

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности
6D072300 – «Техническая физика»
КАНТАЙ НУРГАМИТА
по теме: «**Получение детонационных покрытий на основе оксида алюминия и исследование их физико-механических свойств»**

Диссертационная работа посвящена оптимизации процесса детонационного напыления покрытий на основе оксида алюминия с целью повышения их трибологических и механических характеристик, а также экспериментальным исследованиям влияния технологических параметров детонационного напыления на формирование структурно-фазового состояния и физико-механических свойств покрытий из оксида алюминия. В работе были исследованы структура, фазовый состав, микротвердость, нанотвердость, стойкость к коррозии, износостойкость, абразивная стойкость, эрозионная стойкость и жаростойкость покрытий из оксида алюминия в зависимости от технологических параметров напыления (частота выстрелов, объем заполнения ствола) и от последующего термического отжига. Разработан способ нанесения градиентного покрытия из оксида алюминия, которое обладает высокой твердостью, износостойкостью и адгезионной прочностью.

Актуальность темы исследования.

В современном машиностроении важная роль отводится поверхности материалов, состояние которых влияет на эксплуатационные свойства деталей машин и инструментов. В процессе эксплуатации деталей машин, инструментов и технологической оснастки наиболее интенсивному воздействию подвергаются поверхностные слои. В настоящее время для упрочнения изделий и улучшения физико-механических свойств поверхности металлов и сплавов применяют защитные покрытия, обладающие высокими физико-механическими характеристиками: твердостью, стойкостью к износу и воздействию агрессивной среды, низкой тепло- и электропроводностью и т.д., что позволяет значительно повысить ресурс и надежность конструкционных деталей. Для изготовления защитных покрытий, отвечающих широкому ряду вышеперечисленных требований, широко применяют оксидно-алюминиевую керамику. Покрытия на основе оксида алюминия обладают высокой химико-термической устойчивостью, поэтому представляют большой практический интерес, обычно наносятся на металлы для улучшения их характеристик в высокотемпературных агрессивных средах.

Для получения покрытий на основе оксида алюминия широко применяются методы анодирования, термического окисления (ТО), газотермического напыления (ГТН), микродугового оксидирования (МДО) и др. Среди них наиболее перспективным является метод газотермического напыления, который позволяет решать задачи защиты отдельных деталей и целых конструкций от износа, коррозии, перегрева, воздействия агрессивных сред и т.п. Имеется много работ, посвященных получению покрытий на основе оксида алюминия применением технологии плазменного, газопламенного и

детонационного напыления, которые относятся к газотермическим методам напыления. Для получения покрытий из оксида алюминия методами плазменного, газопламенного и детонационного напыления обычно α -Al₂O₃ используется в качестве исходного порошка. При этом, полученное покрытие практически состоит из γ -Al₂O₃ в случае газопламенного напыления корунда (α -Al₂O₃), в то время при плазменном и детонационном напылении формируется двухфазные покрытия, состоящие из α -Al₂O₃ и γ -Al₂O₃. Но полученные покрытия имеют основную фазу γ -Al₂O₃, которая имеет относительно рыхлую структуру и гораздо меньшую компактность, твердость, абразивную и коррозионную стойкость, чем α -Al₂O₃. Улучшить физико-механические показатели покрытий из оксида алюминия можно путем повышения доли α -Al₂O₃ в составе покрытий. Обычно, для этого применяются объемные или поверхностные термические обработки. Однако, это повышает трудоемкость процесса получения покрытий и является экономически нецелесообразным. Поэтому, одним из основных задач повышения физико-механических характеристик газотермических покрытий на основе оксида алюминия является повышение объемной доли α -Al₂O₃ фаз не принимая дополнительной термической обработки. Данную задачу можно решить путем оптимизации процесса напыления покрытий из оксида алюминия и это возможно при детонационном напылении, которое отличается импульсным характером процесса напыления, который определяется использованием газового взрыва для разгона и разогрева частиц напыляемого порошкового материала. При детонационном напылении порошковый материал плавится и с высокой скоростью под воздействием ударной волны движется к подложке образуя покрытие на её поверхности. Высокая скорость важный фактор формирования структуры и физико-механических характеристик покрытия.

В настоящее время не существует точных методик расчёта технологических параметров детонационного напыления в полной мере позволяющих прогнозировать свойства керамических и металлокерамических покрытий, в том числе покрытий из оксида алюминия. Поэтому влияние технологических параметров определяющих свойства детонационных покрытий нами определялись экспериментально, путём подбора оптимального режима.

В связи с вышеизложенным, тема диссертационной работы, посвященная совершенствованию детонационного метода напыления с целью получения покрытий из оксида алюминия с высокими трибологическими и механическими характеристиками, а также экспериментальным исследованием влияния технологических параметров детонационного напыления на формирования структурно-фазового состояния и физико-механических свойств покрытий из оксида алюминия представляется актуальной.

Целью диссертационной работы является исследование влияния технологических параметров детонационного напыления на формирование структурно-фазового состояния и физико-механических свойств.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

– исследовать влияние термической обработки на структуру и свойства покрытий на основе оксида алюминия, полученных методом детонационного напыления;

- исследовать влияние частоты выстрела при детонационном напылении на структуру и свойства покрытий из оксида алюминия;
- исследовать влияние степени заполнения ствола детонационной пушки взрывчатой смесью на формирование структурно-фазового состояния, механических и трибологических свойств покрытий из оксида алюминия;
- разработать способ детонационного напыления градиентных покрытий, имеющих высокие механические и трибологические характеристики.

Объект исследования: покрытия из оксида алюминия, полученные методом детонационного напыления.

Предметом исследования является особенность формирования структуры и свойств покрытий из оксида алюминия в зависимости от технологического параметра детонационного напыления и от температуры последующего отжига.

Методы исследования. Согласно поставленным задачам использовали такие методы анализа: растровая электронная микроскопия (SEM); рентгеновский микроанализ с дисперсией по энергии (EDS); рентгеноструктурный анализ (XRD); измерения нанотоверности, микротвердости, испытания на износостойкость, жаростойкость и коррозионную стойкость.

Научная новизна работы:

- впервые получены систематизированные экспериментальные данные о влиянии технологических параметров (частота выстрела, степень заполнения ствола) детонационного напыления на структуру, фазовый состав, механические и трибологические свойства покрытий из оксида алюминия;
- впервые установлено, что снижение степени заполнения ствола детонационной пушки взрывчатой смесью приводит к повышению объемной доли $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазы в покрытиях, и тем самым повышению микротвердости и износостойкости;
- разработан новый способ получения градиентного покрытия из оксида алюминия путем постепенного снижения степени заполнения ствола детонационной пушки взрывчатой смесью. Данный способ позволяет получить покрытие, имеющую структуру в которой $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фаза увеличивается от подложки к поверхности. Полученное градиентное покрытие обладает высокой твердостью, износостойкостью и адгезионной прочностью.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. В результате термической обработки при температурах 1000-1200 °C в детонационных покрытиях из оксида алюминия, состоящих из $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ с небольшим количеством $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, происходят структурно-фазовые превращения с образованием большого количества $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, которое приводит к повышению их твердости и износостойкости.

2. Снижение степени заполнения ствола детонационной пушки взрывчатой смесью от 68 до 53% приводит к повышению объемной доли фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и, тем самым, повышению микротвердости в ~1,5 раза и снижению интенсивность износа в ~2,5 раза.

3. Детонационное напыление порошка корунда ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) путем постепенного снижения степени заполнения ствола детонационной пушки

взрывчатой смесью от 68 до 53% позволяет получить покрытие из оксида алюминия, имеющее градиентную структуру, в которой фаза α -Al₂O₃ увеличивается от подложки к поверхности.

Научная и практическая значимость работы.

Результаты выполненных исследований имеют существенную научную и практическую ценность. Полученные в работе результаты комплексных экспериментальных исследований влияния технологических параметров детонационного напыления на структурно-фазовые состояния и физико-механические свойства покрытий из оксида алюминия способствуют дальнейшему развитию детонационной технологии и могут быть использованы при разработке технологического процесса получения покрытий из порошковых материалов на основе оксида алюминия с повышенными эксплуатационными свойствами.

Разработанный способ получения градиентных покрытий из оксида алюминия может быть использован для повышения эксплуатационных характеристик стальных изделий, подвергающихся износу и коррозии.

Разработанный способ защищен патентами на полезную модель «Способ нанесения детонационного покрытия» (№6204 опуб. 02.07.2021г.) и «Способ нанесения детонационного покрытия на поверхности металлов» (№6665 опуб. 12.11.2021г.).

Получен акт внедрения без экономического эффекта результатов диссертационной работы в производство ТОО «ПФ «BEST» (Керамический завод).

Связь темы диссертационной работы с научно-исследовательскими проектами. Диссертационная работа выполнена в лаборатории «Инженерия поверхности и трибология» и Национальной научной научной лаборатории коллективного пользования Восточно-Казахстанского университета имени Сарсена Аманжолова (г. Усть-Каменогорск, Казахстан) и на факультете «Базовая инженерная подготовка» Восточно-Казахстанского технического университета имени Даулета Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан).

Исследовательская работа проведены в рамках реализации следующих проектов грантового и програмно-целевого финансирования:

№BR05236748 «Исследование и разработка инновационных технологий получения износостойких материалов для изделий машиностроения» при финансировании Комитетом науки МОН РК, договор №197 от 16.03.2018 г.;

Личный вклад автора. Личный вклад автора состоит в поиске и анализе литературной периодики, посвященной теме диссертационного исследования. Вместе с научными консультантами были определены цели и задачи исследования, выбраны методы исследования оксидных покрытий. Автор диссертации непосредственно принимал участие в приготовлении образцов, проводил исследование фазового состава, морфологии поверхности, осуществлял измерение микротвердости и нанотвердости поверхности и по глубине полученных оксидных покрытий, а также в обсуждении результатов и написании публикаций. Анализ полученных результатов и формулировка основных выводов проведены совместно с научными консультантами.

Степень обоснованности и достоверности результатов, полученных в работе.

Обоснованность и достоверность результатов, полученных в работе обеспечивается оригинальностью и четкостью постановки задач, выбором и использованием хорошо апробированных экспериментальных методов исследования, объемом и статистикой экспериментальных данных. Результаты исследований прошли публичную апробацию: опубликованы в научных журналах, доложены и представлены автором на республиканских и международных конференциях.

Апробация диссертационной работы. Материалы диссертационного исследования были представлены и апробированы на следующих научных конференциях:

1. V-Республиканская научно-техническая конференция «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследований», (Гомель. Беларусь, 2018);

2. XVIII-Международный симпозиум IUPAC Макромолекулярные-металлокомплексы (Москва, 2019);

3. XIV-Международная конференция «Технологии с новыми материалами: Порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка» (Минск, Беларусь, 2020);

4. VI-Международная конференция «Технологии с лазерными, плазменными исследованиями, ЛАПЛАЗ-2020» (Москва, 2020);

5. VI-Международная научно-техническая конференция «Творчество молодежи – инновационному развитию Казахстана» Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева (Усть-Каменогорск, 2020);

6. VII-Международная научно-техническая конференция «Творчество молодежи-инновационное развитие Казахстана» Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (Усть-Каменогорск, 2021);

7. Advanced materials manufacturing and research: new technologies and techniques (AMM&R2021) international conference to be hosted virtually by D.Serikbayev East Kazakhstan technical university (Ust-Kamenogorsk, 2021).

Кроме того, основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры физики, на объединенных научных семинарах факультета базовой инженерной подготовки Восточно-Казахстанского университета им. Д.Серикбаева, а также на научных семинарах научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибологии» Восточно-Казахстанского университета им. С.Аманжолова.

Статьи. Всего по теме диссертации опубликовано 14 научных статей, 5 статей в научных изданиях, утвержденных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, 2 статьи в журналах «Coatings» (Q2) и «Materials Research Express» (Q3), входящих в международные информационные ресурсы Web of Science Core Collection (ClarivateAnalytics) и Scopus, 7 статей в сборниках материалов международных конференций, получены 2 патента на полезные модели.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы, всего 158 страниц, 76 рисунков, 19 таблиц, 307 списка использованной литературы, 6 приложения.