

Е. А. Кулеш (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. А. В. Рогачев, д-р хим. наук, профессор, чл.-кор. НАН РБ

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ГРАДИЕНТНЫХ МЕТАЛЛ-УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Покрывтия на основе углерода часто используются для защиты различных металлов от коррозии благодаря своей химической инертности и высокой плотности [1], однако характеризуются слабой адгезией к металлическим поверхностям и низкой температурной стойкостью. Актуальной задачей является разработка методов формирования покрытий и архитектуры покрытий нового типа, позволяющие увеличить прочность адгезионного соединения и расширить температурный интервал работы. Известно [2], что термообработка многослойных металл-углеродных покрытий приводит к образованию диффузионного слоя, что определяет увеличение адгезионного соединения.

Предполагается [3], что применение многослойного углеродного покрытия способствует повышению коррозионной стойкости системы покрытие-подложка благодаря: увеличению толщины покрытия, что статистически уменьшает возможность дефектов сквозного покрытия; созданию системы чередующихся слоев с различным электрохимическим поведением в коррозионной среде.

Целью данной работы являлось определение влияния отжига градиентных покрытий на основе аморфного углерода и металлов на их коррозионную стойкость.

Градиентные металл-углеродные покрытия $Me/\alpha-C(5...20 \text{ Гц}):Me$ получали из совмещенных потоков плазмы металла и углерода. Режим работы дугового испарителя, предназначенного для формирования металлической компоненты покрытия, был стабилизирован и обеспечивал равномерное поступление ионов металла на подложку. Осаждение градиентного покрытия начиналось с осаждения металлического подслоя, позволяющего обеспечить необходимые значения адгезионного соединения с материалом подложки из стали марки 304. Следующим этапом являлось введение в металлическую плазму атомов углерода и последующий рост концентрации атомов углерода по толщине покрытия от 0 до 100 ат. % в верхнем слое за счет увеличения частоты разрядных импульсов от 5 Гц до 25 Гц. В качестве металлического наполнителя использовали титан, хром и алюминий.

Отжиг покрытий проводили в муфельной печи СНОЛ в воздушной среде при температурах 150°, 250° и 350 °С в течение часа.

Коррозионная стойкость полученных покрытий исследовалась с применением стандартной трехэлектродной схемы. В качестве рабочей жидкости использовали раствор искусственной морской воды. Потенциал изменялся в диапазоне от минус 1,5 до +1,5 В. Скорость изменения потенциала составляла 10 мВ/с. Для каждого образца были получены анодные и катодные поляризационные кривые (кривые Тафеля).

С использованием математической обработки были получены следующие параметры коррозии: потенциал коррозии ($E_{кор}$, В) и ток коррозии ($I_{кор}$, А). Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты математической обработки кривых электрохимической коррозии

Температура отжига	Образец	$E_{кор}$, В	$I_{кор} \times 10^{-5}$, А/см ²
Без отжига	Сталь 304	-0,444	1,035
	Ti/α-C(5...20 Гц):Ti	-0,372	1,253
	Cr/α-C(5...20 Гц):Cr	-0,117	0,352
	Al/α-C(5...20 Гц):Al	-0,715	2,865
350 °С	Ti/α-C(5...20 Гц):Ti	-0,229	0,79
	Cr/α-C(5...20 Гц):Cr	Покрытие разрушено	
	Al/α-C(5...20 Гц):Al	-0,370	0,77
250 °С	Ti/α-C(5...20 Гц):Ti	-0,208	0,86
	Cr/α-C(5...20 Гц):Cr	0,112	0,32
	Al/α-C(5...20 Гц):Al	-0,358	1,93
150 °С	Ti/α-C(5...20 Гц):Ti	-0,154	0,93
	Cr/α-C(5...20 Гц):Cr	-0,192	0,43
	Al/α-C(5...20 Гц):Al	-0,276	2,69

По результатам анализа поляризационных кривых (таблица 1) установлено, что осаждение градиентных покрытий независимо от состава и температуры отжига приводит к повышению коррозионной стойкости стальной подложки, выполненной из стали марки 304.

Для Ti/α-C(5...20 Гц):Ti покрытий установлено, что за счет содержания атомов титана на поверхности покрытия происходит пассивация, что приводит к увеличению сопротивления до значений 3,16 кОм. Наличие титана, характеризующегося устойчивостью в коррозионных средах, содержащих хлорид-ионы, приводит к высокой

коррозионной стойкости с ростом температуры отжига, что определяется способностью титана образовывать оксиды и высокой коррозионной стойкостью металлического титана при высокой температуре.

Для градиентных Cr/a-C(5...20 Гц):Cr и Ti/a-C(5...20 Гц):Ti покрытий характерно увеличение отношения sp^3/sp^2 с ростом температуры отжига, что определяется преимущественным взаимодействием графитовой компоненты покрытия с атомами хрома, а также уменьшением относительного содержания графитовой фазы с ростом температуры отжига за счет термо-окислительной деструкции.

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее высокую коррозионную стойкость показало покрытие Cr/a-C(5...20 Гц):Cr после проведения отжига при температуре 250 °С. Значения потенциала коррозии при этом сместились в область положительных значений и составили 0,112 В. Отличительной особенностью градиентных покрытий, содержащих титан, является способность титана с ростом температуры образовывать оксид, который является достаточно плотным и не позволяет коррозионной среде взаимодействовать с материалом подложки.

Литература

1. Structural, mechanical, tribological, and corrosion properties of a-SiC:H coatings prepared by PECVD / S. Guruvenket [et al.] // Surface Coating Technology. – 2010. – Vol. 204. – P. 3358–3365.

2. Kinetics of graphitization of thin diamond-like carbon (DLC) films catalyzed by transition metal / N. Boubiche [et al.] // Diamond and Related Materials. – 2019. – Vol. 9. – P. 190–198.

3. Corrosion resistance of multi-layered plasma-assisted physical vapour deposition TiN and CrN coatings / C. Liu [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2001. – Vol. 141. – P. 164–173.

А. И. Леоненко (Г Г Т У имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **Н. В. Иноземцева** канд. техн. наук, доцент

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ ПРОШИВКОЙ

Способы нанесения металлических порошковых покрытий на металлическую основу в технологиях плакирования методом совместной пластической деформации основы и порошка покрытия отлича-