

УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТЬЮ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, ОСНАЩЕННОГО ПСТМ НА ОСНОВЕ КНБ

Клименко С.А., докт. техн. наук, проф.,
Копейкина М.Ю., канд. техн. наук, Манохин А.С., канд. техн. наук
(Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины)

Представлены результаты исследований повышения работоспособности инструментов, оснащенных ПКНБ, за счет управления химическим взаимодействием инструментального и обрабатываемого материалов в зоне резания

Введение. Режущие инструменты, оснащенные поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (КНБ) (ПКНБ), являются наиболее эффективным при обработке закаленных сталей, труднообрабатываемых чугунов, напыленных и наплавленных защитных покрытий высокой твердости, процесс резания которых характеризуется высокими термобарическими условиями: контактные давления достигают значений до 3-5 ГПа при температурах превышающих 1100 °С, что обуславливает интенсивный износ инструмента [1].

Перспективным направлением исследований, направленных на повышение работоспособности лезвийного инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, является развитие представлений об их изнашивании, учитывающих особенности контактного взаимодействия в зоне резания. Так по данным [2], взаимодействие связки в составе ПКНБ с обрабатываемым материалом оказывает более значимое влияние на стойкость резцов, чем на механические свойства композита. Имеются данные о диффузионной природе изнашивания и растворении поликристаллов КНБ в условиях высоких температур [3]. Выполненные авторами [1, 4] исследования показали, что в зоне резания имеет место химическое взаимодействие инструментального материала с обрабатываемым и элементами окружающей среды, реализуется механизм контактно-реактивного плавления. Результаты исследований [5] также подтверждают представления о значительной роли физико-химических процессов в изнашивании инструментов с ПКНБ.

Целью настоящей работы являлось исследование эффективных путей повышения работоспособности инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, за счет управления химическим взаимодействием инструментального материала с обрабатываемым и элементами окружающей среды в зоне резания.

Методика исследований. В качестве обрабатываемых материалов использовались закаленные стали, отбеленный чугун, никелевые литейные и напыленный сплавы, наплавленная нержавеющей сталь. Применялись проходные резцы CRDPR25×25 с механическим креплением режущих пластин RNMN 070300T, 120300T из ПКНБ борсинит (композит сBN-Si₃N₄).

Покрытие (рис. 1) на режущие пластины наносилось на установке ННВ 6.6.N4 методом вакуумно-дугового осаждения.

Дифференциальный термический анализ модельного химического взаимодействия в зоне резания выполнен в установке ВДТА в атмосфере аргона при температуре до 1450 ± 50 °С. Исследовался так же продукт взаимодействия, полученный в аппарате высокого давления при условиях $P = 3,0\text{--}3,5$ ГПа, $\Theta = 1050 \pm 50$ °С. Структура и фазовый состав образцов исследовались методами металлографического, рентгеновского микрорентгеноспектрального анализов.

При создании расчетных моделей для анализа напряженного состояния режущего инструмента с покрытием и без покрытия использовали программный комплекс MSC.visual NASTRAN for Windows.

Результаты исследований. Выполненные ранее в ИСМ НАН Украины исследования показали, что на интенсивность изнашивания инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, влияет химическое взаимодействие инструментального материала с обрабатываемым и элементами среды в зоне резания.

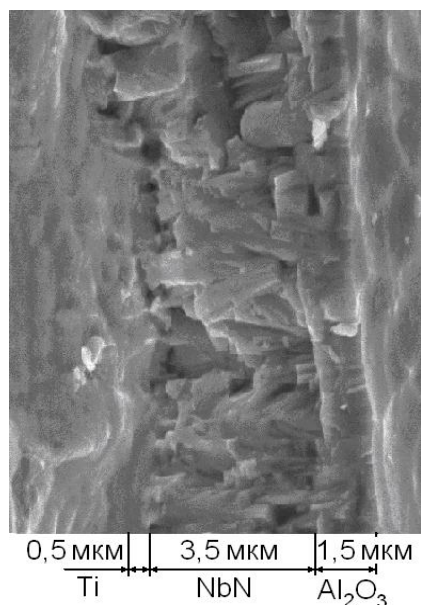


Рис. 1. Излом пластины с покрытием

Взаимодействие протекает с образованием боридов металлов, входящих в состав обрабатываемого материала, и выделением азота. Учитывая это, предлагается управлять химическим взаимодействием инструментального и обрабатываемого материалов за счет предварительного введения в зону резания азота, что сдвигает в более высокотемпературную область реакцию с образованием боридов Fe и Ni и выделением азота (в соответствии с правилом Ле-Шателье). Результаты термодинамического анализа подтверждают увеличение температуры образования указанных боридов на $150\text{--}300$ °С при наличии в системе азота с повышенным парциальным давлением до 100 Па (рис. 2). Кроме выполнения функции ингибитора, азот в зоне резания снижает

интенсивность окисления инструментального материала.

Указанное изменяет механизм изнашивания инструмента, уменьшая его интенсивность, в особенности в условиях высокоскоростной обработки.

Учитывая отмеченное, для повышения работоспособности режущего инструмента с ПСТМ на основе КНБ предлагается вводить в состав композита или защитного покрытия на инструменте составляющие, которые под действием термобарических условий процесса обработки обеспечивают формирование в зоне резания среды с повышенным парциальным давлением азота. Взаимодействие этих составляющих с элементами обрабатываемого материала с выделением азота должно происходить при температурах более низких, чем температуры, характерные для взаимодействия с элементами обрабатываемого материала основы инструментального композита – КНБ. Анализ физико-механических и химических свойств ряда нитридов позволяет предложить в качестве таких составляющих нитриды кремния (Si) и ниобия (Nb). Нитрид кремния предлагается, как составляющая в ПКНБ, а нитрид ниобия – в защитное покрытие.

Для определения возможности взаимодействия металлов с Si_3N_4 выполнены модельные (без давления) эксперименты при нагреве в печи. В системе металлов (Fe + Ni + Cr) с нитридом кремния при твердофазных реакциях происходит образование двойных и тройных силицидов металлов с выделением азота N_2 начиная от 1080°C , что ниже чем для взаимодействия металлов с КНБ (1380°C), контактное плавление начинается в области температуры 1400°C , что выше чем для взаимодействия металлов с КНБ (1177°C).

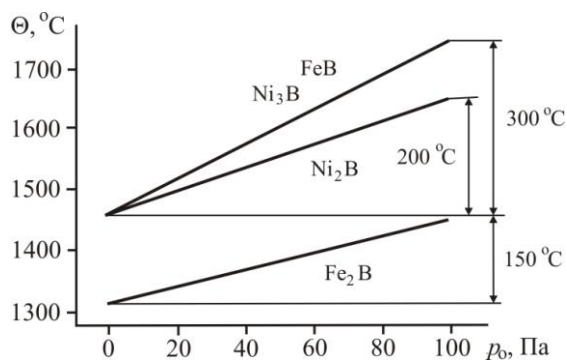


Рис. 2. Термодинамическая оценка влияние давления азота на изменение температуры образования боридов Fe и Ni

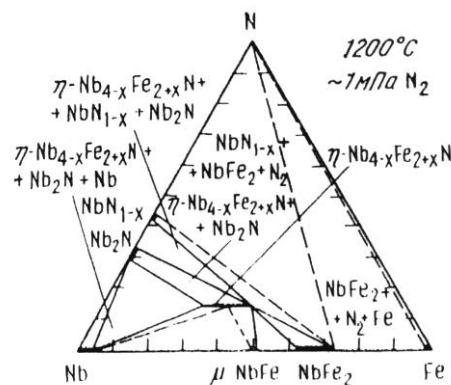


Рис. 3. Диаграмма состояния системы Nb-Fe-N

Анализ диаграмм состояния систем Nb-Ме-N (рис. 3) и результатов модельных исследований свидетельствует, что при взаимодействии Nb с Fe и Ni проходят химические реакции с образованием соединений типа NbMe_x (NbFe_2 , NbNi_3) и выделением азота N_2 при температурах ниже, чем для аналогичной реакции с КНБ (1100°C и 1380°C соответственно). Контактное плавление в системе начинается в области температуры 1440°C .

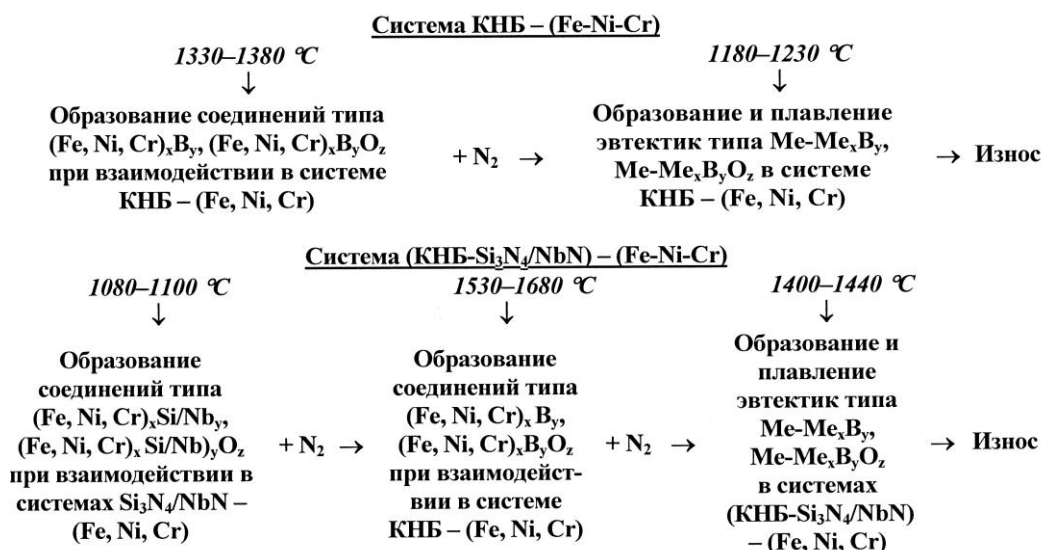


Рис. 4. Модельная схема влияния химического взаимодействия в зоне резания на износ инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ

С учетом полученных данных, предложена модельная схема влияния химического взаимодействия в зоне резания на износ инструмента, оснащенного

ПСТМ, полученным в системах КНБ, КНБ-Si₃N₄, КНБ-Si₃N₄ с покрытием Al₂O₃-NbN-Ti, при точении сплавов, содержащих Fe, Ni и Cr (рис. 4).

Изнашивание инструмента имеет интегральный характер, который охватывает механические, адгезионные, химические и др. явления на контактных поверхностях инструмента. При этом, для изнашивания инструмента с ПСТМ на основе КНБ, повышение температур образования в зоне резания боридов (оксиборидов) металлов, которое реализуется за счет введения в систему нитридов Si₃N₄ и NbN, и формирования на основе боридов (оксиборидов) легкоплавких эвтектик и их контактное плавление имеет принципиальное значение, обеспечивая повышение износостойкости инструмента.

Для обоснования приведенных предложений и подтверждения результатов модельных экспериментов была изготовленная партия режущих пластин из ПКНБ борсинит с содержанием Si₃N₄ до 10 %. На части режущих пластин вакуумно-плазменным напылением формировалось покрытие Al₂O₃-NbN-Ti.

Анализ результатов численного моделирования напряженного состояния режущих инструментов с ПКНБ без покрытий и с покрытием Al₂O₃-NbN-Ti, которое обусловлено силовой нагрузкой в процессе точения закаленной стали ШХ15 (60–62 HRC), показывает, что: – в связи с изменением размера контактных поверхностей инструмента и изменением условий контактного взаимодействия напряжения перераспределяются; – нанесение защитного покрытия снижает нормальные и касательные напряжения на передней поверхности инструмента до 25–30 %. Со стороны задней поверхности инструмента с покрытием нормальные напряжения снижаются на 10–13 %.

В отличие от инструмента без покрытия, для которого характерным является изменение механизма изнашивания с интенсификацией при высоких скоростях (высоких температурах) химического взаимодействия с обрабатываемым материалом и элементами окружающей среды, и, как следствие, реализация на фрагментах контактных поверхностях участков с жидким трением, для инструмента с покрытием изменение скорости резания в исследованном диапазоне не приводит к изменению механизма изнашивания инструмента.

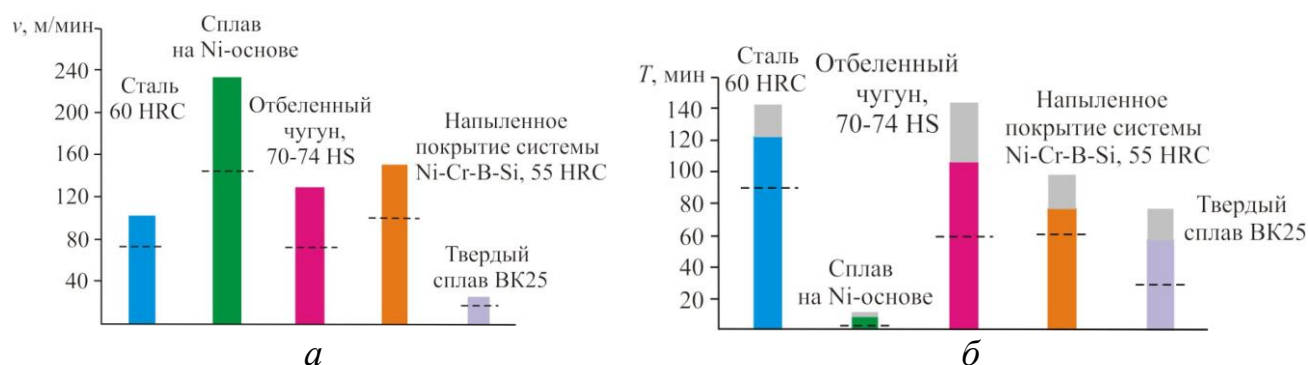


Рис. 5. Повышение (над чертой) скорости резания (а) и стойкости инструмента (б) за счет применения композита cBN-Si₃N₄. ■ – для инструмента с покрытием

Выводы. Как показали исследования, применение в инструменте ПКНБ борсинит и защитного покрытия на основе NbN способствует повышению ра-

ботоспособности режущих инструментов при обработке труднообрабатываемых сталей и сплавов (рис. 5), за счет уменьшения интенсивности их изнашивания. Так, например, резание никелевых сплавов типа ВС и ВЖЛ выполняется со скоростью при обработке без охлаждения – 3,16–3,33 м/с; при обработке с охлаждением – 3,66–4,66 м/с. При этом стойкость режущего инструмента составляет 10 мин. В аналогичных условиях инструмент, оснащенный ПКНБ со связкой на основе соединений алюминия (твердость ПСТМ одинакова), работает со скоростями резания до 2,0–2,63 м/с.

На основе полученных результатов исследований разработаны практические рекомендации по повышению производительности и стойкости лезвийного инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, при точении труднообрабатываемых сталей и сплавов. Результаты исследований внедрены на ряде промышленных предприятий Украины, России, Белоруссии.

Список литературы

1. Обработка материалов лезвийным инструментом / Под ред. С. А. Клименко. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – 316 с.
2. Davies M.A., Chou Y, Evans C.J. On chip morphology, tool wear and cutting mechanics in finish hard turning // Ann. CIRP. – 2001. – 45 (1). – P. 77–82.
3. Bhaumik S.K., Divakar C., Singh A.K. Machining Ti-6Al-4V alloy with a WBN-CBN composite tool // Mater Des. – 2004. – 16(4). – P. 221–226.
4. Klimenko S.A., Mukovoz Yu.A., Polonsky L.G. Cutting tools of superhard materials // Advanced Ceramic Tools for Machining Application – II / X.S. Li, I.M. Low (Eds.). – Key Eng. Mat., Trans. Tech. Publ., Switzerland, 1996. – P. 1–66.
5. Контактное химическое взаимодействие в системах, содержащих BN, Si₃N₄, Ni, Cr, Fe / О.Г. Кулик, С.А. Клименко, М.Ю. Копейкина и др. // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин: Зб. наук. праць. – К.: ІНМ НАН України, 2003. – С. 115–127.

Анотація

Керування працездатністю різального інструменту, оснащеного ПСТМ на основі КНБ

Наведено результати досліджень з підвищення працездатності різальних інструментів, оснащених ПКНБ, за рахунок керування хімічною взаємодією інструментального і оброблюваного матеріалів в зоні різання.

Abstract

Will operate the cutting tool, framed on the basis of PSTM CBN

Results of researches on increase of working capacity of the cutting tools equipped PCBN, at the expense of management of chemical interaction of tool and processed materials in a cutting zone are presented.