

УДК 621.921

**Н.В. Новиков, акад. НАН Украины, д.т.н., проф.**

**С.А. Клименко, д.т.н., проф.**

**М.Ю. Копейкина, к.т.н., с.н.с.**

**С.Ан. Клименко, м.н.с.**

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

**В.А. Кирилович, д.т.н., проф.**

**В.А. Яновский, доц.**

*Житомирский государственный технологический университет*

## **КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ИНСТРУМЕНТОМ С ПСТМ НА ОСНОВЕ КНБ**

*Рассмотрены эффекты химического взаимодействия материалов инструмента и обрабатываемого изделия в зоне резания; показаны особенности формирования на контактных участках инструмента жидкой фазы из продуктов этого взаимодействия.*

**Ключевые слова:** зона резания; сверхтвердые материалы; материаловедение; контактное взаимодействие.

**Постановка проблемы.** Совершенствование технологий механической обработки с использованием инструментов, оснащенных поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ) нуждается в объединении материаловедческих представлений об эффективных структурах и оптимальных свойствах инструментальных и обрабатываемых материалов с выявлением закономерностей процессов обработки резанием. Основу такого подхода составляют современные представления о механике, теплофизике, кинетике, термодинамике, физикохимии контактного взаимодействия материалов инструмента и обрабатываемого изделия с учетом влияния окружающей среды. Они базируются на положениях теории резания, высокотемпературного структурообразования с учетом силового воздействия, вычислительной термодинамики, представлениях о возможностях управления технологическими параметрами, диагностики *in situ*, анализе состояния поверхностного слоя обработанных изделий. К анализу целесообразно привлечь современные синергетические представления о сложных процессах в открытых системах.

В основе современных «высоких технологий» механической обработки лежит комплекс исследований в области процесса резания, материаловедения явлений в зоне резания, их диагностики, компьютерного моделирования, который сочетается с исследованиями

в области станкостроения, что является базой для создания нового поколения оборудования, для которого требуется специальный инструмент, обладающий особым комплексом физико-механических и химических свойств. Количественное описание текущего физико-химического и механического состояния инструментального и обрабатываемого материалов в контактной зоне для конкретных условий процесса механической обработки, изучение эволюции структуры и возможной трансформации свойств поверхностного слоя инструмента в контактной зоне под действием термобарических условий процесса резания составляет фундаментальную основу совершенствования режущих инструментов и процессов механической обработки, а также используется в мотивации выбора или создания материалов для оснащения режущих инструментов.

Рассмотрим отмеченное выше на примере инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, для условия обработки которым характерны высокие давления и температуры [1].

Контактное взаимодействие в зоне резания обусловлено комплексом дополняющих друг друга процессов адгезии, диффузии, микро- и макродеформирования, разрушения, химического взаимодействия, включающего окисление, контактно-реактивное плавление и пр. Эти процессы определяют механизм изнашивания контактных поверхностей режущих инструментов, возможности инструментов по эффективной обработке изделий из конструкционных материалов и формированию заданного состояния поверхностного слоя изделий. Опыт практического использования режущих инструментов, оснащенных различными материалами, свидетельствует, что механические характеристики материалов далеко не всегда определяют работоспособность изготовленных из них режущих инструментов [1].

Результаты исследований поверхности изношенной части инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, позволяет заключить, что, наряду со взаимным переносом обрабатываемого и инструментального материалов и изменением химического состава поверхностных слоев локальных зон контактных поверхностей инструмента, имеет место изменение состава поверхностного слоя и на неконтактных участках (рис. 1).

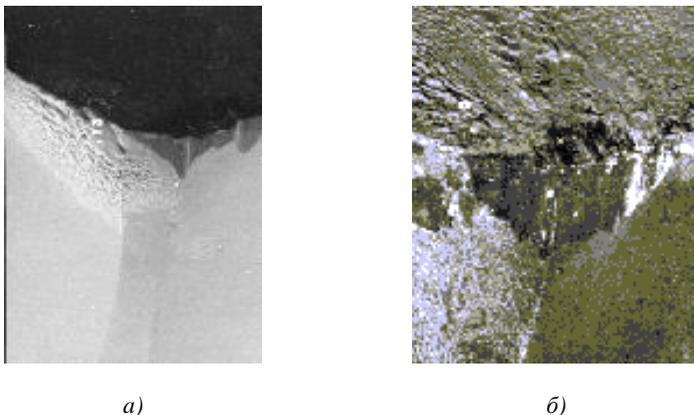


Рис. 1. Налет на инструменте из ПСТМ на основе КНБ, сформировавшийся при точении стали ШХ 15 ( $h_3 = 0,24$  мм):  
 а –  $v = 0,5$  м/с ( $\times 180$ ); б –  $v = 1,25$  м/с ( $\times 200$ )

Такая картина наблюдается в широком диапазоне изменения условий резания. При малых скоростях резания налет формируется в непосредственной близости к контактным поверхностям инструмента, особенно на вспомогательной задней поверхности. В этом месте налет имеет значительную толщину, представляет собой рыхлую массу, относительно слабо сцепленную с основным материалом поликристалла, и такую, что с усилением износа инструмента может отслоиться. На передней поверхности резца налет располагается неравномерным слоем, занимая все большую площадь. Внешне он выглядит как рыхлое чешуйчатое образование. С повышением скорости резания налет занимает все большую площадь на передней и задней поверхностях инструмента. На микрофотографиях (рис. 1) отчетливо видно веерообразное расположение чешуек налета на передней поверхности инструмента с эпицентром на поверхности контакта.

Химический анализ показал, что налет на поверхностях инструмента состоит из соединений элементов, входящих в состав контактирующих материалов, а также из продуктов их взаимодействия и взаимодействия с кислородом воздуха.

Полученные результаты показывают, что в процессе резания на участках контакта инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, с обрабатываемыми материалами на основе Fe и Ni реализуется механизм контактно-реактивного плавления, что обуславливает появление на рабочих поверхностях инструмента жидкой фазы из

продуктов взаимодействия. Частицы расплавленного материала, попадая в воздух, принимают под действием сил гравитации и поверхностного натяжения правильную сферическую форму и кристаллизуются в таком виде с дендритной структурой (рис. 2, а). Такая форма частиц, характеризующая минимумом площади при максимуме объема, отвечает требованиям термодинамики.

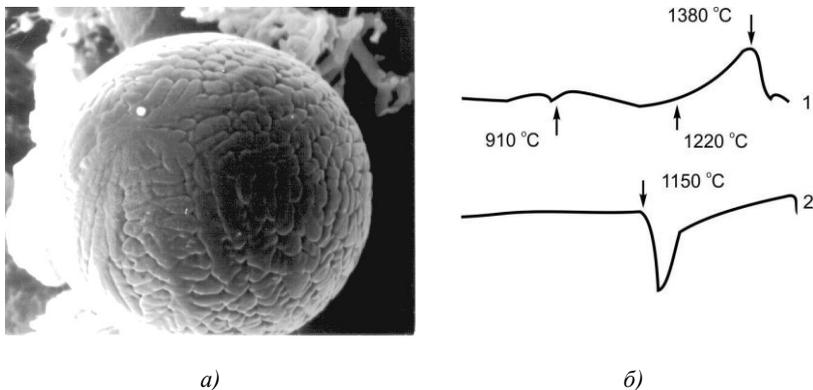


Рис. 2. Сферическая частица продуктов взаимодействия (а), отобранная из окружающей среды, и кривые ДТА (б) смеси Fe+КНБ (1 – первый нагрев; 2 – второй нагрев)

На рисунке 2, б представлены кривые ДТА в результате модельных исследований по дифференциальному термическому анализу взаимодействия в системе «КНБ-Fe». Как видно, взаимодействие в системе реализуется в два этапа. При первом нагреве образца, содержащего 45 % Fe и 55 % КНБ, эндотермический эффект при 1380 °C связан с образованием борида железа  $Fe_2B$ . В процессе второго нагрева на кривой ДТА при 1150 °C присутствует один эндотермический эффект, соответствующий плавлению эвтектики  $Fe+Fe_2B$  (1177 °C).

В реальных условиях процесса резания двухстадийность образования эвтектики  $Fe + Fe_2B$  на контактных поверхностях инструмента объясняется следующим. Первый нагрев в контактной зоне с образованием борида  $Fe_2B$  связан с деформацией обрабатываемого материала на локальных участках (на неровностях, в местах адгезионного схватывания) и формированием так называемых «пятен вспышки». Образование эвтектики  $Fe + Fe_2B$  обусловлено тем, что через некоторый период времени борид  $Fe_2B$  взаимодействует с железом на нагретых контактных поверхностях инструмента.

Расчетные зависимости свободной энергии Гиббса реакции образования борида железа  $Fe_2B$  от температуры представлены на рисунке 3. Расчеты подтверждают возможность протекания химического взаимодействия в системе «КНБ-Fe» при температурах 1300–1800 °С.

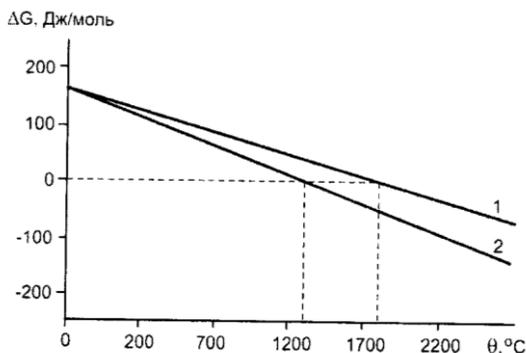
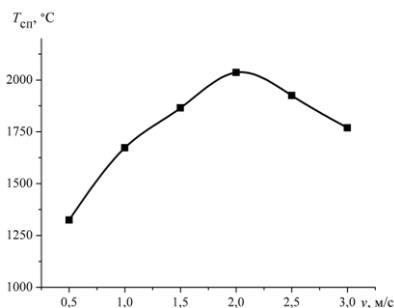
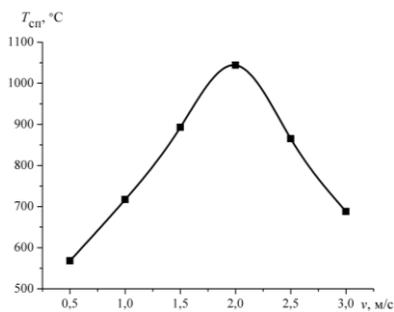


Рис. 3. Зависимость свободной энергии Гиббса образования  $Fe_2B$  от температуры: 1 – без учета парциального давления азота и контактного давления; 2 – при парциальном давлении азота 100 Па и давлении в контакте 5 ГПа



а)



б)

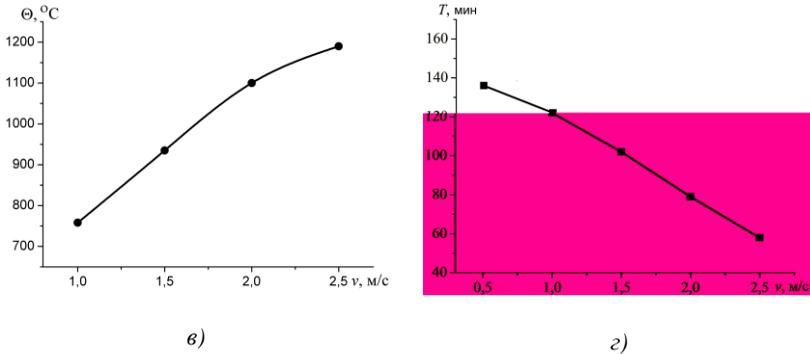


Рис. 4. Зависимость температуры на «пятнах вспышек» на участках пластического (а) и упругого (б) контактов, температуры резания (в) и стойкости инструмента (з) от скорости резания ( $S = 0,14$  мм/об.;  $t = 0,2$  мм) при точении стали 3X15 (60 HRC)

Зависимости, представленные на рисунках 3, 4, позволяют заключить, что явление контактно-реактивного плавления, и связанный с ним механизм изнашивания инструмента имеет отношение только к участку пластического контакта, так как температура на «пятнах вспышки» на участке упругого контакта недостаточна для образования борида  $Fe_2B$ . Экстремальный характер представленных зависимостей определяется совместным противоположно направленным влиянием на величину температуры на «пятнах вспышки» снижения контактных нагрузок и изменения топографии на контактном участке рабочей поверхности инструмента при увеличении скорости резания.

Нужно отметить, что величина температуры на «пятнах вспышки», превышающая  $2000$  °C, была экспериментально зафиксирована в [4] при точении алмазным инструментом титанового сплава.

Как видно из рисунка 4, скорости резания  $2$  м/с соответствуют температуры на «пятнах вспышки»  $2000$  и  $1050$  °C для участков пластического и упругого контактов стружки с передней поверхностью инструмента соответственно, действие которых обуславливает формирование на передней поверхности инструмента средней температуры  $1100$  °C, которой отвечает стойкость инструмента  $80$  мин.

Снижение температуры на «пятнах вспышки» с дальнейшим ростом скорости резания не приводит к уменьшению средней

температуры на передней поверхности инструмента, однако сопровождается меньшей интенсивностью ее увеличения с тенденцией выхода на установившееся значение. Эта температура достаточна для реализации на контактных участках инструмента эффекта контактно-реактивного плавления и интенсивного износа инструмента.

**Список использованной литературы:**

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение : В 6 т. / под общ. ред. *Н.В. Новикова*. – Т. 5 : Обработка материалов лезвийным инструментом / под ред. *С.А. Клименко*. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2006. – 316 с.
2. *Лоладзе Т.Н.* Прочность и износостойкость режущего инструмента / *Т.Н. Лоладзе*. – М. : Машиностроение, 1980. – 320 с.
3. *Крагельский И.В.* Основы расчетов на трение и износ / *И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов*. – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с.
4. *Miller-Hummel P.* Temperature measurement on diamond-coated tools during machining / *P. Miller-Hummel, M. Lahres* // *Ind. Diam. Rev.* – 1995. – Vol. 55, № 2. – Pp. 78–83.

НОВИКОВ Николай Васильевич – академик НАН Украины, доктор технических наук, профессор, почетный директор, главный научный сотрудник Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- материаловедение сверхтвердых материалов;
- применение сверхтвердых материалов в промышленности.

КЛИМЕНКО Сергей Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- обработка материалов резанием;
- режущие инструменты.

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.

КЛИМЕНКО Сергей Анатольевич – младший научный сотрудник  
Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- обработка материалов резанием;
- режущие инструменты.

КИРИЛОВИЧ Валерий Анатольевич – доктор технических наук,  
профессор Житомирского государственного технологического  
университета

Научные интересы:

- обработка материалов резанием.

ЯНОВСКИЙ Валерий Анатольевич – доцент Житомирского  
государственного технологического университета

Научные интересы:

- обработка материалов резанием

Статья поступила в редакцию 05.08.2015