

## Минобрнауки России



**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физической химии и электрохимии  
им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук  
(ИФХЭ РАН)**

Ленинский проспект, д. 31, корп. 4. Москва. 119071.

Тел. (495) 955-46-01; Факс: (495) 952-53-08; E-mail: [dir@phche.ac.ru](mailto:dir@phche.ac.ru); <http://www.phche.ac.ru>  
ОКПО 02699292; ОГРН 1037739294230; ИНН/КПП 7725046608/772501001

### 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

Диссертационная работа Ф.В. Кирюханцева-Корнеева посвящена разработке защитных (жаростойких, коррозионностойких, износостойких) и функциональных (оптически прозрачных) наноструктурных покрытий, получаемых методами ионно-плазменного осаждения с использованием композиционных СВС-материалов, предназначенных для повышения ресурса работы и эксплуатационных характеристик ответственных изделий машиностроения, подвергающихся воздействию трения, износа, эрозии, высоких температур и агрессивных сред. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) -это зеленый метод синтеза, который отличается высокой энергоэффективностью и практически не использует токсичных растворителей. Работа, безусловно, актуальная, поскольку использование композиционных СВС-катодов при ионно-плазменном напылении позволяет решить ряд проблем, включая: сложность введения аморфизаторов, обеспечение равномерности состава многокомпонентных покрытий, контроль процесса нанесения и увеличение объёма рабочего пространства вакуумной установки при использовании нескольких источников.

К наиболее важным и оригинальным результатам данной работы следует отнести следующее:

1. Разработаны новые составы нанокомпозитных покрытий на основе TiCN и TiBN со структурами nc-TiCrN/a-CrB<sub>2</sub>/a-BN и nc-TiCrCN/a-SiCN/a-C (nc-нанокристаллиты, а-аморфная фаза), позволившие повысить стойкость металлообрабатывающего инструмента

до 10 раз и превосходящие базовые составы в 7 раз. Успешно опробованы новые технологические подходы при ионно-плазменном напылении, включая магнетронное напыление, совмещённое с бомбардировкой растущего покрытия высокоэнергетическим пучком металлических ионов и импульсное катодное испарение, направленные на повышение адгезионной прочности покрытий и позволившие достичь критических нагрузок разрушения  $L_{c2}$  на уровне 90-120 Н.

2. Выявлены особенности формирования оптически-прозрачных покрытий ZrBN и ZrSiBN, превосходящих известные оксидные покрытия по скорости осаждения на порядок, а также по износостойкости в условиях абразивного воздействия в 1.5-2.5 раза. Установлены закономерности влияния содержания азота в газовой смеси на оптические характеристики покрытий, связанные с объёмной долей аморфных фаз BN и BN+SiN<sub>x</sub>.

3. Созданы тонкоплёночные материалы на основе MoSi<sub>2</sub>, ZrB<sub>2</sub> и SiC, обладающие высокой жаростойкостью в диапазоне температур 1000-1200°C и кратковременно выдерживающие нагрев до 1400-1700°C, что обеспечивается высокой концентрацией кремнийсодержащих фаз. Покрытия MoSiB, ZrSiBN и SiBCN повышают высокотемпературные прочностные свойства жаропрочных никелевых СЛС-сплавов, а также жаростойкость элементов печного оборудования из углеродных композиционных материалов.

4. Разработаны двух- и трехслойные покрытия, полученные с использованием СВС-материалов TiAlCNi, CrAlCNi, MoSiB, ZrSiB и CrAlSiB, характеризующиеся более высокой коррозионной стойкостью (снижение плотности тока коррозии в 1.7-5 раз, снижение глубины окисления в 1.3-7.5 раз) в жидких и газовых средах по сравнению с однослойными электроискровыми покрытиями за счет эффекта залечивания трещин плёнками, наносимыми ионно-плазменными методами.

Результаты диссертации и сделанные по ним выводы достаточно достоверны и логичны. Они подробно изложены в публикациях и доложены на авторитетных конференциях и семинарах. Следует дать высокую оценку научной и практической значимости диссертационной работы.

Вместе с тем по тексту автореферата диссертации имеются следующие замечания:

1. На рис. 13б автореферата для покрытия CrAlSiBN после отжига приведена зависимость концентраций элементов от параметра «время травления». Неясно как эти значения соотносятся с толщиной.
2. В списке литературы в конце автореферата не приведены выходные данные по опубликованным учебно-методическим пособиям, в которых отражены результаты диссертационной работы.

3. Разработанные многослойные покрытия обозначены в тексте как «МН-ЭИЛ», но также встречается запись «ЭИЛ-МН», хотя во всех случаях нижний слой получен методом электроискрового легирования, а нижний методом магнетронного напыления.

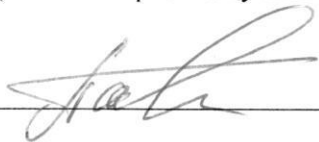
Указанные замечания не затрагивают основных положений диссертационной работы и не влияют на её общую положительную оценку.

Работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г № 842, предъявляемым к докторским диссертациям и Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а ее автор Кирюханцев-Корнеев Филипп Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5 - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Даю согласие на обработку моих персональных данных.

Заведующий лабораторией, д.т.н. (01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника)

Павлов Юрий Сергеевич



«28» 11

2022 г.

Тел.: +7 916 6401761,

E-mail: rad05@bk.ru

Подпись Павлова Ю.С. заверяю:  
Ученый секретарь ИФХЭ РАН, к.х.н.



Н.А. Шапагина