

**Қантай Нұрғамиттың 6D072300 – «Техникалық физика» мамандығы
бойынша PhD философия докторы ғылыми дәрежесін алу үшін
ұсынылған «Алюминий оксиді негізіндегі детонациялық жабындарды
алу және олардың физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеу»
диссертациялық жұмысына**

ОТАНДЫҚ ҒЫЛЫМИ КЕҢЕСШІНІҢ ПІКІРІ

Қантай Нұрғамиттың диссертациялық жұмысы алюминий оксиді негізіндегі жабындарды алудың детонациялық әдісін жетілдіруге, сондай-ақ детонациялық тозандау режимдерінің және жылулық өндеуден кейінгі алюминий оксидінің жабындарының құрылымдық-фазалық күйлеріне және трибологиялық қасиеттеріне әсерін зерттеуге арналған.

Диссертациялық жұмыстың өзектілігі керамикалық жабындардың құрылымдық-фазалық күйі мен қасиеттерін қалыптастырудың детонациялық тозандау параметрлерінің маңызды рөлін айқындайды. Al_2O_3 негізіндегі керамикалық жабындар қарқынды үйкеліс пен абразивті бөлшектермен жанаса жұмыс істейтін механизмдер тетіктерінің бетін қатайту үшін қолданылады. Аталған жабындар жоғары температура және әртүрлі агрессивті орта жағдайында тозуға және коррозияға тәзімділікпен қатар жоғары қаттылыққа ие қасиеттермен ерекшеленеді. Алайда, газотермиялық тозандау әдісімен, атап айтқанда детонация әдісімен алынған Al_2O_3 негізіндегі керамикалық жабындары құрамында $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ фаза мөлшерінің көп болуына байланысты қаттылық пен тозуға тәзімділік шамасы төмен болады. Жабындардағы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазасының үлесін арттыру үшін жылулық өндеу жиі қолданылады, бұл төсөніштің қасиеттеріне қатты әсер етуі мүмкін. Сондай-ақ, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазасы төмен икемділікке ие екенін атап өткен жөн, бұл көбінесе қабаттың сыйаттануы мен ондағы жарықтардың пайда болуына себеп болады. Жоғары адгезиялық беріктігі бар тозуға тәзімді және қатты Al_2O_3 жабындарын алудың перспективті бағыты $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазасын төменгі қабата және $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазасын жоғарғы қабаты үлес салмағын көбейтіп градиентті жабынды қалыптастыру болып табылады.

Диссертация кіріспеден, төрт тараудан, қорытындыдан және әдебиеттер тізімінен тұрады. Кіріспеде зерттелетін мәселенің өзектілігі негізделеді, диссертациялық жұмыстың мақсаты мен міндеттері, ғылыми жаңалықты, практикалық маңыздылығы мен негізгі қоргалатын ережелер сипатталған.

Диссертациялық жұмыстың бірінші тарауында диссертация тақырыбы бойынша жұмыстарға шолу жасалып, алюминий оксиді негізіндегі жабындарды алу әдістері және газтермиялық әдістермен алынған алюминий оксиді жабындарының құрылымы мен қасиеттерін алдынғы зерттеу нәтижелері талданған. Бірінші тараудың соңында атқарылатын міндеттер айқындалды.

Екінші тарау детонациялық тозандатуға арналған эксперименттік қондырығының сипаттамасына, жабынды тозандату бойынша эксперименттер жүргізу әдістемелеріне, алынған жабындарды зерттеу әдістеріне арналған.

Диссертацияның үшінші тарауы жылулық өндеге дейін және одан кейін Al_2O_3 жабындарының құрылымы мен физика-механикалық қасиеттерін зерттеуге арналған. Тарапудың басында қалындығына байланысты Al_2O_3 жабындының құрылымы мен қасиеттерін қалыптастыру ерекшеліктері туралы зерттеулер келтірілген. Содан кейін 1000-1200 °C температурада жылулық өндедің Al_2O_3 жабындарының құрылымына, механикалық және трибологиялық қасиеттеріне әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Сондай-ақ, беткі жылу әсерінен Al_2O_3 жабындарының құрылымы мен қасиеттерін қалыптастыру ерекшеліктері зерттелді. Қорытындылай келе, температураға байланысты $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазалық ауысуының ерекшеліктері қарастырылады.

Төртінші тарау детонациялық тозандатудың технологиялық режимдерінің Al_2O_3 жабындарының құрылымдық-фазалық құйларі мен қасиеттеріне әсерін зерттеуге, сондай-ақ Al_2O_3 -тен градиент жабындарын және оның негізінде градиент жабындарын алуға арналған. Тарапудың бірінші бөлігінде детонациялық тозандату кезіндегі ату жиілігінің Al_2O_3 жабындарының құрылымы мен қасиеттеріне әсерін зерттеу нәтижелері сипатталған, ал екінші бөлігінде оқпанды газ қоспасымен толтыру дәрежесінің Al_2O_3 жабындарының құрылымы мен қасиеттеріне әсері сипатталған. Тарапудың соңғы бөлігінде Al_2O_3 және оның негізіндегі градиентті жабындарының микрокұрылымын, фазалық құрамын, қаттылығын, тозуға тәзімділігін, градиентті жабынның адгезиялық беріктігін зерттеуге арналған. Сондай-ақ, градиентті құрылымының қалыптастасу ерекшеліктері және оның Al_2O_3 негізіндегі жабындардың механикалық және трибологиялық қасиеттеріне әсері сипатталған.

Диссертациялық ғылыми жаңалығы-оқпанды толтыру дәрежесінің Al_2O_3 жабындарының құрылымы мен қасиеттерін қалыптастыруға әсері алғаш рет зерттелген. Бөшкелерді толтыру дәрежесі және ату жиілігі сияқты технологиялық режимдерді өзгерту арқылы $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ және $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазалық қатынасын және сәйкесінше механикалық және трибологиялық қасиеттерді басқаруға болатындығы анықталды. Al_2O_3 оксидінен жоғары қаттылыққа, тозуға және жабысқақ беріктікке ие детонациялық тозандау әдісімен градиент жабынын алудың жана әдісі жасалды. Бұл әдіспен алынған Al_2O_3 жабыны төменгі қабатта $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазасы басым болатын құрылымға ие, ал жоғарғы қабатта $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазасы бар.

Нәтижелердің сенімділігі белгілі және дәлелденген әдістерді қолдану арқылы қамтамасыз етіледі (электрондық микроскопия, рентгендік дифракциялық талдау, оптикалық эмиссиялық спектроскопия, микроқаттылықты, наноқаттылықты, адгезиялық беріктікті, тозуға тәзімділікті анықтау әдістері). Эксперименттік зерттеулер Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, С. Аманжолов атындағы ШҚУ, Вроцлав ғылым және

технологиялар университеті (Вроцлав к., Польша) және Томск политехникалық университеті ғылыми зертханаларында жүргізілді.

Жұмыстың практикалық құндылығы мынада: алынған нәтижелер тозуга және коррозияға ұшырайтын, газтурбиналық қозғалтқыш бөлшектерінің және басқа да болаттан жасалған бұйымдардың қызмет ету мерзімін ұлғайту үшін машина жасау өнеркәсібінде жүзеге асырылуы мүмкін екенін, сондай-ақ нәтижелер қорғаныс жабындарын алушын газотермиялық технологияларын дамыту үшін пайдаланылуы мүмкін. Сонымен қатар, механикалық және трибологиялық сынактардың нәтижелері физикалық және техникалық мамандықтар студенттері үшін демонстрациялық материал ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Н. Қантайдың диссертациялық жұмысының нәтижелері мен тұжырымдары сенімді және ғылыми-практикалық құндылыққа ие. Қорғалған ережелер диссертацияның қорытындыларында көрсетілген. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері халықаралық және республикалық конференцияларда баяндалған. Диссертация тақырыбы бойынша 14 мақала жарияланды, оның ішінде 2 мақала Білім және ғылым сапасын қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда, 2 мақала JCR базасының алғашқы екі квартилынан кіретін және CiteScore (СайтСкор) бойынша процентиль көрсеткіші 50ден (елу) кем емес Scopus (Скопус) деректер базасына енетін журналдарда жарияланды. Сондай-ақ, зерттеу нәтижелері бойынша Қазақстан Республикасының пайдалы моделіне 2 патент алынды.

Н. Қантайдың «Алюминий оксиді негізінде детонациялық жабындарды алу және олардың физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысында алынған нәтижелердің көлемі, орындау деңгейі, дәлдігі және ғылыми-практикалық маңыздылығы Қазақстан Республикасы Білім және Ғылым министрлігі білім және ғылым саласындағы бақылау комитетінің барлық талаптарына сәйкес келеді. Докторант Қантай Нұрғамит 6D072300 – «Техникалық физика» бағыты бойынша доктор PhD дәрежесін алуға лайық деп санаймын.

Отандық ғылыми көнеспі,
«Техникалық физика» мамандың
С.Аманжолов атындағы ШҚУ
қауымдастырылған профессоры



Б.К. Рахадилов

ОТЗЫВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

**на диссертационную работу Кантай Нургамита по теме
«Получение детонационных покрытий на основе оксида алюминия и
исследование их физико-механических свойств» на соискание ученой
степени доктора философии (PhD) по специальности 6D072300 -
«Техническая физика»**

Диссертационная работа Кантай Нургамита посвящена совершенствованию детонационного способа получения покрытий на основе оксида алюминия, а также изучению влияния режимов детонационного напыления и последующей термической обработки на структурно-фазовые состояния и трибологические свойства покрытий из оксида алюминия.

Актуальность диссертационной работы обусловлена значительной ролью параметров детонационного напыления в формировании структурно-фазового состояния и свойств керамических покрытий. Керамические покрытия на основе Al_2O_3 , которые широко используются для упрочнения поверхности деталей, работающих при интенсивном трении, контакте с абразивными частицами, в условиях повышенных температур и присутствии различных агрессивных сред, отличаются высокой твердостью, износостойкостью, коррозионной стойкостью и рядом других ценных свойств. Однако керамические покрытия из Al_2O_3 , полученные методом газотермического напыления, в частности детонационным методом, обладают недостаточной твердостью и износостойкостью из-за высокого содержания в них $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Для повышения доли $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазы в покрытиях часто применяется термическая обработка, что может сильно повлиять на свойства подложки. Также стоит отметить, что $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ обладает низкой пластичностью, часто являющейся причиной скальвания слоя и образования в нем трещин. Перспективным направлением получения износостойких и твердых покрытий из Al_2O_3 с высокой адгезионной прочностью является формирование слоистого или градиентного покрытия, имеющего нижний слой из $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и верхний слой из $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во введении обосновывается актуальность исследуемой проблемы, сформирована цель и задачи диссертационной работы, описаны научная новизна, практическая значимость и основные защищаемые положения.

В первой главе диссертационной работы проводится обзор работ по теме диссертации, проанализированы методы получения покрытий на основе оксида алюминия и результаты предшествующих исследований структуры и свойств покрытий из оксида алюминия, полученных газотермическими методами. В конце первой главы сделана постановка задачи.

Вторая глава посвящена описанию экспериментальной установки для детонационного напыления, методик проведения экспериментов по напылению покрытий, методов исследования полученных покрытий.

Третья глава диссертационной работы посвящена исследованию структуры и физико-механических свойств покрытий Al_2O_3 до и после термической обработки. В начале главы приведены исследования особенности формирования структуры и свойств покрытия Al_2O_3 в зависимости от его толщины. Затем приведены результаты исследования влияния термического отжига при температурах 1000-1200°C на структуру, механические и трибологические свойства покрытий Al_2O_3 . Также были изучены особенности формирования структуры и свойств покрытий Al_2O_3 при поверхностном термическом воздействии. В заключении рассмотрены особенности фазового перехода $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в зависимости от температуры.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния технологических режимов детонационного напыления на структурно-фазовые состояния и свойства покрытий из Al_2O_3 , а также получению градиентных покрытий из Al_2O_3 и градиентных покрытий на его основе. В первой части главы описаны результаты исследования влияния частоты выстрелов при детонационном напылении на структуру и свойства покрытий из Al_2O_3 , а во второй части описаны влияние степени заполнения ствола газовой смесью на структуру и свойства покрытий из Al_2O_3 . Заключительная часть главы посвящена исследованию микроструктуры, фазового состава, твердости, износстойкости, адгезионной прочности градиентных покрытий из Al_2O_3 и градиентных покрытий на его основе. А также описаны особенности формирования градиентной структуры и ее влияние на механические и трибологические свойства покрытий на основе Al_2O_3 .

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что впервые исследованы влияние степени заполнения ствола на формирование структуры и свойств покрытий из Al_2O_3 . Определено, что путем изменения технологических режимов, таких как степень заполнения ствола и частота выстрелов, можно управлять соотношением фаз $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, и, соответственно, механическими и трибологическими свойствами. Разработан новый способ получения градиентного покрытия из Al_2O_3 методом детонационного напыления, который обладает высокой твердостью, износстойкостью и адгезионной прочностью. Полученное данным способом покрытие из Al_2O_3 имеет структуру, в которой в нижнем слое преобладает $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ фаза, а в верхнем слое присутствует большее содержание $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ -фазы.

Достоверность результатов обеспечивается применением известных и апробированных методик (метод электронной микроскопии, рентгеноструктурный анализ, оптико-эмиссионная спектроскопия, методы определения микротвердости, нанотвердости, адгезионной прочности, износстойкости). Экспериментальные исследования были проведены в

научных лабораториях ВКТУ им. Д. Серикбаева, ВКУ им. С. Аманжолова, Вроцлавского университета науки и технологий (г. Вроцлав, Польша) и Томского политехнического университета.

Практическая ценность работы состоит в том, что полученные результаты могут быть внедрены в машиностроительной отрасли для повышения срока службы деталей газотурбинных двигателей и других стальных изделий, подвергающихся износу и коррозии, а также результаты могут быть использованы для развития газотермических технологий получения защитных покрытий. Кроме того, результаты механических и трибологических испытаний могут быть использованы в качестве демонстрационного материала для студентов физических и технических специальностей.

Результаты и выводы диссертационной работы Кантай Н. достоверны и имеют научную и практическую ценность. Защищаемые положения отражены в выводах диссертации. Результаты диссертационной работы доложены на международных и республиканских конференциях. По теме диссертации опубликовано 14 статей, 2 из которых в журналах, рекомендованных КОКСОН, 2 статьи в журналах, входящих в первые два квартиля базы JCR (ЖСР) и имеющих в базе данных Scopus (Скопус) показатель процентиль по CiteScore (СайтСкор) не менее 50-ти (пятидесяти). Также по результатам исследований были получены 2 патента на полезную модель Республики Казахстан.

Объем, уровень производительности, точность и научно-практическая значимость результатов, полученных в диссертации Н.Кантая на тему «Получение детонационных покрытий на основе оксида алюминия и исследование их физико-механических свойств», соответствуют всем требованиям Комитета по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан. Считаю что, докторант вполне достоин получения степени доктора PhD по направлению 6D072300 - «Техническая физика».

**Отечественный научный консультант,
PhD по специальности «Техническая физика»,
ассоциированный профессор
ВКУ им. С.Аманжолова**



Рахадилов Б.К.

28.12.2021