

Т.В. СТЕПАНОВА¹, А.В. КАЗИЕВ¹, М.В. АТАМАНОВ²,
Н.Ф. ИЗМАЙЛОВА³, А.В. ТУМАРКИН¹,
М.М. ХАРЬКОВ¹, М.М. БЕРДНИКОВА¹, А.А. ПИСАРЕВ¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

²ЗАО «ИНАКОТЕК», Москва

³ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение», Уфа

МАГНЕТРОННОЕ ОСАЖДЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ TiN ПОКРЫТИЙ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ СПЛАВА Al-Cu-Ag-Mg-Mn

Одним из перспективных направлений улучшения износостойкости, прочности, коррозионной стойкости алюминиевых сплавов является использование для этих целей современных плазменных технологий, которые являются энергосберегающими и экологически безопасными.

В работе представлены результаты исследования структуры и свойств образцов из экспериментального алюминиевого сплава с напыленными на их поверхность покрытиями из TiN. Были исследованы структура покрытия, микротвердость, адгезия, коррозионная стойкость, усталостные характеристики.

Материалом подложки при нанесении покрытий являлся сплав на основе алюминия, легированного Cu, Ag, Mg, Mn, Ti, Fe, Si (в порядке убывания).

Покрытия наносились на два типа подложек: плоские тестовые образцы (для изучения характеристик покрытий) и имитаторы лопаток турбин (для испытаний на усталость).

Перед нанесением покрытия образцы очищались пучком ионов аргона с энергией 2,2–2,4 кэВ в течение 5 мин. Покрытие наносилось реактивным распылением титана в атмосфере аргона и азота в магнетронном разряде. Напряжение на разрядном промежутке составляло 390–410 В (ток разряда 9,7–10,2 А). Во время нанесения покрытия на образцы подавалось смещение $U = -60$ В относительно заземленного анода. Покрытия осаждались в двух различных режимах: в сбалансированной и разбалансированной конфигурациях магнитного поля магнетрона. Разбалансировка достигалась с помощью дополнительной электромагнитной катушки. Толщина покрытий составляла 1 мкм и 3 мкм, в зависимости от длительности осаждения. Параметры предварительной обработки и процесса напыления для разных образцов приведены в таблице 1. После нанесения покрытия образцы охлаждались в камере напыления.

Структура полученных образцов исследовалась с помощью электронного микроскопа Tescan Vega 3. Измерения твердости проводились с по-

мощью микротвердомера Future-Tech FM-800. Диагностика адгезионных свойств покрытий выполнялась на скретч-тестере Anton Paar Revetest.

Таблица 1. Параметры плазменной обработки образцов

| Шифр образца | Электрофизическое устройство | Время, мин | Ar, см ³ /мин | N ₂ , см ³ /мин | Разбалансировка магнетрона |
|--------------|------------------------------|------------|--------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 10 | Ионный источник | 5 | 40,2 | — | — |
| | Магнетрон | 10 | 51,4 | 9,6 | нет |
| 11 | Ионный источник | 5 | 40,2 | — | — |
| | Магнетрон | 10 | 51,2 | 9,6 | да |
| 30 | Ионный источник | 5 | 41,0 | — | — |
| | Магнетрон | 30 | 50,1 | нет | |
| 31 | Ионный источник | 5 | 40,2 | — | — |
| | Магнетрон | 30 | 50,7 | 13,0 | да |

Результаты измерений микротвердости поверхности, а также РЭМ изображения следов индентора твердомера на поверхности образцов 10, 11, 30, 31 показаны на рисунке 1.

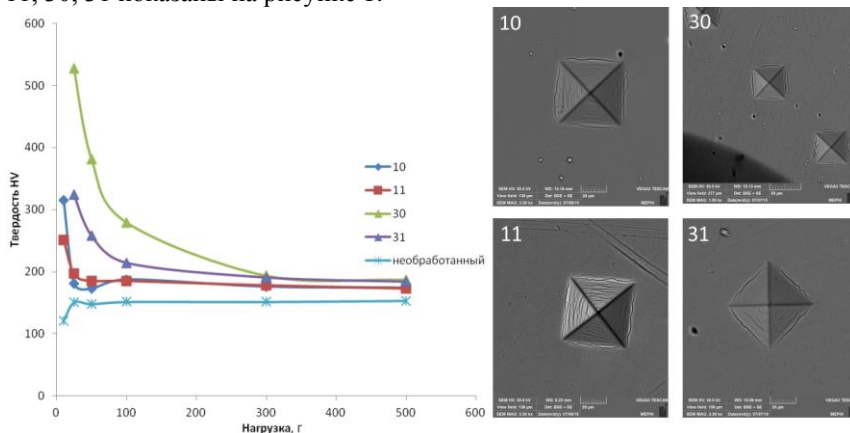


Рис. 1. Микротвердость поверхности образцов (слева); РЭМ изображения отпечатков индентора при нагрузке 500 г (справа)

Видно, что даже при максимальной нагрузке трещин за пределами отпечатка нет, что говорит о хорошем сцеплении покрытия с поверхностью.

Скретч-тесты образцов проводились с линейно возрастающей нагрузкой от 0,5 до 50 Н со скоростью увеличения 49,5 Н/мин на длине 5 мм (скорость 5 мм/мин). Использовался алмазный индентор Роквелла с радиусом скругления 200 мкм. Диагностика образцов на скретч-тестере показала улучшение адгезионных свойств покрытия при увеличении его толщины. Так, в отличие от более тонких покрытий 10 и 11 (1 мкм), на покрытии 30 (3 мкм) отсутствовали трещины за пределами следа индентора. Для образца 10 характерны следующие пороговые нагрузки: начало разрушения покрытия приходилось на 6,1 Н, а его интенсивное разрушение начиналось при 18,5 Н. В случае образца 30 эти значения возрастали до 16 Н и 23 Н, соответственно.

Тесты полученных покрытий на коррозионную стойкость проводились в 10 вес.% водном растворе КОН (рН = 15). На исследуемые образцы наносилось несколько капель раствора щелочи, и при помощи оптического стереомикроскопа визуально отслеживалось наличие изменений на поверхности. На сплаве без покрытия в месте его контакта с раствором щелочи менее, чем через 1 с, наблюдалось интенсивное образование большого количества пузырьков с газом. После 10 минут испытаний на поверхности проявлялись следы сильной эрозии. Покрытие поверхности слоем TiN замедлило коррозию алюминиевого сплава, находящегося под ним, причем покрытие толщиной 3 мкм функционировало существенно более эффективно, чем покрытие толщиной 1 мкм. Так, на образце 30 образование пузырьков не наблюдалось в течение 2 ч испытаний.

Усталостные испытания проводились на электродинамическом вибростенде. Для испытаний образец — имитатор лопатки турбины — зажимался в его утолщенной части, а нагрузка прилагалась к концу его тонкой части. Испытания заканчивались либо после слома образца, либо после достижения 20 млн. циклов нагрузки/разгрузки. Предел выносливости образцов в исходном состоянии находился на уровне 14 кгс/мм² на базе $N = 20 \times 10^6$ циклов по семи не разрушившимся образцам. Для образцов с покрытием TiN толщиной 1 мкм эта величина составила 16 кгс/мм² по пяти неразрушившимся образцам, а для образцов с покрытием 3 мкм — 16–17 кгс/мм² по четырем неразрушившимся образцам. Следовательно, покрытия не ухудшили циклическую усталость основного материала.

Таким образом, полученные покрытия повышают твердость поверхности, имеют хорошую адгезию, не отслаиваются при испытаниях на твердомере и скретч-тестере, обеспечивают коррозионную стойкость в растворе щелочи и улучшают усталостные свойства основного материала.