

УДК 669.718

О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова, О.К. Яцкевич, В.Л. Николаенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАЗМЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ДИФФУЗИОННО-ЛЕГИРОВАННОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Изучено влияние способа модифицирования алюминиевых порошков на изменение эксплуатационных характеристик керамических покрытий. Исходный порошок алюминия был легирован молибденом и бором. Показаны результаты исследования износостойкости покрытий. Проведено сравнение коэффициента трения исходного алюминиевого и композиционного покрытия.

Ключевые слова: алюминиевые порошки, эксплуатационные характеристики, молибден, бор, алюминиевое покрытие, композиционное покрытие.

Введение. Износостойкость является наиболее важным показателем керамических плазменных покрытий. Процесс изнашивания зависит от ряда факторов: сочетания физико-механических свойств элементов пары трения, твердости контактирующих поверхностей, скорости и характера трения, удельных давлений и т.д. [1].

В качестве материалов износостойких керамических покрытий широко применяются различные оксидные и металло-оксидные композиции. Данные покрытия обладают высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, позволяющими деталям надежно работать в условиях износа при граничном трении и трении со смазкой, но существенным недостатком таких покрытий является их высокая стоимость [1–3]. Поэтому было предложено использовать керамические порошки на основе оксида алюминия.

Перспективным и экономичным способом получения композиционного порошка на основе оксида алюминия для последующего формирования плазменных покрытий является диффузионное легирование, заключающееся в насыщении исходного керамического порошка легирующими элементами и изменении его фазового состава.

В работе представлена оценка влияния способа получения порошкового материала на эксплуатационные свойства композиционного покрытия на его основе. Исходный порошок оксида алюминия подвергали диффузионному легированию молибденом и бором. Приведены результаты исследования триботехнических свойств, а именно: выполнен сравнительный анализ износостойкости и коэффициентов трения для покрытий из исходного оксида алюминия и оксида алюминия после диффузионного легирования.

Цель работы – изучить возможность повышения триботехнических характеристик покрытий на основе оксида алюминия путем легирования его молибденом и бором.

Девойно Олег Георгиевич, д-р техн. наук, проф., зав. НИИЛ плазменных и лазерных технологий БНТУ (Минск).

Адрес для корреспонденции: пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь; e-mail: scvdmmed@bntu.by

Кардаполова Маргарита Анатольевна, канд. техн. наук, науч. сотрудник НИИЛ плазменных и лазерных технологий БНТУ (Минск).

Адрес для корреспонденции: пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь; e-mail: scvdmmed@bntu.by

Яцкевич Ольга Константиновна, инженер каф. «Металлорежущие станки и инструменты» БНТУ (Минск).

Адрес для корреспонденции: пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь; e-mail: mtools@bntu.by

Николаенко Владимир Лаврентьевич, канд. техн. наук, доц., доц. каф «Детали машин, подъёмно-транспортные машины и механизмы» БНТУ (Минск).

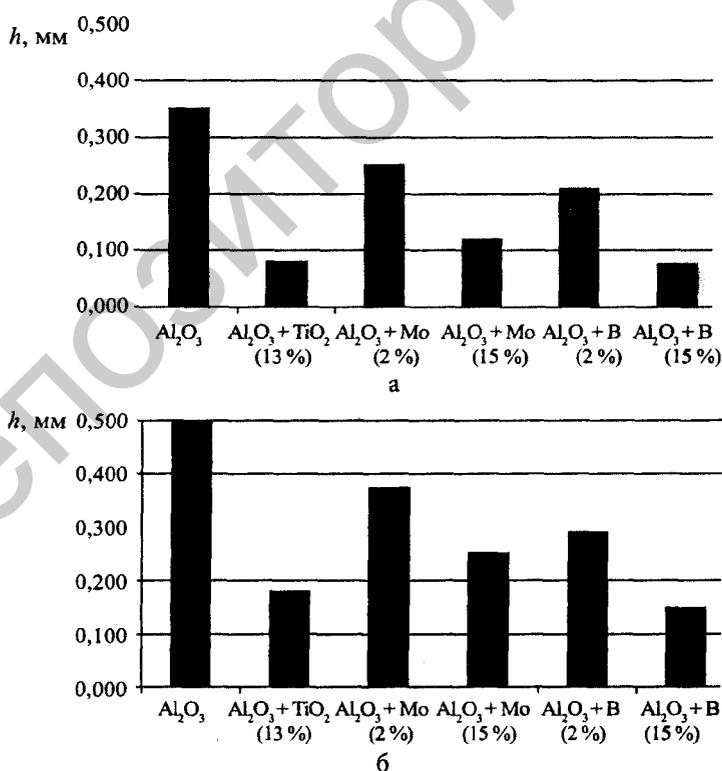
Адрес для корреспонденции: пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь; e-mail: mparts@bntu.by

Методики исследований. Параметр микротвердости покрытий измеряли на приборе Micromet II фирмы Buehler-Met (Швейцария) при массе разновеса 50 г и времени нагружения 10 с.

Сравнительную оценку износостойкости покрытий проводили на установке торцевого трения. Данная установка позволяет сократить время испытаний, обеспечивая варьирование в широких пределах величины контактного давления. В патрон зажато контртело из твердого сплава ВК-6, рабочая часть которого выполнена в виде трубки с толщиной стенки 1,5 мм. Образец представляет собой плоскую пластинку с центральным отверстием. Весь узел крепления образцов смонтирован в ёмкости, что позволяет проводить испытания в условиях жидких сред. Величину износа определяли глубиной лунки с помощью профилографа-профилометра модели 252. За величину износа на данном образце принимали среднее значение пяти замеров по периметру протертой канавки. Шероховатость исследовали с помощью профилографа-профилометра модели 252.

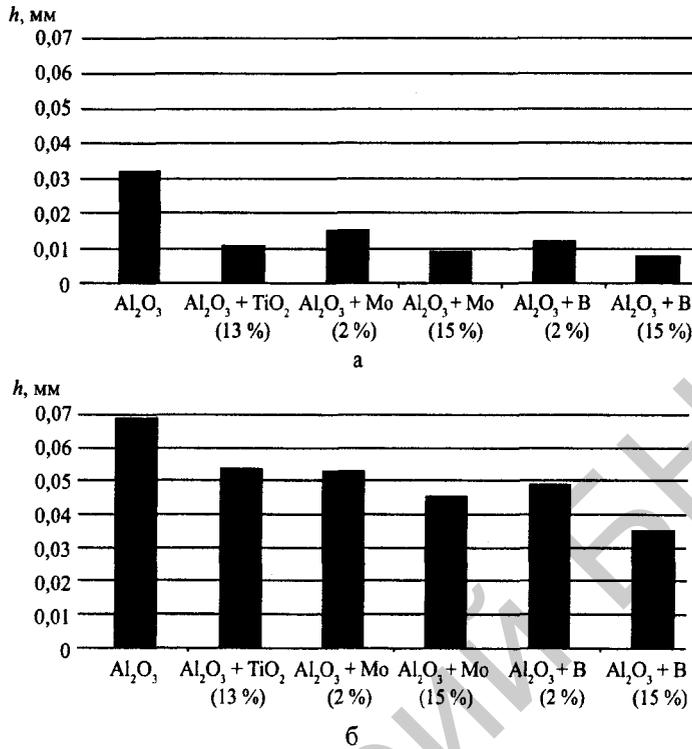
Для измерения момента трения в условиях сухого трения использовали машину трения и износа типа Amsler. В этом случае исследования проводили на неподвижном контртеле (колке) и вращающемся образце (диске). Материал контртела – закаленная сталь 45. Величину нагрузки варьировали в пределах 20–45 МПа, скорость вращения образца составляла 10 м/мин.

Обсуждение результатов. Сравнение износостойкости исследуемых керамических покрытий при $V = 1,2$ м/с и различных нагрузках в условиях сухого трения и трения со смазкой показано на диаграммах (рисунки 1, 2). По завершении эксперимента измерялась линейная величина износа h образца с нанесенным легированным покрытием.



Пояснения: а – нагрузка 80 Н, время 60 с; б – нагрузка 20 Н, время 300 с.

Рисунок 1 – Диаграммы сравнительного износа при трении без смазочного материала



Пояснения: а – нагрузка 80 Н, время 60 с; б – нагрузка 20 Н, время 300 с.

Рисунок 2 – Диаграммы сравнительного износа при трении со смазочным материалом

Полученные результаты испытаний износостойкости указывают на высокие физико-механические свойства плазменных покрытий из порошка оксида алюминия, легированного бором (Al_2O_3 -B) и молибденом (Al_2O_3 -Mo). Большая износостойкость этих покрытий объясняется повышением пластичности покрытий при незначительном уменьшении микротвердости. Это проявляется при интенсификации изнашивания за счет увеличения относительной скорости скольжения.

Обе композиции характеризуются более высоким содержанием α -фазы Al_2O_3 высокотемпературной модификации. Эксплуатационные характеристики оксидного покрытия Al_2O_3 связаны с фазовым составом. Увеличение содержания α - Al_2O_3 значительно повышает износостойкость покрытия.

Для экспериментальной проверки полученных теоретических результатов относительно антифрикционных характеристик покрытий из модифицированного оксида алюминия были проведены исследования 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. Изменение коэффициентов трений разных композиций в зависимости от давления в паре трения показано на рисунке 3.

При увеличении давления и относительной скорости скольжения в паре трения для покрытий происходит интенсификация изнашивания, коэффициент трения увеличивается (рисунок 3). Однако легированные молибденом и бором в количестве 15 % покрытия при давлении 30–45 МПа имеет меньшую тенденцию к увеличению коэффициента трения.

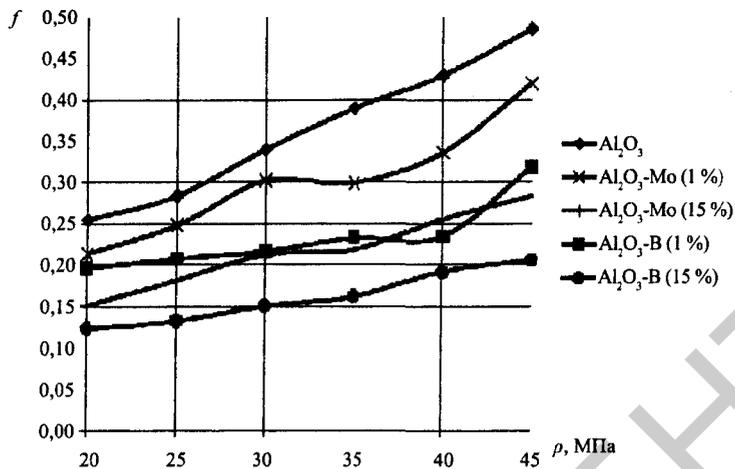
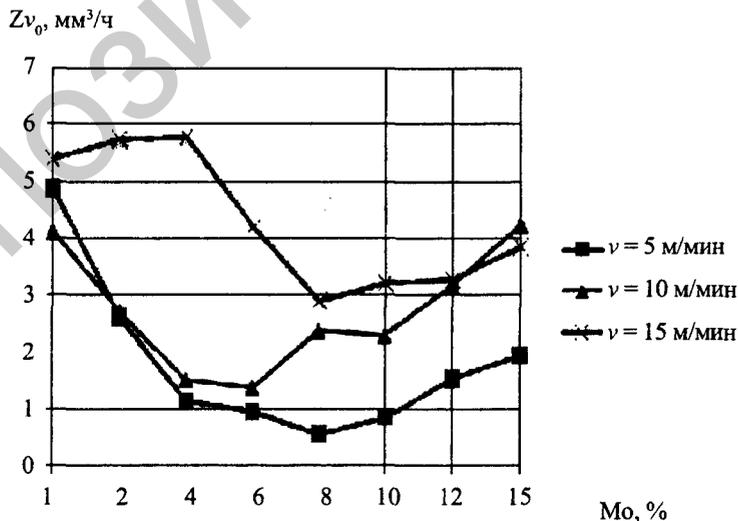


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента трения от нормальной нагрузки в установившемся режиме для различных покрытий

Исследование влияния условий трения (контактного давления и скорости скольжения) на коэффициент трения показало, что при увеличении нагрузки от 20 до 40 МПа и скорости скольжения коэффициент трения у легированных покрытий увеличивается на 15–20 % меньше, чем у чистого оксида (рисунок 3). Это говорит о том, что покрытия, сформированные из диффузионно-легированных порошков, можно рекомендовать для тяжелых условий трения.

Особый интерес представляют композиции Al₂O₃-Mo (6–8 %) и Al₂O₃-B (8–10 %), имеющие при невысоком коэффициенте трения наименьшую интенсивность изнашивания (рисунки 4, 5). Причем коэффициент трения данных композиций наименьшим образом зависит от увеличения контактного давления в паре трения.



Пояснения: нагрузка 300 Н; время 60 мин; трение без смазочного материала.

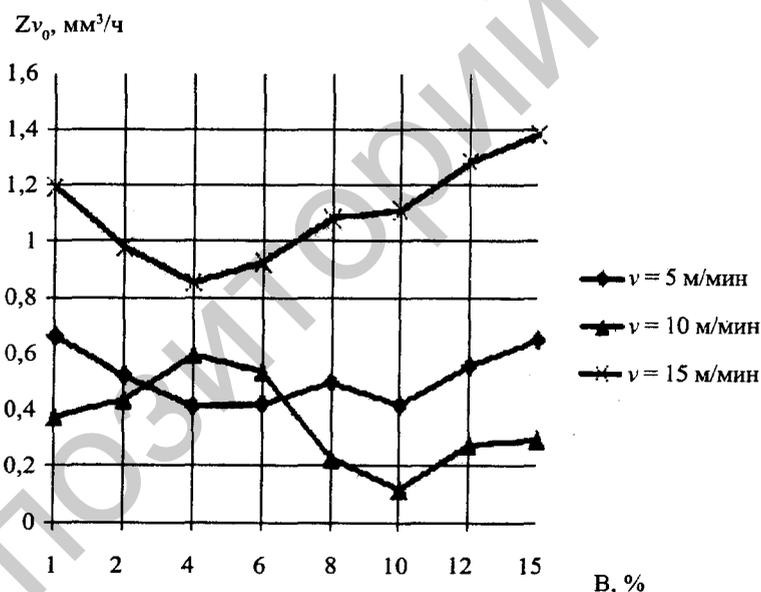
Рисунок 4 – Зависимость интенсивности изнашивания керамики Al₂O₃-Mo от содержания молибдена

При постоянной нагрузке 300 Н, действующей на образец в течение часа, покрытия из диффузионно-легированных порошков имеют значительно меньший относительный износ по сравнению с покрытием из чистого оксида алюминия.

Наилучшим образом показали себя покрытия из оксида алюминия, диффузионно-легированного бором. Интенсивность изнашивания образцов Al_2O_3 -В в случае трения без смазочного материала при $V = 10$ м/мин и нагрузке 300 Н меньше в 12–15 раз изнашивания керамического покрытия, легированного Al_2O_3 -Мо.

Необходимо 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.

Таким образом, низкие значения величины износа в условиях трения без смазки при постоянной нагрузке 300 Н и скорости скольжения 10 м/мин (рисунок 5) для покрытий, легированных бором в количестве 10 %, можно объяснить низким коэффициентом трения, равным 0,176. Причинами этого могут являться, с одной стороны, более высокое содержание высокотемпературной фазы $\alpha-Al_2O_3$, с другой – возможное присутствие в легированной керамике Al_2O_3 -В боридов железа.



Пояснения: нагрузка 300 Н; время 60 мин; трение без смазочного материала.

Рисунок 5 – Зависимость интенсивности изнашивания керамики Al_2O_3 -В от содержания бора

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, особенно для случая трения в масле. Наилучшим образом исследуемые покрытия могут себя проявить при больших нагрузках (300–450 Н) в паре трения в присутствии смазочного материала. Относительный износ легированных покрытий в среднем в 1,8–2,8 раза ниже, чем

исходного покрытия из оксида алюминия. Использование смазки при трении снижает интенсивность изнашивания исследуемых покрытий до 7,5 раза.

Таким образом, представленная технология создания композиционных покрытий из оксидных легированных порошковых материалов и используемое оборудование являются высокоэффективными и импортозамещающими.

Выводы. Исследование трибологических характеристик покрытий из модифицированной керамики показало, что величина износа легированных покрытий меньше величины износа покрытий из оксида алюминия. Данные покрытия так же незначительно уступают покрытию из широко используемой в машиностроении композиции Al_2O_3 - TiO_2 (13 %). Причем коэффициенты трения покрытий Al_2O_3 -Mo и Al_2O_3 -B примерно в 2–2,2 раза меньше коэффициента трения покрытия из Al_2O_3 , не прошедшего диффузионное легирование. Особенно хорошо легированные покрытия проявили себя при больших давлениях в паре трения (40–45 МПа). При увеличении давления и относительной скорости скольжения в паре трения для всех керамических покрытий происходит интенсификация изнашивания и увеличение коэффициента трения. Наилучшим образом показали себя покрытия из оксида алюминия, диффузионно-легированного бором. Интенсивность изнашивания образцов Al_2O_3 -B в случае трения без смазочного материала при нагрузке 300 Н в среднем меньше в 5 раз изнашивания керамического покрытия, легированного Al_2O_3 -Mo.

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 коэффициент трения данных композиций в меньшей степени зависит от увеличения контактного давления в паре трения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хокинг, М. Металлические и керамические покрытия: получение, свойства, применение / М. Хокинг, В. Васантасари, П. Сидки [пер. с англ.]. – М. : Мир, 2000. – 518 с.
2. Газотермическая обработка керамических оксидов / М.Н. Бодяко [и др.]; под ред. О.В. Романа. – Минск : Наука и техника, 1988. – 223 с.
3. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник / Ю.С. Борисов [и др.]. – Киев : Наукова думка, 1987. – 544 с.

Поступила в редакцию 11.01.13.

In this article the influence of way for aluminium powders modifying on operational characteristics of ceramic coatings were studied. The initial aluminium powder was alloyed by molybdenum and boron. Results of the research of wear resistance of coating have been shown. It has been compared the factor of a friction of initial aluminium coating and composite coatings.

Keywords: aluminium powders, operational characteristics, molybdenum, boron, aluminium coating, composite coating.

