

УДК 621.9.025.7

НАПРУЖЕННЯ НА ПЕРЕДНІЙ ПОВЕРХНІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ІЗ ПНТМ НА ОСНОВІ cBN

Клименко С.Ан., Манохин А.С., Клименко С.А., Копейкіна М.Ю.

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

Анотація: Досліджено рівень та розподіл контактних напружень (максимальних нормальних, дотичних та еквівалентних) на передній поверхні різального інструменту, оснащеного надтвердими композитами cBN-Si₃N₄ (3 об. %) та cBN-TiC (45 об. %)-Si₃N₄ (3 об. %), при точінні загартованої сталі. Встановлено, що для інструменту з композитом із низьким вмістом cBN збільшення рівня нормальних напружень пов'язане зі зменшенням довжини контакту стружки із передньою поверхнею інструменту, а характер зміни дотичних напружень обумовлений збільшенням температури різання.

Ключові слова: різальний інструмент, ПНТМ на основі cBN, загартована сталь, точіння, контактні напруження.

Для визначення напруженого стану інструменту в зоні контакту із стружкою, користуються найбільш простим та точним методом визначення середніх значень дотичних (q_F) та нормальних (q_N) напружень по експериментально визначеним силам різання і довжині контакту стружки з передньою поверхнею (L).

Багатьма дослідженнями показано, що нормальні та дотичні напруження розподіляються вздовж контакту стружки з передньою поверхнею нерівномірно. Нормальні напруження біля різальної кромки досягають максимуму, а в точці відриву стружки від різця вони рівні нулю. Дотичні напруження q_F , навпаки мають більш рівномірне розподілення, від нуля – в точці відриву стружки вони різко знижують свій ріст, а в середині контакту, в межах деякої довжини, залишаються відносно постійними.

Результати, отримані при дослідженні середніх контактних напружень q_N та q_F , показали, що дотичні напруження найбільш сильно залежать від швидкості та температури різання, а також механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Враховуючи, що питома сила тертя залежить тільки від механічних властивостей оброблюваного матеріалу, в роботах [1, 2] запропоновані формули для розрахунку q_F , в яких в якості показників механічних властивостей оброблюваного матеріалу використовували межу короточасної міцності S_b та дійсне напруження при розриві S_k . Вибір таких показників механічних властивостей матеріалу найбільш повно відображає властивості міцності та пластичності оброблюваного матеріалу.

Порівняння формул для розрахунку q_F та τ_p показали, що величина q_F для одного й того ж матеріалу менше τ_p , що пояснюється впливом температури різання θ . Використовуємо рівняння

$$q_F = [1 - k_T \cdot 10^{-3} \cdot (\theta^0 - 600)] \cdot S_B. \quad (1)$$

Нормальні напруження знайдемо з рівняння

$$P_y = N = q_N \cdot L \cdot b. \quad (2)$$

Приймаючи до уваги епюри їх розподілу вздовж передньої поверхні інструменту, максимальні значення контактних напружень визначимо рівнянням

$$q_N = \frac{\sigma_{Ncp} \cdot L_1}{L \int_0^L \left(1 - \frac{x}{L}\right)^n dx} \quad (3)$$

де L_1 – одинична довжина, $n = 2, 1$, звідки $q_N = 3, 1 q_{Ncp}$.

З урахуванням виду епюри розподілу тангенціальних контактних напружень отримуємо за рівнянням

$$q_F = \frac{4}{3} \cdot q_{Fcp} \quad (4)$$

Дослідження проводилися при точінні загартованої сталі ХВГ (60 HRC) інструментами із ПНТМ на основі cBN – cBN-Si₃N₄(3 об. %) та cBN-TiC(45 об. %)-Si₃N₄(3 об. %). Експериментальні дані головних складових сили різання для досліджуваних типів інструментів в залежності від швидкості різання та подачі представлені в табл. 1.

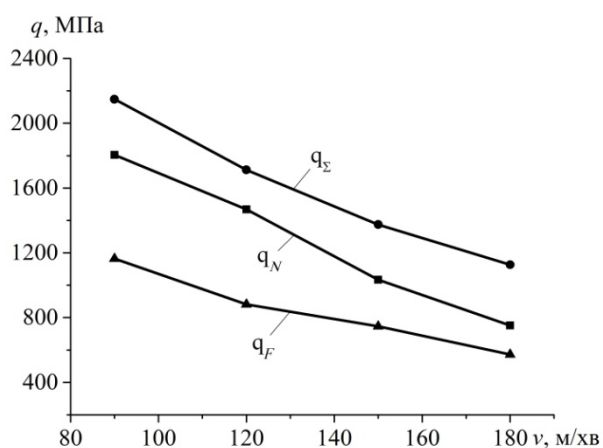
Знаючи розмір зони контакту та значення головних складових сили різання можна оцінити рівень напружень, які діють на передній поверхні різальних інструментів. Результати розрахунків наведені на рис. 1.

Розрахунки показали, що у випадку використання інструментів з композиту cBN-Si₃N₄(3 об. %), величина максимальних нормальних напружень, в діапазоні швидкостей 90–180 м/хв., монотонно знижується і знаходиться в межах 1,80–0,75 ГПа, що пояснюється більш інтенсивним зменшенням нормальної складової сили різання в порівнянні із зменшенням довжини контакту передньої поверхні інструменту зі стружкою.

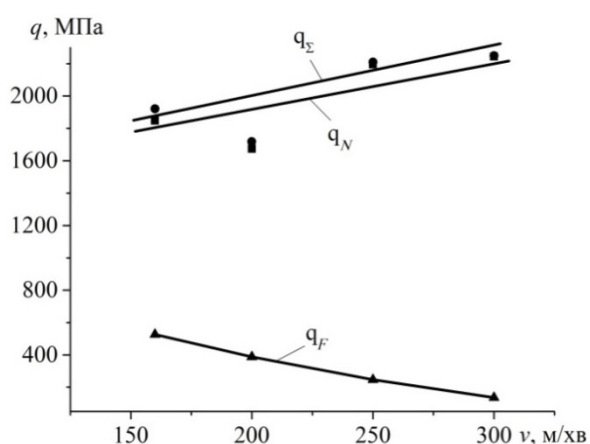
Таблиця 1.

Значення головних складових сил різання в залежності від швидкості різання та подачі для інструментів із ПНТМ на основі cBN

Композит	Режими різання			Сили різання, Н	
	<i>v</i> , м/хв.	<i>S</i> , мм/об	<i>t</i> , мм	<i>P_y</i>	<i>P_z</i>
cBN-Si ₃ N ₄ (3 об.%)	90	0,14	0,2	205	105
	120			148	85
	150			120	72
	180			102	65
cBN-TiC(45 об.%) -Si ₃ N ₄ (3 об.%)	160	0,10		100	90
	200			120	80
	250			100	100
	300			120	100



а



б

Рис. 1. Залежність величини максимальних нормальних (q_N), дотичних (q_F) та еквівалентних ($q_\Sigma = \sqrt{q_N^2 + q_F^2}$) контактних напружень від швидкості різання при точінні ($S = 0,14$ мм/об; $t = 0,2$ мм) сталі ХВГ інструментом із композиту: а – cBN-Si₃N₄(3 об. %); б – (cBN-TiC(45 об. %)-Si₃N₄(3 об. %))

Тангенціальна складова контактних напружень монотонно знижується при збільшенні швидкості різання, що пов'язано із зростанням температури різання та становить від 1,2 до 0,5 ГПа в залежності від швидкості обробки.

Аналіз результатів розрахунків проведений для інструментів з композиту cBN-TiC(45 об. %) - Si₃N₄(3 об. %) показує, що рівень еквівалентних напружень має нижчі значення в порівнянні з інструментом з композиту cBN-Si₃N₄(3 об. %) хоча працює в значно вищому діапазоні швидкостей різання.

Такий ефект пов'язаний з тим, що при швидкостях обробки 200–300 м/хв. температура різання досягає значень 1200–1300 °С, внаслідок чого оброблюваний матеріал розм'ягчується, що приводить до значного зниження рівня дотичних напружень, який у нашому випадку знаходиться на рівні від 0,52 до 0,13 ГПа в залежності від швидкості обробки.

Що стосується нормальних напружень, то вони мають більші значення в порівнянні із інструментом з композиту cBN-Si₃N₄(3 об. %), що пов'язано із тим, що при роботі інструменту із низьким вмістом бору довжина контакту стружки із передньою поверхнею має менші значення при відносно високих складових сили різання, внаслідок чого нормальні напруження дещо зростають та досягають середнього значення 2,0 ГПа.

Для визначення закону розподілу дотичних та нормальних напружень вздовж зони контакту стружки із передньою поверхнею інструментів використовують різноманітні експериментальні методи. Однак за допомогою існуючих експериментальних методів дослідження, вдається отримати достовірні значення розподілу напружень тільки на відстані від 0,15 до 0,20 мм від вершини різця [2]. Вважається, що нормальні контактні напруження σ_N мають найбільшу величину біля вершини леза інструменту, монотонно спадаючи до нуля по мірі віддалення від неї. Це дало можливість в [3] записати залежність статичною формулою виду

$$\sigma_N = \sigma_m \cdot \left[\frac{C-x}{C} \right]^n, \quad (5)$$

$$\text{де } n = 2 \cdot \left(\frac{C}{a \cdot \xi [\mu + tg(\phi + \gamma)]} - 1 \right); \quad \sigma_m = q_N \cdot (n + 1); \quad \text{при використанні інструментів із ПНТМ}$$

на основі КНБ $\mu = 0,7$ [4], $n = 3,1$; q_N – середнє нормальне контактне напруження на передній поверхні інструменту; x – відстань від вершини інструменту до заданої точки

Знаючи розмір ділянок контакту та рівень контактних напружень можна побудувати епюри розподілу нормальних та дотичних контактних напружень на передній поверхні інструменту (рис. 2).

Що стосується характеру розподілу дотичних контактних напружень, то їх прийнято вважати постійними на ділянці пластичного контакту, а на ділянці пружного контакту дотичні напруження плавно зменшуються до нуля. Дане ствердження можна описати системою

$$\tau(x) = \begin{cases} q_f, & 0 \leq x \leq C \cdot 0,4 \\ 2q_f \left(-\frac{1}{C} \cdot x + 1 \right), & C \cdot 0,4 \leq x \leq C \end{cases} \quad (6)$$

Аналіз епюр розподілу напружень на довжині контакту стружки із передньою поверхнею інструменту з композитом із низьким вмістом cBN показує, що нормальні напруження досягають 3,0 ГПа, для інструменту з композиту із високим вмістом cBN – 2,1 ГПа. Збільшення рівня нормальних напружень для інструменту з композитом із низьким вмістом cBN пояснюється тим, що на високих швидкостях різання відбувається інтенсивне зменшення довжини контакту стружки із передньою поверхнею інструменту при цьому сила різання майже не змінюється і знаходиться в діапазоні значень 100–120 Н, внаслідок чого нормальні напруження зростають.

Що стосується дотичних напружень, то їх рівень має менші значення – 0,18 ГПа в порівнянні із інструментами із ПНТМ на основі cBN (борсиніт) – 0,58 ГПа. Такий характер зміни дотичних напружень при використанні інструментів із низьким вмістом cBN пов'язаний із збільшення температури різання, що веде до розмягчення оброблюваного матеріалу, зміни умов тертя внаслідок чого оброблюваний матеріал менше деформується на робочих поверхнях інструменту.

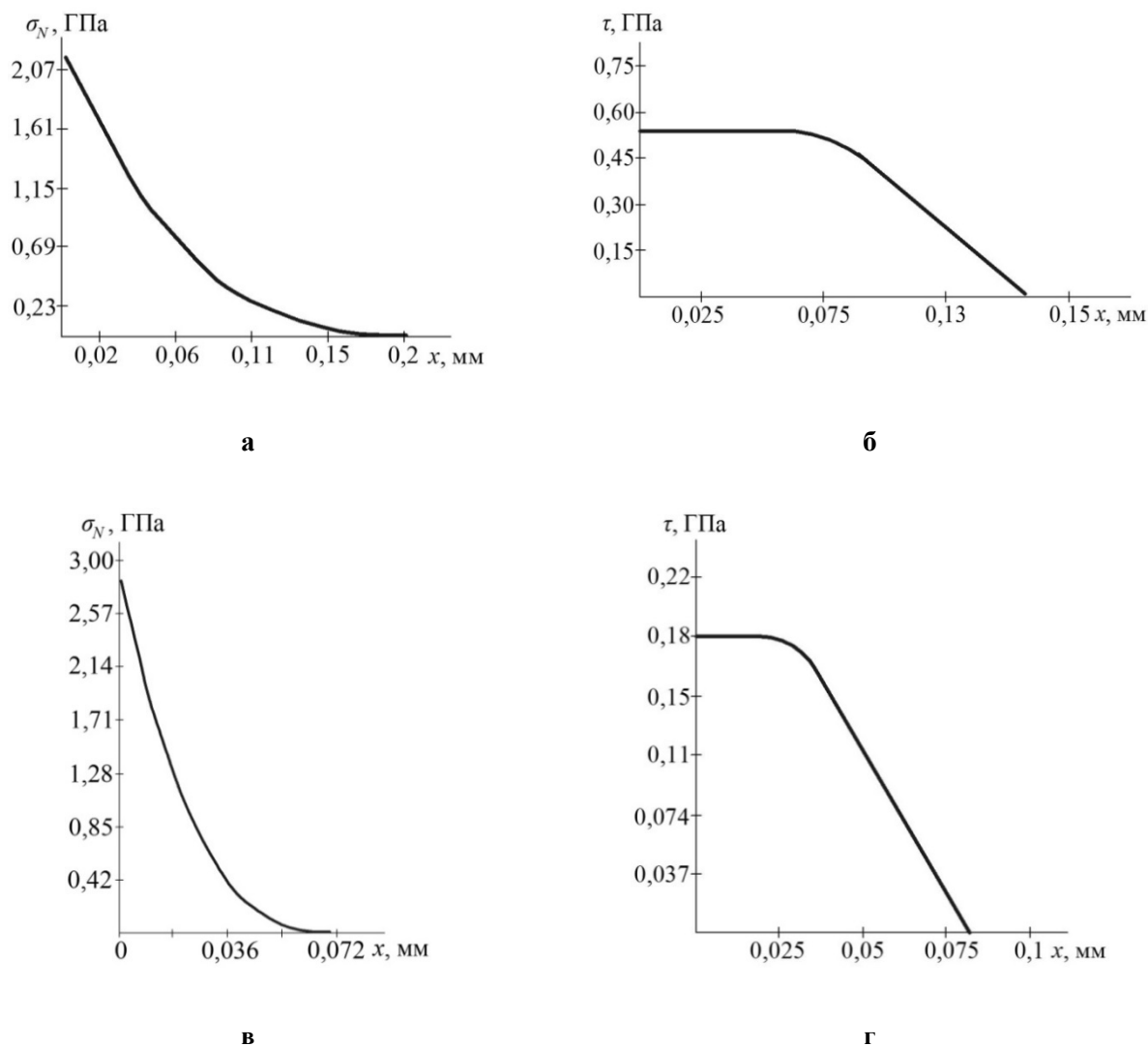


Рис. 2. Розподіл нормальних (а, в) та дотичних (б, г) напружень вздовж ділянки контакту стружки з передньою поверхнею інструмента із ПНТМ на основі cBN при точінні сталі ХВГ: а, б – cBN-Si₃N₄ (3 об.%), $v = 90$ м/хв.; S = 0,14 мм/об; t = 0,2 мм; в, г – cBN-TiC(45 об.%)-Si₃N₄(3 об.%); $v = 200$ м/хв.; S = 0,1 мм/об; t = 0,2 мм

Список літератури:

1. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / М.Ф. Полетика. – М.: Машиностроение. – 1969. – 148 с.
2. Кушнер В.С. Термомеханическая теория процесса непрерывного резания пластических материалов / В.С. Кушнер. – Изд-во Иркутского университета. – 1982. – 180 с.
3. Мазур Н.П. Основы теории резания материалов: ученик / Н. П. Мазур, Ю. Н. Внуков, А. И. Грабченко и др.; под общ. ред. Н. П. Мазура и А. И. Грабченко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – 534 с.
4. Мазур М.П. Основы теории резания материалов: підручник / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок та ін.; під заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий світ. – 2010. – 422 с.