

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Купцова Константина Александровича «Разработка твердых износостойких наноструктурированных покрытий Ti-Cr-Si-C-N и Ti-Al-Si-C-N с высокой термической стабильностью и жаростойкостью», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06. – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Развитие современного машиностроения требует создания сверхтвердых или твердых, функциональных покрытий на режущий инструмент. Поэтому разработка новых износостойких покрытий с повышенной жаростойкостью и термической стабильностью на рабочих элементах твердосплавного инструмента, работающего при интенсивных режимах механической обработки, является актуальной научно-технической задачей. Работа К.А. Купцова посвящена созданию новых видов нанокompозитных покрытий для инструментального производства, работающих без СОЖ, что является значимой экологической тенденцией в области инструментального производства.

Среди перспективных твердых износостойких покрытий выделяются покрытия на основе керамических и металлокерамических композиционных материалов, например Ti-C-N, Ti-Al-N, Ti-Si-C-N. Опыт показывает, что при экстремальных режимах эксплуатации из-за термической деградации их ресурс не высок. Поэтому разработка новых видов сверхтвердых покрытий, предназначенных для работы при высоких температурах, крайне важна для инструментальной отрасли и, несомненно, является актуальной задачей.

На сегодняшний день, как в России, так и за рубежом накоплен большой опыт и разнообразие видов твердых покрытий на основе карбидов и нитридов титана, полученных на поверхности твердых сплавов, в основном, методом физического осаждения из газовой фазы (PVD). Методы PVD, и магнетронное распыление в частности, позволяют получать на конструкционных материалах покрытия, отличающиеся высокими

показателями их основных функциональных свойств (твёрдость, износостойкость, антикоррозионная способность, адгезия к металлической основе). Широкий набор функциональных требований к покрытиям обеспечивает гибкость в получении многокомпонентных составов при помощи магнетронного распыления комбинированных мишеней. Кроме того, технологии PVD характеризуются также высокой экологической чистотой.

В связи с вышеизложенным, цель диссертационной работы Купцова К.А. – разработка новых составов для износостойких покрытий с повышенной жаростойкостью и термической стабильностью на твердосплавном инструменте, работающего при интенсивных режимах механической обработки и выявление взаимосвязи структуры, физико-механических и термомеханических свойств покрытий, предназначенных для работы в широком диапазоне температур – **вполне оправдана.**

На основании критического анализа литературных данных по физико-механическим и эксплуатационным свойствам промышленных PVD слоев на твердосплавных подложках, диссертант выбрал новые составы нанокomпозиционных покрытий с высокими физико-механическими свойствами и термической стабильностью на основе проведения комплекса структурных исследований, определил элементный и фазовый состав, размер зерен, текстуру структуру и морфологию покрытий, а также исследовал механические, трибологические свойства и жаростойкость.

Диссертационная работа Купцова К.А., несомненно, отличается **научной новизной**, т.к. в ней определены новые составы покрытий с рекордно высокими физико-механическими и термомеханическими свойствами и обоснованы способы их получения. Кроме того, диссертант продемонстрировал и изучил поведение покрытий в различных температурных областях.

Впервые определены особенности формирования структуры многокомпонентных покрытий на основе системы Ti-Al-Si-C-N и Ti-Cr-Si-C-N, которые выражаются в образовании твердого раствора легированных

алюминием или хромом карбонитридов титана и аморфной фазы на основе Si-C-N. Причем, в системе Ti-Al-Si-C-N образуется наностолбчатая структура с поперечным размером зерен 20-40 нм, а в Ti-Cr-Si-C-N размер зерен в несколько раз больше. Уникальность структуры в в системе Ti-Al-Si-C-N состоит в том, что она сохраняется при нагреве до 1300 °С, что обуславливает постоянство микротвердости. При этом аморфная прослойка претерпевает атомарное упорядочение и твердость даже увеличивается.

Необходимо отметить многостороннее изучение не только структуры покрытий, но также и их физико-механических свойств. Диссертант провел глубокое изучение трибологических свойств и износа, а также исследование поведения материала покрытий при механическом воздействии методом кинетического индентирования. Для понимания механики разрушения весьма полезны данные циклических ударно-динамических испытаний на воздухе, в жидких и агрессивных в коррозионном отношении средах.

С технической точки зрения очень привлекательным является применение мишеней из композиционных материалов, сформированных СВС методом. Самовоспламеняющийся синтез тугоплавких соединений является прекрасным методом для получения многофазных структур в высокодисперсном состоянии. Именно СВС мишени позволили автору получить равномерное распределение упрочняющих фаз по объему реактора. Автору удалось продемонстрировать хорошие триботехнические качества слоев и опробировать представленные покрытия в производственных условиях.

Корректное понимание процессов формирования наноконпозиционной структуры в сверхтвердых покрытиях позволило диссертанту модифицировать режимы их нанесения. Представленные в диссертации результаты производственных испытаний концевых фрез и неперетачиваемых пластин из твердого сплава подтверждают перспективность использования покрытий Ti-Cr-Si-C-N и Ti-Al-Si-C-N в качестве упрочняющих покрытий на режущем инструменте. Эти факты

указывают на большую практическую значимость диссертационной работы Купцова К.А.

Таким образом, диссертационная работа Купцова К.А. характеризуется не только высокой практической значимостью и актуальностью, на что указывает и количество государственных контрактов (8 шт.), при выполнении которых были использованы результаты его работы, но также и большой научной ценностью.

Не вызывает сомнения и достоверность результатов, представленных в работе Купцова К.А., поскольку они представлены в большом объеме и получены с использованием современного аналитического, физического и физико-химического оборудования.

Однако по диссертационной работе хотелось бы сделать следующие замечания:

- 1) в диссертации не рассмотрен физико-химический механизм синтеза Ti-Cr-Si-C-N и Ti-Al-Si-C-N слоев, что могло бы объяснить кинетические и структурные особенности, например, условия формирования наностолбчатой структуры в Ti-Al-Si-C-N покрытии в отличие от других составов;
- 2) не изучена кинетика распыления мишеней;
- 3) отсутствуют результаты исследований такого важного свойства твердых покрытий, как трещиностойкость и предела термоциклирования;
- 4) диссертация содержит несоответствия и неточности. Например, согласно испытанию режущих пластин с сверхтвердыми покрытиями температура режущей кромки достигала 1070 °С, но в разделе 6.2 показано, что при 1070 °С покрытие полностью окислялось даже без нагрузки. Имеются некоторые стилистические погрешности.

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления о научных и практических результатах диссертационной работы.

Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в пяти статьях, опубликованных в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук.

Диссертационная работа Купцова К.А. написана грамотным, научно-техническим языком в логически выстроенном порядке изложения; снабжена необходимым количеством иллюстративного, наглядно представленного, материала.

Материалы работы были апробированы на 24 международных конференциях, имеются 35 публикаций, в том числе 6 статей, зарегистрировано поу-хау.

Считаю, что диссертационная работа Купцова К.А. полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06. – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Зав. лабораторией гетерогенного
синтеза тугоплавких соединений
ИФХЭ РАН, д.х.н.

Ю.В. Лахоткин

199071, Москва, Ленинский проспект, 31, к.4, ИФХЭ РАН;
lakhotkin@ipc.rssi.ru; тел: 8-(495)-330-1729.

Подпись д.х.н. Ю.В.Лахоткина заверяю:

Ученый секретарь ИФХЭ РАН, д.х.н.



И.Г. Варшавская