

С.А. Клименко, д.т.н., проф.

С.А. Клименко, аспір.

В.В. Бурикін, к.т.н., н.с.

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України*

АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА ВЕЛИЧИНИ ТЕМПЕРАТУРНИХ СПАЛАХІВ НА КОНТАКТНИХ ПОВЕРХНЯХ ІНСТРУМЕНТУ З ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ

Представлено результати аналітичної оцінки рівня температурних спалахів на контактних ділянках інструменту із полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ) на основі кубічного нітриду бору (КНБ). Показано, що температура на контактних ділянках інструменту є одним із факторів, що обмежує продуктивність обробки і чинить істотний вплив на розуміння протікання механізмів зносу різального інструменту.

Вступ. Фундаментальною основою створення і ефективного застосування різальних інструментів є вивчення контактних явищ у зоні різання, які досліджуються на рівні оцінки параметрів механіки і теплофізики, кінетики, термодинаміки і фізико-хімії процесу. Контактні явища у зоні різання визначають механізм зношування поверхонь різальних інструментів і можливості інструментів по ефективній обробці і формуванню заданого стану поверхневого шару оброблюваних виробів. Кількісний опис поточного фізико-хімічного та механічного стану матеріалу інструменту й оброблюваного матеріалу в контактній зоні для конкретних умов процесу механічної обробки, вивчення еволюції і можливості трансформації поверхонь інструменту в контактній зоні під дією термобаричних умов процесу різання, становить наукову базу для вдосконалення різальних інструментів і процесів механічної обробки, використовується в мотивації вибору або створення матеріалів для різальних інструментів.

Теплофізичні процеси різання багато в чому обумовлюють потенційні можливості за продуктивністю і якісною обробкою виробів із сучасних конструкційних матеріалів, особливо інструментами з надтвердих композитів.

У технічній літературі [1, 2] наведено ряд досліджень температурних явищ в зоні різання інструментами, оснащеними ПНТМ на основі КНБ,

показано вплив умов обробки на величину температури різання, розподілення теплових потоків на передній і задній поверхнях інструменту.

Особливості теплоутворення при обробці лезовим інструментом із ПНТМ визначаються фізико-механічними властивостями інструментального матеріалу: низьким коефіцієнтом тертя по оброблюваних матеріалах, високими значеннями тепло- і температуропровідності, які забезпечують швидкий відвід теплоти із зони різання і дозволяють проводити обробку з високими швидкостями різання, відносно малими силами різання, порівняно з силами при точінні різцями з інших інструментальних матеріалів [3].

Дані характеристики інструментів із ПНТМ мали б забезпечувати відносно невисоку температуру в контактній зоні, порівняно з іншими інструментальними матеріалами, але як показано в роботі [4] при використанні алмазного інструменту для точіння алюмінію на локальних ділянках контакту стружки з передньою поверхнею різця температура досягає значень більше 800 °С, а при обробці титану більше – 2000 °С.

На даний час в технічній літературі відсутні результати досліджень контактних температур на робочих поверхнях інструменту з ПНТМ на основі КНБ.

Враховуючи наведені вище результати можна припустити, що й у випадку використання інструментів з ПНТМ на основі КНБ, на його контактних ділянках будуть мати місце високі значення температур на плямах спалахів.

Вивчення температурних явищ і теплофізичних показників контактної взаємодії в зоні різання дуже важливе для розуміння причин, обумовлюючих зношення інструментів, особливо у випадках, коли зношення супроводжується утворенням продуктів хімічної взаємодії контактуючих матеріалів, дифузійним масопереносом й іншими явищами, характерними для обробки в умовах високих температур.

Метою роботи є аналітична оцінка температурних спалахів на контактних ділянках інструментів із ПНТМ.

Викладення основного матеріалу. Результати досліджень. Експериментальне визначення температур у контактній зоні стосовно інструменту із ПНТМ на основі КНБ в реальних умовах різання є крайнє складним завданням, зважаючи на малий розмір контактних ділянок, великі значення тиску, швидкоплинність протікаючих в зоні різання явищ.

Для аналітичного визначення температури в контактній зоні пропонується використовувати спрощену схему контакту передньої

поверхні інструменту з стружкою [5]. Приймаємо, що гребінці шорсткості є тільки на поверхні інструменту (утворені внаслідок обробки поверхні), а нижню поверхню стружки в початковий момент часу вважаємо гладкою.

В умовах різання контакт є пружно-пластичним. На рисунку 1 наведено схему контакту інструменту зі стружкою на ділянці пластичного деформування.

В роботі [5] показано, що максимум температури T_{\max} може бути не на вершині різця ($x = 0$), а на певній відстані від неї. Положення цього максимуму залежить від швидкості різання.

Аналіз [6] графіків розподілення нормальних (рис. 2) дотичних напруг на передній поверхні інструменту, оснащеного ПНТМ на основі КНБ, показав, що на частину ділянки передньої поверхні інструменту, на якому має місце пластична деформація стружки припадає близько 85 % усієї прикладеної нормальної сили, причому площа цієї складової ділянки контакту буде близько 60 % від загальної площі. Відповідно на пружну деформацію буде затрачено лише 15 % від прикладеної сили при площі контакту – 40 %.

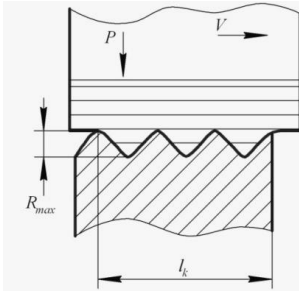


Рис. 1. Схема контакту в'язкого шару з жорсткою шорсткою поверхнею нового інструменту

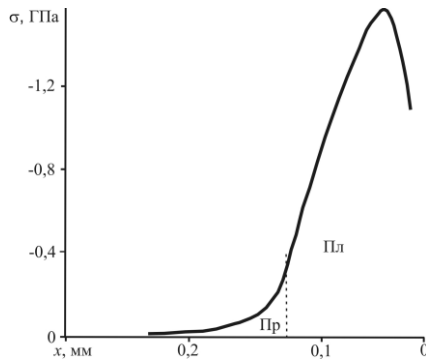


Рис. 2. Розподіл нормальних силових напруг на передній поверхні інструменту з ПНТМ на основі КНБ (сталь ШХ15, 60 HRC; $v = 110$ м/хв.; $S = 0,05$ мм; $t = 0,25$ мм)

Для оцінки рівня температур на плямах спалаху скористаємось методикою І.В. Крагельського [7].

Температура спалаху на локальній плямі контакту:

$$\dot{\Theta}_{\bar{n}} = \frac{\sqrt{2} + 1}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{\lambda_1 \bar{n}_1 \rho_1}}{\sqrt{\lambda_1 \bar{n}_1 \rho_1} + \sqrt{\lambda_2 \bar{n}_2 \rho_2}} \cdot \frac{f P_z v d}{2 A_r \lambda_2}, \quad (1)$$

де λ – теплопровідність; c – теплоємність; ρ – густина; f – коефіцієнт тертя; d – діаметр плями контакту; A_r – фактична площа контакту; P_z – головна складова сили різання; v – швидкість різання; індекс 2 відповідає матеріалу з більшою твердістю.

Діаметр плями контакту:

$$d = 2\sqrt{2} \left(\frac{r R_{\max}}{\nu} \cdot \left(\frac{N}{HB \cdot b} \right)^{\frac{1}{\nu}} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Фактична площа контакту з врахуванням розділення на пластичну і пружну складові зі співвідношенням 60 на 40 %:

$$A_r = \frac{2\pi r R_{\max}}{\nu} \left(\frac{N}{HB \cdot b} \right)^{\frac{1}{\nu}}, \quad (3)$$

де N – навантаження на одиничний виступ; b – параметри опорної кривої; r – радіус заокруглення вершин.

$$r = \sqrt{r_{non} \cdot r_{nov}}, \quad (4)$$

де r_{non} і r_{nov} – радіус заокруглення одиничної мікронерівності в поперечному і повздовжньому напрямках.

Навантаження на одиничний виступ із врахуванням розподілення сили на ділянці контакту – 85 на 15 %:

$$N = 2\pi HB \sqrt{r_{non} \cdot r_{nov}}. \quad (5)$$

Для визначення вихідних параметрів були проведені дослідження топографії контактних поверхонь різального інструменту із ПНТМ на основі КНБ. Параметри шорсткості мали наступні значення – R_a 0,078, R_p 0,174 та R_{max} 0,222, параметри опорної кривої $\nu = 1,2$, $b = 3,3$. Фізико-механічні характеристики інструментального і оброблюваного (сталь ШХ15, 60 HRC) матеріалів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1
Фізико-механічні характеристики інструментального та оброблюваного матеріалів

| Матеріал | λ , Вт/м·К | c , Дж/кг·К | ρ , кг/м ³ | Твердість, МПа |
|----------|--------------------|---------------|----------------------------|----------------|
| КНБ | 100 | 670 | 3260 | – |

| | | | | |
|------|----|-----|------|------|
| ШХ15 | 40 | 500 | 7812 | 2000 |
|------|----|-----|------|------|

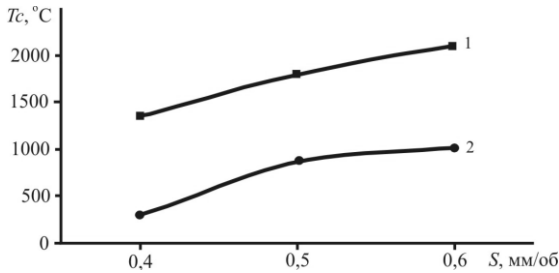
Розрахунок проводився для випадку точіння з глибиною $t = 0,4$ мм. Вихідні параметри для оцінки температури спалаху T_c наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

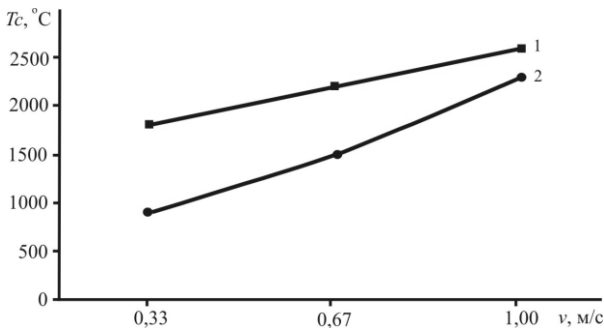
Вихідні параметри для розрахунку T_c

| f | A_p , мкм ² | d , мкм | r , мкм | N , МПа | P_z , кН |
|------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 0,12 | 0,03 | 0,197 | 54 | 1,69 | 1,6 |

Результати розрахунків представлено на рисунку 3 залежно від зміни швидкості різання та подачі.



а)



б)

Рис. 3. Залежність температури спалахів T_c від режимів різання:

a – подачі S ($t = 0,4$ мм; $v = 1,0$ м/с); *b* – швидкості різання
($t = 0,4$ мм; $S = 0,22$ мм/об.)

Температура спалахів на плямах контакту для незношеного інструменту на пластичній ділянці контакту в початковий момент різання складає до 2500 °С. Для ділянки пружної деформації температура спалахів має нижчі значення ~ до 2000 °С, що пояснюється відносно невеликими силами, порівняно з силами на ділянці пластичного контакту. Така висока температура обумовлена деформацією матеріалу на мікронерівностях інструменту, а також руйнуванням містків зварки утворених в результаті адгезійної взаємодії інструментального матеріалу з обробленим. Ймовірно зі зношенням контактних поверхонь інструменту значення температурних спалахів буде зростати в зв'язку зі збільшенням як мікронерівностей на контактних ділянках інструменту, так і контактних навантажень на окремих нерівностях.

Результати досліджень показують, що також як і при різанні алмазним різцем алюмінієвих та титанових сплавів [4], при точінні загартованої сталі інструментом, оснащеним ПНТМ на основі КНБ, температура на плямах спалаху на передній поверхні інструменту суттєво перевищує температуру плавлення обробленого матеріалу. Це є деяким підтвердженням магма-плазмової моделі контакту Тиснена [8], відповідно до якої на плямах контакту при терті локалізується значна енергія, а речовина може знаходитись у вигляді плазми.

У зв'язку з короткостроковістю дії джерела теплоти на плямі спалаху середня температура різання складає ~1000–1200 °С [3], проте рівень контактної температури обумовлює можливість хімічної взаємодії інструментального та оброблюваного матеріалів у мікрооб'ємах [9]. Наслідком такої взаємодії є реалізація в зоні різання явища контактнореактивного плавлення та інтенсифікація зношування інструменту [3].

Висновок. Практично після перших актів контактування інструменту зі стружкою та виробом впадини нерівностей на робочих поверхнях заповнюються оброблюваним матеріалом, а також на цих ділянках утворюються містки зварки. Періодичне руйнування даних ділянок, руйнування мікронерівностей, деформування матеріалу є причинами температурних спалахів значної величини. Ці спалахи температури необхідно враховувати при визначенні температурних явищ в зоні різання, а також при описанні теплофізики і фізикохімічної контактної взаємодії інструментального і оброблюваного матеріалів.

Список використаної літератури:

1. Аранзон М.А. Точение сталей и сплавов резцами из синтетических сверхтвердых материалов : учеб. пособие / М.А. Аранзон. – Куйбишев : КуАИ, 1977. – 82 с.
2. Экспериментальное определение температурного поля реза из эльбора-Р / В.В. Коломиец, В.П. Зубарь, В.В. Голик, В.В. Колганенко // Синтетич. алмазы. – 1977. – № 1. – С. 28–30.
3. Сверхтвердые материалы. Получение и применение : в 6 т. / под общей ред. Н.В. Новикова. – Т. 5. Обработка материалов лезвийным инструментом / под ред. С.А. Клименко. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – 316 с.
4. Müller-Humel P. Temperature measurement on diamond-coated tools during machining / P.Müller-Humel, M.Lahres // Ind. Diam. Rev. – 1995. – № 55, № 2. – Pp. 78–83.
5. Рыжкин А.А. О влиянии параметров температурного поля на трибологические характеристики пары трения / А.А. Рыжкин // Весник ДГТУ / «Трение и износ». – 2005. – С. 460–472.
6. Работоспособность режущего инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ с вакуумно-плазменным покрытием / М.Ю. Копейкина, С.А. Клименко, Ю.А. Мельничук, В.М. Береснев // Сверхтв. материалы. – 2008. – № 5. – С. 87–97.
7. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М. : Машиностроение, 1977. – С. 526.
8. Польцер Г. Основы трения и изнашивания / Г.Польцер, Ф.Майснер. – М. : Машиностроение, 1984. – 264 с.
9. Turkevich V.Z. Thermodynamics of the interaction in the cBN-based tool material – Fe (Ni) systems / V.Z. Turkevich, S.A. Klimenko, O.G. Kulik // Transactions saopstenja masinskog fakulteta. – 1999. – Vol. XXVIII, № 2. – Pp. 8–11.

КЛИМЕНКО Сергій Анатолійович – доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- різальні інструменти.

КЛИМЕНКО Сергій Анатолійович – аспірант Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- різальні інструменти.

БУРИКІН Віталій Віталійович – кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- різальні інструменти.

Стаття надійшла до редакції 26.03.2012

Клименко С.А., Клименко С.А., Бурькин В.В. Аналітична оцінка величини температурних спалахів на контактних поверхнях інструменту з полікристалічних надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору

Клименко С.А., Клименко С.А., Бурькин В.В. Аналитическая оценка величины температурных вспышек на контактных поверхностях инструментов из поликристаллических сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора

Klimenko S.A., Klimenko S.A., Burykin V.V. Analytical estimate of the temperature flashes on the contact surfaces of the instruments polycrystalline superhard materials based on cubic boron nitride

УДК 621.97

Аналитическая оценка величины температурных вспышек на контактных поверхностях инструментов из поликристаллических сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора / С.А. Клименко, С.А. Клименко, В.В. Бурькин

Представлены результаты аналитической оценки уровня температурных вспышек на контактных участках инструментов из ПСТМ на основе КНБ. Показано, что температура на контактных участках инструмента есть одним из факторов, что ограничивает производительность обработки и оказывает существенное влияние на понимание протекания механизмов износа режущего инструмента.

УДК 621.97

Analytical estimate of the temperature flashes on the contact surfaces of the instruments polycrystalline superhard materials based on cubic boron nitride / S.A. Klimenko, S.A. Klimenko, V.V. Burykin

Presents the results of analytical evaluation of temperature flashes on the contact areas of the CBN tools. It is shown that the temperature at the contact areas instrument has one of the factors limiting the processing performance and has a significant impact on the understanding of the flow of the cutting tool wear mechanisms.