

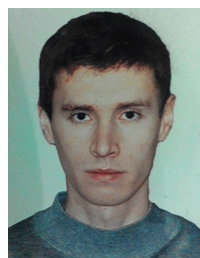
УДК 621.9.02



С. А. Клименко
д.т.н., професор,
Інститут сверхтвер-
дых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН
Украины
e-mail: atmu@meta.ua



М. Ю. Копейкина
к.т.н., с.н.с.,
Інститут сверхтвер-
дых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН
Украины
e-mail: atmu@meta.ua



С. Ан. Клименко
к.т.н.,
Інститут сверхтвер-
дых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН
Украины
e-mail: atmu@meta.ua



А. С. Манохин
к.т.н.,
Інститут сверхтвер-
дых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН
Украины
e-mail: the.manokhin
@gmail.com

КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

С. А. Клименко, М. Ю. Копейкина, С. Ан. Клименко, А. С. Манохин. Концепция покрытия для режущих инструментов из поликристаллических композитов на основе кубического нитрида бора. Перспективным направлением повышения стойкости инструментов из ПСТМ является нанесение на их рабочие поверхности покрытий. Представлена концепция повышения работоспособности инструмента за счет применения покрытия, обеспечивающего снижение температуры в зоне резания и химического взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов.

S. A. Klimenko, M. Yu. Kopeykin, S. An. Klimenko, A.S Manokhin. Concept of coatings for cBN cutting tools. A promising way to increase the resistance of PSBN cutting tool is the application to the working surfaces of the instrument concept coatings. The concept of increasing efficiency in-power tool through the use of coatings, ensuring reduction temperature in the cutting zone and the chemical interaction of tool and processed materials.

Вступление. Процесс резания закаленных сталей инструментами из поликристаллического сверхтвердого материала (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (сBN) сопровождается средней температурой (1100–1200) °С, интенсивным протеканием сложных механохимических процессов контактного взаимодействия в зоне резания, [1]. Учет характерных для инструментов с ПСТМ на основе сBN механизмов изнашивания [2], в ча-

стности за счет окисления инструментального материала и эффекта контактного плавления в зоне резания, позволяет управлять их работоспособностью как на стадии их производства, так и в процессе эксплуатации. Обеспечив минимизацию температуры в зоне резания и связанное с ней химическое взаимодействие материалов инструмента и детали между собой, а также с кислородом воздуха из окружающей среды, можно значительно повысить стойкость режущего инструмента и производительность процесса обработки.

Перспективным способом повышения работоспособности инструмента является нанесение на его рабочие поверхности специального покрытия. Оно позволяет кардинально изменить механизм контактного взаимодействия в зоне резания, как с точки зрения механики, так и физикохимии, повысить способность контактных участков инструмента сопротивляться макро- и микроразрушению и изнашиванию. В настоящее время активно ведутся работы по созданию покрытий для инструментов, оснащенных ПСТМ на основе cBN, однако, зачастую, не учитываются специфические явления на контактных участках инструмента и механизм контактного взаимодействия инструментального композита с обрабатываемым материалом и окружающей средой.

Цель настоящего исследования – разработка представлений о защитных покрытиях для инструментов из ПСТМ на основе cBN.

Результаты исследований. Выполненный комплекс исследований позволяет предложить два подхода (рис. 1) к созданию покрытий для инструментов, оснащенных ПСТМ на основе cBN, обеспечивающих, прежде всего, минимизацию химического взаимодействия (окислительного и эвтектического характера) в контактной зоне за счет управления температурой в системе.

Первый связан с использованием в составе покрытия веществ, сдвигающих протекание реакций взаимодействия ПСТМ на основе cBN с элементами обрабатываемого материала и окружающей среды в более высокотемпературную область.

Учитывая, что первопричиной появления на контактных участках инструмента жидкой фазы [3] является химическое взаимодействие в системе «Fe, Ni, Cr-BN» с образованием соединений типа $(Fe, Ni, Cr)B_x$ и выделением свободного азота [4], создание в зоне резания газовой среды с повышенным парциальным давлением азота, в соответствии с принципом Ла-Шателье, обуславливает увеличение температуры образования боридов.

Результаты термодинамических расчетов подтверждают, что уже при наличии в системе парциального давления азота 100 Па, температура образования боридов железа и никеля повышается на 150-300 °С (см. рис. 1).

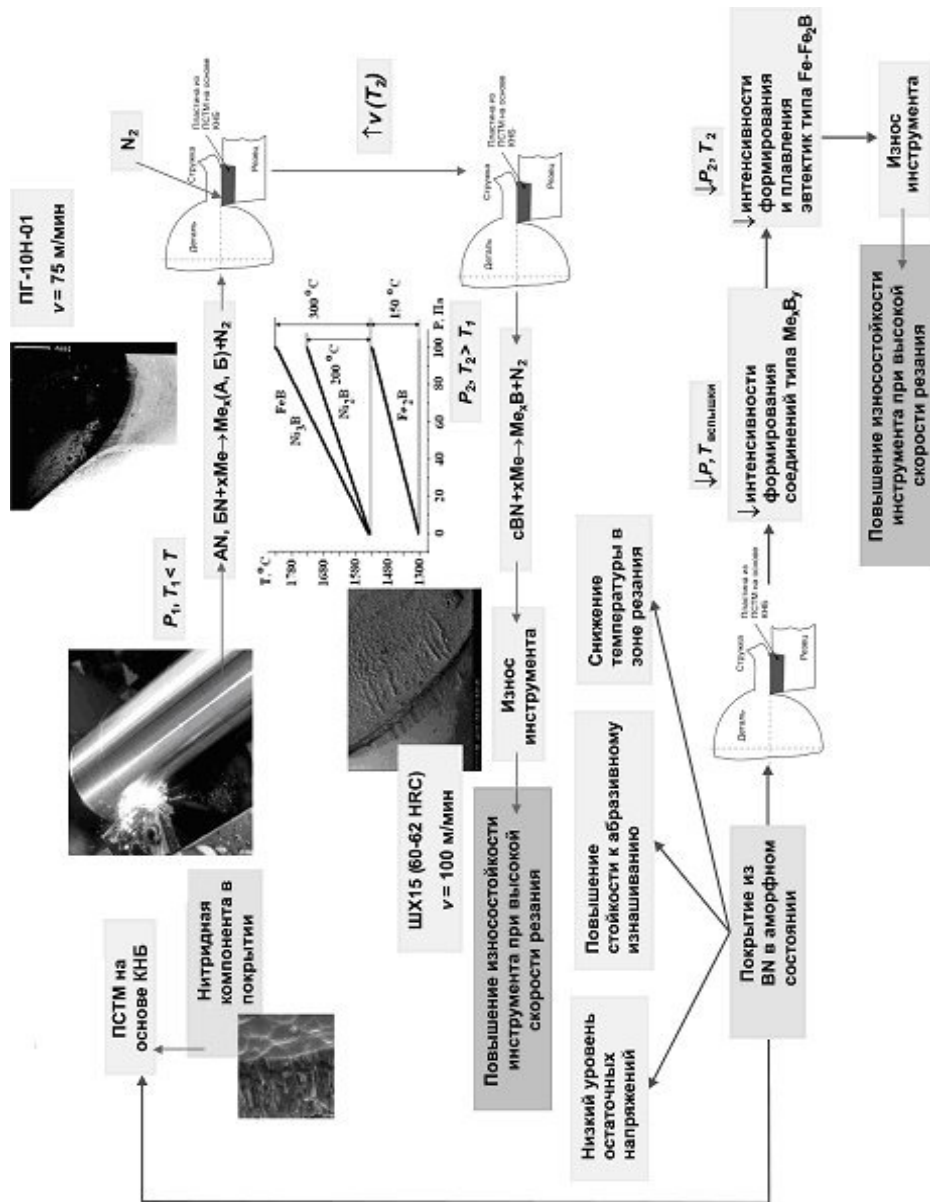


Рис.1. Схема к концепции повышения производительности режущих инструментов, оснащенных ПЦТМ на основе сBN

К покрытию на режущем инструменте предъявляются следующие основные требования: – материал покрытия должен содержать нитрид, образующий соединения с металлами при температуре ниже, чем температура взаимодействия с металлом основы инструментального композита – нитрида бора, обеспечивая наличие повышенного парциального давления азота в зоне резания; – комплекс механических свойств материала покрытия должен быть достаточным для обеспечения процесса резания и защиты инструмента от

механического воздействия в зоне резания; – состав, структура и свойства покрытия должны обеспечивать минимизацию температурных и структурных составляющих остаточных напряжений, формирующихся в покрытии при его осаждении на основу.

Сравнение величин КТР, механических и химических свойств различных нитридов показал, что для решения поставленной задачи перспективным материалом является нитрид ниобия NbN [5], который при температуре 1080–1100 °С вступает во взаимодействие с Fe с образованием интерметаллида Fe_xNb_y (или с учетом окружающей среды соединения $Fe_xNb_yO_z$) и выделением свободного азота.

На рис. 2 представлен излом режущего элемента из ПСТМ на основе cBN с покрытием NbN- Al_2O_3 , нанесенным методом вакуумно-дугового осаждения.

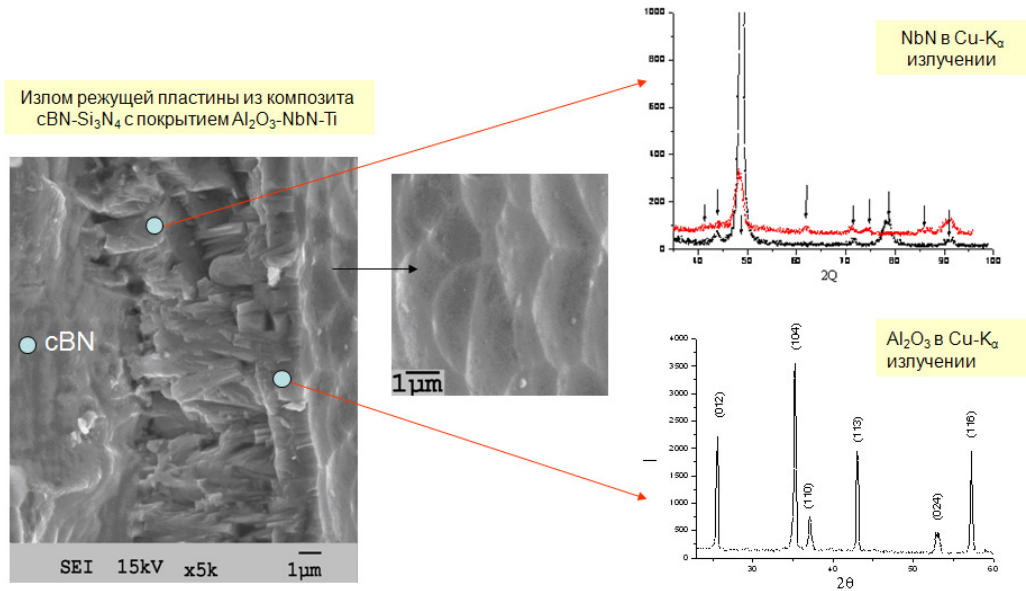


Рис. 2. Излом пластины из ПСТМ на основе cBN с покрытием NbN- Al_2O_3

Данные, полученные при моделировании взаимодействия cBN-(Fe-Ni-Cr) показали, что протекание химических реакций взаимодействия проходит в два этапа. На первом этапе при температуре 1380 °С происходят химические реакции с образования боридов типа $(Fe, Ni, Cr)_xV_y$, на втором этапе – образование эвтектик типа Fe-Fe₂V и жидкой фазы путем контактного плавления при температуре 1177 °С.

Наличие повторного нагрева в зоне резания и температуры достаточной для начала протекания химических реакций взаимодействия, связано с тем, что на микронеровностях на поверхности инструмента

при контакте со стружкой имеют место нагрузки, достаточные для протекания интенсивной пластической деформации материала, которая сопровождается возникновением температурных вспышек [6].

Таким образом, на вершинах контактирующих микронеровностей, а также на участках адгезионного взаимодействия, имеет место совокупность тепловых импульсов. Период существования температурных вспышек малый и определяется размерами зоны контакта, тепловыми и физико-механическими характеристиками контактной пары, а также скоростью резания.

Учитывая наличие в зоне контакта температурных вспышек, которые определяют интенсивность протекания химических реакций образования соединений на основе бора, еще одно направления повышения стойкости инструмента с ПСТМ на основе cBN связано с созданием условий при которых уменьшается тепловыделение на фактических пятна контакта, что обуславливает уменьшение интенсивности образования соединений $(Fe, Ni, Cr)_xBy$ и формирования на их основе легкоплавких эвтектик.

Эффективным методом, позволяющим уменьшить температуру на фактических участках контакта и интенсивность протекания химических реакций взаимодействия в зоне обработки, является нанесение на рабочие поверхности инструмента покрытия [6]. Покрытие для инструментов из ПСТМ на основе cBN, должно характеризоваться: – меньшим значением твердости по сравнению с инструментальной основой, что обеспечивает снижение уровня внутренних остаточных напряжений и хрупкости покрытия; – меньшим значением модуля Юнга, что повысит устойчивость рабочих поверхностей инструмента к абразивному истиранию; – низким коэффициентом трения для уменьшения термобарической нагрузки на рабочих участках инструмента. Снижение внутренних напряжений термического характера в покрытии достигается за счет использования материала, который близок по своему химическому составу к инструментальной основе, а для минимизации структурных напряжений в покрытии его целесообразно формировать из материала в аморфном состоянии.

На основе анализа состава, свойств и опыта использования покрытий из оксидов, нитридов, карбидов различных тугоплавких металлов с нано-, поликристаллической структурой можно сделать вывод, что вышеуказанным требованиям отвечает покрытие из нитрида бора с аморфной структурой ($BN_{ам}$).

Защитное покрытие на инструмент наносилось способом вакуумно-дугового осаждения на установке, оснащенной двумя магнетронами с автономным источником питания. Для полученного покрытия характерны показатели: размер области упорядочения 1 нм, модуль Юнга $E = 200\text{--}220$ ГПа, твердость по Кнупу $HK = 15$ ГПа, коэффициенты теплопроводности 70 Вт/(м·К), теплоемкости 800 Дж/(кг·К), трения (по закаленной стали ШХ 15) $0,3$ (для инструментальной основы – $0,45$) соответственно.

Благодаря полученной совокупности свойств покрытие на режущем инструменте из ПСТМ на основе cBN играет роль твердой смазки – приводит к уменьшению размеров контактных участков, силы и температуры резания (рис. 3, 4).

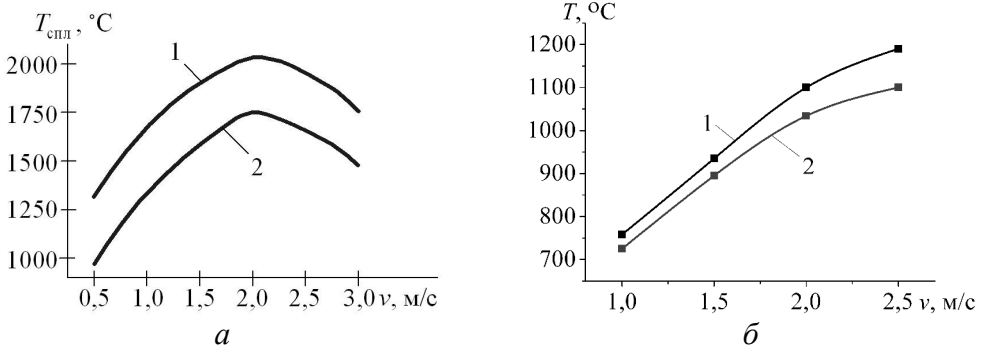


Рис. 3. Расчетные значения температуры на пятках вспышки (а) и экспериментальные значения температуры резания (б) при точении стали ШХ 15 (62–64 HRC) инструментом без покрытия (1) и с покрытием (2)

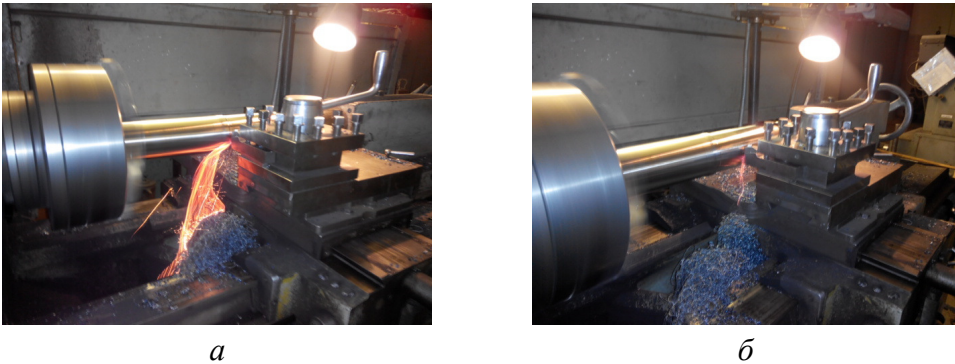


Рис. 4. Зона обработки при точении стали ХВГ (55 HRC) инструментом без покрытия (а) и с покрытием $BN_{ам}$ (б) ($v = 2,5$ м/с; $S = 0,14$ мм/об; $t = 0,2$ мм)

Как видно из приведенных результатов исследований, снижение температуры на пятках вспышки на 250–280 °C при точении инструментом с покрытием закаленной стали ШХ 15 со скоростью резания 2 м/с обуславливает уменьшение температуры резания на 120–150 °C, а при дальнейшем увеличении скорости резания – снижает интенсивности нарастания температуры резания.

Выводы. Таким образом, рассмотренные выше два направления повышения работоспособности режущих инструментов, оснащенных ПСТМ на ос-

нове cBN, базуються на применении покрытий, обеспечивающих снижение температуры на контактных участках инструмента. Выбор состава, структуры и свойств покрытий учитывает особенности контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом и элементами окружающей среды в зоне резания.

Расчет напряженного состояния в режущем инструменте показал, что уменьшение размеров зоны контакта и силы резания, при использовании покрытия, приводит к перераспределению напряжений – изменяется профиль эпюры, а нормальные и касательные напряжения снижаются на 10–15% [5, 7]. В тело инструмента с покрытием поступает меньшее количество тепла, чем в инструмент без покрытия, что связано с уменьшением длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента.

Изменение термобарических условий нагружения режущего инструмента из ПСТМ на основе cBN при использовании покрытия обуславливает снижение интенсивности и изменение характера изнашивания режущего инструмента за счет минимизации эффектов механического и химического взаимодействия на его контактных участках. Проверка работоспособности режущих инструментов из ПСТМ на основе cBN с покрытием показала, что при безударной токарной обработке закаленной стали стойкость инструмента повышается на 25% по сравнению с аналогичными инструментами без покрытия.

Литература

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В.Новикова, С.А.Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.
2. Manokhin A.S. Tribology of cutting by tools equipped with cBN-based PSHM / A.S. Manokhin, S.A. Klimentko, M.Yu. Kopeikina et all. // Journal of Superhard Materials. – 2014. – Vol. 36, № 2. – P. 124–135.
3. Klimentko S.A. On the wear mechanisms of cubic boron nitride base cutting tool / S.A. Klimentko, Y.A. Mukovoz, V.A. Lyashko et all. // Wear. – 1992. – № 157. – P. 1–7.
4. Turkevich V.Z. Thermodynamics of the interaction in the cBN-base tool material – Fe(Ni) system / V.Z. Turkevich, S.A. Klimentko, O.G. Kulik // Transactions FME. – 1999. – Vol. XXVIII, №2. – P. 8-11.
5. Копейкина М.Ю. Работоспособность режущего инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, с вакуумно-дуговым покрытием / М.Ю. Копейкина, С.А. Клименко, Ю.А. Мельничук, В.М. Береснев // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 5. – С. 87–97.
6. Клименко С.А. Теоретическое исследование температуры на контактном участке инструмента из ПКНБ / С.А. Клименко, С.Ан. Клименко, М.Ю. Копейкина, А.С. Манохин // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – 2016. – Вип. 77 (в печаті)
7. Клименко С.А. Підвищення працездатності різального інструмента, оснащеного ПНТМ на основі КНБ / С.А. Клименко, С.Ан. Клименко, А.С. Манохин // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА, 2016. – Вип. 38. – С. 62–69.