

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Дмитрия Сергеевича Белова на тему: «Разработка высокотвердых наноструктурированных керамикометаллических покрытий (Ti,Al)N-Cu и (Ti,Al)N-Ni с повышенной вязкостью разрушения для увеличения стойкости твердосплавного инструмента в различных условиях резания», представленной на соискание ученой степени по специальности 05.16.06 — «Порошковая металлургия и композиционные материалы» и состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 10 декабря 2019 года.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 16 сентября 2019 года протокол № 11.

Диссертация выполнена на кафедре функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСиС» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель - Блинков Игорь Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСиС».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (протокол № 11 от 16.09.2019) в составе:

1. Левашов Евгений Александрович, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой порошковой металлургии и функциональных покрытий, директор Научно-учебного центра СВС НИТУ «МИСиС» - председатель комиссии;
2. Еремеева Жанна Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС»;
3. Штанский Дмитрий Владимирович, профессор, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Научно-учебного центра СВС, профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС»;
4. Фоминский Вячеслав Юрьевич, профессор, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник кафедры физики твердого тела и наносистем (Институт лазерных и плазменных технологий), федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;
5. Лозован Александр Александрович, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии и системы автоматизирования проектирования металлургических процессов» федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)».

В качестве ведущей организации утверждено федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИТМаш), г. Москва.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработаны способы получения ионно-плазменных вакуумно-дуговых керамикометаллических покрытий для упрочнения твердосплавного режущего инструмента и расширения области его технологического применения;

- изучены процессы структуро- и фазообразования при осаждении многофункциональных упрочняющих наноструктурированных покрытий с низким уровнем макронапряжений, повышенными характеристиками твёрдости, вязкости разрушения, трибологическими свойствами и адгезионной прочностью соединения с инструментальной основой;
- доказана перспективность использования разработанных керамикометаллических покрытий на твёрдосплавном инструменте для повышения ресурса его работы в условиях непрерывного и прерывистого резания.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- разработаны новые составы наноструктурированных керамикометаллических покрытий в системах (Ti,Al)N-Cu и (Ti,Al)N-Ni со значениями твёрдости до 54 ГПа и высокой вязкостью разрушения (относительная работа пластического деформирования данных покрытий 60-65% и 65-70%, соответственно), определяемые наноструктурированием нитридной составляющей покрытий и наличием в их составе металлической фазы;
- исследованы процессы структуро- и фазообразования при формировании керамикометаллических покрытий методом ионно-плазменного вакуумно-дугового осаждения. Установлены границы концентраций меди и никеля до 3-9 ат.% и 1,5-12 ат. % соответственно в покрытиях (Ti,Al)N-Cu и (Ti,Al)N-Ni, обеспечивающие формирование изоморфной плотной нанокристаллической структуры с размером зёрен керамической фазы 15-25 нм, разделенных прослойками рентгеноаморфной металлической компоненты размером 2-3 нм;
- установлено, что разработанные покрытия отличаются высокой склонностью к самопассивации, низкими значениями плотностей токов пассивного состояния и высокой устойчивостью к питтинговой коррозии по причине быстрого перехода от зарождения питтинга в стадию его репассивации;
- обнаружен эффект релаксации макронапряжений в керамикометаллических покрытиях, связанный с демпфирующим влиянием металлической фазы, и являющийся одним из факторов, определяющих их высокую адгезионную прочность с инструментальной основой;
- установлена термическая стабильность наноструктурных покрытий (Ti,Al)N-Cu и (Ti,Al)N-Ni вплоть до 700 °С, что обусловлено блокированием металлической фазой процессов рекристаллизации кристаллитов (Ti,Al)N.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- получены ионно-плазменные вакуумно-дуговые наноструктурные износостойкие покрытия (Ti,Al)N-Cu и (Ti,Al)N-Ni, сочетающие в себе высокую твердость (до 50 ГПа) и вязкость разрушения (относительная работа пластической деформации 65-70 %). Данные покрытия обладают высокой адгезией с подложкой (~90 Н), когезионным характером разрушения и имеют относительно низкие коэффициенты трения 0,5 и 0,45, соответственно. Оптимальные режимы осаждения позволяют получить покрытия с заданным составом, обладающим наиболее высокими эксплуатационными характеристиками;

- разработаны способы получения ионно-плазменных вакуумно-дуговых керамикометаллических покрытий для твердосплавного режущего инструмента расширенной области применения (патент РФ №2573845, 2014 г., патент РФ № 2613837, 2015 г.). Созданы технические условия ТУ 1960-001-02066500-2018 и технологический процесс на пластины твердосплавные с наноструктурным керамикометаллическим покрытием. На предприятии ООО «Прочность» осуществлен выпуск опытной партии режущего твердосплавного инструмента с разработанными покрытиями и проведены их испытания в условиях конкретных производств;
- испытания сменных твердосплавных пластин с разработанными наноструктурными керамикометаллическими покрытиями в условиях прерывистого резания, проведенные ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», ООО «Компания РИТС» и ООО «НПФ «Карат» при фрезеровании сталей ЭП302Ш, сталей 50 и 40Х и непрерывной токарной обработки сталей 09Г2С и 35ХГСА показали увеличение стойкости инструмента от 1,4 до 3,0 и от 1,2 до 7; от 1,7 до 6,0 и 9,8 раза, соответственно, для систем твердый сплав-покрытие (Ti,Al)N-Cu и (Ti,Al)N-Ni. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности данных покрытий на твердосплавном режущем инструменте для повышения ресурса работы как при непрерывном, так и прерывистом резании;
- испытания керамикометаллических покрытий в различных условиях трения и эрозии свидетельствуют об их высокой износостойкости и эрозионном сопротивлении при абразивном и гидроабразивном воздействиях. Совместно с ИМАШ РАН показана перспективность использования данных покрытий в качестве упрочняющих для высоконагруженных участков проточной части деталей насосов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для экспериментальных исследований использованы передовое аналитическое оборудование и современные методы физико-механических исследований: рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ, сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, спектральные методы; измерительное индентирование, трибометрия, склерометрия и др.;
- проведенные теоретические исследования построены на известных и проверяемых данных, опубликованных в трудах отечественных и зарубежных авторов, в которых изложена научная концепция получения наноструктурных покрытий;
- идея работы базируется на обобщении мирового опыта в области материаловедения наноструктурных материалов, изучения процессов структуро- и фазообразования при формировании PVD покрытий;
- в обсуждении результатов использованы данные, опубликованные по тематике упрочнения твердосплавного режущего инструмента авторами: А.С. Верещака, С.Н. Григорьев, Г.С. Фукс-Рабинович, В.П. Табаков, Б.А. Мовчан, А.Д. Pogrebnyak, J.A. Thornton, S. Veprek, J. Musil, P.H. Mayrhofer, L. Hultman;
- установлено качественное совпадение результатов диссертационного исследования с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике

(J. Musil, A. Akbari, M. Bromark, V. Valvoda, P.H. Mayrhofer, J.A. Thornton, L. Hultman, В.П. Табаковым, С.Н. Григорьевым, Z.G. Zhang).

Диссертация является полностью завершенной научной работой. В ней обобщены результаты исследований, полученные лично автором, либо при его непосредственном участии. Автору работы принадлежит основная роль в получении и обработке экспериментальных данных, их анализе и обобщении всех полученных результатов, формулировании выводов, написании статей.

Соискатель опубликовал 14 работ по теме диссертации. Из них - 12 в изданиях, входящих в базы Web of Science, Scopus; 14 (12 статей и 2 патента РФ) - в изданиях, входящих в рекомендуемый перечень ВАК РФ.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Белова Дмитрия Сергеевича соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней на основании выполненных автором исследований разработаны твердые наноструктурированные керамикометаллические покрытия (Ti,Al)N-Cu и (Ti,Al)N-Ni с повышенной вязкостью разрушения, предназначенные для увеличения стойкости твердосплавного инструмента в различных условиях резания.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Д.С. Белову ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за - 4, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель Экспертной комиссии



Е.А. Левашов

11.12.19