

**Отзыв**  
**на автореферат кандидатской диссертации Крысиной О. В. «Генерация газометаллической плазмы в дуговых разрядах низкого давления для синтеза многокомпонентных нанокристаллических защитных покрытий»**

В последние (15-20) лет создан новый класс нанокомпозитных покрытий на основе нитрида переходных металлов с зернограничными прослойками твердых аморфных типа  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{TiB}_2$ , и др. или металлических ( $\text{Cu}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{J}$ ,  $\text{Ag}$ ) фаз с достижением сверхтвердости. Высокая (до  $1000 - 1100^\circ\text{C}$ ) термическая стабильностьnanoструктурных состояний и сверхтвердости первых из указанных нанокомпозитных покрытий в настоящее время нашли их широкое использование при создании металлообрабатывающего инструмента. Однако, серьезным недостатком этих покрытий является сравнительно низкая вязкость разрушения.

Увеличение последней может быть достигнуто в нанокомпозитах с пластичной металлической зернограничной фазой. К сожалению, для покрытий этого типа обнаруживается низкая термическая стабильность ( $T \leq 800^\circ\text{C}$ ) сверхтвердости, обусловленная релаксацией внутренних напряжений.

Весьма перспективной и актуальной задачей является выяснение возможностей и условий сохранения сверхтвердости до  $T \sim 1000^\circ\text{C}$  и достаточной для использования в технике вязкости разрушения.

Такая задача решается в диссертационной работе Крысиной О. В. на примере покрытий системы  $\text{Ti}-\text{Cu}-\text{N}$  с использованием вакуумно-дугового синтеза.

Безусловным достоинством выполненных диссертационных исследований, выделяющих ее из многочисленных известных в литературе с применением аналогичных методов получения покрытий является изучение особенностей генерации и характеристик газометаллической плазмы с выяснением в соответствующих условиях их фазово-структурного состояния и свойств.

Это позволило целенаправленно реализовать оптимизацию режимов получения нанокомпозитной структуры и сверхтвердости покрытий с достаточно высокими термостабильностью сверхтвердости, адгезионных и когезивных свойств, стойкостью к окислению и низким коэффициентом трения.

Подчеркнем, что ранее при использовании магнетронного метода создания покрытий системы  $\text{Ti}-\text{Cu}-\text{N}$ , аналогичных полученным диссиденткой, перспективных для промышленного применения микроструктуры и комплекса свойств получить не удавалось.

Важным и перспективным для дальнейшего использования в технологиях получения покрытий является обоснование в диссертации возможности управления концентрацией ионов в газометаллической плазме, составом, структурным состоянием и свойствами вакуумно-дуговых покрытий вариацией параметров плазменного источника газовых ионов.

Таким образом, в диссертационной работе Крысиной О. В. на основании совокупности оригинальных результатов, полученных с применением современных методов создания покрытий, исследования их фазово-структурного состояния и комплекса необходимых эксплуатационных свойств обоснована перспективность создания защитных нанокомпозитных покрытий типа  $n\text{-TiN}/\text{металлическая фаза}$ .

Не вызывает сомнений достоверность, новизна и научно-прикладная значимость результатов работы.

Отметим следующие недостатки:

1. В работе не указана и не обсуждается температура получения покрытий, имеющая важнейшее значение для формирования зернограничной фазы и сохранения твердого раствора меди в нитриде титана. В этой связи, остается сомнительной

указанная диссиденткой толщина зернограничной прослойки, ее аморфизации и концентрации меди в этой фазе.

2. В работе не обсуждается влияние на структуру покрытий кислорода и углерода, концентрация которых достигает 10 ат% (рис. 8 автореферата).
3. С нашей точки зрения неправомерно использование термина «многоэлементные покрытия» к изученным в диссертации.

Отмеченные недостатки не затрагивают основного содержания диссертации и не снижают ее высокой оценки.

Считаю, что диссертация Крысиной О. В. удовлетворяет требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 физическая электроника.

Доктор физико-математических наук,  
профессор физического факультета  
Федерального государственного  
образовательного Учреждения  
высшего образования «Национальный  
исследовательский Томский  
государственный университет  
(ФГАОУ ВО НИИ ТГУ)

634050, Томск, пр. Ленина 36,  
[korotaev@phys.tsu.ru](mailto:korotaev@phys.tsu.ru)  
ntk 7(382) 253-03-94

27.09.2016 г.

Коротаев Александр Дмитриевич

