

Фізико-хімічні особливості зношування інструменту із ПКНБ

С.А. Клименко

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

Анотація. З використанням результатів дослідження модельної термоактивації і реальної термотрибоактивації контактних ділянок інструменту в зоні різання визначено ефекти фізико-хімічної взаємодії між основою надтвердого композиту, яким оснащений інструмент – нітридом бору, складовими оброблюваного матеріалу та киснем повітря. Показано, що залежно від термобаричного навантаження, на робочих ділянках інструменту реалізується хімічна взаємодія: – матеріал інструменту взаємодіє з киснем повітря з утворенням борного ангідриду; – метали, які входять до складу оброблюваного матеріалу, взаємодіють із нітридом бору з утворенням боридів типу Me_xB ; – на контактних поверхнях інструменту реалізується ефект контактнореактивного плавлення з утворенням та плавленням евтектики типу $Me-Me_xB$. Таким чином, працездатність різального інструменту, оснащеного композитом на основі кубічного нітриду бору, обмежується хімічною взаємодією матеріалу інструменту з оброблюваним матеріалом та киснем повітря в зоні різання. Температура різання, що відповідає формуванню на робочих ділянках інструменту рідкої фази з продуктів взаємодії, є аттрактором підвищення швидкості різання.

Ключеві слова: кубічний нітрид бору, зношування, взаємодія у зоні різання.

Підвищення ефективності процесу обробки інструментами, оснащеними надтвердими композитами на основі кубічного нітриду бору, пов'язане з вивченням явищ у зоні різання залежно від контактної температури, що є функцією швидкості різання [1].

Для встановлення характеру взаємодії на робочих ділянках інструменту виконано комплекс досліджень: – модельне вивчення в умовах трибоактивації системи окиснення матеріалу інструменту та безпосередньої хімічної взаємодії між елементами матеріалу інструменту й оброблюваного матеріалу залежно від температури; – вивчення контактних поверхонь інструменту після термотрибоактивації в умовах реального термобаричного навантаження в зоні різання.

Дослідження проведено з використанням методу ДТА-аналізу, комплексного термічного аналізу ДТА-ДТГ-ТГ, електронної мікроскопії, енергедисперсійного ретгеноспектрального аналізу, рентгенівської дифрактометрії, електронної оже-спектроскопії, вторинної іонної мас-спектрометрії.

Аналіз результатів модельних досліджень показав: – залежно від складу матеріалу за температур > 1000 °С має місце інтенсивне окиснення з сублімацією борного ангідриду, який утворюється (рис. 1, а); – за хімічної взаємодії матеріалів, що контактують, унаслідок нагріву в контактній зоні формуються продукти взаємодії, що включають елементи зі складу матеріалу інструменту та матеріалу, який обробляється (рис. 1, б). Хімічна взаємодія в системі $cBN-Fe$ реалізується за два етапи (рис. 1, в): – під час першого нагрівання суміші має місце екзотермічний ефект при температурі біля 1380 °С, пов'язаний з утворенням бориду заліза Fe_2B ; – у процесі другого нагрівання на кривій ДТА за температури більше 1150 °С з'являється ендотермічний ефект, пов'язаний з початком плавлення евтектики $Fe+Fe_2B$ (1177 °С [2]).

Комплекс досліджень, проведений в умовах термотрибоактивації, дозволив визначити наступне: – під час обробки інструментом із ПКНБ відбувається перенесення оброблюваного матеріалу на його контактні поверхні (рис. 1, г); – на контактних поверхнях інструменту має місце формування сполук, яким відповідають іони MeO^+ , MeC^+ , MeB^+ , MeN (рис. 1, д); – на неконтактних поверхнях інструменту формується шар “покриття”, до складу якого входять елементи контактуючих матеріалів та кисень повітря (при низьких швидкостях різання на допоміжній задній поверхні, при високих швидкостях різання на передній поверхні інструменту) (рис. 1, е, ж); – навколишнє середовище в області вершини інструменту насичене сферичними частинками з дендритною структурою литого матеріалу, до хімічного складу якого входять елементи контактуючих матеріалів та кисень повітря (рис. 1, з).

ту) (рис. 1, е, ж); – навколишнє середовище в області вершини інструменту насичене сферичними частинками з дендритною структурою литого матеріалу, до хімічного складу якого входять елементи контактуючих матеріалів та кисень повітря (рис. 1, з).

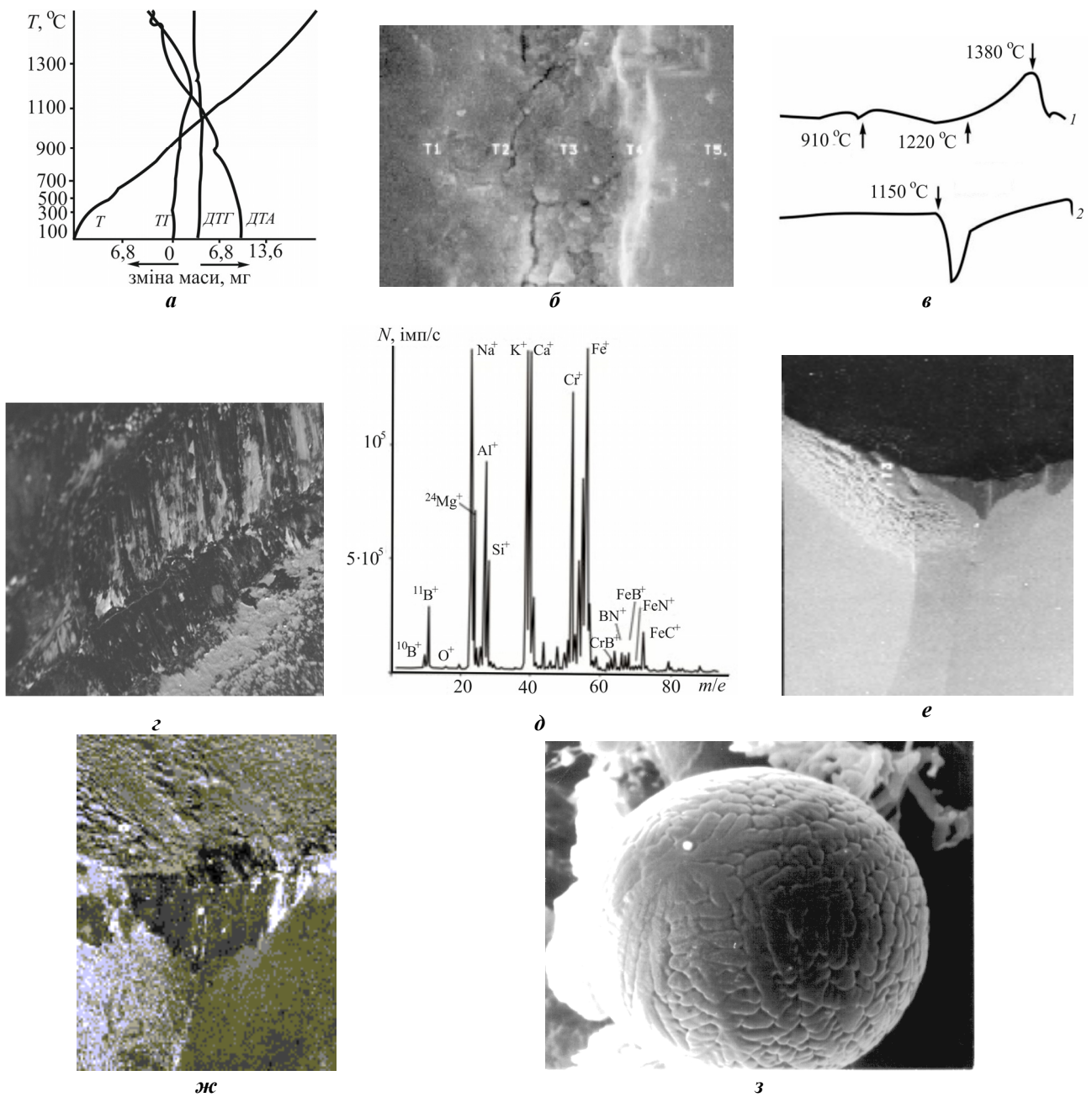


Рис. 1. Термограма окислення ПКНБ “кіборит” (а), зона взаємодії в модельній системі sBN-Fe (б), результати ДТА для модельної системи sBN-Fe (1 – перший нагрів; 2 – другий нагрів) (в); переніс оброблюваного матеріалу на контактні поверхні інструменту (г); мас-спектр позитивних вторинних іонів поверхні інструменту (д); покриття на допоміжній задній (е) і передній (ж) поверхнях інструменту; частинка продуктів взаємодії контактуючих матеріалів із навколишнім середовищем (з)

Результати досліджень свідчать, що працездатність інструменту пов’язана з фазовим складом окисленого ПКНБ, а саме з кількістю борного ангідриду B_2O_3 – меншій стійкості інструменту відповідає підвищена кількість B_2O_3 у поверхневому шарі композиту [3, 4]. Ймовірно, це пов’язано з утворенням і видаленням з границь зерен sBN, на контактних ділянках інструменту, борного ангідриду при температурі різання з наступним видаленням самих частинок композиту. Окислення ПКНБ і пов’язане з цим розм’якшення і плавлення борного ангідриду також є однією причиною утворення рідкої фази на контактних поверхнях інструменту.

Таким чином результати, отримані як при моделюванні, так і при вивченні робочих поверхонь інструменту, які контактували с оброблюваним матеріалом в зоні різання, свідчить про утворення в умовах термобаричного навантаження в зоні обробки продуктів взаємодії у вигляді рідкої фази.

В реальних умовах процесу різання двостадійність хімічної взаємодії з утворенням евтектики Fe+Fe₂V на контактних поверхнях інструменту пояснюється наступним. Перший нагрів у контактній зоні з утворенням бориду Fe₂V пов'язаний з деформацією оброблюваного матеріалу на локальних ділянках (на нерівностях і в місцях адгезійного схоплювання) і формуванням так званих “плям спалаху”. Сукупність плям спалаху обумовлює середню температуру на контактних ділянках інструменту, тобто температуру різання. Утворення евтектики Fe+Fe₂V обумовлено тим, що, через деякий період часу, частинки бориду Fe₂V взаємодіють з Fe на нагрітих контактних ділянках інструменту – має місце реалізація ефекту контактно-реактивного плавлення з одночасним утворенням евтектики та її плавленням.

Відповідно до [5, 6] температура на плямах спалаху може бути визначена теоретично на основі даних щодо рівня напружень і показників топографії контактних поверхонь різального інструменту. Температура різання T_p визначалася на основі експериментально-розрахункового підходу з використанням рішення зворотної задачі теплопровідності на основі експериментальних даних [7].

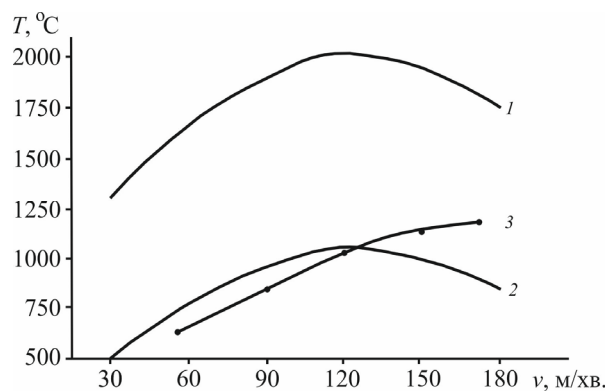


Рис. 2. Температура на плямах спалаху на пластичній (1) та на пружній ділянках (2) контакту на передній поверхні інструменту, температури різання (3) при точінні сталі ($S = 0,14$ мм/об; $t = 0,2$ мм)

Отримані результати свідчать, що температура на плямах спалаху на ділянці пластичного контакту на передній поверхні інструменту значно перевищує температуру, яка потрібна для утворення бориду Fe, що забезпечує реалізацію першого етапу взаємодії між контактуючими матеріалами (рис. 2, крива 1). Температура на плямах спалаху на ділянці пружного контакту (рис. 2, крива 2) не достатня для утворення боридів, тому на цієї ділянці інструменту не утворюється рідка фаза з продуктів взаємодії.

Через значну кількість джерел теплоти на плямах спалаху та їх короткострокову дію на контактній ділянці інструменту середня температура (температура різання) складає 1200 °C (рис. 2, крива 3). Наслідком взаємодії між мікрооб'ємами бориду Fe на передній поверхні інструменту і нагрітого до 1200 °C поверхневого шару оброблюваного матеріалу є утворення евтектики Fe+Fe₂V та поява рідкої фази на контактній ділянці інструменту.

Проведені дослідження підтверджують, що в діапазоні практично використовуваних швидкостей різання на зношування інструменту, оснащеного ПКНБ, впливає хімічна взаємодія його робочого композиту з оброблюваним матеріалом і киснем повітря у зоні різання, що призводить до утворення та видалення рідкої фази із зони контакту.

Врахування розглянутих механізмів взаємодії в зоні обробки дозволяє керувати працездатністю інструменту, як на стадії виробництва, так і в процесі його експлуатації.

За рахунок введення до складу ПКНБ або технологічного середовища речовини, які є інгібіторами реакцій взаємодії матеріалу інструменту з оброблюваним матеріалом і елементами довкілля, або які зсувають протікання цих реакцій у більш високотемпературну область, можливо істотно збільшити продуктивність оброблення виробів завдяки підвищенню швидкості різання та забезпечити зростання стійкості різального інструменту.

Список літератури

1. Высокопроизводительная чистовая лезвийная обработка деталей из сталей высокой твердости / С.А. Клименко, А.С. Манохин, М.Ю. Копейкина, С.Ан. Клименко, Ю.А. Мельничук, А.А. Чумак. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2018. – 304 с
2. Диаграммы состояния систем на основе железа: справ. изд. / О. Кубашевски. – М.: Металлургия, 1985. 184 с.
3. Точение жаропрочных сплавов инструментом из кубичного нитрида бора / Э.И. Гриценко, П.Е. Дальник, В.И. Чапалюк. – К.: Наук. думка, 1992. – 107 с.
4. Changes in the surface layer of the cbn tool during the hardened steel turning / А. С. Манохин, С. А. Клименко, М. Ю. Копейкина, М. R. Tarić, L. M. Tanović // Technics. – 2015. – Special edition. – P. 63–70
5. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
6. Аналітична оцінка величини температурних спалахів на контактних поверхнях інструменту з полікристалічних надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору / С.А. Клименко, С.Ан. Клименко, В.В. Бурикин // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Житомир: ЖДТУ, 2012. – Вип. 12. – С. 58–66.
7. Теоретическое исследование температуры на контактном участке инструмента из ПКНБ / С.А. Клименко, С.Ан. Клименко, М.Ю. Копейкина, А.С. Манохин // Вісник НТУ України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – 2016. – Вип. 77. – С. 50–54.

Physico-chemical features of tool wear of PCBN

S.A. Klymenko

Abstract. *The effects of physical and chemical interaction between a tool equipped with a superhard composite based on cubic boron nitride (SBNB) and the components of the material being processed and air oxygen were studied using the results of the study of model thermal activation and real thermal triboactivation of the tool contact areas in the cutting zone. It is shown that, depending on the thermobaric load, chemical interaction between the elements of the contacting materials and air oxygen is realized at the working areas of the tool: – the tool material is oxidized by air oxygen to form boric anhydride; – the metals that make up the processed material interact with boron nitride to form borides of the Me_xB type; – the effect of contact-reactive melting is realized on the contact surfaces of the tool with the formation and melting of eutectics of the $Me-Me_xB$ type. The performance of a cutting tool equipped with a composite based on cubic boron nitride is limited by the chemical interaction of the tool material with the material being processed and air oxygen in the cutting zone. The cutting temperature corresponding to the formation of a liquid phase from the products of interaction on the working areas of the tool is an attractor for increasing the cutting speed.*

Keywords: *cubic boron nitride, wear, interaction in the cutting zone*