

А. Манохін, С. Клименко, Київ, Україна

ВПЛИВ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПОКРИТТЯ НА ЗМІНУ ГРАДІЄНТА ТЕМПЕРАТУРИ В ІНСТРУМЕНТІ З ПКНБ

Анотація. Виконаний модельний аналіз впливу теплопровідності захисного покриття TiAlN на градієнт температури в інструменті, оснащеному надтвердим композитом ПКНБ, при обробці загартованої сталі. Встановлено, що захисне покриття має суттєвий вплив на градієнт температури в різальному інструменті з надтвердого композиту ПКНБ в тому випадку, коли коефіцієнт теплопровідності покриття не перевищує 15 Вт/мК. Такі покриття обумовлюють зниження температури на поверхні розділу системи «основа з ПКНБ-покриття» при точінні загартованої сталі на 100–300 °С. Збільшення теплопровідності покриття зніжує його теплозахисний ефект по відношенню до матеріалу основи різального інструменту.

Ключові слова: теплове поле; надтвердий композит; захисне покриття; теплозахисний ефект; різальний інструмент.

Вступ. Створення і застосування різальних інструментів з захисними покриттями – одна з основних тенденцій вдосконалення технологій механічної обробки [1]. Захисні покриття дозволяють не тільки підвищити стійкість різальних інструментів, але і продуктивність процесу обробки за рахунок інтенсифікації швидкості різання. Покриття на контактних поверхнях інструменту повинні володіти комплексом фізико-механічних властивостей, що забезпечують, зниження сили і температури різання, мінімізацію зношування інструменту.

При розробці і створенні покриттів для різальних інструментів тепло-фізичні властивості вказуються в якості одного з критеріїв оптимізації їх експлуатаційних показників. При цьому переважна більшість дослідників вказують низьку теплопровідність покриття в якості одного з головних чинників, що забезпечує підвищення стійкості різального інструменту внаслідок зміни теплового балансу в зоні різання [2-4]. Наводяться такі аргументи – покриття створює тепловий бар'єр, практично ізолюючий основу інструменту від впливу тепла, що утворюється в зоні різання. Відбувається перерозподіл теплових потоків, і велика частина тепла йде в стружку.

Експериментальна або модельна перевірка цих уявлень має значний науковий і практичний інтерес, особливо для інструменту, який працює з високою швидкістю різання, наприклад, оснащений надтвердими композитами на основі кубічного нітриду бору (ПКНБ).

Методика досліджень. Оцінка дійсного ступеню впливу теплопровідності покриття на розподіл температурного поля в приконтактній зоні виконана шляхом чисельного моделювання тертя стружки по передній поверхні інструменту. В якості захисного покриття приймаємо композицію TiAlN, напилену вакуум-дуговим методом, яка володіє одним з найменших з покриттів цієї групи значень коефіцієнту теплопровідності (табл. 1). Залежно від співвідношення алюмінію і титану, а також від умов нанесення його величина варіюється і становить 4–10 Вт/мК.

В якості матеріалу різального інструменту прийнятий надтвердий композит на основі кубічного нітриду бору «киборит», який має високу працездатність при точінні загартованих сталей [5].

Таблиця 1 – Теплофізичні та механічні властивості матеріалів елементів моделі

Матеріал	Покриття TiAlN	ПКНБ «киборит»
λ , Вт/мК	5	100
C_p , Дж/кгК	640	760
ρ , кг/м ³	$4,6 \cdot 10^3$	$3,48 \cdot 10^3$

В процесі моделювання вирішувалася двовимірна лінійна нестационарна задача теплопровідності. Граничні умови для моделі схематично показані на рис. 1, *a*. На бічну поверхню стружки і контактну поверхню інструменту діють теплові потоки від деформації в площині зсуву $q_0 = \tau_d \cdot v_d$ і від тертя на передній поверхні $q_1 = \tau \cdot v_c$, де v_d і v_c – швидкість деформації і швидкість стружки відповідно, τ_d і τ – значення межі текучості оброблюваного матеріалу в залежності від температури.

Наведені теплові потоки розраховувались на відкаліброваній моделі розрахунку температури різання і варіювались для отримання температур в діапазоні 800–1200 °С.

На вільних поверхнях різального інструменту і стружки були прийняті граничні умови 3 роду – $\alpha_e(\theta_n - \theta_c) = \lambda \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)$. Усереднена величина ефективного коефіцієнту тепловіддачі приймалась для зазначених елементів моделі рівною $\alpha_e = 50$ Вт/(м²·К). Температуру навколишнього середовища прийmemo рівній 20 °С.

В двох контрольних точках на опорній частині інструменту в якості граничних умов були прийняті температури 200 і 165 °С відповідно, визначені при точінні загартованої сталі зі швидкістю різання 1,3 м/с. З огляду на те, що в стружці існує градієнт швидкостей переміщення

матеріалу з мінімумом в приконтактній області і максимумом на її вільній поверхні (рис. 1, б), модель стружки розділена на шари, швидкість руху яких дорівнює відповідно 0,4 v_c , 0,6 v_c , 1,0 v_c . Для розрахунків прийємо величину усадки стружки рівній 2, якій при швидкості 1,3 м/с відповідає швидкість стружки $v_c = 0,65$ м/с.

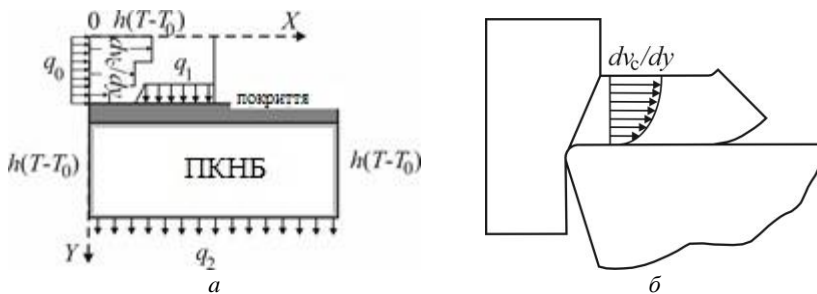


Рисунок 1 – Граничні умови при розрахунку температурного градієнта в різальному інструменті з покриттям (а), швидкість переміщення матеріалу в шарах стружки (б)

Переміщення стружки вздовж контактної поверхні імітуємо за допомогою опції KEYOPT8 елемента PLANE55, що дозволяє врахувати перенесення маси в області, де задані елементи даного типу.

Розміри моделі: товщина покриття 10 мкм, довжина та висота робочої частини різального інструменту (розміри різальної пластини з ПКНБ) 12 мм та 4 мм відповідно, ширина та товщина стружки 0,8 мм та 0,2 мм відповідно.

Отримані результати. На рис. 2 показано зміну градієнта температурного поля в різці зі зміною швидкості різання від близької 0 до 1 м/с.

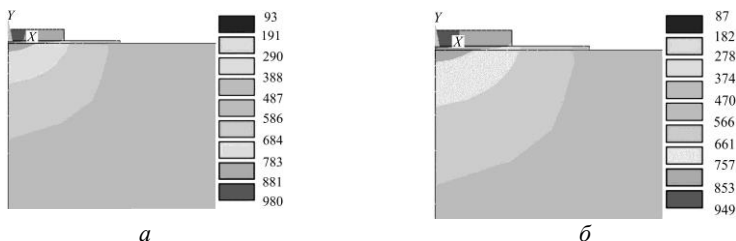


Рисунок 2 – Зміна градієнта температури в різальному інструменті при швидкості різання:

$a - v$ близька 0; $b - v = 1,0$ м/с

Як видно, збільшення швидкості різання приведе до зниження температурного градієнта, що пов'язано зі зменшенням коефіцієнта тертя, а також сили різання.

На рис. 3, *а* показані залежності температури від координати вздовж осі *Y* в позитивному напрямку від точки 0 (рис. 1, *а*) для покриттів з теплопровідністю $\lambda = 5, 15, 30, 60$ Вт/мК.

Перегини графіків відповідають точкам переходу від стружки до покриття і від покриття до основи. На цих ділянках відбувається падіння температури обумовлене теплопровідністю покриття.

Можна відмітити яскраво виражене падіння температури в інструменті в тому випадку, коли коефіцієнт теплопровідності покриття становить 5 Вт/мК. При коефіцієнті теплопровідності покриття $\lambda = 60$ Вт/мК такий ефект майже не спостерігається. Також відзначимо більш високу температуру на поверхні покриття з теплопровідністю $\lambda = 5$ Вт/мК при інших рівних умовах – 900 і 833 °С відповідно. Величини падіння температури в покритті в залежності від його теплопровідності і максимальної контактної температури показані на рис. 3, *б*.

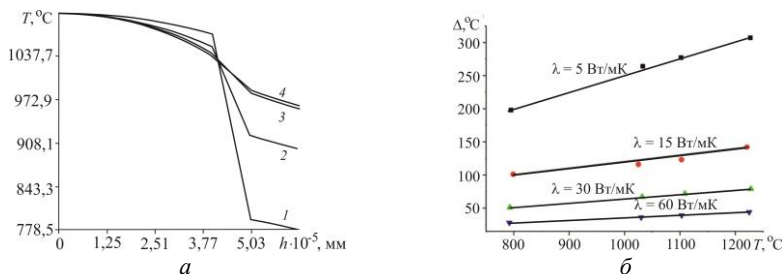


Рисунок 3 – Зміна градієнта температури в інструменті із покриттям в залежності від його теплопровідності (*а*) (1 – 5 Вт/мК; 2 – 15 Вт/мК; 3 – 30 Вт/мК; 4 – 60 Вт/мК), вплив коефіцієнта теплопровідності покриття і температури різання на різницю температур в точках, розташованих на покритті і на поверхні розділу системи «основа з ПКНБ – покриття» (*б*)

Потрібно відмітити, що при характерних для твердого точіння умовах обробки, температура різання інструментом з ПКНБ складає звичайно 900–1200 °С [6].

Для даних температур, теплозахисні властивості, що зумовлюють зниження теплового навантаження в діапазоні 100–300 °С в основі інструменту з ПКНБ, забезпечується тільки покриттям з теплопровідністю $\lambda = 5\text{--}15$ Вт/мК (рис. 3, *б*). У разі, якщо коефіцієнт теплопровідності покриття вище (15 Вт/мК), такий матеріал здійснює мінімальний вплив на температуру

на поверхні розділу системи «основа з ПКНБ – покриття», не дивлячись на те, що величина теплопровідності композиту ПКНБ набагато більша.

Висновок. Захисне покриття має суттєвий вплив на градієнт температури в різальному інструменті з надтвердого композиту ПКНБ в тому випадку, коли коефіцієнт теплопровідності покриття не перевищує 15 Вт/мК. Такі покриття обумовлюють зниження температури на поверхні розділу системи «основа з ПКНБ – покриття» при точінні загартованої сталі на 100-300 °С. Збільшення теплопровідності покриття зніжує його теплозахисний ефект по відношенню до матеріалу основи різального інструменту.

References: 1. *Novikov N. V., Klimenko S. A.* Instrumental'noe obespechenie progressa mehanooobrotki v mashinostroenii. *Tehnologicheskie sustemy*, 2010, no. 1(50), pp. 69–74; 2. *Coelho R. T., Ng E.-G., Elbestawi M. A.* Tool wear when turning hardened AISI 4340 with coated PCBN tools using finishing cutting conditions. *Inter. J. of Machine Tools and Manufacture*, 2007, 47(2), pp. 263–272; 3. *Rech J., Kusiak A., Battaglia J. L.* Tribological and thermal functions of cutting tool coatings. *Surf. and Coat. Technol.*, 2004, 186(3), pp. 364–371; 4. *Verestchaka A. S., Verestchaka A. A.* Nekotorye metodologicheskie printcipy sozdaniya funktsional'nyh pokrytii dlja rezhutshchego instrumenta. *Suchasni tehnologii v mashinibuduvanni*. Kharkiv, 2010, vyp. 4, pp. 97–122; 5. *Novikov N.V., Klimenko S.A. (eds.)* Instrumenty iz sverhtverdyh materialov. – Moskow, Mashinostroyeniye Publ., 2014, 608 p.; 6. *Klimenko S. A. (ed.)*. Vysokoproizvoditel'naya chistovaya lezviynaya obrabotka detaley iz staley vysokoy tverdoshti. – Kyiv, ISM im. V. N. Bakulya NAN Ukrainy Publ., 2018, 304 p.

Andriy Manokhin, Sergiy Klymenko, Kyiv, Ukraine

THE INFLUENCE OF COOLING CONDUCTIVITY ON THE CHANGE OF TEMPERATURE GRADIENT IN THE PCBN TOOL

Abstract. A model analysis of the effect of thermal conductivity of the TiAlN protective coating on the temperature gradient in a tool equipped with a super-rigid kaborite composite was performed in the processing of hardened steel. The finite element method solved a two-dimensional linear non-stationary problem of thermal conductivity with boundary conditions of the 3rd kind. At the control points on the support part of the tool as the limit conditions to take the temperatures determined when turning hardened steel with a cutting speed of 1.3 m/s. Given the presence of a gradient of material velocities, the chip model is divided into layers with different speeds. The amount of shrinkage of the chips is taken 2, which corresponds to the chip speed $v_c = 0.65$ m/s. The movement of the chips along the contact surface of the tool was simulated taking into account the mass transfer in the region where the elements were specified. It is shown that increasing the cutting speed leads to a decrease in the temperature gradient in the tool, which is associated with a decrease in the friction coefficient, as well as the cutting force. The magnitude of the temperature drop in the coating depends on its thermal conductivity and the maximum temperature on the contact surface of the tool. It was found that the protective coating has a significant effect on the temperature gradient in the cutting tool of the superhard PcBN composite in the case when its coefficient of thermal conductivity of the coating does not exceed 15 W/mK. Such coatings cause a decrease in the surface temperature of the section of the system «basis of PcBN coating» when turning hardened steel at 100–300 °C. If the coefficient of thermal conductivity of the coating is higher than 15 W/mK, it has a minimal effect on the temperature on the surface of the section of the system «basis of PcBN coating», despite the fact that the value of thermal conductivity of the composite PcBN much more.

Keywords: thermal field; superhard composite; protective coating; thermo protective effect; cutting tool.