытий определялась на приборе LSRH (Leybold Heraeus, Германия) по методике царапания покрытия индентором в виде алмазного конуса Роквелла с радиусом округления вершины 0,2 мм. Сущность методики заключается в том, что нагруженный индентор проводится по плоской поверхности с покрытием, а действующая на индентор сила после каждого прохода индентора дискретно увеличивается до начала отслаивания покрытия от подложки. Контакт индентора с покрытием приводит к деформации исследуемого покрытия и вызывает напряжения в покрытии и металле подложки. Область, расположенная непосредственно под острием алмаза, находится в сжатом состоянии, в то время как область покрытия, прилегающая к боковым сторонам индентора, находится в напряженном состоянии с максимальным напряжением на поверхности контакта индентора с покрытием. Критическая нагрузка, приводящая к отслоению покрытия, достигается тогда, когда напряжение на поверхности контакта достигает величины прочности сцепления покрытия с поверхностью подложки [1, 2].

Для определения критической нагрузки на поверхности образцов с покрытиями наносилась сетка параллельных царапин длиной 5–7 мм. Скорость движения образцов относительно индентора составляла 10 мм/мин.

При исследовании адгезионной прочности вакуумно-плазменного TiN покрытия нагрузка на индентор составляла от 10 Н до 80 Н. Для каждой последующей царапины нагрузка увеличивалась на 5 Н. Нагружение индентора производилось путем размещения грузов на уравновешенном рычаге. После испытания поверхность образцов изучалась под микроскопом МКИ-2М-1 (Планар, Беларусь) при увеличении 125 крат. В качестве критической нагрузки принималась нагрузка, при которой происходило полное или частичное отслаивание TiN покрытия от подложки.

Адгезионная прочность тонкопленочного вакуумно-плазменного TiN покрытия рассчитывалась по формуле [3]:

$$\sigma_A = k \frac{1}{\sqrt{\pi R}} \sqrt{W_c \cdot H},$$

где σ_A – адгезионная прочность покрытия, МПа;

k – коэффициент Вивера (принят равным 1 согласно рекомендациям [3]);

R – радиус округления вершины индентора, мм;

W_c – критическая нагрузка, Н;

H – твердость покрытия, МПа.

При исследовании адгезионной прочности более пластичного гальванического хромового покрытия нагрузка на индентор составляла от 15 Н до 25 Н. Для каждой последующей царапины нагрузка увеличивалась на 1 Н. Исследование морфологии царапин на поверхности покрытия проводилось на электронном сканирующем микроскопе Mira (Tescan, Чехия) с разрешением 30 Å, оснащенный рентгеновским энергодисперсионным спектрометром Inca 350 (Oxford Instruments, Великобритания). Морфология изучалась в режиме отраженных электронов при ускоряющем напряжении 20 кВ и увеличениях от 1000 до 10000 крат. Спектрометр Inca 350 позволяет регистрировать рентгеновское излучение химических элементов, начиная с В (бор), и производить их количественный анализ с погрешностью, не превышающей 3–5%. Использование микрорентгеноспектрального анализа позволяет корректно определить критическую нагрузку, при которой происходит разрушение всего хромового покрытия, а не только его верхнего слоя.

Адгезионная прочность гальванического хромового покрытия рассчитывалась по формуле [2]:

$$\sigma_A = \frac{W_c}{0,5 \cdot S_{\text{бок}}} = \frac{2 \cdot W_c}{\pi b^2},$$

где $S_{\text{бок}}$ – площадь боковой поверхности индентора, контактирующей с покрытием, мм²;

b – половина ширины следа индентора на поверхности покрытия при критической нагрузке на индентор W_c , мм.

1. Steinmann, P. Adhesion testing by the scratch test method: the influence of intrinsic parameters on the critical load / P. Steinmann, Y. Tardy and H. Hintermann // Thin Solid Films. – 1987. – N 154. – P. 333–349.

2. Ichimura, H. Effect of indenter radius on the critical load in scratch testing / H. Ichimura, Y. Ishii // Surf. Coat. Technol. – 2003. – N 165. – P. 1–7.

3. Benjamin, P. Measurement of adhesion of thin films / P. Benjamin, C. Weaver // Proc. Royal Society. – 1960. – N 254. – P. 163–176.