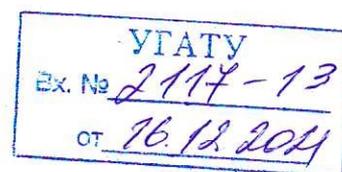


## ОТЗЫВ

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

Представленная диссертационная работа посвящена разработке научных основ формирования интерметаллидных и нитридных покрытий систем TiAl и TiAlN вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом.

Разработка способов и технологических режимов повышения износостойкости поверхности инструментальных материалов в сложных условиях эксплуатации весьма важна для машиностроительной, авиакосмической, автомобильной, нефтегазовой и других отраслей РФ. Поверхность инструментальных материалов подвергают обработке различными способами, среди которых особое место занимают вакуумные ионно-плазменные способы осаждения покрытий. Наиболее развитым в промышленности является вакуумно-дуговой метод осаждения покрытий, позволяющий создавать нитридные, карбидные, оксидные и другие типы твердых и сверхтвердых покрытий с высочайшей по сравнению с другими методами адгезией. Несмотря на большое количество работ, представленных в отечественной и зарубежной литературе, проблема управления элементным, структурно-фазовым состоянием многослойных покрытий, остается чрезвычайно актуальной. Промышленные производства в условиях длительной импортозависимости требуют оптимальных по соотношению «цена/качество» покрытий для повышения потребительских свойств различного рода изделий из инструментальных и конструкционных материалов. Особую значимость исследований в данном направлении подтверждает распоряжение Правительства РФ от 5 ноября 2020 г. № 2869-р Об утверждении Стратегии развития станкоинструментальной промышленности на период до 2035 года, в котором говорится о том, что «российские производители уступают ведущим зарубежным производителям по отдельным параметрам конкурентоспособности продукции, в том числе по причинам отсутствия новых производственных технологий, ..., отсутствия отдельных видов компетенций и ресурсов для реализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и масштабирования результатов инновационной деятельности». Таким образом, развитие новых методов, способов, разработка режимов и, в конечном итоге, технологий синтеза износостойких покрытий на инструментальных материалах



является актуальным с точки зрения развития отечественной промышленности, так и с точки зрения национальной безопасности.

В автореферате корректно сформулированы цели и задачи работы, представлена научная новизна и практическая ценность работы, приведена структура и сделан краткий обзор работ, а также обосновывается достоверность выносимых на защиту положений.

Представленные в диссертационной работе результаты представляют значительный научный интерес и имеют большую практическую ценность, что подтверждается сразу несколькими внедрениями на режущий штамповый инструмент таких предприятий, как ПАО «ОДК-УМПО», ОАО «БелЗАН» и другие.

По результатам исследования Варданяна Э.Л. опубликовано 40 научных работ, из них 30 – в научных изданиях, рекомендованных ВАК. Автором получены 9 свидетельств на патенты РФ и 2 программы ЭВМ. Результаты диссертационной работы обсуждены на научных конференциях различного уровня.

К работе имеются следующие вопросы:

1. Согласно расширенной диаграмме структурных зон, предложенной Торнтоном и впоследствии модифицированной и дополненной другими известными учеными, энергия ионов и соотношение потоков заряженных частиц и нейтралов на поверхность являются ключевыми факторами, влияющими на структуру и фазовый состав растущего покрытия. Поскольку покрытия создавались в системе с использованием отдельного источника газовой плазмы, обеспечивающего повышенное содержание ионов азота на стадиях напыления  $TiAlN$  и ионов аргона при напылении слоев на основе интерметаллидов  $TiAl$ , то можно ли пояснить влияние плазменного ассистирования на структурно-фазовое состояние разработанных многослойных композиционных покрытий?

2. На рисунке 16 приведены зависимости твердости многослойных покрытий и результаты трибологических испытаний, свидетельствующие о том, что увеличение количества нанослоев в покрытии при одновременном снижении их толщины, приводит к увеличению твердости и износостойкости. Какой вклад в этот результат дает увеличение количества интерметаллидных фаз и каких именно фаз ( $TiAl$ ,  $Ti_3Al$ ,  $TiAl_3$ )? Какой вклад дает уменьшение толщины нанослоев многослойного покрытия?

3. Известно, что вакуумно-дуговой метод осаждения покрытий, и особенно с плазменным ассистированием дополнительной газовой плазмой, обеспечивает величину адгезии покрытий, до нескольких десятков Ньютонов. Покрытия систем  $TiAl$  и  $TiAlN$ , синтезированные в работе, имея относительно невысокие, до 27 Н, значения адгезии демонстрируют повышенную эксплуатационную долговечность на режущем и штамповом инструменте. Почему такие, относительно низкие, значения адгезии

многослойных покрытий достаточны для успешной работы инструмента? При каком минимальном значении адгезии покрытия на основе TiAl и TiAlN должны обеспечивать необходимую износостойкость режущего инструмента?

В целом содержание автореферата, несмотря на ряд грамматических погрешностей, позволяет говорить о том, что работа выполнена на высоком профессиональном уровне и, безусловно, заслуживает положительной оценки.

Представленная диссертационная работа Варданяна Эдуарда Леонидовича «Научные основы формирования ионно-плазменных износостойких покрытий для металлорежущего инструмента на основе композитных нитридных и интерметаллидных нанослоев титана и алюминия» соответствует требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Варданян Эдуард Леонидович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы.

  
Подпись, дата

Колубаев Александр Викторович,  
д.ф.-м.н., профессор

Заведующий лабораторией физики упрочнения поверхности  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института физики прочности и материаловедения СО РАН  
634055, Томск, проспект Академический, 2/4  
Телефон: +7(3822)286-970  
e-mail: [kav@ispms.ru](mailto:kav@ispms.ru)

Подпись Колубаева А.В. удостоверяю,  
ученый секретарь ИФПМ СО РАН,  
к.ф.-м.н.

  
Матолыгина Н.Ю.

