

М.Ю. Копейкина, к.т.н., с.н.с.

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины*

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОЧЕНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СПЛАВОВ

Представлены результаты исследования путей повышения работоспособности режущих инструментов, оснащенных ПСТМ на основе КНБ. Приведены результаты сравнительных исследований инструментов при обработке труднообрабатываемых материалов.

Вступление. Технический прогресс в машиностроении в значительной степени определяется совершенствованием технологии производства машин. Это связано с созданием и широким использованием современных функциональных материалов, которые определяют высокую работоспособность детали машин при повышенных силовых нагрузках и температурах. К таким материалам относятся труднообрабатываемые углеродистые стали высокой твердости, литые и наплавленные сплавы и др., коэффициент обрабатываемости которых составляет $K_p < 0,3$. Механическая обработка таких материалов характеризуется низкой производительностью процесса резания, большими затратами энергии, и, как следствие, – повышенным расходом инструмента, трудностями в обеспечении необходимых, по условиям эксплуатации, параметров состояния поверхностного слоя изделий.

Особый интерес для машиностроения представляют инструменты, оснащенные поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (сBN). Исследованиями многих ученых и специалистов показано, что обработка труднообрабатываемых сплавов наиболее производительна и качественно выполняется именно таким инструментом [1].

Перспективным путем повышения работоспособности (производительности и стойкости) режущего инструмента, оснащенного ПСТМ на основе сBN, является управление механизмом физико-химического взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов с учетом действия окружающей среды [2].

Результаты анализа исследований свидетельствуют, что за счет управления механизмом изнашивания инструмента, оснащенного сверхтвердыми композициями, состав и свойства которых оптимизированы, исходя из усло-

вий контактного взаємодіяння інструментального і оброблюваного матеріалів в зоні різання, можна суттєвим образом підвищити ефективність обробки izdeliy iz trudnoobrabatyvayemykh spлавов.

Другим перспективним путем забезпечення високих експлуатаційних властивостей режущого інструмента і розширення області його застосування є нанесення на робочі поверхні інструмента покриттів з підвищеними фізико-механічними і хімічними характеристиками. Результати аналізу свідчать про небагаточисленність публікацій, які містять інформацію про режущі інструменти з cBN з покриттями. Матеріали, переважно, мають рекламний характер, не розкриваються питання, пов'язані з особливостями процесу різання такими інструментами, відсутні представлення про їх зношування, вплив покриттів на придатність інструмента, механізм дії покриттів вивчено обмежено.

Висшеказанне обумовлює перспективність виконання досліджень по вивченню фізико-хімічного взаємодіяння в зоні різання, модельного і експериментального дослідження процесів різання і зношування інструментів з композитів на основі КНБ, в тому числі і з покриттями, з урахуванням особливостей їх контактної взаємодіяння з оброблюваним матеріалом для підвищення продуктивності і стійкості режущих інструментів при точенні труднооброблюваних сталей і сплавів.

Целью нинішньої роботи є підвищення придатності лезвийного інструмента, обладнаного з ПСТМ на основі cBN, при точенні труднооброблюваних сплавів за рахунок управління контактним взаємодіянням в зоні різання.

Методика досліджень. В якості оброблюваних матеріалів використовувалися закаленні сталі ШХ15 (60–62 HRC) і ХВГ (50–55 HRC), отбілений чугун (72 HS), нікелеві литієві ХН77ТЮР (HV 3,8 ГПа), ВЖЛ-2 (260 HB) і напыленні сплави ПГ-10Н-01 (55–58 HRC), наплавлена сталь 08Х18Н9Г7Т (35-45 HRC). Застосовувалися проходні різці CRDPR25×25 з механічним кріпленням режущих пластин RNMN 070300Т, 120300Т з композита cBN-Si₃N₄ виробництва Інститута сверхтвердых матеріалів НАН України.

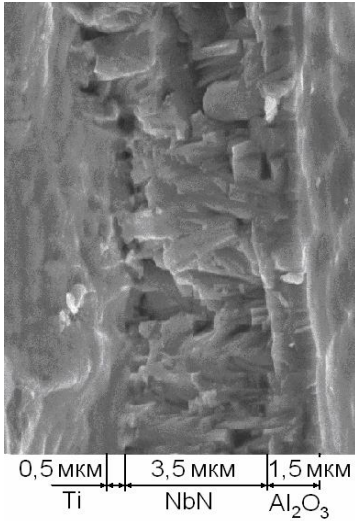


Рис. 1. Излом пластины с покрытием

Точение, в том числе с ударом, выполнялось на токарно-винторезном станке ФТ-11, силы резания измерялись динамометром УДМ 600, а температура на вершине резца определялась экспериментально с использованием резца с державкой, оснащенной двумя искусственными термопарами.

Покрытие (рис. 1) на режущие пластины наносилось на модернизированной установке ННВ 6.6.N4 методом вакуумно-дугового осаждения. Для обеспечения качественного адгезионного сцепления покрытия с ПСТМ напылялась прослойка из титана.

Дифференциальный термический анализ модельного химического взаимодействия в зоне резания выполнен в установке ВДТА в атмосфере аргона при температуре до 1450 ± 50 °С.

Исследования так же проводились в аппарате высокого давления при условиях: $P = 3,0-3,5$ ГПа; $\Theta = 1050 \pm 50$ °С; время 1–2 мин.

Структура и фазовый состав образцов исследовались методами металлографического (на микроскопе "Neophot-21"), рентгеновского анализа (дифрактометрическим методом на установке ДРОН-3 в излучениях Cu K_α и Co K_α) и микрорентгеноспектрального (растровый электронный микроскоп "Camscan-4 DV" с приставкой "Link-860") анализов. В результате получены картины распределения компонентов в их характеристическом рентгеновском излучении, в том числе легких элементов бора, азота, кислорода. Определение содержания компонентов в фазах, кроме легких элементов, проведено по методике ZAF-4/FLS.

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

Основная часть. Выполненные ранее в ИСМ НАН Украины исследования показали, что на интенсивность изнашивания инструмента, оснащ-

ного ПСТМ на основе cBN, влияет химическое взаимодействие инструментального материала с обрабатываемым, и элементами среды в зоне резания. 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 (правило Ле-Шателье). Результаты термодинамического анализа подтверждают увеличение температуры образования указанных боридов на 150–300 °C при наличии в системе повышенного парциального давления азота до 100 Па (рис. 2).

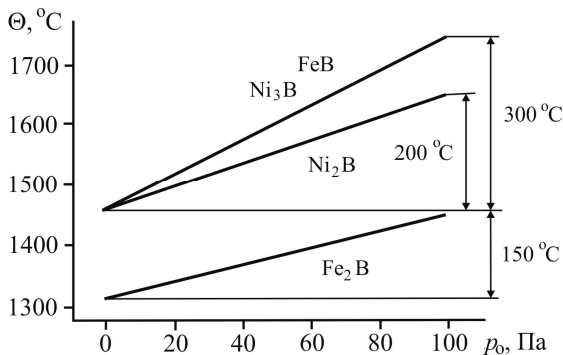
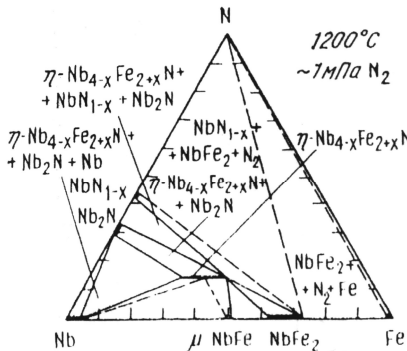


Рис. 2. Влияние давления азота на увеличение температуры образования боридов Fe и Ni

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 это, для повышения работоспособности режущего инструмента из ПСТМ на основе cBN предлагается вводить в состав композита или защитного покрытия составляющих, которые под действием термобарических условий обработки обеспечивают формирование в зоне резания среды с повышенным парциальным давлением азота. Взаимодействие этих состав-



ляющих с элементами обрабатываемого материала с выделением азота происходит при температурах более низких, чем температуры, характерные для взаимодействия с элементами обрабатываемого материала основы инструментального композита – cBN. 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 ПСТМ, а нитрид ниобия – в защитное покрытие. При этом покрытие является многослойным: – верхний слой покрытия, из оксида алюминия, обеспечивает уменьшение окисления композита, слой Nb – уменьшает химическое взаимодействие ПСТМ и элементов из состава обрабатываемого материала, а слой титана обеспечивает качественное сцепление покрытия с поверхностью ПСТМ.

Для определения возможности взаимодействия металлов с Si₃N₄ выполнены модельные (без давления) эксперименты при нагреве в печи. Результаты рентгеноспектрального анализа продуктов взаимодействия показали,

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

что в системе металлов (Fe + Ni + Cr) с нитридом кремния при твердофазных реакциях происходит образование двойных и тройных силицидов металлов с выделением азота N₂, начиная от 1080 °С, что ниже, чем для взаимодействия металлов с cBN (1380 °С), контактное плавление начинается в области температур 1400 °С, что выше, чем для взаимодействия металлов с cBN (1177 °С).

Анализ диаграмм состояния систем Nb-Ме-N (рис. 3, [3]) и результатов модельных исследований свидетельствует, что при взаимодействии Nb с Fe и Ni проходят химические реакции с образованием соединений типа NbMe_x (NbFe₂, NbNi₃) и выделением азота N₂ при температурах ниже, чем для аналогичной реакции с cBN (1100 °С и 1380 °С соответственно). Контактное плавление в системе начинается в области температур 1440 °С. Указанное подтверждается результатами модельных исследований, выполненных при моделировании химического взаимодействия в системе Nb + Fe в аппарате высокого давления. В соответствии с данными рентгеноспектрального анализа, в системе образуется интерметаллид NbFe₂.

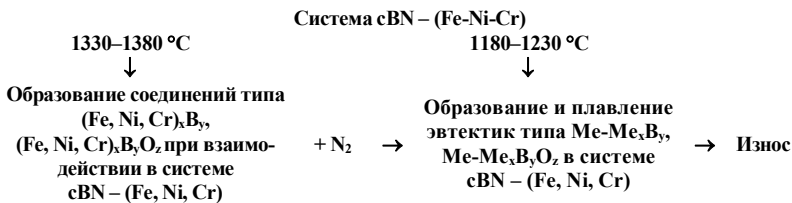




Рис. 4. Модельная схема влияния химического взаимодействия в зоне резания на износ инструмента, оснащенного ПСТМ на основе cBN

С учетом полученных данных, предложена модельная схема влияния химического взаимодействия в зоне резания на износ инструментов, оснащенных композитом cBN-Si₃N₄ и композитом cBN-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 из ПСТМ на основе cBN, повышение температуры образования в зоне резания боридов (оксиборидов) металлов, которое реализуется за счет введения в систему нитридов Si₃N₄ и NbN, и формирование 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 композита cBN-Si₃N₄ с содержанием Si₃N₄ до 10 %. Эксперименты на стойкость показали, что при обработке Ni-сплавов наибольшую износостойкость имеют инструменты, оснащенные ПСТМ с содержанием добавки в количестве 2–5 %. На части режущих пластин вакуумно-плазменным напылением формировалось покрытие Al₂O₃-NbN-Ti.

Необходимо отметить, что снижение твердости инструментального композита из-за наличия в нем Si₃N₄ не происходит, так как в объеме композита находится небольшое количество Si₃N₄, а его взаимодействие с обрабатываемым материалом происходит на локальном участке в непосредственной близости к зоне резания. В целом, Si₃N₄, локализуясь в структуре композита в области межзеренных границ как соединительная

фаза, оказывает влияние на формирование в композите высоких механических свойств.

Наличие на контактных поверхностях инструмента защитного покрытия приводит к изменению физикохимии и механики контактного взаимодействия обрабатываемого изделия и инструмента, обуславливая изменение механизма его изнашивания. Для инструмента, оснащенного ПСТМ на основе cBN, задачей защитного покрытия, прежде всего, является противодействие протеканию химических реакций между элементами из состава инструментального и обрабатываемого материалов с учетом воздействия элементов окружающей среды, следствием которых является появление на контактных участках инструмента жидкой фазы (за счет реализации эффекта контактно-реактивного плавления) и интенсивное изнашивание инструмента.

Анализ результатов численного моделирования напряженного состояния режущих инструментов из ПСТМ без покрытий и с покрытием $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-NbN-Ti}$, 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, реализации на фрагментах контактных поверхностях участков с жидким трением, изменение скорости резания оказывает влияние на снижение составляющей силы резания P_z , менее влияя на составляющую P_y , то есть, не оказывает влияния, которое обусловлено изменением механизма изнашивания режущего инструмента.

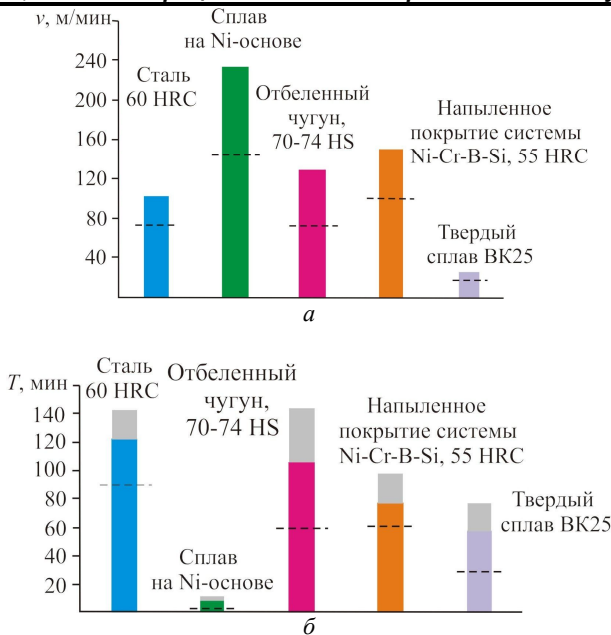


Рис. 5. Повышение скорости резания (над чертой) (а) и стойкости инструмента (над чертой) (б)

за счет применения композита $cBN-Si_3N_4$.

■ — для инструмента с покрытием

Заключение. Как показали исследования, применение в инструменте композита $cBN-Si_3N_4$ и защитного покрытия на основе NbN способствует повышению работоспособности режущих инструментов при обработке труднообрабатываемых сталей и сплавов (рис. 5), за счет уменьшения интенсивности их изнашивания, что связано со снижением химического и адгезионного взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов в зоне резания.

На основе полученных результатов исследований разработаны практические рекомендации по повышению производительности и стойкости лезвийного инструмента, оснащенного ПСТМ на основе cBN , при точении труднообрабатываемых сталей и сплавов, в том числе деталей валковой арматуры из твердых сплавов на станках с ЧПУ «Heckert» и «Herkules». Результаты исследований внедрены на ГК «Арселор Миттал Криворожсталь» (Украина), Первоуральском ново-

трубном заводе (Россия), Белорусском автомобильном заводе в рамках хозяйственных договоров и контрактов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.
2. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6-ти т. / Под общей ред. Н.В. Новикова. – Т. 5: Обработка материалов лезвийным инструментом / С.А. Клименко, А.А. Виноградов, Ю.А. Муковоз и др. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006. – 316 с.
3. Холлек Х. Двойные и тройные карбидные и нитридные системы переходных металлов: Справ. – М.: Metallургия, 1988. – 319 с.

КОПЕЙКИНА Марина Юрьевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- обработка материалов резанием;
- режущие инструменты;
- повышение работоспособности режущих инструментов.

Подано 10.08.2009