

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Варданяна Эдуарда Леонидовича
«Научные основы формирования ионно-плазменных износостойких покрытий для
металлорежущего инструмента на основе композитных нитридных и
интерметаллидных нано-слоев титана и алюминия», представленной на соискание
ученой степени доктора технических наук по специальности
2.6.6 - Нанотехнологии и наноматериалы.

Эффективность обработки различных материалов и изделий в плазме, являющейся химически активной средой, в настоящее время уже неоднократно и убедительно продемонстрирована, однако, данное направление продолжает по-прежнему развиваться ввиду перспектив ее использования в новых областях науки и практики. Плазма с успехом применяется как для поверхностной обработки материалов и осаждения покрытий, так и для плазменно-стимулированного синтеза и декомпозиции неорганических и органических соединений и т.д. Работа посвящена решению прикладных проблем с использованием низкотемпературной плазмы в дуговых разрядах низкого давления с плазменным ассистированием, имеет в основном экспериментально-поисковый характер с практической направленностью и является крайне **актуальной**, имеющей как научный, так и практический интерес, поскольку ориентирована на решение одной из ключевых задач *Стратегии развития станкоинструментальной промышленности на период до 2035 г.* от 5 ноября 2020 г. № 2869-р: выполнение комплексных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию и повышению качества отечественного инструмента широкой номенклатуры и создание производства инструментов мирового уровня с целью повышения конкурентоспособности выпускаемой отечественной продукции и снижения импортозависимости, а так же для снижения рисков возникновения *угрозы технологической безопасности*.

Особенностью получения в данной работе уникальных композиционных покрытий с высокими эксплуатационными характеристиками является использование металлической (алюминиевой и титановой) плазмы вакуумно-дугового разряда с одновременным использованием газовой плазмы несамостоятельного дугового разряда (аргоновой и азотной), генерируемого плазменным источником с накалимым катодом («ПИНК»). Такой подход позволяет проводить синтез композитных покрытий со свойствами, наиболее соответствующими применению в инструментальной промышленности.

Необходимо отметить **высокую степень внедрения** результатов работы в реальный промышленный сектор России (ПАО «ОДК-УМПО» г. Уфа, ОАО «БелЗАН» г. Белебей, АО «УАП «Гидравлика» г. Уфа, ООО «Проект Р» г. Новосибирск, АО «Электросоединитель» п.г.т. Уруссу, АО «Уфимское агрегатное производственное объединение» г. Уфа, АО «Смоленский авиационный завод» г. Смоленск и др.).

Научная новизна работы заключается в определении режимов послойного нанесения покрытий на поверхность различного инструмента из плазмы, генерируемой электродуговыми испарителями оснащёнными однокомпонентными катодами из титана и алюминия при ассистировании процесса плазменным источником с накалимым катодом для дополнительной ионизации реакционного (азота) или инертного (аргона) газов, определении механизмов образования в такой



плазме не только соединений Ti и Al с азотом, но и интерметаллидных соединений, а именно фаз TiAl₃, TiAl, Ti₃Al. Установлена зависимость толщины нано- и макрослоев на микротвердость композитных покрытий. Разработана математическая модель для прогнозирования стехиометрического состава покрытий в зависимости от технологических параметров. Установлена зависимость влияния соотношения толщины макрослоев hTi-Al/hTi-Al-N в покрытии на основе композитных интерметаллидных и нитридных нанослоев титана и алюминия на коэффициент упругого восстановления (We). Показано, что уменьшение толщины слоев с ~50 до ~5 нм приводит к увеличению содержания нитридных и интерметаллидных фаз при осаждении в среде азота, и увеличению содержания интерметаллидных фаз при осаждении в среде аргона. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.

Заявленный в автореферате личный вклад автора, широкий библиографический список (40 печатных работ, в том числе коллективная монография, 30 статей в журнале из перечня ведущих научных журналов и изданий ВАК РФ, 20 работ индексированы в Scopus и Web of Science, 9 патентов на изобретения), широкая апробация результатов работы на российских и международных конференциях и семинарах, а также фундаментальная и прикладная значимость полученных результатов, подтверждают высокую научную квалификацию диссертанта.

По содержанию работы в редакции автореферата можно сделать следующие замечания:

1. Стр. 6. Научная новизна, пункт 3. «Рентгеноструктурным анализом доказано, что изменение скорости вращения рабочего стола с 1 до 14 об/мин, а соответственно уменьшение толщины слоев с ~50 до ~5 нм приводит к увеличению содержания нитридных и интерметаллидных фаз...». На мой взгляд, нарушена причинно-следственная связь. Вращение стола – это важный технологический параметр, но это лишь инструмент для решения конкретной задачи. Поэтому внимание, прежде всего, должно быть акцентировано на уменьшении толщины слоев, а не на изменении скорости вращения рабочего стола.
2. В автореферате ничего не сказано о концентрации плазмы или плотности ионного тока. При этом на стр. 15 отмечается, что в том числе от тока разряда зависит фазовый состав покрытия. Видится, что то же самое должно быть с толщиной микро- и макрослоев.
3. Стр. 11. «Нанесение композиционных покрытий выполнялось на модернизированной установке ННВ-6.6-И1 оснащенной плазменным источником с накатным катодом, которая позволила проводить дополнительную ионную очистку, активацию обрабатываемых поверхностей ионами газа, быстрый нагрев обрабатываемых деталей до необходимой температуры, и последующее ассистированное ионно-плазменное нанесение покрытий...» Однако из автореферата непонятно, что автор подразумевает под последней фразой «последующее ассистированное ионно-плазменное нанесение

покрытий», в чем роль именно плазменного ассистирования? Является ли она определяющей?

4. Стр. 31. Рис 26. Что подразумевается под максимальным режимом ионной очистки плазменным источником с накалимым катодом? В чем заключается "чистка электродуговыми испарителями"?

5. Автор оперирует величиной «ток пинка», но в зависимости от загрузки вакуумной камеры, площадь обработки может изменяться, а, следовательно, лучше оперировать величиной «плотности тока».

Однако, указанные замечания не изменяют общей положительной оценки работы, и, скорее всего, обусловлены ограниченным объемом автореферата.

На основании автореферата можно сделать вывод, что по актуальности, новизне и важности практических выводов и рекомендаций диссертационная работа «Научные основы формирования ионно-плазменных износостойких покрытий для металлорежущего инструмента на основе композитных нитридных и интерметаллидных нано-слоев титана и алюминия» Варданяна Эдуарда Леонидовича полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ (№ 842 от 24.09.13 г.), предъявляемым к докторским диссертациям, а автор заслуживает присвоения степени доктора технических наук по специальности 2.6.6 - Нанотехнологии и наноматериалы.

д.т.н., профессор

 Н.Н. Коваль

Сведения о составителе отзыва:

Коваль Николай Николаевич, доктор технических наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника, профессор по кафедре физики плазмы Томского государственного университета, главный научный сотрудник лаборатории плазменной эмиссионной электроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН) 634055, г. Томск, пр. Академический 2/3
Тел.: 8-(382-2)-492-792
E-mail: koval@hcei.tsc.ru

Я, Коваль Николай Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

 Н.Н. Коваль

Подпись Н.Н. Коваля удостоверяю
Ученый секретарь ИСЭ СО РАН, к.т.н.

 О.В. Крыгина

Дата составления отзыва: 10 ноября 2021 г.