

Список литературы

1. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: справочник / В. С. Самойлов [и др.]; редкол.: И. А. Ординарцев (пред.) [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.: ил.
2. Пат. РБ № 14716 ВУ, U C 21 D 1/78. Способ упрочнения изделий из металла или сплава, или сверхтвердого или графитсодержащего материала / В. М. Шеменков, А.Ф. Короткевич; заявитель и патентообладатель Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет». – № 20091136; заявл. 27.07.2009. опубл. 30.08.2011. – 3 с.
3. Ходырев, В. И. Прогрессивные электрофизические методы упрочнения твердосплавного инструмента / В. И. Ходырев, А. Ф. Короткевич, В. М. Шеменков // Вестн. МГТУ. – 2002. – № 2. – С. 159–163.
4. Шеменков, В.М. Влияние тлеющего разряда на механические и эксплуатационные свойства поверхностного слоя однокарбидных твердых сплавов / В.М. Шеменков, Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Ловшенко // Вестн. Белорусско-Российского университета, – 2011. – №4/(33). С. 117-128.
5. Шеменков, В. М. Влияние тлеющего разряда на структуру и свойства безвольфрамовых твердых сплавов / В.М. Шеменков, Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Ловшенко, // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: VI Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 14-16 сентября 2011 г.): сб. материалов. В 3 кн. Кн. 1. Конструкционные и функциональные материалы в современной технике, методы их получения. Материалы для микро- и наноэлектроники / ред. коллегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2011. с. 396 – 406.
6. Панов, В. С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них: учеб. пособие для вузов / В. С. Панов, А. М. Чувилин, В. А. Фальковский. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: МИСИС, 2004. – 464 с.: ил.
7. Горелик, С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ : учеб. пособие для вузов / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев. – 4-е изд., доп. и перераб. – М. : МИСИС, 2002. – 360 с. : ил.
8. Шеменков, В.М. Влияние тлеющего разряда на эксплуатационные свойства твердых сплавов / В.М. Шеменков, Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Ловшенко, // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: VII Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 19-21 сентября 2012 г.): сб. материалов. В 3 кн. Кн. 1. Конструкционные и функциональные материалы в современной технике, методы их получения. Материалы для микро- и наноэлектроники / ред. коллегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2012. с. 396 – 406.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ НА СПЛАВЕ АМг6 ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НАНОАЛМАЗОВ

Комаров А.И.¹, Комарова В.И.¹, Шипко А.А.¹, Луговский С.Н.²

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь
komarova@inmash.bas-net.by

²Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Алюминий-магниевые сплавы, к которым относится сплав АМг6, благодаря пониженной плотности, высокой прочности, коррозионной стойкости, прочности сварных соединений находят широкое применение в различных отраслях промышленности, в частности, авиационной, автомобильной. Однако их использование в узлах трения

ограничивается низкими триботехническими характеристиками. Расширение возможности применения таких сплавов может быть достигнуто формированием на них износостойких керамических покрытий, модифицированных углеродными наноматериалами в процессе получения покрытия методом микродугового оксидирования [1]. В качестве такого материала была использована алмазно-графитовая шихта АШ-А.

Исследования структурного состояния керамического покрытия показали [1], что в традиционных электролитах независимо от условий и режимов микродугового оксидирования на сплаве АМгб формируется покрытие, состоящее только из оксида γ - Al_2O_3 , характеризующегося относительно низкими механическими свойствами. Включение в базовый электролит алмазосодержащей шихты приводит к появлению в составе покрытия высокопрочной формы оксида алюминия α - Al_2O_3 (корунда), содержание которого достигает 30% (рис. 1).

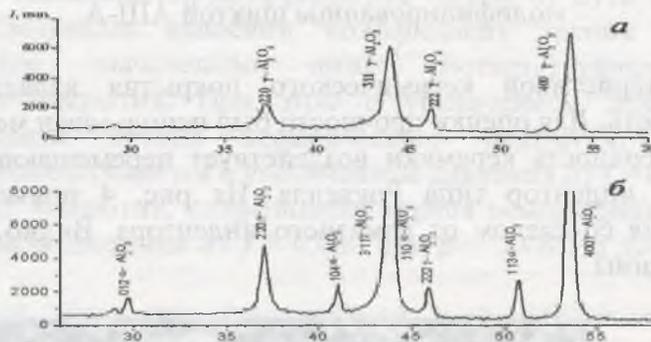


Рисунок 1 – Дифрактограммы от поверхности покрытия, полученного на сплаве АМгб в базовом электролите (а) и с добавкой шихты АШ-А (б)

Наряду с этим при использовании в микроплазменном процессе наноалмазов достигается значительный эффект в увеличении толщины покрытия, которая составляет 200–220 мкм (рис. 2, б), что в 2 раза превосходит толщину немодифицированного покрытия (рис. 2, а). Видно также, что по сравнению с покрытием, полученным в базовом электролите, структура покрытия, модифицированного наноалмазами, отличается большей однородностью и пониженной пористостью. Наноалмазы не только интенсифицируют процессы формирования покрытия, но и модифицируют его, встраиваясь в структуру (рис. 2, в). Согласно приведенным данным, наибольшая концентрация углерода в покрытии отмечается в поверхностном слое, а также вблизи границы раздела.

Высокая однородность модифицированного покрытия, а также наличие в нем оксида α - Al_2O_3 , приводят к увеличению микротвердости до уровня $H_\mu = 18$ ГПа (рис. 3). Микротвердость покрытия, полученного на сплаве АМгб в базовом электролите, составляет $H_\mu = 13$ ГПа.

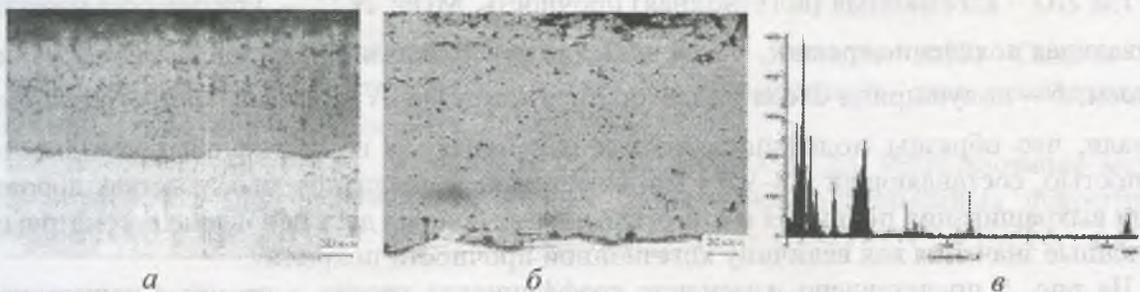


Рисунок 2 – Микроструктура покрытия, полученного на сплаве АМгб в базовом электролите (а), с добавкой алмазосодержащей шихты АШ-А (б) и распределение углерода по толщине модифицированного покрытия (в).

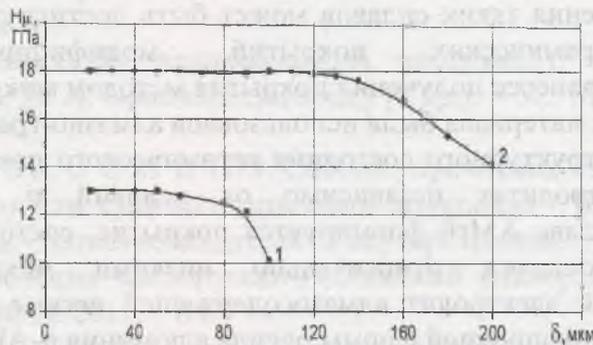


Рисунок 3 – Распределение микротвердости по глубине покрытия (от основы к поверхности), полученного на сплаве АМгб: 1 – немодифицированное; 2 – модифицированное шихтой АШ-А.

Важной характеристикой керамического покрытия является его адгезионная (когезионная) прочность. Для оценки прочности был использован метод склерометрии [2], при котором на поверхность керамики воздействует перемещающийся с нарастающей нагрузкой алмазный индентор типа Роквелла. На рис. 4 приведена микроструктура поверхности покрытия со следом от алмазного индентора. Видно, что на этом участке регистрируются трещины.

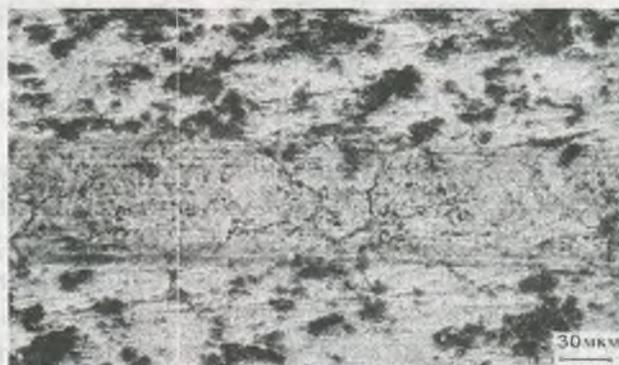


Рисунок 4 – Микроструктура фрагмента покрытия со следом от индентора

Исходя из ширины дорожки, оставленной индентором, и нагрузки, соответствующей началу образования трещин, можно определить прочность по выражению [2]:

$$HG = \frac{N_{\text{чар}}^{\text{крит}}}{0,5S} = \frac{2N_{\text{чар}}^{\text{крит}}}{\pi b^2},$$

где HG – адгезионная (когезионная) прочность, МПа; $N_{\text{чар}}^{\text{крит}}$ – критическая нагрузка, вызывающая появление трещин, Н; S – площадь поверхности индентора, контактирующей со слоем; b – полуширина следа индентора при нагрузке $N_{\text{чар}}^{\text{крит}}$. Полученные результаты показали, что образцы модифицированных наноалмазами покрытий обладают высокой прочностью, составляющей 8,8–9,5 ГПа. Отсутствие в анализируемых участках дорожки трения выкрашивания покрытия и его отслоения от основы дает основание рассматривать полученные значения как величину когезионной прочности покрытия.

На рис. 5 представлено изменение коэффициента трения в процессе испытания в условиях граничного трения керамических покрытий, полученных на сплаве АМгб. Испытания проводились по схеме возвратно-поступательного движения контактирующих материалов при различной удельной нагрузке.

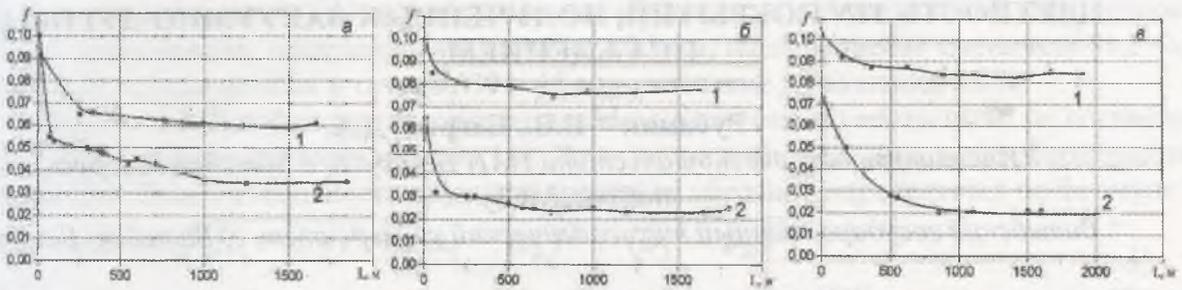


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента трения немодифицированного (1) и модифицированного наноалмазами (2) керамического покрытия на сплаве АМг6 от пути трения при давлении 30 МПа (а), 40 МПа (б), 50 МПа (в).

Из приведенных зависимостей коэффициента трения от пути трения видно, что во всем диапазоне исследуемых давлений коэффициент трения модифицированного керамического трения значительно ниже соответствующих значений для немодифицированного покрытия. При этом с увеличением давления это различие возрастает. Коэффициент трения керамического покрытия, модифицированного наноалмазами, постепенно снижается с увеличением давления от $f = 0,035$ ($p = 30$ МПа) до $f = 0,020$ ($p = 50$ МПа). Напротив, коэффициент трения немодифицированного покрытия возрастает с увеличением давления от $f = 0,060$ при $p = 30$ МПа до $f = 0,085$ при $p = 50$ МПа.

Модифицирование покрытия наноалмазами приводит также к значительному повышению его износостойкости, о чем непосредственно свидетельствует снижение массовой интенсивности изнашивания в 3,6–9 раз по сравнению с немодифицированным покрытием (табл. 1).

Таблица 1 – Интенсивность изнашивания керамического покрытия при различных давлениях.

Покрытие	Массовая интенсивность изнашивания, 10^{-4} мг/м		
	$p = 30$ МПа	$p = 40$ МПа	$p = 50$ МПа
Модифицированное	0,29	0,50	0,70
Немодифицированное	1,02	2,8	6,3

Таким образом, модифицирование керамического покрытия на сплаве АМг6 алмазосодержащей шихтой АШ-А оказывает влияние на его структурообразование и свойства, что выражается в повышении толщины в 2 раза, интенсификации фазовых превращений, возрастании микротвердости в 1,4 раза, уменьшении интенсивности изнашивания в 3,6–9 раз и снижении коэффициента трения в 2–4 раза по сравнению с немодифицированным покрытием.

Список литературы

1. Витязь П.А., Жорник В.И., Кукареко В.А., Комаров А.И., Сенють В.Т. Модифицирование материалов и покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками. – Минск: Бел. наука, 2011, 527 с.
2. Фукс-Рабинович Г.С., Моисеев В.Ф., Кацура А.А. и др. Использование метода склерометрии для определения адгезионных свойств ионно-плазменных покрытий // Заводская лаборатория. – 1990. – № 2. – С. 95–98.