

МАНОВИЦЬКИЙ О.С., КЛИМЕНКО С.А., МАНОХІН А.С.

ПОРІВНЯННЯ ЗНОСУ ФРЕЗ З ПНТМ ПРИ ОБРОБЦІ АБРАЗИВНОГО ПОЛІМЕРНОГО КОМПАУНДУ

В статті розглядаються результати дослідження з вивчення зносу торцевих фрез, оснащених, при обробці абразивного полімерного компаунду, що складається з кварцового дрібнозернистого піску та епоксидно-діанової смоли. Показано вплив марки ПНТМ на зношування, інтенсивність зношування та стійкість торцевих фрез, оснащених надтвердими композитами. Встановлено, що превалюючий механізм зношування інструменту при обробці такого композиту – абразивне зношування. Досліджено залежності характеристик зношуваності та стійкості різального інструменту від швидкості різання.

Ключеві слова: торцеве фрезерування, ПНТМ, полімерний компаунд, інтенсивність зношування, стійкість різального інструменту, швидкість різання.

O. S. MANOVITSKY, S. A. KLIMENKO, A. S. MANOKHIN

REPAIR OF THE WEAR OF THE MILLS WITH PNTM WHEN PROCESSING THE ABRASIVE POLYMERIC COMPOUND

In the article, the results of the analysis of wear and tear of face milling cutters, equipped with an abrasive polymer compound, which are composed of quartz fine-grained sand and epoxy-diane resin, are shown. It has been established that the prevailing mechanism of tool wear during the processing of such a composite is abrasive wear. The reliability of the characteristics of wear and tear resistance of the cutting tool in the form of a sharpness of cutting was assessed.

Key words: end milling, PNTM, polymer compound, wear intensity, cutting tool durability, cutting speed.

Вступ. Значний вплив на кількісні показники, що характеризують зношувність торцевих фрез, мають властивості матеріалу, яким оснащений різальний інструмент. В зоні різання має місце циклічне термобаричне навантаження інструменту, що обумовлює досить значний вплив на зношувність і стійкість торцевих фрез. Використання абразивного полімерного компаунду (ПК), який складається з кварцового дрібнозернистого піску (80 об. %) та епоксидно-діанової смоли КДЖ-5-20 ТУ 2225-597-11131395-01 і є важкооброблюваним матеріалом з позиції абразивного впливу на інструмент, значною мірою скорочує і здешевлює експериментальні дослідження порівняльної абразивної зносостійкості різальних інструментів, оснащених різними марками полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ). Його використання дозволяє мінімізувати або виключити з розгляду такі механізми контактної взаємодії в зоні різання, як адгезійний, дифузійний і хімічний знос, що мають місце при фрезеруванні залізо-вуглецевих та інших сталей і сплавів інструментами з ПНТМ.

Надтверді композити на основі кубічного нітриду бору та синтетичного алмазу мають різну твердість та різальну здатність. Співвідношення твердості та інших фізико-механічних характеристик оброблюваних та інструментальних матеріалів дуже відчутно позначаються на зношуванні та стійкості торцевих фрез.

Найбільший вплив на працездатність різального інструменту здійснює швидкість різання, як один з найголовніших технологічних параметрів процесу різання та продуктивності фрезерування, тому визначення відповідних залежностей має надзвичайно важливе значення для вибору оптимальних значень цього показника.

Метою даної роботи було дослідження порівняльних залежностей зношувності та стійкості різального інструменту від швидкості різання для різних марок ПНТМ про торцевому фрезеруванні абразивного полімерного компаунда.

Методика досліджень. Обробка проводилася на універсально-фрезерному верстаті мод. 675П однозубою фрезою діаметром 150 мм, що була оснащена різальними елементами круглої форми RNMN 070300 із надтвердих композитів (ПНТМ) на основі кубічного нітриду бору (ПННБ) і синтетичного алмазу [1, 2]. Режими різання були наступними: швидкість різання $v = 3,9\text{--}12,6$ м/с, подача на зуб фрези $S_z = 0,05$ мм/зуб, глибина різання $t = 0,5$ мм. Величина зносу інструменту визначалася шириною фаски зносу по задній поверхні h_3 , що вимірювалася інструментальним мікроскопом ММІ 2.

Стійкість торцевих фрез визначалася за методикою проведення прискорених стійкісних випробувань [3], яка дозволяє визначити інтенсивність приробітного і сталого зносу інструменту при роботі з усіма швидкостями різання в обраному діапазоні. Для її реалізації було застосовано таку процедуру: – завдання площі поверхні, яку потрібно обробити фрезеруванням; – визначення вихідного значення зносу інструменту до першого проходу $h_3^{K_{11}}$; – здійснення першого проходу інструменту зі швидкістю v_1 ; – визначення значення зносу інструменту $h_3^{K_{11}}$ після першого проходу інструменту зі швидкістю v_1 ; – здійснення обробки зі швидкістю v_n ; – визначення значення зносу інструменту $h_3^{K_{1n}}$ за першій прохід інструменту зі швидкістю v_n ; – здійснення другого проходу інструменту зі швидкістю v_1 ; – визначення значення зносу інструменту $h_3^{K_{21}}$ за другий прохід інструменту зі швидкістю v_1 ; – здійснення другого проходу інструменту зі швидкістю v_2 ; – визначення значення зносу інструменту $h_3^{K_{22}}$ при другому проході інструменту зі швидкістю v_2 ; – здійснення i -го проходу інструменту зі швидкістю v_i ; – визначення значення зносу інструменту $h_3^{K_{ij}}$ при i -му проході інструменту зі швидкістю v_j .

Наведена процедура застосовувалася послідовно до тих пір, поки на кожній швидкості різання не досягався режим постійного сталого зносу $h_3^{K_{ij}} = 0,15\text{--}0,20$ мм.

Для визначення інтенсивності зношування час кожного проходу для кожної швидкості різання розраховувався за такою формулою:

$$\tau_i^j = \frac{A_{0nji}}{B \cdot S_{i\min}^j},$$

де τ_i^j – час, хв. i -го проходу для j -ої швидкості різання ($i = 1-n$; $j = 1-5$ у нашому випадку стійкісних випробовувань); A_{0nji} – площа обробленої поверхні для відповідного проходу, мм²; B – ширина фрезерування, мм; $B = 0,8d_\phi$ (d_ϕ – діаметр фрези, мм; $S_{i\min}^j$ – подача за хв. для відповідного проходу з певною швидкістю, мм/хв.

Інтенсивність зношування для кожного різального елемента фрези з ПНТМ розраховувалась за формулою:

$$I_{ij} = \frac{h_{zij}^k - h_{zij}^n}{\tau_{ij}},$$

де I_{ij} – інтенсивність зношування мм/хв. для i -го проходу для j -ої швидкості різання; $i = 1-n$; $j = 1-5$ у нашому випадку стійкісних випробовувань; h_{zij}^k – значення зносу інструменту для відповідного проходу і швидкості різання, мм; h_{zij}^n – вихідне значення зносу інструменту для відповідного проходу і швидкості різання, мм; причому $h_{zij}^n = h_{zij}^k$.

Для визначення стійкості розраховане середнє значення величини зносу інструменту для кожної швидкості різання і кожного проходу:

$$h_{зспij} = \frac{h_{zij}^k + h_{zij}^n}{2}.$$

Стійкість фрези ΔT_{ij} , розрахований на один прохід для j -ої швидкості різання розраховано за формулою:

$$\Delta T_{ij} = \frac{h_{зспij} - h_{зсп(i-1)j}}{2} \left(\frac{1}{I_{(i-1)j}} + \frac{1}{I_{ij}} \right)$$

де I_{ij} – інтенсивність зношування інструменту на i -ому проході для j -ої швидкості різання, мм/хв.; $I_{(i-1)j}$ – інтенсивність зношування інструменту для попереднього переходу та j -ої швидкості різання, мм/хв.; $h_{зсп(i-1)j}$ – середнє значення зносу інструменту для попереднього проходу і j -ої швидкості різання, мм; $h_{зспij}$ – середнє значення зносу інструменту на i -ому проході для j -ої швидкості різання і j -ої швидкості різання, мм.

Загальна стійкість фрези на кожній швидкості різання для кожного проходу інструмента визначалась складанням стійкості на кожному проході для даної швидкості різання:

$$T_{nj} = \sum_{i=1}^n \Delta T_{ij},$$

де T_{nj} – сумарна стійкість фрези на j -ій швидкості різання за n проходів, хв.; n – кількість проходів на j -ій швидкості різання.

Після визначення стійкості фрези на кожній зі швидкостей різання для різних ПНТМ в логарифмічних координатах були побудовані графіки залежності стійкості фрези від швидкості різання та визначені переваги вибору марки матеріалу інструментів з міркувань забезпечення найбільшої стійкості до абразивного зношування.

Для порівняння працездатності інструментів, оснащених різними ПНТМ, треба визначити їхню стійкість при однакових значеннях зносу різального елемента фрези по задній поверхні на етапі формування сталого зносу. З огляду на ту обставину, що критерієм допустимого використання частково зношеного інструмента при фрезеруванні більшості загартованих залізо-вуглецевих та інших важкооброблюваних сплавів є знос по задній поверхні, що дорівнює ширині фаски $h_3 = 0,4$ мм, а умовою переходу до періода сталого зносу є значення $h_3 = 0,15 - 0,20$ мм, приймаємо за однакове значення зносу інструментів по задній поверхні – $h_3 = 0,3$ мм.

Згідно результатам багатьох дослідів та практики застосування ПНТМ у промисловій механообробці, стійкість таких фрез достатньо висока, а в періоді сталого зносу інтенсивність зношування – постійна. Стійкість фрез, у цьому випадку, до критерія зношування $h_3 = 0,3$ мм визначалась алгебраїчною екстраполяцією, правомірність застосування якої доведена в [4]:

$$T_{0,3j} = \frac{(T_{nj} - T_{(n-1)j}) \cdot (0,3 - h_{спnj})}{h_{спnj} - h_{сп(n-1)j}},$$

де $T_{0,3j}$ – стійкість фрези на j -ій швидкості різання до досягнення величини зносу по задній поверхні $h_3 = 0,3$ мм, хв.; T_{nj} – стійкість фрези на j -ій швидкості різання за n проходів хв.; $T_{(n-1)j}$ – стійкість фрези на j -ій швидкості різання за $n-1$ проходів хв.; n – кількість проходів на j -ій шдкості різання; $h_{спnj}$ – середній знос по задній

поверхні на n -му проході з j -ою швидкістю різання, мм; $h_{cp(n-1)j}$ – середній знос по задній поверхні на $(n-1)$ -му проході з j -ою швидкістю різання, мм.

Результати досліджень. На рис. 1, а, б приведено графіки залежності зносу торцевих фрез з композитами на основі кубічного нітриду бору «Киборит» та «Гексанит Р» по задній поверхні від часу обробки та швидкості різання при фрезеруванні ПК з постійно-заданим перетином зрізу. Аналіз наведеного показує, що збільшення швидкості різання суттєво інтенсифікує абразивне зношування торцевої фрези, оснащеної ПКНБ «Киборит».

Як видно з наведених результатів, залежності зносу фрез з ПКНБ від швидкості різання свідчать, що інструменти в композитом «Киборит» є більш зносостійкими у порівнянні з інструментами, оснащеними композитом «Гексанит Р». Проте, слід зазначити, що за зносостійкістю інструменти, оснащені ПКНБ, поступаються фрезам з надтвердими композитами на основі синтетичного алмазу. На рис. 1, в наведені результати досліджень стійкості інструментів, оснащених алмазно-твердомплавними пластинами (АТП). Більша зносостійкість таких інструментів при обробці абразивного матеріалу (ПК) (рис. 2, а) обумовлена більшою твердістю композиту на основі алмазу, яким оснащені фрези.

Важливою характеристикою працездатності торцевих фрез з ПНТМ є інтенсивність їх зношування в залежності від швидкості різання. За отриманими експериментальними даними вибудовано порівняльні графіки залежності інтенсивності зношування інструментів, оснащених ПНТМ (ПКНБ «Киборит», «Гексанит Р» та АТП) від швидкості різання (рис. 2)

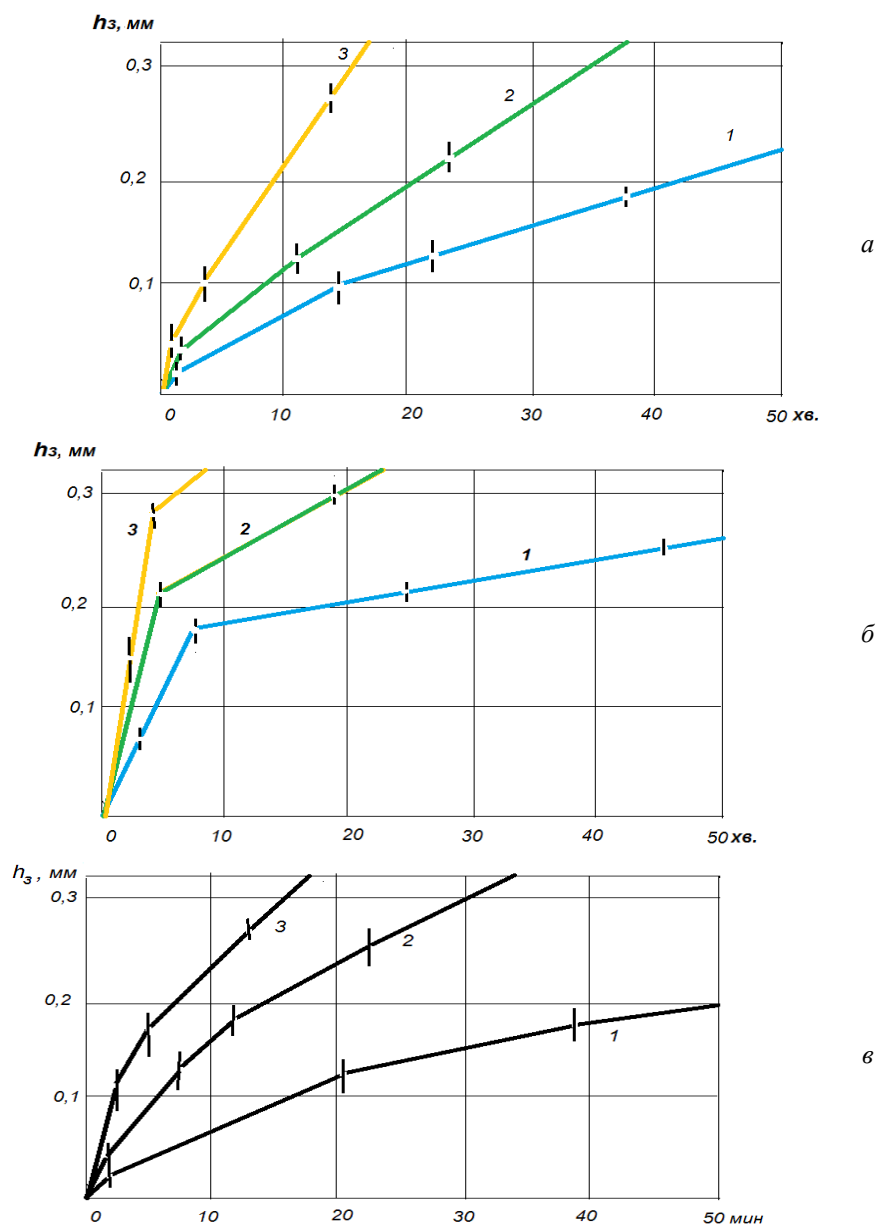


Рис. 1 – Залежність зносу торцевих фрез з ПКНБ «Киборит» (а), «Гексанит Р» (б) та АТП (в) по задній поверхні від часу обробки ($1 - v = 3,9$ м/с; $2 - v = 6,3$ м/с; $3 - v = 9,8$ м/с)

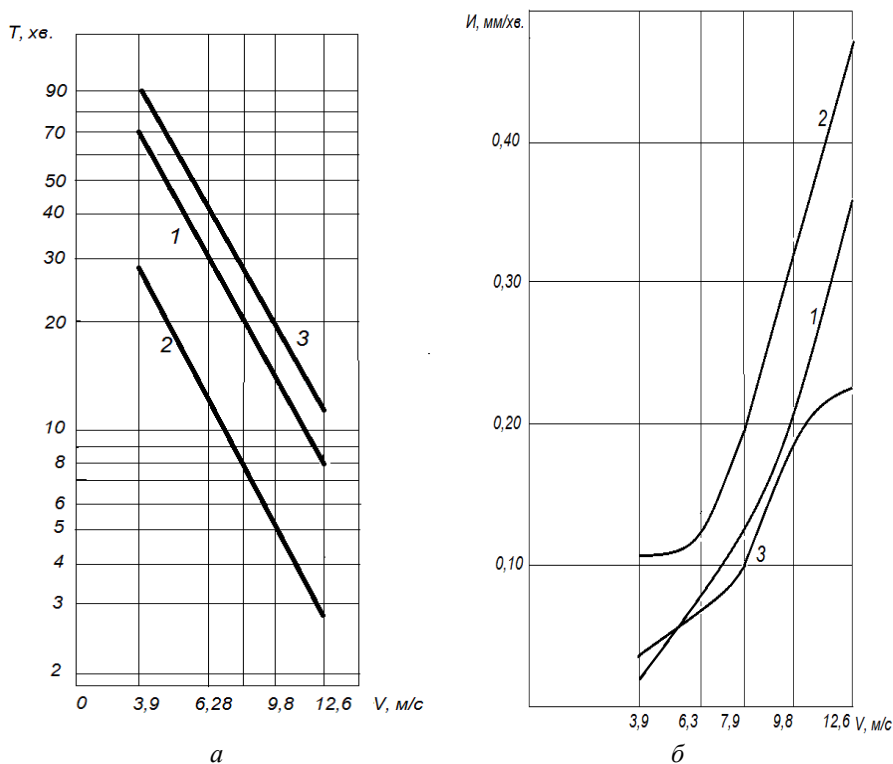


Рис. 2 – Залежність стійкості (а) та інтенсивності зношування (б) торцевих фрез із з ПНТМ «Киборит», «Гексаніт Р» (2) і АТП (3) від швидкості різання при торцевому фрезеруванні ПК ($S_z = 0,05$ мм/зуб, $t = 0,5$ мм)

З аналізу отриманих результатів можна прийти до висновку, що фреза з ПКНБ «Гексаніт Р» має більшу інтенсивність зношування у порівнянні з інструментом, оснащеним ПКНБ «Киборит», останній за цим показником є більш працездатним при обробці абразивного полімерного компаунду (кварцевий пісок – 80%, епоксидно-діанова смола КДЖ-5-20 – 20%) приблизно в півтори рази. Що стосується фрез з АТП, то цей інструмент має найвищу серед порівнюваних зносостійкість, проте на низьких швидкостях такий інструментальний матеріал зношується навіть трохи інтенсивніше, ніж фреза з ПКНБ «Киборит».

Список літератури

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н. В. Новикова, С. А. Клименко. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с.
2. Беженарь, Н. П. Синтез и спекание сверхтвердых материалов для производства инструментов / Н. П. Беженарь, А. А. Бочечка, Г. Д. Ильницкая и др.; под общ. ред. П. А. Витязя, В. З. Туркевича – Мн. : Беларуская навука, 2021. – 337, [1] с.
3. Макаров, В. Ф. Методика прискорених стійких випробувань інструментів при різанні / Тр. Рибінський авіац. техн. ін-т // В. Ф. Макаров. – 1975. – № 3. – С. 176–183.
4. Taylor, J. The estimation of tool life equation by extrapolation / Proc. 18th Int. Mach. Tool Des. & Res. Conf. // J. Taylor. – London, 1978. – P. 379–385.

References (transliterated)

1. *Sintez i spekanie sverkhтверdykh materialov dlya proizvodstva instrumentov* / pod obshh. red. P. A. Vityazy, V. Z. Turkevicha – Minsk : Belarus'ka navuka, 2021. – 337, [1] s.;
2. *Instrumenty` iz sverkhтверdykh ma`terialov* / pod red. N. V. Novikova, S. A. Klimenko. – Moskva : Mashinostroenie, 2014. – 608 s.;
3. *Huang, Y. Predictive Modeling of Tool Wear Rate with Applications to CBN Hard Turning* : PhD Dissertation / Y. Huang. – Georgia : Georgia Institute of Technology, 2002.

Поступила (received) 10.04.2022.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мановицький Олександр Степанович (Manovitsky Oleksandr) – старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України., 04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2. +38050 331-19-22

Клименко Сергій Анатолійович (Klimenko Sergiy Anatoliyovich) – заступник директора з наукової роботи, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України., чл.-кор. НАН України, доктор технічних наук, професор, , 04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2. +38050 331-19-22 <https://orcid.org/0000-0003-1464-3771>

Манохін Андрій Сергійович (Manokhin Andriy Sergiyovich) – старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, старший дослідник, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, 04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2. +38050 331-19-22 <https://orcid.org/0000-0003-1479-8482> УДК 621.923