

СЛОИСТЫЕ ВАКУУМНО-ДУГОВЫЕ ПОКРЫТИЯ $Ti-NbN-Al_2O_3$, $Nb-NbN-Al_2O_3$ НА ИНСТРУМЕНТАХ, ОСНАЩЕННЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ СВЕРХ-ТВЕРДЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

С.А. Клименко*, В.М. Береснев**, М.Ю. Копейкина*, В.И. Гриценко***

* *Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украин (Киев)*
Украина

** *Научный физико-технологический центр МОН и НАН Украины (Харьков)*
Украина

*** *Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина*
Украина

Поступила в редакцию 21.03.2007

Представлены результаты исследований по формированию вакуумно-дуговых покрытий на режущих элементах из поликристаллического сверхтвердого материала на основе кубического нитрида бора. Рассмотрены оборудование и условия формирования покрытий, а также результаты стойкостных испытаний режущих инструментов с покрытиями при обработке конструкционных материалов высокой твердости.

ВВЕДЕНИЕ

Повышения эффективности работы режущих инструментов, которые эксплуатируются в тяжелых условиях (высокие температуры, скорости, нагрузки, агрессивные среды), является модифицирование их рабочих поверхностей, путем нанесения защитных покрытий на основе тугоплавких соединений. Одним из методов нанесения покрытий, обеспечивающих высокую адгезию покрытий с подложкой, возможность создания многофункциональных покрытий, и который нашел широкое распространение в промышленности, является вакуумно-дуговой метод [1]. Наибольшее распространение получили износостойкие покрытия, на основе нитридов, карбидов тугоплавких металлов. В настоящее время, наиболее эффективными для повышения работоспособности режущих инструментов являются многослойные покрытия [2].

Наличие на контактных поверхностях инструмента защитных покрытий приводит к коренному изменению механики и физико-химии контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемого изделия. Первое предопределяется перераспределением напряжений на поверхностях инструмента, изменением коэффициента трения и, как следствие, сил и температуры резания. Второе связано с тем, что для обеспечения наиболее оптимальных условий работы режущего инструмента в каждом кон-

кретном случае должно выбираться такое покрытие, которое обеспечивает минимизацию или отсутствие эффектов, оказывающих наибольшее отрицательное влияние на работоспособность режущего инструмента.

Материалы покрытий на режущих инструментах должны иметь высокие физико-механические свойства, дающие возможность сопротивляться механизмам изнашивания, обусловленным абразивным и адгезионным воздействием элементов состава обрабатываемого материала, диффузией и растворением элементов материала покрытия в обрабатываемом материале, а также быть достаточно вязкими, чтобы противостоять скалыванию и разрушению режущих кромок.

Существенную роль в управлении структурно-фазовыми характеристиками и физико-механическими свойствами покрытий, полученных методом вакуумно-дугового осаждения играет энергия частиц осаждаемого потока, обуславливающая радиационно-термическую активацию процессов формирования покрытия и особенности состояния его слоистых структур [3].

В связи с расширением в производстве машин труднообрабатываемых материалов, созданием новых высокоэффективных технологических процессов механической обработки, таких как высокоскоростная обработка, возрастанием требований к экономичес-

ким показателям производства, изучение закономерностей формирования многослойных покрытий для повышения работоспособности режущих инструментах представляет как научный, так и практический интерес.

В настоящее время в технической литературе, в основном, рассматриваются системы “быстрорежущая сталь-покрытие” и “твердый сплав-покрытие”. В тоже время, инструменты, оснащенные режущими элементами из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (КНБ), являются наиболее работоспособными при обработке закаленных сталей и сплавов, широкой гаммы чугунов, наплавленных и напыленных покрытий высокой твердости, литых высокромарганцовистых сталей [4]. Несмотря на то, что проблема повышения работоспособности инструментов, оснащенных такими режущими элементами, является актуальной, как с технической, так и экономической точек зрения, данные по системе “КНБ-покрытие” практически отсутствуют.

Учитывая механизм изнашивания режущих инструментов, оснащенных ПСТМ на основе КНБ, связанный с химическим взаимодействием в зоне резания [5], одной из основных функций покрытия, наряду с перераспределением контактных напряжений на рабочих поверхностях инструмента, является ликвидация или снижение интенсивности химического взаимодействия КНБ с обрабатываемым материалом и его окисления. Покрытиями, отвечающими указанному требованию, являются слоистые PVD-покрытия $Ti-NbN-Al_2O_3$, $Nb-NbN-Al_2O_3$ с верхним слоем из оксида алюминия. Слоистая структура покрытия, включающая три участка, обусловлена следующими соображениями: слой Ti и Nb обеспечивает снижение тепловых напряжений в покрытии при формировании композита; слой NbN минимизирует интенсивность химического взаимодействия инструментального материала на основе КНБ с обрабатываемым; слой Al_2O_3 обеспечивает отсутствие непосредственного взаимодействия инструментального материала на основе КНБ с кислородом воздуха, т.е. мини-

мирует его окисление с образованием легкоплавкого борного ангидрида B_2O_3 .

Цель данной работы – исследование возможности формирования методом вакуумно-дугового осаждения многофункциональных многослойных покрытий $Ti-NbN-Al_2O_3$, $Nb-NbN-Al_2O_3$ на режущих элементах из ПСТМ на основе КНБ и оценка работоспособности инструмента с покрытием.

УСТАНОВКА, МАТЕРИАЛЫ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ

Для получения покрытий использовалась установка “Булат 3Т”, оснащенная тремя вакуумно-дуговыми источниками плазмы и ВЧ источником питания подложки для нанесения покрытий на основе оксидов [6]. Конструкция установки предусматривает размещение напыляемых изделий на вращающемся держателе (рис. 1), помощью которого они последовательно перемещаются в зону действия вакуумно-дуговых источников. В зависимости от расстояния до источников плазмы и испаряемого материала на рабочих поверхностях изделия осаждаются различные слои покрытия.

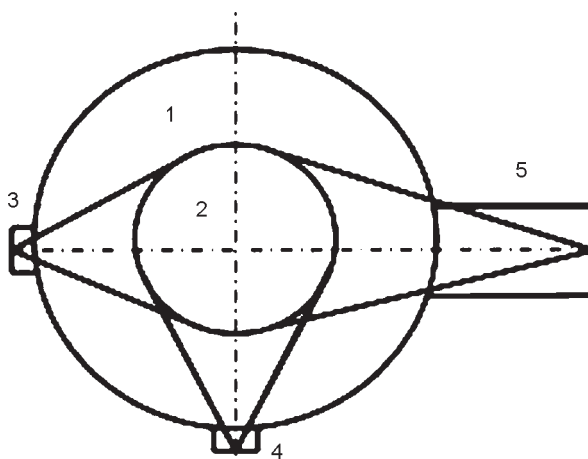


Рис. 1. Схема установки для осаждения многослойных вакуумно-дуговых покрытий: 1 – рабочая камера; 2 – вращающийся держатель; 3 – 5 – испарители титана, ниобия и алюминия соответственно.

В качестве испаряемых материалов (материалов катодов) использовались: титан ВТ-1-00, ниобий вакуумного переплава НО, алюминий марок АВ000, А999. Для получения нитридов применялся реакционный газ – азот, для получения оксидов – кислород.

Перед напылением образцы последовательно промывались бензином, ацетоном и спиртом.

Очистка поверхности режущих элементов из ПСТМ на основе КНБ осуществлялась в вакууме $P = 1 \cdot 10^{-3}$ Па бомбардировкой в одном случае ионами титана ускоренными потенциалом подложки до $U = -1,1$ кВ при токе дуги 90 А, в течение $3 \div 5$ минут при температуре $T = 400 \div 450$ °С, в другом случае ионами ниобия при токе дуги 130 А ($U_{\text{выс}} \sim 800$ В).

После ионной бомбардировки напыляемые изделия перемещались в зону действия плазменного потока, генерируемого ниобиевым источником и в рабочую камеру установки подавался азот (режим осаждения покрытия NbN – $P_{\text{N}_2} = 3 \cdot 10^{-3}$ Па; $I_{\text{д}}^{\text{Nb}} = 140$ А; $U_{\text{см}} \sim 200$ В; $t = 10$ минут). После нанесения слоя покрытия NbN толщиной $3 - 3,5$ мкм, азот откачивался и напыляемые изделия перемещались в зону действия алюминиевого источника и в рабочую камеру установки через специальный вентиль напускался кислород. Процесс формирования покрытия Al_2O_3 проводился при начальном давлении кислорода $P_0 = 6 \cdot 10^{-3}$ Па, которое постепенно (за 10 минут) увеличивалось до $1 \cdot 10^{-3}$ Па. Режим осаждения покрытия $\text{Al}_2\text{O}_3 - I_{\text{д}}^{\text{Al}} \sim 70$ А; $U_{\text{см}} \sim 60$ В. Толщина покрытия – $1,5 - 2$ мкм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОКРЫТИЯ

В результате напыления на поверхностях режущих элементов из ПСТМ на основе КНБ формировались многослойные покрытия Ti-NbN- Al_2O_3 и Nb-NbN- Al_2O_3 (рис. 2, 3). Фазовый состав покрытия, определялся рентгенодифракционным методом на установке ДРОН-3,0 в л-Cu-K $_{\alpha}$ -излучении.

Для проверки работоспособности инструментов, оснащенных режущими элементами с покрытиями Ti-NbN- Al_2O_3 , проведена серия экспериментов по чистовой обработке закаленных сталей (55-62 HRC), наплавленного никелевого сплава 08X18H9Г7Т, маслотногo чугуна, твердых сплавов ВК15,

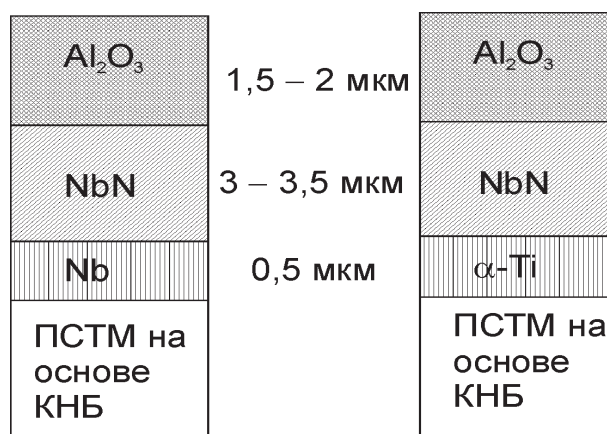


Рис. 2. Конструкция многослойных покрытий на режущих элементах из ПСТМ на основе КНБ.

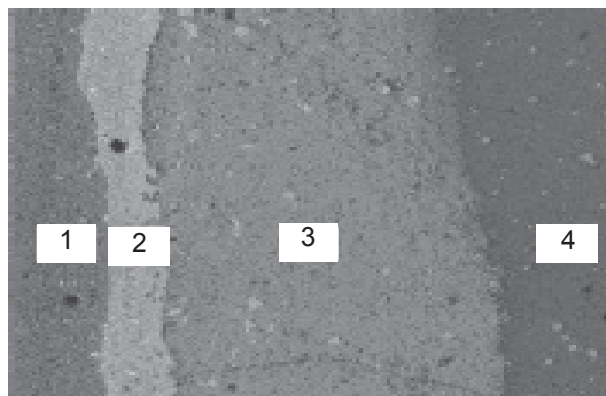


Рис. 3. Поперечное сечения покрытия Ti-NbN- Al_2O_3 на поверхности режущего элемента: 1 – основа; 2 – Ti; 3 – NbN; 4 – Al_2O_3

ВК20, ВНК25, ВК30. Некоторые результаты исследований представлены на рис. 4, 5.

Результаты исследований показывают, что применение защитного покрытия Ti-NbN-

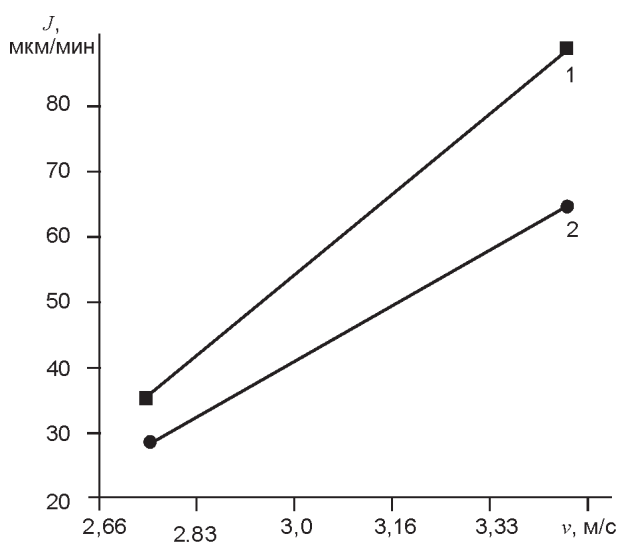


Рис. 4. Влияние скорости резания на скорость изнашивания инструментов, оснащенных ПСТМ без покрытия (1) и с покрытием (2): сталь ХВГ (55 HRC); $t = 0,25$ мм; $S = 0,09$ мм/об.

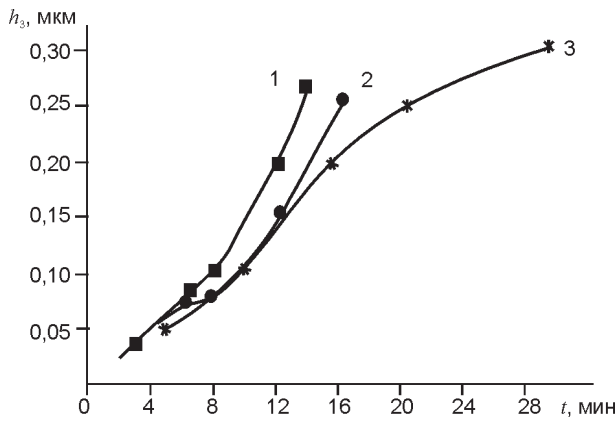


Рис. 5. Зависимость ширины фаски износа по задней поверхности инструмента, оснащенного ПСТМ без покрытия (1) и с покрытием (2, 3), от времени точения стали ШХ15 (62 HRC): 1, 2 — $t = 0,25$ мм; $S = 0,05$ мм/об; $v = 1,83$ м/с; 3 — $t = 0,25$ мм; $S = 0,05$ мм/об; $v = 1,47$ м/с.

Al_2O_3 на инструментах, оснащенных режущими элементами из ПСТМ на основе КНБ, позволяет повысить их стойкость на этапе приработки на 25–30% и общий период стойкости в 1,5–2 раза.

Расчеты, выполненные методом численного компьютерного моделирования, показали, что за счет нанесения защитного покрытия, напряжения от силового нагружения в процессе резания на передней и задней поверхностях инструмента снижаются на 25%.

Эффективность применения покрытия увеличивается с ростом скорости резания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система “КНБ-покрытие” имеет существенное отличие от традиционных систем “быстрорежущая сталь – покрытие” и “твердый сплав – покрытие”. Для последних покрытие представляет собой структуру, характеризующуюся аномальной твердостью, обуславливающей концентрацию фрикционного взаимодействия на поверхности композита. В исследуемом случае покрытие является относительно мягкой составляющей, поэтому его влияние на работоспособность композита будет существенно иным, более активно реализуясь на этапе приработки при эксплуатации инструмента.

Проведенные исследования показывают, что основными функциями покрытий на ре-

жущих инструментах, оснащенных ПСТМ на основе КНБ, являются следующие:

- повышение надежности работы инструмента на этапе приработки (за счет снижения напряжений в режущем инструменте, особенно на этапе его приработки, повышается надежность инструмента в эксплуатации в условиях динамического нагружения);

- увеличение периода стойкости инструментов (за счет снижения интенсивности изнашивания из-за минимизации окислительного воздействия окружающей среды, адгезионного и химического взаимодействия между инструментальным и обрабатываемым материалами в зоне резания, а также за счет снижения износа инструмента на этапе приработки);

- интенсификация режимов резания (за счет снижения интенсивности адгезионного и химического взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов в зоне резания и ограничения влияния элементов окружающей среды при повышенных скоростях резания, а так же увеличения диапазона используемых подач и глубин резания при снижении напряженного состояния инструмента с покрытием);

- информационная функция (за счет облегчения оценки величины износа инструмента, в связи с минимизацией массопереноса обрабатываемого материала на контактные поверхности инструмента).

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев А.А., Саблев Л.П., Шулаев В.М., Григорьев М.Н. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. – 235 с.
2. Табаков В.П., Смирнов М.Ю., Циркин А.В. Разработка многослойных покрытий для условий прерывистого резания//Резание и инструмент в технологических системах. – 2005. – Вып. 69. – С. 301-310.
3. Береснев В.М., Толоч В.Т., Швец О.М. и др. Микро-нанослойные покрытия, сформированные методом вакуумно-дугового осаждения с использованием ВЧ разряда//Физическая инженерия поверхности. – 2006. – Т. 4, № 1. – С. 104-110.

4. Инструменты из сверхтвердых материалов/ Под. ред. Н.В. Новикова. – М.: Машиностроение, 2005.– 555 с.
5. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6-и т./Под ред. Н.В. Новикова. – Т. 5: Обработка материалов лезвийным инструментом / Под ред. С.А. Клименко. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ “АЛКОН” НАНУ, 2006. – 316 с.
6. Патент 2363, Украина, МКИ С 23/С14/00/ Устройство для нанесения покрытий в вакууме/В.Т. Толоч, О.М. Швец, В.М. Береснев и др. Заявлено 11.05.90; Опубл. 15.07.94, Бюл. № 5–1, 1994. – 8 с.

**ШАРОВІ ВАКУУМНО-ДУГОВІ
ПОКРИТТЯ $Ti-NbN-Al_2O_3$,
 $Nb-NbN-Al_2O_3$ НА ІНСТРУМЕНТАХ,
ОСНАЩЕНИХ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИМИ
НАДТВЕРДИМИ МАТЕРІАЛАМИ НА
ОСНОВІ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРА
С.А. Клименко, В.М. Береснев,
М.Ю. Копейкіна, В.І. Гриценко**

Надані результати досліджень з формування вакуум-дугових покриттів на різальних елементах з полікристалічного надтвердого матеріалу на основі кубічного нітриду бора. Розглянуті обладання та умови формування покриттів, а також результати випробувань на стійкість різальних інструментів з покриттями при обробці конструкційних матеріалів високої твердості.

**$Ti-NbN-Al_2O_3$ AND $Nb-NbN-Al_2O_3$
MULTILAYER VACUUM-ARC
COATINGS ON TOOLS OF CUBIC
BORON NITRIDE-POLYCRYSTALLINE
SUPERHARD MATERIALS
S.A. Klimenko, V.M. Beresnev,
M.Yu. Kopeykina, V.I. Gritsenko**

The studies on the formation of vacuum-arc coatings on cutting element from BN-based polycrystalline superhard materials are reported. The equipment and prerequisites to the formation of the coatings are considered and the results of testing cutting tools for durability in machining high-hardness structural materials are discussed.