

СИНТЕЗ СВЕРХТВЕРДЫХ ПОКРЫТИЙ TiN-Cu НА СПЛАВЕ Т15К6 СОПРЯЖЕННЫМИ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ И МАГНЕТРОННЫМ РАЗРЯДАМИ

А.П. Семенов, Д.Б.-Д. Цыренов, Н.С. Улаханов, И.А. Семенова

Институт физического материаловедения СО РАН,

ул. Сахьяновой 6, Улан-Удэ 670047, Россия, alexandersemenov2018@mail.ru,

dmitriyzak@mail.ru, nulahanov@mail.ru, irene_sem@mail.ru

Рассмотрено инициирование синтеза в азотсодержащей плазме сверхтвёрдых покрытий TiN-Cu на сплаве Т15К6 сопряженными процессами *in situ* агрегирования смеси Ti-N-Cu испарением Ti вакуумно-дуговым и распылением Cu магнетронным разрядами. Согласно рентгенофазовому анализу, рефлексы отражений меди не наблюдаются, хотя рентгеноспектральный микроанализ структуры покрытий подтверждает наличие меди в исследуемых покрытиях по всему профилю покрытий. Проведены стойкостные испытания покрытий TiN-Cu на пластинах шестигранных сменных из твердого сплава Т15К6 при резании стали 40Х. Показано, в предложенном режиме нанесения покрытий TiN-Cu, состав TiN-5.57 ат.% Cu увеличивает стойкость пластин Т15К6 в ~ 2.5 раза по сравнению с инструментом без покрытия. Замеренные составляющие сил резания на пластинах с покрытием TiN-Cu свидетельствуют об отсутствии вибраций (шумов) режущего инструмента, что косвенно объясняет влиянием трибологических свойств покрытия на стойкость инструмента, снижением силы трения и увеличением теплоотвода из зоны контакта режущей кромки инструмента с обрабатываемым материалом, способствуя уменьшению температуры в зоне резания.

Ключевые слова: газоразрядная плазма; вакуумно-дуговое испарение; ионно-плазменное распыление; композитные покрытия; синтез; структура; строение; свойства; стойкостные испытания.

SYNTHESIS OF SUPERHARD TiN-Cu COATINGS ON T15K6 ALLOY BY CONJUGATED VACUUM-ARC AND MAGNETRON DISCHARGES

A.P. Semenov, D.B.-D. Tsyrénov, N.S. Ulakhánov, I.A. Semenova

Institute of Physical Materials Science SB RAS,

6 Sakhyanova Str., 670047 Ulan-Ude, Russia, alexandersemenov2018@mail.ru,

dmitriyzak@mail.ru, nulahanov@mail.ru, irene_sem@mail.ru

The initiation of synthesis in a nitrogen-containing plasma of superhard TiN-Cu coatings in a vacuum plasma-chemical reactor by coupled processes of *in situ* aggregation of a Ti-N-Cu mixture by vacuum-arc evaporation of Ti and sputtering of Cu by magnetron discharges is considered. TiN-Cu composite coatings with a thickness of ~ 6 μm were synthesized on hexagonal replaceable plates made of T15K6 hard alloy, by conducting a chemical reaction of titanium and atomic nitrogen vapors in copper vapor, in the mode of dissociation in a nitrogen-containing plasma of molecular nitrogen by plasma electrons. The technological parameters of the synthesis of TiN-Cu composite coatings are determined: arc discharge current 90 A, magnetron discharge burning current and voltage, respectively, 0.5 A and 400 V, gas mixture pressure in the vacuum chamber 2.4 Pa, growth surface temperature 473 K, synthesis time ~15 min, substrate growth surface cleaning time 10 min, bias voltage 160 V. According to X-ray phase analysis, copper reflection reflexes are not observed, although X-ray spectral microanalysis of the coating structure confirms the presence of copper in the studied coatings over the entire coating profile. Durability tests of TiN-Cu coatings were carried out on replaceable hexagonal plates made of T15K6 hard alloy when cutting 40X steel. The coatings did not experience destruction (chipping, delamination) in the contact area of the cutting tool, which clearly indicates high adhesion of the TiN-Cu coating to the T15K6 hard alloy. It is shown that in the proposed mode of TiN-Cu coating application, the composition TiN-5.57 ат.% Cu increases the tool life of T15K6 plates by ~ 2.5 times compared to the uncoated tool. The measured cutting force components on the TiN-Cu coated plates indicate the absence of vibrations (noise) of the cutting tool, which is indirectly explained by the influence of the tribological properties of the coating on the tool life by reducing the friction force and increasing heat removal from the contact zone of the tool cutting edge with the workpiece, contributing to a decrease in the temperature in the cutting zone.

Keywords: gas discharge plasma; vacuum arc evaporation; ion-plasma sputtering; composite coatings; synthesis; structure; texture; properties; resistance tests.

Введение

Композитные покрытия TiN-Cu с нанокристаллической структурой при синтезе покрытий TiN с добавлением меди обладают высокой твердостью и пластичностью [1, 2].

Определенный интерес представляет синтез композитных покрытий TiN-Cu путем инжекции паров меди в область синтеза TiN на основе сопряжения двух газоразрядных процессов, дугового испарения Ti и магнетронного распыления Cu, в конструкции плазмохимического реактора [3].

В настоящей работе рассматривается синтез нанокомпозитных покрытий TiN-Cu на принципе сопряжения процессов вакуумно-дугового испарения Ti и магнетронного распыления Cu [3] на пластинах шестигранных сменных из твердого сплава Т15К6, фазовый и элементный состав, микроструктура и трибологические свойства покрытий, включая их испытание на стойкость при резании стали 40Х.

Методика эксперимента

В качестве подложек используются пластины шестигранные сменные тип 11114 (HNUM) ГОСТ 19068-80 из твердого сплава Т15К6, обычно применяются для проходных резцов и торцевых фрез.

Синтез композитных покрытий TiN-Cu проводили в вакуумной камере плазмохимического реактора [3].

Рентгенофазовый анализ покрытий осуществляли на дифрактометре D2 Phaser Bruker с использованием линейного детектора для проведения порошковой дифрактографии LYNXEYE и расшифровки рентгенограмм программным комплексом DIFFRAC.EVA с международной базой данных ICDD PDF2. Рентгеноспектральный микроанализ структуры покрытий выполняли с помощью электронного микроскопа JSM-6510LV JEOL с системой микроанализа INCA Energy 350 Oxford Instruments. С помощью сканирующего атомно-силового микроскопа MultiMode8 изучали топологию и строение поверхно-

сти покрытия. Микротвердость сформированных покрытий измеряли на микротвердомере ПМТ-3 М, укомплектованным цифровой камерой с программой обработки изображений отпечатков NEXSYS ImageExpert MicroHardness 2 по ГОСТ 9450-76 (методом восстановления отпечатка Кнупа). Испытание покрытий TiN-Cu в реальных условиях эксплуатации при критических нагрузках проводилось на шестигранных сменных пластинах Т15К6, закрепленных на проходном резце при резке стали 40Х на токарно-винторезном станке 16К20. Для построения изолиний износа и оценки степени изношенности задней поверхности пластин Т15К6 использовали цифровые снимки, выполненные с помощью оптического микроскопа МЕТАМ РВ-34 в комплекте с камерой Altami Studio. Для определения составляющих сил резания применялся динамометр УДМ-600, используемый совместно со специализированным измерительным преобразователем модульной системой сбора данных LTR-U-1, с регистрацией и записью данных на персональном компьютере с программным обеспечением PowerGraph Professional.

Результаты и обсуждение

Сначала отрабатывали режим синтеза покрытий TiN вакуумно-дуговым испарителем в отсутствии паров меди (планарный магнетрон выключен). После отработки режимов синтеза покрытий TiN в вакуумной камере плазмохимического реактора [3] проводили синтез TiN в парах Cu, формируя композитное покрытие TiN-Cu. Определены технологические параметры синтеза композитных покрытий TiN-Cu: ток дугового разряда 90 А, ток и напряжение горения магнетронного разряда, соответственно, 0.5 А и 400 В, давление смеси газов в вакуумной камере 2.4 Па, температура ростовой поверхности 473 К, время синтеза ~15 мин, время очистки ростовой поверхности подложки 10 мин, напряжение смещения 160 В. Толщина покрытий ~6 мкм.

Морфология поверхности композитных покрытий TiN-Cu имеет глобулярную структуру с размерами кристаллитов ~ 50 - 100 нм. Микротвердость покрытий составляет 38-42 ГПа.

Согласно проведенному рентгенофазовому анализу наряду с рефлексами отражений WC (001), (100), (101), (110), (002), (111), (200), (201), (112) и Ti₂C (111), (200), (202), (311), (222), (422), принадлежащих сплаву T15K6, наблюдаются рефлексы покрытия TiN (111), (200), (202), (222), (311). В слое композита отсутствуют рефлексы отражений меди. При этом рентгеноспектральный микроанализ структуры покрытий подтверждает наличие меди в исследуемых покрытиях по всему профилю покрытий.

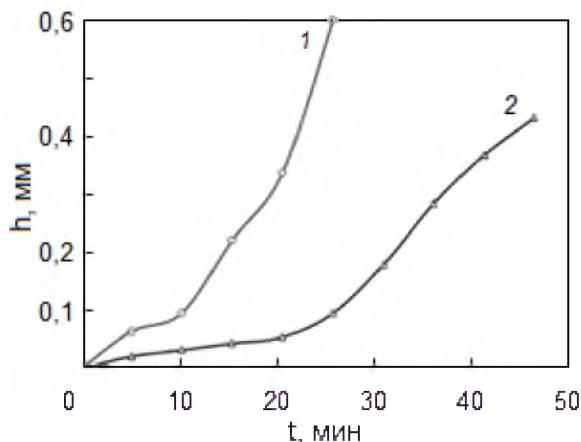


Рис. 1. Зависимости величин износа пластин T15K6: 1 – без покрытия, 2 – с покрытием TiN-Cu

Проведены стойкостные испытания покрытий TiN-Cu на пластинах шестиугольных сменных из твердого сплава T15K6. Испытание покрытий TiN-Cu показало, что в реальных условиях эксплуатации при критических нагрузках на шестиугольных сменных пластинах T15K6 покрытия не испытывали в контактной области режущего инструмента разрушение (отколы, отслое-

ния), что отчетливо свидетельствует о высокой адгезии покрытия TiN-Cu к твердому сплаву T15K6, нанесенному с использованием гибридной плазменной технологии. Показано, что в предложенном режиме нанесения покрытий TiN-Cu состав TiN–5.57 ат.% Cu увеличивает стойкость пластин T15K6 в ~ 2.5 раза по сравнению с инструментом без покрытия (рис. 1). Замеренные составляющие сил резания на пластинах с покрытием TiN-Cu свидетельствуют об отсутствии вибраций (шумов) режущего инструмента, что косвенно объясено влиянием трибологических свойств покрытия на стойкость инструмента снижением силы трения и увеличением теплопотока из зоны контакта режущей кромки инструмента с обрабатываемым материалом, способствуя уменьшению температуры в зоне резания

Заключение

Широкие возможности упрощенной технологии изменения структуры и фазового состава располагают к созданию наноструктурированных композитных сверхтвердых и пластичных покрытий TiN-Cu.

Библиографические ссылки

- He J.L., Setsuhara Y., Shimizu I., Miyake S. Structure refinement and hardness enhancement of titanium nitride films by addition of copper. *Surface and Coatings Technology* 2001; 137: 38-42.
- Ivanov Yu.F., Koval N.N., Krysina O.V., Baumbach T., Doyle S., Slobodsky T. et al. Superhard nanocrystalline Ti–Cu–N coatings deposited by vacuum arc evaporation of a sintered cathode. *Surface and Coatings Technology* 2012; 207: 430-434.
- Semenov A.P., Tsyrenov D.B-D., Semenova I.A. An apparatus for vacuum deposition of composite TiN–Cu coatings using coupled vacuum-arc and ion-plasma processes. *Instruments and Experimental Techniques* 2017; 60(6): 892-895.