

ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ

Девоyno О.Г., Кардаполова М.А., Яцкевич О.К.

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
scvdmed@bntu.by*

В настоящее время довольно активно проводится поиск эффективных методов улучшения комплекса физико-механических и эксплуатационных свойств керамических покрытий. Большинство исследований включает в себя разработку новых методов получения порошковых материалов для напыления [1,2]. Особое внимание также уделяется подбору оптимального состава композиций, который позволит в свою очередь получить износостойкие керамические покрытия с высокой адгезией [3].

В данной работе исследуется влияние содержания легирующих элементов в порошке для плазменного напыления, который получен методом диффузионного легирования, на фазовый состав, твердость и адгезию сформированных керамических покрытий.

Исходный порошок оксида алюминия подвергали диффузионному легированию молибденом и бором. Исследовались три типа покрытий из оксида алюминия (Al_2O_3), не прошедшего диффузионную обработку, и диффузионно-легированного бором (Al_2O_3-B) и молибденом (Al_2O_3-Mo). Для оценки влияния количества легирующих элементов в модифицированном керамическом порошке на параметры структуры и свойства плазменных покрытий были изготовлены образцы разного состава с содержанием легирующего элемента в пределах 1–15%. Смешанные в определенном соотношении исходные материалы засыпаются в герметичный контейнер, который размещается в лабораторной установке. Контейнер, вращающийся со скоростью 50–100 мин⁻¹, подвергается изотермической выдержке в печи в течение 1...2,5 часов при температуре 920–950°C.

Напыление покрытий выполнялось при следующих технологических параметрах: сила тока в плазменной горелке 420 А, напряжение 80 В, расстояние между соплом и напыляемой поверхностью 90 мм, рабочий газ – азот с расходом 3 м³/ч. Толщина покрытия после напыления 0,5...0,7 мм, базовый материал – сталь 45.

Исследованием методами СЭМ с использованием аттестованного микроскопа «Miga» фирмы «Oxford Instruments» (Великобритания), с применением детекторов вторичных (SE) и обратно отраженных электронов (BSE), а также микрорентгенспектральным анализом (MPCSA) поперечной структуры газоплазменных покрытий из порошков Al_2O_3 , модифицированных молибденом, установлено, что легирование порошка усиливает диффузию в окисный слой Fe из основы. Микроструктура покрытия в режиме BSE из порошка, модифицированного Mo, показывает равномерное распределение по сечению покрытия Fe, Mo-содержащих фаз. Аналогичный эффект наблюдается и для покрытий легированных бором. Установлено присутствие железа в пограничном слое покрытия, что может свидетельствовать о химическом взаимодействии элементов керамического покрытия со стальной основой.

Методом рентгенофазового анализа (РФА) с применением рентгеновского дифрактометра «ДРОН -3» и программы «SPLIT LINE» исследовали фазовый состав модифицированных порошков и покрытий из них. Использовали интервал углов рассеяния от 20 до 100° Шаг поворота образца составлял 0,1°, скорость вращения гониометра 1°/с. Установлено, что в нанесенных покрытиях присутствуют фазы $\alpha-Al_2O_3$ (корунд) и $\gamma-Al_2O_3$. При этом в композиционных покрытиях доля высокотемпературной фазы $\alpha-Al_2O_3$ выше, по сравнению с покрытием из чистого оксида алюминия, не прошедшего диффузионную обработку.

В покрытии из порошка с содержанием молибдена 1-4 % обнаружено небольшое количество Mo, в покрытии из порошка с содержанием молибдена 4-15 % - фаза Al_3Mo .

Это свидетельствует о том, что при газопламенном нанесении данных покрытий происходит частичное разложение фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и образование новой Al_3Mo , но только в том случае, если количество Мо составляет не менее 4 %. В исходных порошках, модифицированных до 4 % Мо, присутствуют только фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд), частично окисленный в плазменной струе молибден MoO_3 и чистый Мо. В покрытии $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-B}$ установлено присутствие боридов железа Fe_3B на поверхности контакта покрытия с базовым материалом, других соединений не выявлено.

Таблица 1. Фазовый состав и свойства исследуемых композиций

Состав покрытия, %	Фазовый состав	Пористость, %	HV, ГПа	Величина адгезии, МПа
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-1 Mo}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{Mo}$	9	16,2	17,4
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-2 Mo}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{Mo}, \text{MoO}_3$	7,5	14,8	22,4
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-4 Mo}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{Mo}, \text{Al}_3\text{Mo}$	6,2	12,9	26,1
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-6 Mo}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{Mo}, \text{Al}_3\text{Mo}$	6	12,5	26,4
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-8 Mo}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{Mo}, \text{Al}_3\text{Mo}$	5,8	12,2	27,1
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-10 Mo}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{Al}_3\text{Mo}, \text{Mo}, \text{MoO}_3$	5	11,9	27,8
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-12 Mo}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{Al}_3\text{Mo}, \text{Mo}, \text{MoO}_3$	4,8	10,8	27,5
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-15 Mo}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{Al}_3\text{Mo}, \text{Mo}, \text{MoO}_3$	4,5	10,4	27,3
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-1 B}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{B}$	7	16,4	18,5
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-2 B}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{B}$	7,2	16,1	19,4
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-4 B}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{B}$	7	15,7	22,4
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-6 B}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{B}$	6,5	13,4	23,5
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-8 B}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{B}, \text{Fe}_3\text{B}$	5,9	11,5	26,7
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-10 B}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{B}, \text{Fe}_3\text{B}$	5,5	10,6	26,5
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-12 B}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{B}, \text{Fe}_3\text{B}$	6	10,3	26,6
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-15 B}$	$\alpha, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{B}, \text{Fe}_3\text{B}$	6,3	10,1	26,8

Средние значения адгезии покрытий с основой для оксида алюминия составляют 10,95 МПа, а для легированных бором 25,5 МПа и молибденом – 26,1 МПа. Таким образом, адгезия композиционных покрытий с основой выше в 2,2–2,4 раза по сравнению с исходной керамикой (табл.1).

Исследованные покрытия имеют весьма высокую микротвердость, а именно материал Al_2O_3 – в среднем 15 ГПа, легированный материал $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Mo}$ – 12,9 ГПа, легированный материал $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-B}$ – 10,65 ГПа.

Используемая машина трения А-135 типа Amsler позволила измерить момент и работу трения при приложенной постоянной нагрузке на образце по схеме диск-колодка в данный момент времени для последующего расчета мгновенного коэффициента трения керамических покрытий. Были получены зависимости значений коэффициентов трения для покрытий разного состава от давления в паре трения (рис.1).

Установлено, что при увеличении давления в паре трения для всех исследуемых покрытий происходит интенсификация изнашивания, коэффициент трения увеличивается (рис.1). Однако, легированные молибденом и бором в количестве 15% покрытия при давлении 30–45 МПа имеет меньшую тенденцию к увеличению коэффициента трения.

Введение легирующих элементов позволило снизить коэффициент трения керамических покрытий в 2...2,2 раза. При этом разница становится более существенной при увеличении контактного давления.

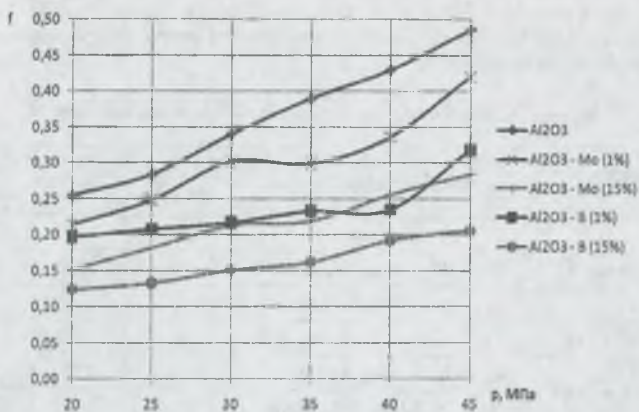


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от нормальной нагрузки в установившемся режиме для различных покрытий.

Особый интерес представляют композиции $Al_2O_3 - Mo$ (6–8%) и $Al_2O_3 - B$ (8–10%), имеющие при невысоком коэффициенте трения наименьшую интенсивность изнашивания. Причем коэффициенты трения данных композиций в меньшей степени зависят от увеличения контактного давления в паре трения.

Необходимо также отметить, что все исследуемые керамические покрытия при испытании в присутствии смазочного материала имеют незначительные следы износа на поверхности по сравнению со случаем сухого трения, что довольно типично для данного класса покрытий. Наличие смазки снижает коэффициент трения исследованных покрытий в 2,8...3 раза по сравнению с сухим трением.

На основании проведенных исследований установлено: разработанные порошковые материалы позволяют получить плазменные керамические покрытия с высокой прочностью сцепления до 26-27 МПа, при незначительном снижении микротвердости до 10-12 ГПа. Вместе с этим отмечается снижение коэффициентов трения покрытий в 2...2,2 раза. Величина относительного износа легированных покрытий значительно меньше, чем нелегированных как для случая сухого трения, так и для трения в масле, хотя твердость покрытий отличается незначительно.

Список литературы

1. Гаршин А.П., Гропянов В.М., Зайцев Г.П., Семенов С.С. Керамика для машиностроения. М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2003.-384 с. 2. Хокинг М., Васантасари В., Сидки П. Металлические и керамические покрытия: Получение, свойства, применение: Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 518 ил. 3. Плазменные покрытия на основе керамических материалов: Монография/ А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, А.И. Шевцов; под ред. А.Ф. Ильющенко. – Минск: Бестпринт, 2006. – 316.