

разработка износостойких композиционных материалов для упрочнения крупногабаритных высоконагруженных валов бумагоделательных машин / Н.В. Спиридонов, И.О. Соколов, Л.И. Пилецкая, А.С. Володько // Сборник научных трудов 6 международной научно-технической конференции «Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин», 24 – 26 апреля 2007 г.: в 3 т. – Новополоцк, 2007. – Т. 1. – С. 70 – 73.

УДК 621.793

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Яцкевич О.К., Луцко Н.И.

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Эффективность работы машин и оборудования во многом определяются эксплуатационными затратами. Учитывая, что не менее 50 % отказов оборудования, происходит по причине преждевременного износа, становится очевидным, что разработки материалов с высокими триботехническими характеристиками являются весьма актуальными.

Таким образом, разрабатываемая технология позволяет на базе стандартного оксида алюминия получать недорогие керамические покрытия, имеющие высокие физико-механические и эксплуатационные характеристики. Кроме того, предлагаемая технология позволяет полностью реализовать весь ресурс свойств, заложенный в данном составе исходного материала.

Проведенные исследования показали, что оксид алюминия обладает высокой твердостью, износостойкостью, доступностью и дешевизной. Недостатком покрытий из оксида алюминия является хрупкость и низкая адгезия покрытия. Целью работы является повышение эксплуатационных свойств керамических оксидных покрытий химико-термической обработкой исходных материалов.

После анализа имеющихся литературных данных, объектом исследования были выбраны плазменные покрытия из оксида алюминия, диффузионно-легированного молибденом и бором. Молибден и бор были выбраны в качестве пластичной фазы с хорошими фрикционными свойствами.

Технология получения диффузионно-легированного порошка включает в себя следующие стадии:

1. сушка и рассев исходных материалов;
2. смешивание материалов в определенном соотношении;
3. герметизация и размещение контейнера с порошками в лабораторной установке;
4. изотермическая выдержка в печи с вращением контейнера (50 - 100 мин-1, 900-960°C, 2...3 часа).

На следующем этапе были проведены экспериментальные работы по нанесению покрытий из диффузионно-легированного оксида алюминия плазменным напылением. На подложку из стали 45 были нанесены покрытия из чистого оксида алюминия и легированного молибденом и бором.

Составы напыляемых покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы напыляемых покрытий

Обозначение состава	состав порошковой смеси, %		
	Al ₂ O ₃	Mo	B
Al ₂ O ₃	100	-	-
Al ₂ O ₃ + Mo (2%)	98	2	-
Al ₂ O ₃ + Mo (4%)	96	4	-
Al ₂ O ₃ + B	95	-	5

Проведенное математическое моделирование процесса плазменного напыления легированных покрытий позволило подобрать оптимальные режимы напыления. Критерием выбора режимов напыления являлась адгезия покрытия. В качестве оптимальных были выбраны режимы, обеспечивающие получение наибольшей прочности сцепления покрытия с основой. Наиболее оптимальными режимами напыления для керамических покрытий являются режимы, приведенные в таблице 2.

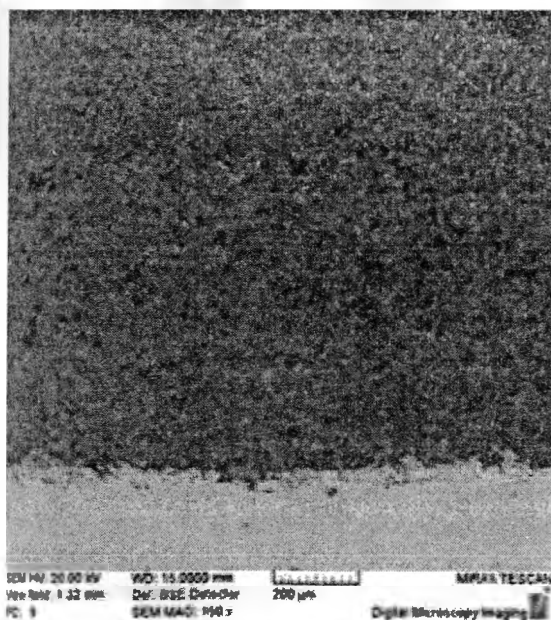
Таблица 2 – Оптимальные режимы напыления

Напряжение дуги, В	80
Сила тока, А	420
Дистанция напыления, мм	90
Расход плазмообразующего газа, м ³ /ч	3,0
Плазмообразующий газ	азот

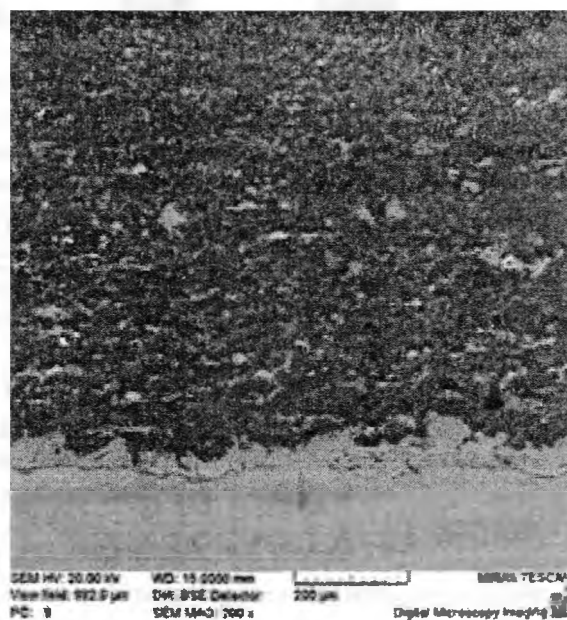
Технологический процесс нанесения покрытия включает в себя следующие стадии:

- подготовка поверхности для нанесения покрытия дробеструйной обработкой: давление воздуха 0,5 МПа, диаметр сопла 8 мм, дистанция 30 мм, использовалась чугунная колотая дробь ДЧК-1,5 ГОСТ 11964-81 со средним размером 1,5 мм
- напыление покрытия: для плазменного напыления керамических покрытий использовалась установка УПУ-3Д с плазмотроном ПП-25. В качестве плазмообразующего и транспортирующего газа применялся азот. Расход газа – 3 м³/ч. Режимы напыления приведены в таблице 3.
- контроль качества покрытий

Таким образом, была получена серия образцов для дальнейших металлографических и дюрOMETрических исследований, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализа. На рис. 1 представлена структура напыленных покрытий.



(a)



(б)

Рис. 1. Микроструктура покрытия из оксида алюминия: а – легированного бором; б – легированного молибденом

Получены средние значения адгезии покрытий с основой для оптимальных значений режимов напыления, данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Величина адгезии покрытий с основой

Состав покрытия	Величина адгезии, МПа
Al_2O_3	10,95
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Mo}$ (2%)	25,9
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Mo}$ (4%)	26,1
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}$	25,5

Предварительную оценку работоспособности покрытий, включающую их испытания на износостойкость, проводили на установке торцевого трения, изготовленной на базе сверлильного станка.

Величина износа определялась глубиной лунки с помощью профилографа-профилометра модели 252. За величину износа на данном образце принималось среднее значение пяти замеров по периметру протертой канавки. Шероховатость исследовалась с помощью того же прибора, что и величина износа, - профилографа-профилометра модели 252.

Сравнение износостойкости исследуемых керамических покрытий при $V = 1,2$ м/с и различных нагрузках в условиях трения без смазочного материала и со смазкой показано на диаграммах (рис. 2, 3).

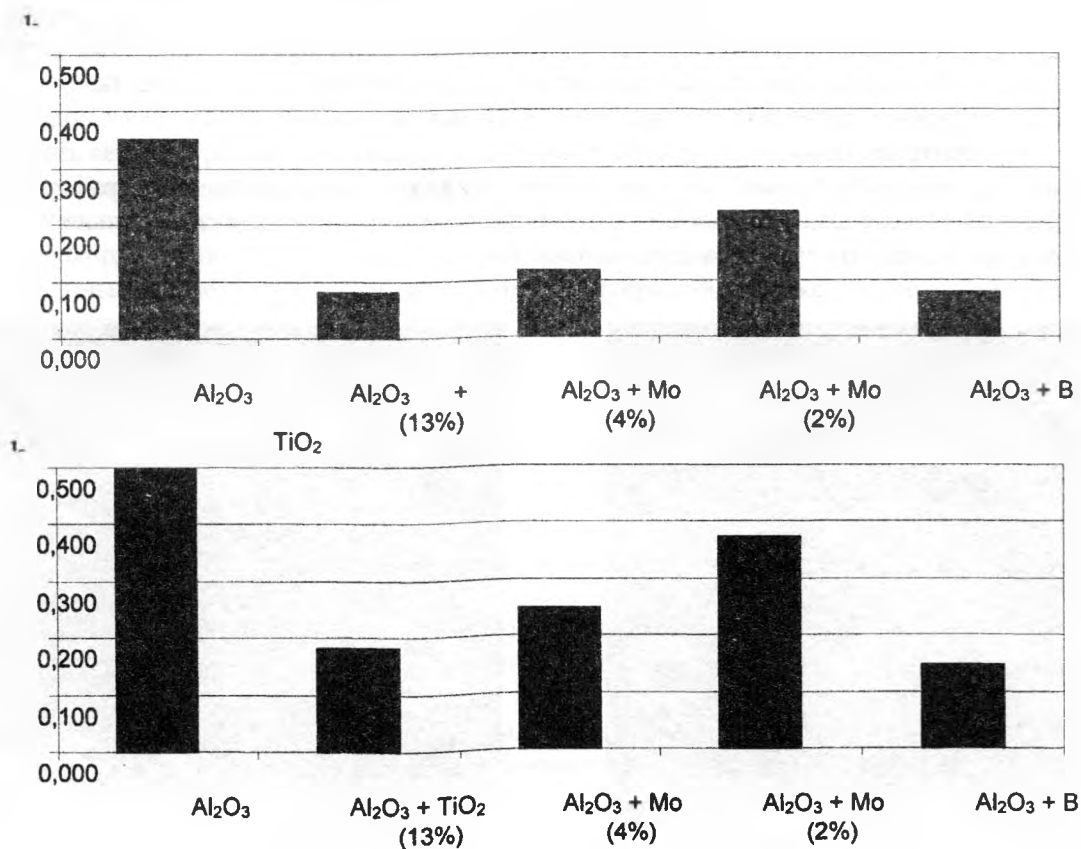
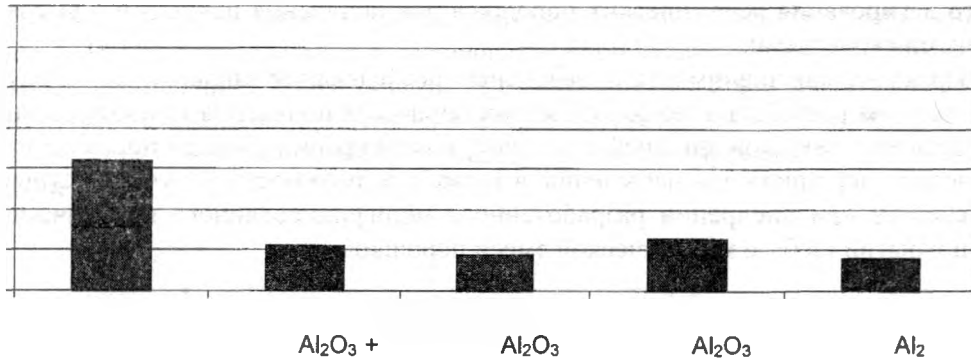


Рис. 2. Диаграммы сравнительной износостойкости, трение без смазочного материала:
а – нагрузка 80 Н, время 60 с; б – нагрузка 20 Н, время 300 с.

h, мм



h, мм

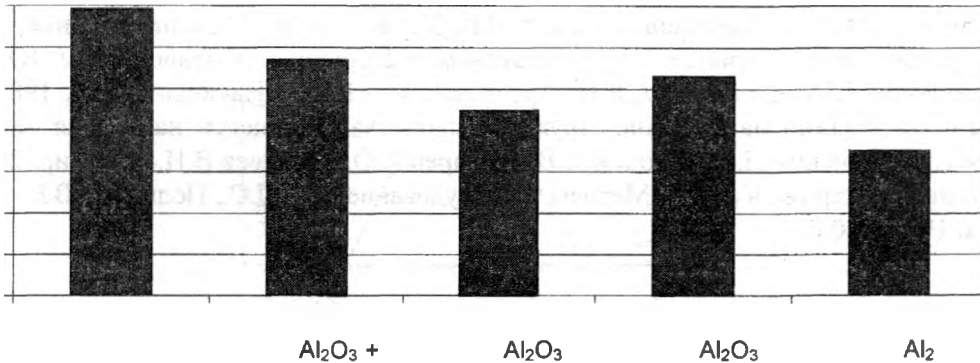


Рис. 3. Диаграммы сравнительной износостойкости, трение со смазочным материалом:
а – нагрузка 80 Н, время 60 с; б – нагрузка 20 Н, время 300 с.

Полученные результаты испытаний износостойкости указывают на высокие физико-механические свойства плазменных покрытий из порошка оксида алюминия, легированного бором ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}$) и молибденом с содержанием легирующего элемента 4% ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Mo}$ 4%).

Большая износостойкость этих покрытий объясняется повышением пластичности покрытий при незначительном уменьшении микротвердости. Это проявляется при интенсификации изнашивания за счет увеличения относительной скорости скольжения.

Покрытия из модифицированной керамики обладают меньшей пористостью по сравнению с покрытием из чистой окиси алюминия и имеют более высокую адгезию. Введение молибдена и бора значительно повысило адгезию покрытия с основой в 2 – 2,5 раза (25–26 МПа), (таблица 3). Пористость покрытий снизилась в 2–2,4 раза.

Кроме того, рентгеноструктурный анализ показал изменение фазового состава керамических покрытий, полученных из модифицированного диффузионным отжигом порошка.

Все 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. Молибден в легированном покрытии содержится в чистом виде и в виде оксида молибдена MoO_3 . Данная фаза образуется в незначительном количестве в результате поверхностного окисления молибдена при прохождении частиц через плазменную струю. В легированном бором покрытии выявлены бориды алюминия (AlB_{12}).

Вывод: Введение легирующих элементов оказало положительное влияние на физико-механические и эксплуатационные характеристики керамического покрытия. Значительно снизилась хрупкость и увеличилась адгезия покрытия с основой в 2–2,5 раза. Большая износостойкость этих покрытий объясняется повышением пластичности покрытий при незначительном уменьшении микротвердости, а также изменением фазового состава. Это проявляется при интенсификации изнашивания за счет увеличения относительной скорости скольжения.

Представленные результаты показывают перспективность применения метода диффузионного легирования керамических порошков для получения покрытий с высокими эксплуатационными свойствами.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в получении исходных данных для разработки технологических процессов получения композиционных керамических покрытий с высокой адгезией с основой, в расширении области применения стандартных керамических порошков для напыления, а также в возможности получения существенной экономии средств при внедрении разработанного модифицированного керамического покрытия взамен покрытий на базе механической смеси порошков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов; Под ред. В.П. Иванова. - М.: Машиностроение, 2003. - 672 с.
2. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.А. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. – Киев.: Наукова думка, 1987. – 544 с.
3. Методы исследований материалов: структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий./ Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О., Синдеев В.И.-М.: Мир, 2004-384 с.
4. Испытания на терние и износ. Методы и оборудование. Ясь Д.С., Подмоков В.Б., Дяденко Н.С. Техника, 1971, 140 с.

УДК621.793.1

Фролов И.С., Иващенко С.А., Мрочек Ж.А.

ФОРМИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЯХ НА ДЕТАЛЯХ ИЗ НЕМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Напряжения, возникающие при напылении тонкопленочных покрытий, оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства системы основа-покрытие. В ряде случаев внутренние напряжения могут привести к растрескиванию и отслаиванию покрытий, ухудшению их антифрикционных, коррозионных, декоративных и некоторых других свойств. В то же время многочисленными исследованиями показано, что внутренние напряжения можно использовать как дополнительный резерв повышения надежности и долговечности изделий и конструкций.

Вакуумно-плазменные покрытия, получаемые методом КИБ (конденсация вещества с ионной бомбардировкой), в силу ряда факторов (значительные микроискажения кристаллической решетки, морфологическая неоднородность покрытия, значительный приток тепла на основу в процессе осаждения покрытий и т.д.) характеризуются высокими внутренними напряжениями. Отсюда вытекает необходимость изучения процесса формирования напряжений в системе основа-покрытие, что, в конечном счете, даст возможность регулировать величину и знак внутренних напряжений.

Для решения данной задачи были разработаны методика и устройство для ее реализации [1]. Принцип исследования напряженно-деформированного состояния системы основа-покрытие основан на регистрации изменения радиуса кривизны плоского образца, закрепленного консольно. Радиус кривизны образца, а, следовательно, и напряжения, возникающие при нанесении покрытия, определяются по отклонению свободного конца образца, которое фиксируется лучом лазера.

Устройство (рис. 1) работает следующим образом. Образец 2 (тонколистовая пластина, закрепленный в держателе, помещают в вакуумную камеру 3 так, чтобы поток частиц наноси-