

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Кирюханцева-Корнеева Филиппа Владимировича «Получение многофункциональных ионно-плазменных покрытий с использованием СВС- композиционных материалов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы

Ионно-плазменные технологии являются в настоящее время одним из наиболее перспективных направлений создания износ- и коррозионностойких покрытий. Дальнейшее повышение функциональных характеристик таких покрытий связано с необходимостью реализации при их получении принципов дисперсионного упрочнения и наноструктурирования. Это определяет актуальность диссертационной работы Кирюханцева-Корнеева Ф.В., направленной на разработку научно обоснованных технологий ионно-плазменного осаждения жаро-, коррозионно-, износостойких покрытий, а также оптически прозрачных наноструктурных покрытий, получаемых с использованием композиционных СВС-материалов.

Среди наиболее значимых научных достижений автора следует назвать, прежде всего, установленные закономерности влияния легирующих добавок кремния, хрома, алюминия и никеля на структуру и свойства покрытий на основе TiBN и TiCN, заключающиеся в формировании нанокomпозиционных покрытий TiCrBN и TiCrSiCN, состоящих из нанокристаллитов ГЦК-фазы nc-TiCr(C)N и аморфных фаз a-CrB/a-BN или a-SiCN/a-C, с содержанием 11-14 ат. % хрома, обеспечивающих сочетание высокой твёрдости, износостойкости, наличие диффузионно-барьерных свойств, термической стабильности и жаростойкости, что определяет защитные функции покрытий в условиях высокоскоростного сухого резания.

Обнаружен положительный эффект легирования азотом в покрытиях на основе CrBN, TiBN и ZrBN, полученных методом магнетронного распыления с использованием боридных СВС-мишеней, заключающийся в ингибировании столбчатого роста зерен азотом. При этом снижается размер кристаллитов боридной фазы и активизируется выделение фазы h-BN, что обуславливает увеличение трещиностойкости, адгезионной прочности сцепления покрытия с подложкой, а также способствует снижению коэффициента трения и величины приведённого износа.

Значимым и интересным в научном и практическом плане являются разработанные автором жаростойкие кремнийсодержащие покрытия на основе MoSi<sub>2</sub>, ZrB<sub>2</sub> и SiC, предназначенные для защиты ответственных узлов из жаропрочных материалов. Показано, что формирование нанокomпозитной или аморфной структуры с высокой концентрацией кремнийсодержащих фаз в таких покрытиях обеспечивает повышение рабочей температуры поверхности до 1000–1200°C.

Установлено, что реализация эффекта залечивания и герметизации поверхностных дефектов при нанесении слоев методами ионно-плазменного осаждения обеспечивает повышение коррозионной стойкости двух- и



трехслойных покрытий на основе  $\text{TiAlCNi}$  и  $\text{CrAlCNi}$  в жидких и газовых средах. Высокую износостойкость таких покрытий обеспечивает формирование электроискрового подслоя.

Показано, что использование процесса бомбардировки растущего покрытия пучком высокоэнергетических металлических ионов ( $\text{Ti}^{2+}$ ) для модификации границы раздела «покрытие-подложка» позволяет повысить адгезионные свойства покрытий в сравнении с покрытиями, осажденными при постоянном токе методом магнетронного напыления.

Положительной оценки заслуживает также практическая часть работы, связанная с разработкой способов ионно-плазменного осаждения сверхтвердых многокомпонентных наноструктурных покрытий на основе карбидов и боридов титана и хрома при одновременной ионной имплантации и осаждении наноструктурных покрытий с повышенной жаростойкостью. Разработаны технологические процессы ионно-плазменного осаждения сверхтвёрдых многокомпонентных наноструктурных покрытий на металлические и неметаллические подложки при одновременной ионной имплантации. Разработан технологический процесс получения жаростойких и износостойких многослойных покрытий по комбинированной технологии электроискрового легирования и ионно-плазменного напыления.

Представленные результаты достоверны, поскольку теоретические исследования выполнялись с использованием базовых положений и фундаментальных основ современного порошкового и композиционного материаловедения, а экспериментальные – с применением стандартных и оригинальных методик, современной технологической и аналитической аппаратуры.

Результаты работы опубликованы в 88-ми статьях в изданиях из перечней Минобрнауки России, в их числе 85 статей в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования Scopus, 68 – в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования Web of Science; получено 2 патента РФ.

#### Замечания:

1. В работе присутствует информация о составе покрытий, образовавшихся в процессе окисления защитных оксидных плёнок. При этом приводятся карты распределения элементов, полученные методом энергодисперсионного анализа. Однако данный метод сложно использовать для определения концентраций лёгких элементов, таких как, бор и азот.

2. Отсутствует сравнение характеристик разработанных жаростойких покрытий с покрытиями известных составов ( $\text{MoSi}_2$ ,  $\text{ZrB}_2$ ), полученных методами газотермического напыления и диффузионного насыщения.

3. В автореферате желательно было бы привести иллюстрации топографии поверхности покрытий, подтверждающие их низкие шероховатость и дефектность.

Указанные замечания не затрагивают основных положений рецензируемой работы и не сказываются на её общей положительной оценке. Диссертация Кирюханцева-Корнеева Ф.В. содержит научную новизну,

практическую ценность, соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», предъявляемым к докторским диссертациям, является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения по получению защитных и функциональных наноструктурных покрытий методами ионно-плазменного осаждения, обеспечивающих повышение комплекса физико-механических и эксплуатационных характеристик изделий конструкционного и специального назначения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие машиностроения России.

В связи с вышеизложенным считаю, что Кирюханцев-Корнеев Филипп Владимирович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук (05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы), профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения, технологические машины и оборудование»  
ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

346428, Ростовская область, г. Новочеркасск,  
ул. Просвещения, д.132

Тел. +7 (8635) 255 486. E-mail: dvyu56.56@mail.ru.

Я, Дорофеев Владимир Юрьевич, согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Кирюханцева-Корнеева Ф.В.

Дорофеев Владимир Юрьевич

Подпись д. т. н., проф. Дорофеева Владимира Юрьевича заверяю:

Учёный секретарь  
ученого совета  
ЮРГПУ (НПИ)



Холодкова Нина Николаевна