

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Крысиной Ольги Васильевны
«Генерация газометаллической плазмы в дуговых разрядах низкого давления
для синтеза многокомпонентных нанокристаллических защитных покрытий»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.04.04 – физическая электроника

Синтез упрочняющих покрытий на изделиях машиностроения является эффективным способом повышения их физико-механических характеристик, работоспособности и срока службы. Известно, что физико-механические характеристики износостойких покрытий TiN, ZrN, AlN и др. значительно улучшаются при добавлении в их состав дополнительных легирующих элементов, например, Si, Cu, Al, Cr и формировании в многокомпонентном покрытии нанокристаллической и/или аморфной структуры, обеспечивающей повышенную до 40–105 ГПа твердость, коэффициент трения ниже 0,1, высокую прочность на разрыв до 10–40 ГПа, высокую стабильность при температуре до 1700 °C и стойкость к окислению при температурах до 1000 °C и выше. Чтобы получить покрытие с указанными характеристиками, необходимо обеспечить определенные физические условия во время его синтеза. В связи с этим **актуальность** работы О.В. Крысиной, посвященной изучению зависимостей от параметров плазмы, получаемой с помощью самостоятельного вакуумно-дугового разряда и несамостоятельного разряда с полым катодом, характеристик синтезируемых в этой плазме многокомпонентных покрытий не вызывает сомнений.

Автором показано, что при постоянных значениях тока дуги и давления газа увеличение тока несамостоятельного разряда с полым катодом сопровождается линейным ростом концентрации плазмы и увеличением отношения плотностей токов в цепи подложки ионов газа j_p и ионов металла j_d . Установлено, что при увеличении j_p/j_d исходный цвет покрытия изменяется с золотого на медно-золотой, а его твердость увеличивается до 35 ГПа. Рентгенофазовый анализ показал, что фазовый состав покрытия при этом не изменяется, а размер областей когерентного рассеяния, по которому можно судить о размере кристаллитов, уменьшается с 97 до 17 нм.

Особенно ярко **научную новизну** работы Крысиной О.В. подчеркивает подтвержденная ею экспериментально возможность получать в результате увеличения отношения j_p/j_d покрытия с твердостью более 40 ГПа даже без добавления в них легирующих элементов. Твердость износостойкого покрытия MoN увеличилась до 45 ГПа, при этом коэффициент трения покрытия снизился до 0,16, а размер его кристаллитов уменьшился с 66 до 21 нм. Автором показано, что повышение твердости покрытий с увеличением доли тока ионов газа в цепи подложки сопровождается ростом содержания азота от 46 до 60 ат.% в покрытии из нитрида титана и от 19 до 30 ат.% в покрытии из нитрида молибдена.

При использовании композиционного Ti–12ат.%Cu катода вакуумной дуги Крысина О.В. синтезировала сверхтвердые Ti–Cu–N покрытия толщиной 2–3

мкм с твердостью до 48 ГПа и высокой адгезией к подложке, показав при этом, что они состоят из кристаллитов нитрида титана со средним размером 18 нм. Концентрация меди в покрытии соответствует ее концентрации в испаряемом катоде – 12 ат.%, однако кроме нитрида титана других фаз в нем не обнаружено. Методами численного моделирования Крысина О.В. оценила среднюю толщину 0,74 нм аморфного медного слоя вокруг кристаллитов, который тормозит рост кристаллитов нитрида титана.

Высокую практическую ценность работы определяют разработанный на основе полученных автором результатов способ вакуумно-дугового осаждения сверхтвердых нитридных покрытий при испарении композиционных катодов системы Ti–Cu, который включает очистку, активацию и нагрев подложек в плазме несамостоятельного разряда с полым катодом; осаждение адгезионного Ti–Cu подслоя (100–200 нм) и синтез сверхтвердого Ti–Cu–N покрытия (1–5 мкм) в плазме вакуумно-дугового разряда и несамостоятельного разряда с полым катодом, а также великолепные результаты испытаний твердосплавных ножей для гранулирования пластмассы, метчиков и фрез с этим покрытием.

Все полученные автором научные результаты достаточно подробно изложены в 18 указанных в автореферате публикациях.

К недостаткам автореферата следует отнести опечатку в первой строке на стр. 17 и отсутствие информации о том, как определялись плотности токов ионов металла и ионов газа на подложке. Однако эти недостатки не снижают высокого уровня работы.

В целом представленная работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Крысина Ольга Васильевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Профессор кафедры
«Высокоэффективные технологии обработки»
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,
д.ф.-м.н.

А.С. Метель

Почтовый адрес: 127055 Москва, Вадковский пер., д. 1
Телефоны: 8-499-972-95-58 и 8-499-972-95-61
Электронный адрес: a.metel@stankin.ru или a.metel@mail.ru

«Подпись профессора А.С. Метеля заверяю»

Ученый секретарь ученого совета
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

А.С. Метель
Подпись руки *А.В. Чеканин* достоверяю
УД ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
Документ подписан А.В. Чеканин
30.08.2016 *А.В. Чеканин*



А.В. Чеканин