

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием. – Мн.: Наука и техника, 1995. – 264 с.
2. Смирнов А.И. Анализ перспектив развития методов формообразования в машиностроении. – М.: НИИмаш, 1982. – 49 с.
3. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А.М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск : Беларус. навука, 2014. – 316 с.
4. Данилов, В.А. Прогрессивные технологии формообразования торцовых зубчатых контуров деталей машин / В.А. Данилов, Р.А. Киселев, О.В. Яловский. – Новополоцк: УО ПГУ, 2015. – 220 с.

УДК 621.793

UDC 621.793

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

APPLICATION OF MODIFIED CERAMIC POWDERS FOR WEAR-RESISTANT COATINGS

Яцкевич О.К., Девойно О.Г., Василенко А.Г.
O.K. Yatskevich, O.G. Devojno, A.G. Vasilenko

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация. В статье приводятся основные принципы выбора модифицирующих элементов для термодиффузионной обработки порошков оксида алюминия с целью получения плазменных керамических покрытий с повышенной прочностью сцепления и эксплуатационными характеристиками. Установлены основные параметры процесса модификации, влияющие на свойства получаемых порошков.

Summary. In this article the basic principles of the choice of the modifying elements for thermal diffusion processing of powders were shown. The major goal is increase in adhesion and production characteristics of plasma coating. The key parameters of process of modification which affect on properties of powders are determined.

Применение защитных плазменных керамических покрытий на деталях машин перспективно и экономически оправдано как при эксплуатации в

условиях действия агрессивных сред, высоких температур, так и в тех случаях, когда определяющим ресурс работы детали является только один фактор – величина износа.

С этой точки зрения высокая износостойкость может быть достигнута при использовании в качестве базового материала, несущего основные эксплуатационные нагрузки, – **оксида алюминия**. Выбор объясняется его широким применением в области теплостойких, защитных и износостойких покрытий, а также низкой стоимостью и доступностью исходного сырья [1, 2]. Однако применение покрытий из оксида алюминия в чистом виде не всегда возможно из-за низкой прочности сцепления с материалом основы, высокой хрупкости и остаточных напряжений, способствующих преждевременному растрескиванию и отслаиванию покрытия в процессе эксплуатации.

Наиболее эффективным способом повышения эксплуатационных характеристик плазменных покрытий является применение композиционных порошков для напыления [3], в качестве метода получения которых в данной работе предложен метод термодиффузионной модификации, направленный на создание конгломерированных или плакированных частиц в зависимости от выбранных модифицирующих элементов [4].

Выбор дополнительных модифицирующих компонентов для порошков на основе оксида алюминия должен тщательно обосновываться и обеспечивать получение требуемых эксплуатационных характеристик формируемых покрытий. Из всего многообразия элементов в качестве вторых фаз наиболее часто применяются оксиды, бескислородные соединения и металлы, однако их влияние на свойства формируемых при напылении слоев носит неоднозначный характер [5]:

а) оксиды, способствующие формированию эвтектик (TiO_2) или соединений шпинельного типа, либо оказывающие влияние на фазовый состав (Cr_2O_3), что обеспечивает повышение прочности, ударной вязкости, увеличение плотности покрытий, но снижающих рабочую температуру покрытия;

б) металлы, введение которых способствует формированию металлической матрицы, что способствует снижению хрупкости, повышению прочности сцепления с металлической основой, но одновременному снижению твердости, коррозионной стойкости и стойкости к окислению при высоких температурах;

в) бескислородные тугоплавкие соединения (карбиды, нитриды, бориды), обеспечивающие сохранение высокой рабочей температуры, твердости, коррозионной стойкости, но приводящие к повышению пористости за счет значительной разности в температурах плавления с оксидом алюминия.

Для снижения коэффициента трения и повышения допустимого контактного давления в паре трения при выборе модифицирующих добавок предпочтение следует отдавать керамическим материалам с высокой твердостью, но значительно более прочным чем сам оксид алюминия - карбидам, нитридам.

С точки зрения улучшения триботехнических характеристик керамических покрытий наибольший интерес представляют нитриды (TaN, AlN, VN, TiN), использование которых в составе покрытия на основе оксида алюминия позволит открыть новые сферы применения за счет реализации уникальных свойств, присущих данным соединениям. Они являются тугоплавкими, устойчивы при высоких температурах. Нитридные покрытия придают изделиям твердость, коррозионную стойкость; находят применение в энергетике, космической технике.

Высокая износостойкость композиционных покрытий может быть достигнута только при обеспечении равномерного распределения мелкодисперсных включений модифицирующих элементов по основной матрице, состоящей из оксида алюминия. Указанное требование может быть выполнено только при использовании композиционных порошков для плазменного напыления, полученных в результате дополнительных операций модифицирования и улучшения их технологических характеристик.

Предлагаемый способ модифицирования керамических порошков методом термодиффузионной обработки является эффективным механизмом воздействия на фазовый состав и структуру исходного порошка. Модифицирование керамического порошка проводили во вращающемся в печи герметичном контейнере при условии обеспечения максимально го перемешивания смеси и ее неспекаемости, а также равномерности процесса насыщения при температурах 600–100 °С и выдержках 2–6 ч [3]. С целью активации процесса модифицирования в состав насыщающей смеси вводили активатор – хлористый аммоний NH_4Cl , склонный к распаду при нагреве.

В ходе проведенных экспериментов установили, что при термодиффузионной обработке на выбранных режимах происходит изменение морфологии и свойств порошков. Исследование структуры композиционных порошков на сканирующем электронном микроскопе показало различие в форме до и после термодиффузионной обработки на примере порошков оксида алюминия с добавками нитридов AlN, VN, TaN (рисунок 1).

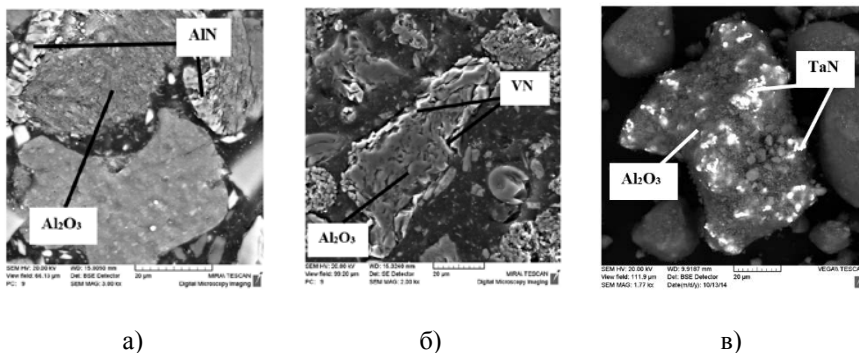


Рис. 1. Строение частиц порошка оксида алюминия, модифицированный термодиффузионной обработкой в присутствии:
 а) нитрида алюминия Al_2O_3 – AlN ; б) нитрида ванадия Al_2O_3 – VN ;
 в) нитрида тантала Al_2O_3 – TaN

При термодиффузионной обработке порошка оксида алюминия в присутствии нитридов AlN , VN , TaN в результате непрерывного перемешивания порошковой смеси во вращающемся контейнере происходит многократная локальная пластическая деформация поверхностных слоев. Наличие деформационных процессов способствует закреплению частиц модифицирующих элементов на дефектах и неровностях активированных частиц оксида алюминия, при этом происходит формирование конгломерированной частицы без дополнительного использования связующих веществ. Наличие частиц нитридов на поверхности частицы оксида алюминия подтверждается результатами МРСА.

Кроме того, установлено, что при термодиффузионной обработке происходит изменение в порошках соотношения между количеством фаз, увеличивается содержание высокотемпературной фазы (корунд), имеющей высокую твердость, с порядка 30 % до 50-70 %. Изменение температуры изотермической выдержки в пределах 800–1000 °С оказывает влияние не только на фазовый состав, но и на размер частиц модифицированных порошков, изменяющийся в результате перестроения кристаллической решетки и уменьшения ее объема при фазовом переходе $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$; а также под действием напряжений, возникающих при локальном пластическом деформировании в подвижной порошковой среде. Изменение формы и размера частиц позволяет улучшить технологические характеристики порошков (текучесть), которые оказывают непосредственное влияние на эффективность нагрева порошка в плазменной струе в процессе напыления.

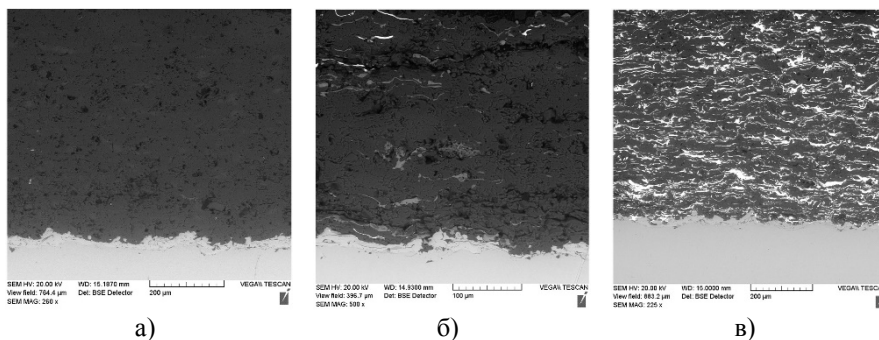


Рис. 2. Структура покрытия из порошка оксида алюминия, модифицированного термодиффузионной обработкой: а) Al_2O_3 – 10 % AlN; б) Al_2O_3 –10 % VN; в) Al_2O_3 –10 % TaN

Установлено влияние присутствия нитридов (TaN, AlN, VN, TiN) на структуру и физико-механические свойства исследуемых покрытий. Рентгенофазовый анализом плазменных покрытий из порошков Al_2O_3 -VN, Al_2O_3 -AlN, Al_2O_3 -TaN показал, что введенные нитриды в процессе нагрева частично разлагаются, с образованием металлических фаз, формирующих каркас керамического покрытия и способствующих повышению его прочности.

Диаметрально противоположное влияние на пористость покрытий оказывают VN (рисунок 2 б), вызывая значительное повышение пористости до 15-20 %, и TaN (рисунок 2 в), введение которого снижает пористость покрытий на основе оксида алюминия до 4-6 %.

Твердость покрытий Al_2O_3 -AlN по сравнению с покрытиями из немодифицированного оксида алюминия повышается, причем с повышением содержания AlN до 15 % в порошковом материале для напыления твердость формируемых покрытий увеличивается до 1890 HV, что может быть объяснено образованием в структуре покрытия промежуточные соединения типа шпинелей AlON.

Установлено влияние содержания нитридов на триботехнические характеристики покрытий при трении по стали без смазки. Показано, что лучшими триботехническими свойствами обладают плазменные покрытия Al_2O_3 -AlN с содержанием нитрида алюминия 15 % по массе, для которых характерно повышение прочности, снижение хрупкости при сохранении высокой микротвердости.

Таким образом, установлено, что термодиффузионная обработка в присутствии нитридов AlN, VN, TaN способствует изменению размеров и формы частиц и, как следствие, уменьшению удельной поверхности и улучшению текучести порошка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов: справ. / Ю.С. Борисов [и др.]. – Киев: Наук. думка, 1987. – 543 с.
2. Плазменные покрытия на основе керамических материалов: монография / А.Ф. Ильюшенко, В.А. Оковитый, А.И. Шевцов; под ред. А.Ф. Ильюшенко. – Минск: Бестпринт, 2006. – 316 с.
3. Газотермическое напыление композиционных порошков / А.Я. Кулик [и др.] – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
4. Порошковый материал для напыления защитного керамического покрытия и способ его получения: пат. ВУ 21612 / О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова, О.К. Яцкевич, В.Г. Щербаков. – Опубл. 28.02.2018.
5. Газотермическая обработка керамических оксидов / М.Н. Бодяко, Ф.Б. Вурзель, Е.В. Кремко [и др.]; под ред. О.В. Романа. – Минск: Наука и техника, 1988. – 233 с.

УДК 625.748.32

UDC 625.748.32

ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИДКОСТИ И ТВЕРДОГО ТЕЛА

SOFTWARE SYSTEMS FOR SOLVING PROBLEMS OF INTERACTION OF A LIQUID AND SOLID

Колесникович А.Н.¹, Калина А.А.², Шукюров А.О.¹
Kolesnikovich A.N., Kalina A.A., Shukurov A.O.

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
¹Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences
of Belarus, Minsk, Belarus

²Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация. В статье проведен обзор существующих современных программных комплексов для решения связанных задач взаимодействия жидкости и конструкции, FSI (Fluid-solidinteraction). Проведено сравнение возможностей программных комплексов, описаны достоинства и недостатки представленных решений.

Summary. The article provides an overview of existing modern software systems for solving coherent problems of fluid-structure interaction, FSI (Fluid-structure interaction). A comparison of the capabilities of software systems is carried out, the advantages and disadvantages of the presented solutions are described.