

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель генерального директора
по научной работе

АО «НПО «ЦНИИТМАШ»



К.Л. Косырев

«23» октября 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

На диссертационную работу Белова Дмитрия Сергеевича на тему «Разработка высокотвёрдых 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», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Создание и применение новых материалов во всех отраслях промышленности, как правило, сопровождается разработкой технологий их обработки. Металлообработка резанием остается сегодня одной из главных технологий получения изделий заданной формы и размера для всех машиностроительных отраслей. Одним из направлений её совершенствования является повышение стойкости режущего инструмента, способствующее росту скорости обработки, расширению областей применения инструмента, экономии материальных ресурсов и энергосбережению. Решение данных задач в своей диссертационной работе Белов Д.С. связывает с нанесением на поверхность режущего твердосплавного инструмента нового класса наноструктурных керамикометаллических покрытий. Формируемая структура, предложенные составы покрытий способствуют их высокой твердости, сочетающейся с вязкостью, а так же термической стабильности, повышенной адгезионной прочности инструментальной основы с покрытием, химической стойкости и высоким трибологическим свойствам, обеспечивающим в совокупности высокие эксплуатационные характеристики режущего инструмента в условиях прерывистого и непрерывного резания. С учётом отмеченного, данное исследование, направленное на повышение эффективности операций резания в металлообработке, представляет собой чрезвычайно актуальную работу.

Диссертационная работа Белова Д.С. содержит научную новизну и новые

результаты, в частности: 1) изучены процессы структуро- и фазообразования при формировании ионно-плазменных вакуумно-дуговых наноструктурных керамикометаллических покрытий (Ti,Al)N-Cu и (Ti,Al)N-Ni на твёрдосплавной основе в широком диапазоне концентраций металлических компонентов и установлены зависимости между физико-механическими свойствами, характеристиками структуры и составом разработанных покрытий; 2) обнаружен эффект релаксации макронапряженного состояния и значительно меньший его уровень в разработанных керамикометаллических покрытиях по сравнению с керамическими PVD покрытиями на режущем инструменте, связанный с демпфирующим влиянием на них металлической фазы и являющийся одним из факторов, определяющих их высокую адгезионную прочность с инструментальной основой; 3) проведены исследования коррозионной стойкости режущего инструмента с керамикометаллическими покрытиями в щелочных и кислотных средах, свидетельствующие об их высокой склонности к самопассивации, низкими значениями плотностей токов пассивного состояния и устойчивости к питтинговой коррозии.

На основе результатов исследований, выполненных в ходе диссертационной работы, Беловым Д.С. разработаны технологические режимы и способы получения ионно-плазменного вакуумно-дугового керамикометаллического покрытия (Ti,Al)N-Cu и (Ti,Al)N-Ni для твердосплавного режущего инструмента расширенной области применения. Новизна соответствующих технических решений подтверждается двумя патентами. Отработанные режимы их нанесения позволяют получить покрытия с заданным составом, обладающим наиболее высокими эксплуатационными характеристиками. В условиях ряда промышленных производств показана высокая эффективность данных покрытий на режущем твёрдосплавном инструменте разных марок как при операциях непрерывного, так и прерывистого резания сталей с разным коэффициентом обрабатываемости. Беловым Д.С. разработана нормативно-техническая документация как на сами покрытия, так и на процесс их нанесения. Указанное выше свидетельствует о практической значимости выполненной диссертационной работы.

Выводы диссертационной работы Белова Д.С., защищаемые положения подтверждены большим объемом экспериментального материала, полученного на современном сертифицированном оборудовании, их системным анализом и обработкой. Заключение о преимуществе эксплуатационных характеристик разработанных покрытий на твёрдосплавном лезвийном инструменте по сравнению с образцами твёрдого сплава без покрытия и с покрытием на основе керамической составляющей, используемой в разработанных керамикометаллических покрытиях, при прерывистом и непрерывном резании подтверждаются проведенными натурными испытаниями в условиях конкретных производств. Отмеченное выше свидетельствует о достоверности и надежности

полученных результатов.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы. Работа содержит 130 страниц основного текста, 11 таблиц, 52 рисунка. Список использованной литературы включает 177 наименований.

Во введении сформулирована цель работы, задачи исследования, обосновывается его актуальность, научная и практическая значимость.

В первой главе представлен литературный обзор. В нём рассмотрено современное состояние исследований в области повышения качества и работоспособности износостойкого режущего инструмента путем использования упрочняющих покрытий. Показана возможность улучшения свойств покрытий путём наноструктурирования. Автор отмечает отсутствие комплексного изучения процессов получения и исследования функциональных свойств керамикометаллических наноструктурных arc-PVD покрытий на твердосплавной инструментальной основе, которые требуются для определения перспективности данных покрытий на режущем инструменте в металлообработке.

Во второй главе приведены описания методик, материалов и оборудования, используемых в работе. Представлены режимы формирования arc-PVD покрытий $(\text{Ti,Al})\text{N-Cu}$ и $(\text{Ti,Al})\text{N-Ni}$, дающие возможность получать их в широком диапазоне концентраций меди и никеля. Следует отметить, что автору удалось применить для изучения структуры, состава и свойств сформированных покрытий самые современные методики, включающие наноиндентирование, измерительное царапание, просвечивающую микроскопию высокого разрешения, спектральные методы и др.

В третьей главе представлены результаты исследований морфологии, характеристик структуры, элементного и фазового состава, макронапряженного состояния керамикометаллических покрытий $(\text{Ti,Al})\text{N-Cu}$ и $(\text{Ti,Al})\text{N-Ni}$. Автором установлено, что при введении меди и никеля в состав ионно-плазменных вакуумно-дуговых покрытий $(\text{Ti,Al})\text{N}$ до 10 – 11 ат.% и 12 – 13 ат.% соответственно происходит измельчение кристаллитов нитридной фазы от 100-120 до 15-18 нм с переходом от столбчатой структуры к равноосной зёрненной. При этих концентрациях металлическая фаза в керамикометаллических покрытиях находится в рентгеноаморфном состоянии. Превышение содержания Ni и Cu выше указанных значений сопровождается формированием пористости в структуре осаждаемых слоёв, с одновременным появлением в составе покрытий интерметаллидов TiNi и TiCu .

С использованием рентгеноструктурного метода и метода определения радиуса кривизны образца подложки с покрытием (метод Стони) обнаружен эффект релаксации макронапряженного состояния в разработанных керамикометаллических покрытиях по сравнению с керамическими PVD покрытиями на режущем инструменте, связанный с

демпфирующим влиянием на них металлической фазы и являющейся одним из факторов, определяющих их высокую адгезионную прочность с инструментальной основой.

В четвертой главе представлены результаты исследований свойств керамикометаллических наноструктурных покрытий (Ti,Al)N-Cu и (Ti,Al)N-Ni и их взаимосвязь с характеристиками структуры и составом. Установлено, что твердость покрытий растёт с 20 – 22 до 49 ГПа при увеличении меди до 3,5 ат. % и до 54 ГПа с возрастанием содержания никеля до 12 ат. %. Это определяется влиянием наноструктурирования нитридной составляющей покрытий. При этом разработанные покрытия характеризуются высокой вязкостью разрушения, о которой автор судил по величинам относительной работы пластического деформирования, которая была равна 60-65% и 65-70% для покрытий (Ti,Al)N-Ni и (Ti,Al)N-Cu соответственно. Дальнейшее возрастание содержания меди до 20 ат.% и никеля до 26 ат.% характеризуется уменьшением твердости первых покрытий до 14 – 15 ГПа и вторых до 23 – 25 ГПа, которое связано с влиянием на неё мягких пластичных металлов и появлением пористости. Величины коэффициентов $H \cdot E^{-1}$ и $H^3 \cdot E^{-2}$, определяющих сопротивление материала покрытий упругой и пластической деформациям, достигают значений 0,104 и 0,567 ГПа и 0,11 и 0,43 ГПа соответственно для покрытий (Ti,Al)N-Cu и (Ti,Al)N-Ni, что существенно выше, чем для керамических покрытий. Беловым Д.С. установлено, что нанокристаллические керамикометаллические покрытия (Ti,Al)N-Cu (Ti,Al)N-Ni толщиной порядка 4 мкм характеризуются термической устойчивостью структуры и состава при отжиге в вакууме до 700 °С и жаростойкостью до 700 и 800 °С соответственно в течение 1,5 часов. Измельчение структуры и наличие в разработанных покрытиях пластичных меди и никеля улучшает их трибологические свойства, уменьшая коэффициент трения. Установлен когезионный механизм разрушения наноструктурных покрытий (Ti,Al)N-Ni (от 2,8 до 12 ат.%) и (Ti,Al)N-Cu (от 2,5 до 11 ат.% Cu). Определены критические нагрузки, характеризующие появление первой трещины (23-24 Н) и (11-12 Н), а также локальное истирание покрытия до подложки (61,9-64,4 Н) и (51,3-52,5 Н). Полного истирания покрытий не происходит вплоть до нагрузки 90 Н, что говорит об их высокой адгезионной прочности.

В этой же главе автор приводит результаты проведенных сравнительных стойкостных испытаний исследуемых покрытий на твердосплавном режущем инструменте в условиях непрерывного резания сталей 09Г2С и 35ХГСА и прерывистого резания сталей ЭП302Ш, Сталь 50 и 40Х, осуществлённых в ФГУП «ВНИИТС», ООО «НПФ «Карат», АО НПО «ЦНИИТМАШ». Полученные результаты свидетельствуют о повышении стойкости инструмента по сравнению с твердым сплавом без покрытия в 3-9 и в 1,7-6 раз и с покрытием (Ti,Al)N в 2-3 и 1,4 раза соответственно. При этом обнаружен

эффект снижения силы резания при использовании твердосплавных пластин с покрытиями (Ti,Al)N-Ni и (Ti,Al)N-Cu на 20-25 и на 55-60 % соответственно.

По теме диссертационного исследования Белов Д.С. в соавторстве опубликовал 12 работ, в том числе 12 статей в журналах рекомендованных ВАК и 11 статей, входящих в базы данных WOS и Scopus, 11 тезисов и докладов, в сборниках трудов конференций. Им получены 2 патента РФ. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация Белова Д.С. представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу. Постановка задач исследования, методики их реализации, полученные результаты изложены с необходимой степенью подробности. Диссертация написана четким и понятным языком, хорошо оформлена. Однако, в тексте работы имеются отдельные грамматические ошибки и опечатки.

Отмечая положительные стороны выполненной диссертационной работы, вместе с тем по ней следует высказать некоторые замечания и пожелания:

Оценка эффективности новых видов покрытий при обработке конструкционных сталей 09Г2С, 35ХГСА проводилась на пластинах из твердых сплавов группы ВК (ВК6, ВК6СНТ). Поскольку для этих сталей при механической обработке применяются сплавы группы ТК. Следовало бы оценивать эффективность покрытий используя в качестве основы сплавы типа Т5К10, Т14К8, Т15К6 или сплавы группы ТТК.

В работе не приведены данные по оценке уровня новых покрытий в сравнении с аналогичными режущими инструментами с покрытиями ведущих мировых инструментальных фирм (Sandvik, Iscar, Taegutec).

Характеризуя полученные покрытия, автор пишет о шероховатости покрытий на уровне значений (R_a) $\sim 0,1$ мкм. Не ясно формируется ли такая шероховатость при росте покрытия, либо она наследуется от подложки?

Сделанные замечания не оказывают влияние на положительную в целом оценку диссертационной работы Белова Д.С.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, направленную на решение актуальной задачи совершенствования технологии литья корпусных отливок.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, основные результаты исследований и разработок опубликованы в печати.

Тематика диссертации Белова Д.С., ее содержание и основные полученные результаты соответствуют требованиям паспорта научной специальности 05.16.05 –

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденным Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Ларичев Николай Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Зам. председателя НТС ИМиМ,
К.т.н.

 Д.Н. Клауч

 Д.С. Толстых

Подписи Д.Н. Клауча, Д.С. Толстых заверяю
Ученый секретарь АО «НПО «ЦНИИТМАШ»

 М.А. Бараненко

Россия, 115088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д.4
Тел.: +7(495)675-83-02, e-mail: cniitmash@cniitmash.ru
Web-сайт: <http://www.cniitmash.ru>

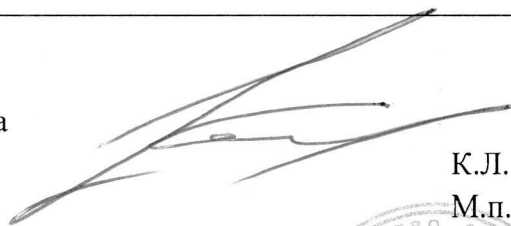
Сведения о ведущей организации

по диссертации

Белова Дмитрия Сергеевича «Разработка высокотвёрдых 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», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Государственный научный центр Российской Федерации Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ»
Ведомственная принадлежность	ГК «Росатом»
Почтовый индекс, адрес организации	115088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д.4
Веб-сайт	www.cniitmash.ru
Телефон	+7(495)675-83-02
Адрес электронной почты	cniitmash@cniitmash.ru
Список основных публикаций работников структурного подразделения, составляющего отзыв, по теме диссертации за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	
1. Лыткин Д.Н. и др. Влияние толщины нанослоев на эксплуатационные свойства многослойно-композиционных наноструктурированных модифицирующих покрытий для металлорежущего инструмента. / Журнал Металлообработка, №6, Санкт-Петербург: Политехника, с.2-6, 2018. Лыткин Д.Н. и др.	
2. Смирнов А.В. и др. Production of High-Density Bitstone Powder for Sintering Aluminum Oxide Based Ceramic. / Glass and Ceramics, (2018), 1-4. (WoS, Scopus).	
3. Смирнов А.В. и др. Influence of Insert Configuration on the Product's Surface Quality in Burnishing. / Russian Engineering Research, 2018, Vol. 38, No. 11, pp. 892–895. (Scopus).	
4. Клауч Д.Н. Лыткин Д.Н. High-efficiency machining of materials used in heavy power engineering. / Procedia CIRP Сер. "7th CIRP Conference on High Performance Cutting, HPC 2016", 2016, p. 356-359.	

Заместитель генерального директора
по научной работе, д.т.н.



К.Л. Косырев
М.п.

