

Г.М. Виговський, к.т.н., проф.

О.А. Громовий, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

### ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ, ОСНАЩЕНИХ НАДТВЕРДИМИ МАТЕРІАЛАМИ

*Представлено результати експериментальних досліджень зносостійкості торцевих фрез оснащених надтвердими матеріалами при чистовій обробці деталей із сірих чавунів та загартованих сталей, чорновій обробці плоских поверхонь деталей із сірого чавуну.*

**Ключові слова:** торцева фреза, надтверді матеріали, чистова обробка, зносостійкість.

**Постановка проблеми.** Корпуси механізмів, приладів, апаратів, а також опори, рами, станіни становлять більше 13 % масиву продукції машинобудування і металообробки. Матеріалом цих деталей є високоміцний чавун (більше 62 %) і загартована сталь (більше 17 %).

При цьому вимоги до точності обробки не перевищують V–VI квалітета для точності форми (ГОСТ 24643-81) і шорсткості поверхні деталі  $R_a = 0,63–2,5$  мкм.

Для забезпечення підвищеної продуктивності їх обробки застосовуються торцеві фрези, оснащені надтвердими матеріалами (НТМ).

Стійкість торцевих фрез визначається комплексом параметрів режимів різання, геометрією різальних ножів, типом матеріалу різальної частини ножів тощо. Аналіз впливу цих факторів на стійкість різального інструменту виконаний в роботах [1–10], однак потребує подальшого вивчення.

В зв'язку з цим, **мета** даної роботи полягає в подальшому вивченні особливостей зношування різального інструменту при торцевому фрезеруванні плоских поверхонь деталей.

Робота пов'язана з виконанням НДР Житомирського державного технологічного університету "Розробка науково-прикладних основ забезпечення високопродуктивної зі стабільно високими показниками якості обробки плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом" РК № 0112U001791.

Аналіз досліджень оброблюваності плоских поверхонь безвершинним косокутним торцевим фрезеруванням загартованих сталей (в широкому діапазоні твердості ( $45...48 HRC_E - 56...62 HRC_E$ )) і високоміцних чавунів ( $207...269 HB$ ) гексанітом-Р дозволив встановити фактори, які найбільше впливають на стійкість інструменту:

$$T = f(\alpha, S_z, t, \gamma_n, \alpha_v, r) \quad (1)$$

Дослідженню підлягали торцеві фрези косокутного безвершинного багатоножового ступінчастого різання  $\varnothing 250$  мм. Кількість ножів  $Z = 24$ . Контрольний ніж встановлювався на найменшій відстані від осі фрези та з найбільшим вильотом відносно торця фрези. Інші різальні ножі фрези встановлювалися з меншим вильотом і забезпечували стабільну глибину різання контрольного ножа (рис. 1).

Крім факторів (1), встановлювалися залежності максимальної фаски зносу  $h_c$  за задньою поверхнею та шорсткості  $Ra$  від часу різання  $T$ , довжини шляху різання  $L_p$  і площі обробленої поверхні  $F$ . Розмір  $h_3$  оцінювався шляхом фотографування передньої та задньої поверхонь різальних частин ножів в нормальних напрямках. Забезпечувались умови симетричного фрезерування.

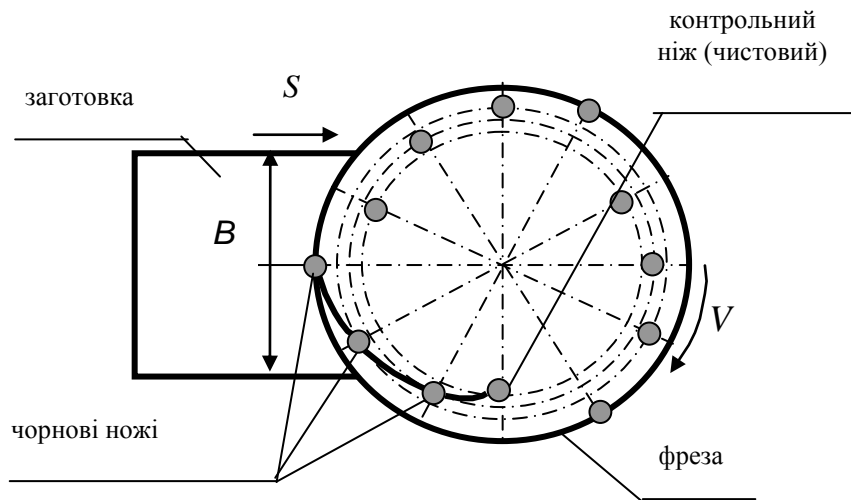


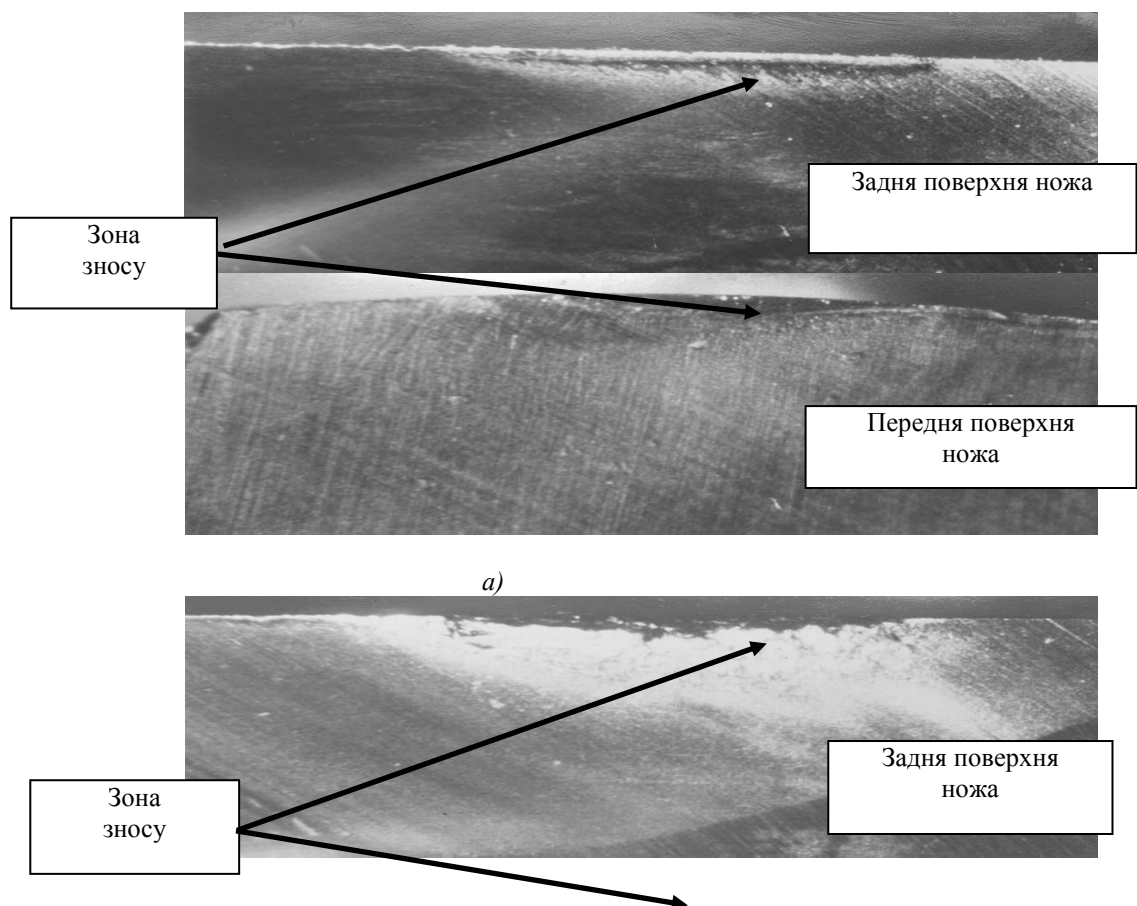
Рис. 1. Схема розміщення ступінчастої фрези відносно заготовки

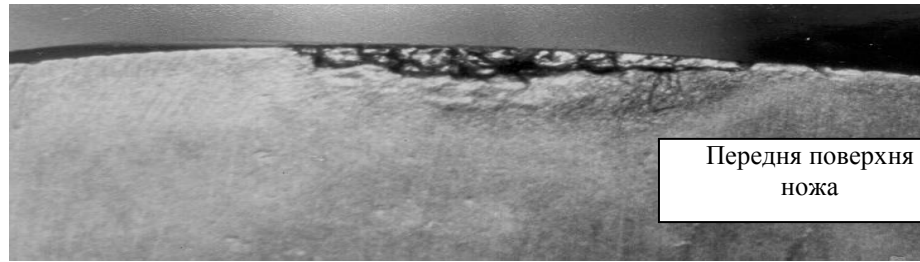
### 1. Дослідження стійкості торцевих фрез при чистовій обробці чавунів.

Проводилося фотографування передньої за задньої поверхні інструмента в нормальних напрямках. Забезпечувалося збільшення об'єкта, що фотографувався, у 30 разів, що підвищувало точність вимірювання фаски зносу. При вивченні зношування задньої поверхні фаска зносу визначалася відносно різальної кромки, що є лінією відліку.

Процес зносу ножів починає інтенсивно протікати вже в початковий період різання (рис. 2) через 30–40 хв. після початку різання. На цьому етапі відбуваються мікрівикришування різального леза, причому частіше в області граничних точок різальної частини ножів. В результаті цього виникають зазублини, які виходять і на передню поверхню. Подальше переміщення зазублин здійснюється вздовж задньої поверхні ножів у напрямку вектора швидкості різання.

Зазублини є концентраторами напружень і тому надалі зношування інструменту здійснюється за рахунок появи нових мікросколів на різальному лезі інструмента. В області зазублин фаска зносу вздовж задньої поверхні більша, ніж для інших точок різального леза, де мікросколи відсутні.





б)

Рис. 2. Знос ножів торцевої фрези при обробці сірого чавуну СЧ21:

 $V = 600 \text{ м/хв.}; S = 0,4 \text{ мм/об.}; t = 0,1 \text{ мм}; \gamma_n = -10^\circ; \alpha_v = 8^\circ; \lambda = -30^\circ; r = 7 \text{ мм};$ 
а) –  $h_c = 0,04 \text{ мм}; T = 24,75 \text{ хв.}; L_p = 4,5 \text{ км}; F = 1,8 \text{ м}^2;$ б) –  $h_c = 0,38 \text{ мм}; T = 345,7 \text{ хв.}; L_p = 78,41 \text{ км}; F = 19,8 \text{ м}^2$ 

При досягненні зазублин значної ( $\approx 100 \mu\text{м}$ ) глибини відбувається викришування більших частин різального матеріалу, а при значеннях  $h_c = 0,3-0,4 \text{ мм}$  це призводить до різкого збільшення шорсткості обробленої поверхні. В окремих випадках мікро- і макровикришування виникають на початковому етапі торцевого фрезерування (рис. 3).

При появі мікросколів знос інтенсифікується на даних ділянках. При цьому спочатку виникають подряпини, які поглиблюються і призводять до появи борозн.

Сколи та мікровикришування здійснюються у напрямку, перпендикулярному до різальних кромки. Поява мікросколів, на наш погляд, може бути пояснена циклічним навантаженням та розвантаженням різальної кромки, що призводить до знакозмінних напружень в об'ємі різального клину.

Інтенсифікувати появу мікросколів та мікровикришувань можуть також термічні напруження, що виникають у процесі різання та холостого пробігу ножів.

Відсутність мікровикришувань та сколів при роботі ножами, які мають оптимальну геометрію, призводить до поступового зносу задньої поверхні, що дозволяє забезпечити необхідну зносостійкість протягом тривалого часу.

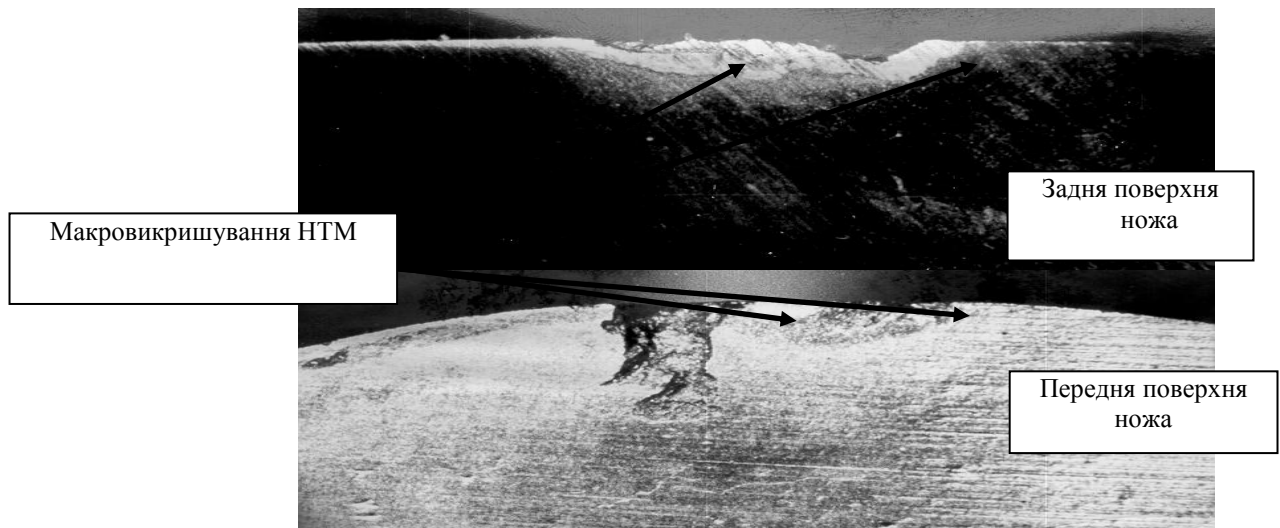


Рис. 3. Макровикришування частин НТМ

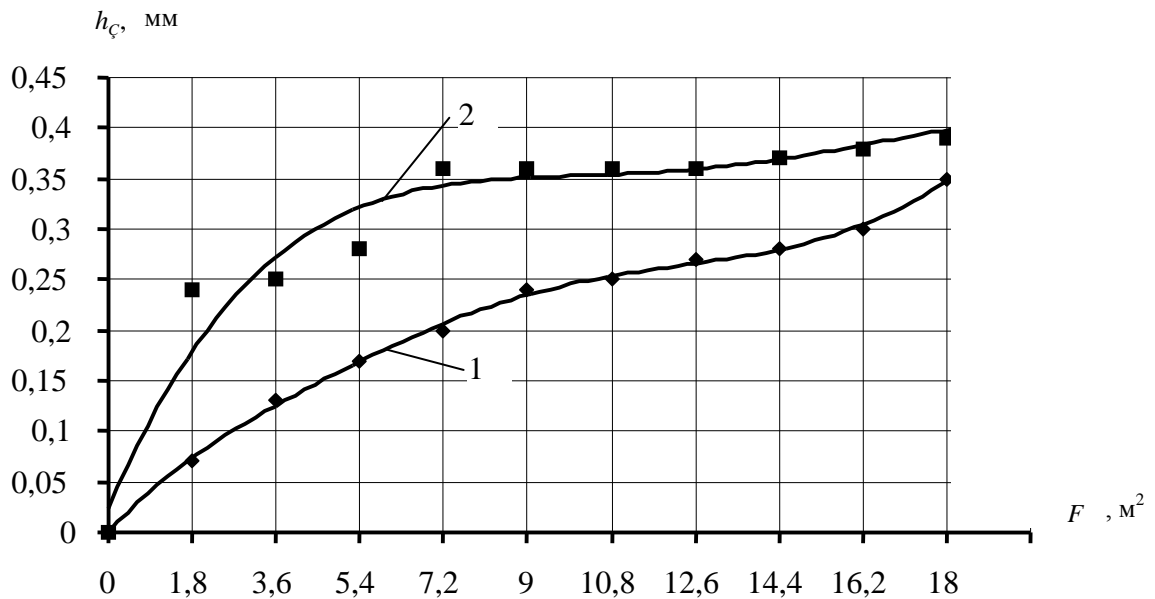


Рис. 4. Залежність фаски зносу задньої поверхні ножів  $h_c$  залежно від площі обробленої поверхні  $F$ :

1 – при  $V = 600$  м/хв.;  $S_z = 0,250$  мм/зуб.;  $\alpha_v = 4^\circ$ ;  $\lambda = -30^\circ$ ;  $r = 13$  мм;

2 – при  $V = 600$  м/хв.;  $S_z = 0,250$  мм/зуб.;  $\alpha_v = 8^\circ$ ;  $\lambda = -50^\circ$ ;  $r = 7$  мм

Крива зносу ножів торцевих фрез, залежно від площі обробленої поверхні  $F$  (рис. 4), має виражені ділянки припрацювання та ділянки нормального зносу з різною інтенсивністю зносу.

На рисунку 5 наведена залежність шорсткості обробленої поверхні від величини фаски зносу  $h_c$ . Крива залежності шорсткості від фаски зносу має характер, подібний характеру, залежності наведеної вище. Характер зношування різальних ножів фрез показує, що лунка на передній поверхні не з'являється, що пояснюється полегшенням умов сходження стружки при застосуванні косокутної геометрії.

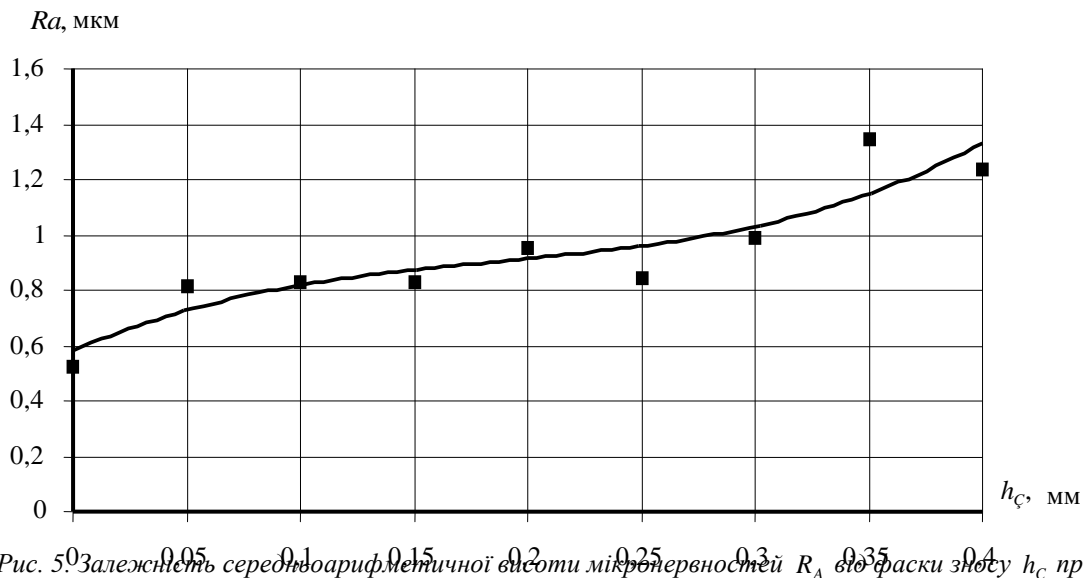


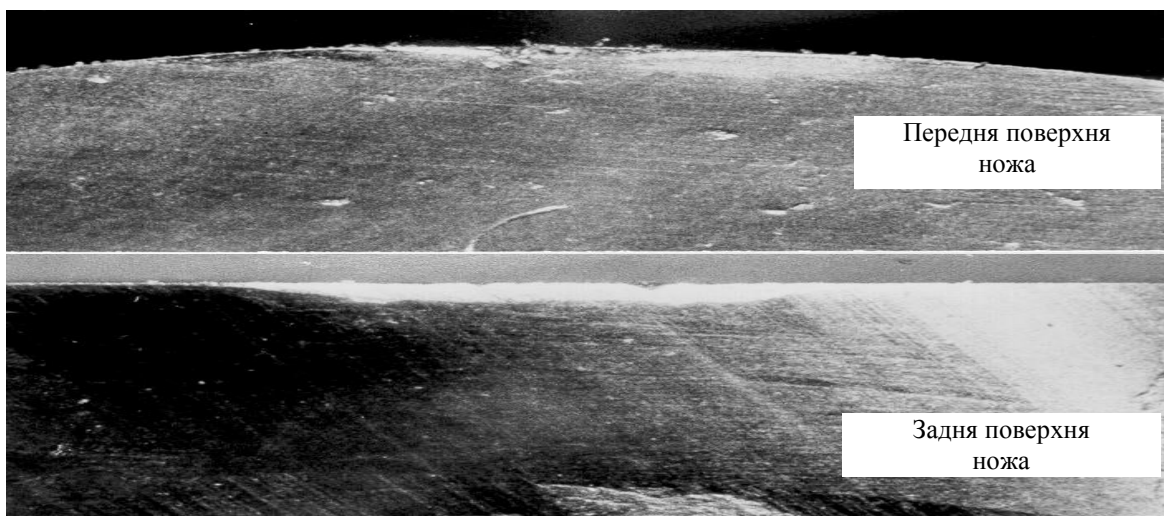
Рис. 5. Залежність середньої арифметичної висоти мікронервностей  $R_A$  від фаски зносу  $h_c$  при  $V = 600$  м/хв.;  $S_z = 0,250$  мм/зуб.;  $\alpha_v = 4^\circ$ ;  $\lambda = -30^\circ$ ;  $r = 13$  мм

За результатами досліджень обробки чавуну та загартованої сталі було встановлено, що найбільше впливають на знос ножів з НТМ (гексанітом-Р) торцевих ступінчастих фрез безвершинної геометрії швидкість різання  $V$ , подача на зуб  $S_z$  та геометричні параметри ножів фрез (задній кут в напрямку вектора швидкості різання  $\alpha_v$ , кут нахилу різальної кромки  $\lambda$ , радіус задньої поверхні  $r$ ). Встановлено, що оптимальними режимами експлуатації торцевих фрез за умови забезпечення найбільшої стійкості при

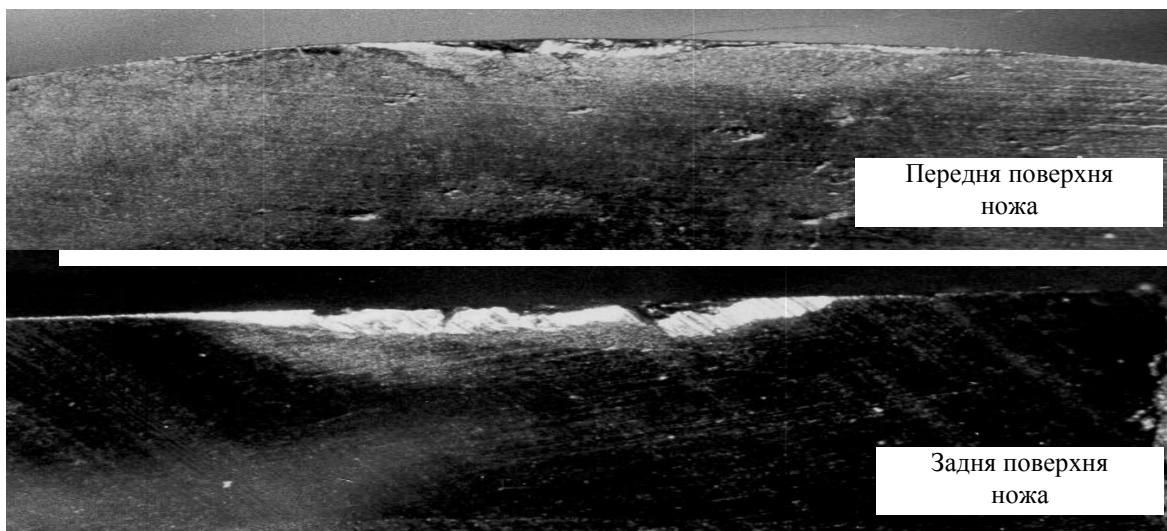
обробці сірого чавуну є: швидкість різання  $V=700$  м/хв.; подача на зуб  $S_z=0,325$  мм/зуб.; задній кут  $\alpha_v=6^\circ$ ; кут нахилу різальної кромки  $\lambda=-45^\circ$ ; радіус задньої поверхні  $r=10$  мм.

Для визначення оптимальних режимів торцевого фрезерування при обробці сталі 45 твердістю 45..48HRC<sub>E</sub> проведені дослідження характеру зносу ножів торцевих фрез залежно від режиму різання, значення геометричних параметрів ножів обрані на основі попередніх досліджень: задній кут  $\alpha_v=6^\circ$ ; кут нахилу різальної кромки  $\lambda=-45^\circ$ ; радіус задньої поверхні  $r=10$  мм. Характер зношування ножів (рис. 6) незначно відрізняється від характеру зношування при обробці чавуну СЧ21. Відмінністю є те, що для неоптимальних режимів різання мікрОВикришування починаються на більш ранній стадії. Перші ознаки мікрОВикришувань з'являються через 30–40 хв. після початку різання.

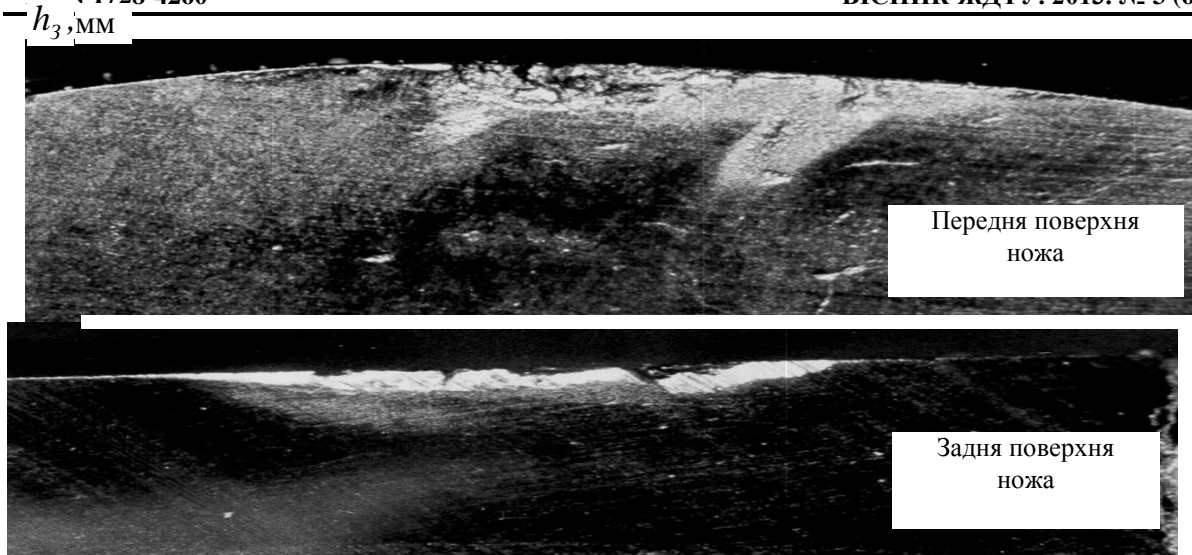
МікрОВикришування різальної кромки виникають у напрямках, перпендикулярних до різальної кромки. МікрОВикришування виходять на передню поверхню. Зношення концентрується на задній поверхні. Фаска зносу розташована у напрямку вектора швидкості різання. При досягненні фаскою зносу розмірів  $h_c=0,2-0,3$  мм інтенсифікуються сколи інструментального матеріалу, що різко підвищує шорсткість обробленої поверхні. При обробці сталі лунка на передній поверхні не виникає і тому про процес зношування ножів з гексаніту-Р торцевих фрез можна судити за величиною фаски зносу вздовж задньої поверхні.



Довжина обробленої поверхні  $L=9,0$  м



Довжина обробленої поверхні  $L=22,5$  мм



Довжина обробленої поверхні  $L = 31,5\text{ м}$

Рис. 6. Динаміка зносу ножів торцевої фрези при обробці сталі 45  $\text{C}45 \dots 48\text{HRC}_{\text{E}}$  при  $V = 251 \text{ м/хв.}$ ;  $S_z = 0,25 \text{ мм/зуб.}$ ;  $t = 0,08 \text{ мм}$

Розгляд характеру зносу ножів при торцевому фрезеруванні показує, що збільшення швидкості різання та глибини різання призводить до підвищеного зносу на початку різання, а далі знос стабілізується (рис. 7). При зростанні фаски зносу висота мікронерівностей збільшується, а при стабілізації зносу практично не змінюється (рис. 8).

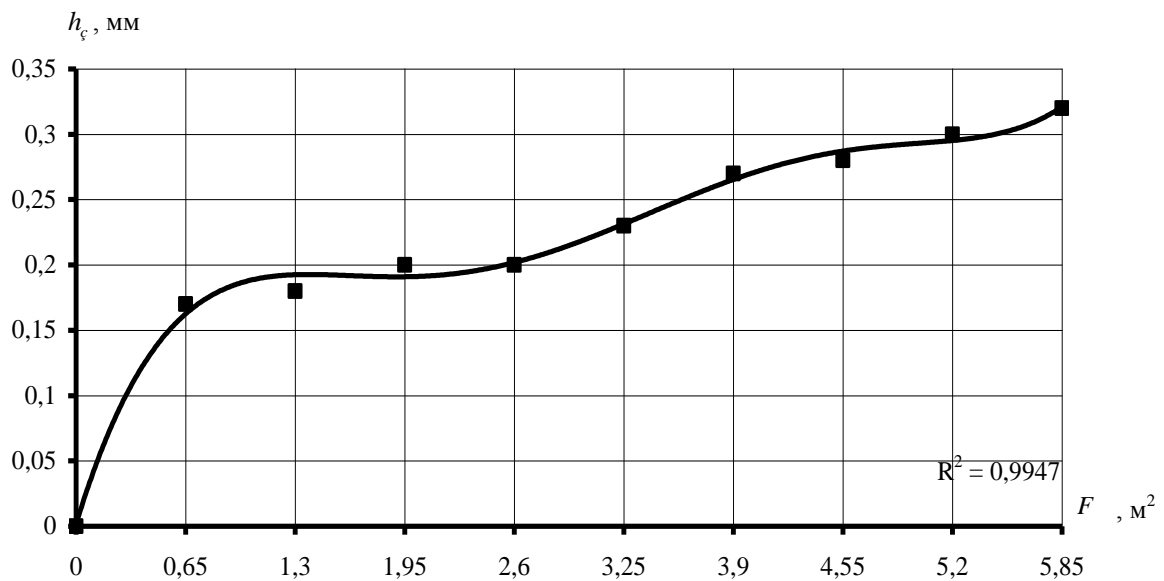


Рис. 7. Залежність фаски зносу задньої поверхні ножів  $h_c$  залежно від площі обробленої поверхні  $F$  при  $V = 314 \text{ м/хв.}$ ;  $S_z = 0,325 \text{ мм/зуб.}$ ;  $t = 0,08 \text{ мм}$ ;  $\alpha_v = 6^\circ$ ;  $\lambda = -45^\circ$ ;  $r = 10 \text{ мм}$

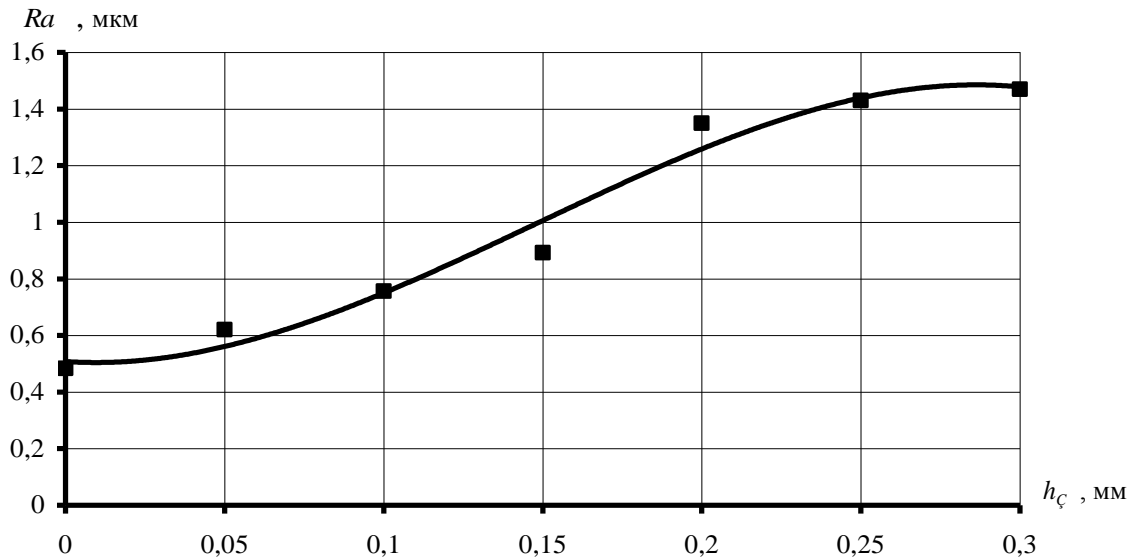


Рис. 8. Залежність середньоарифметичної висоти мікронервностей  $Ra$  від фаски зносу  $h_c$  при  $V = 314$  м/хв.;  $S_z = 0,250$  мм/зуб.;  $t = 0,08$  мм

При мінімальних значеннях глибини різання  $t$  характер зносу змінюється, крива  $h_c = f(\dots)$  має чітко виражену ділянку припрацювання, нормального та катастрофічного зносу (рис. 9).

Дослідження впливу режимних параметрів на характер зносу дозволило встановити, що швидкість різання  $V$ , подача на зуб  $S_z$  та глибина різання  $t$  суттєво впливають на знос ножів косокутної геометрії торцевих фрез з гексанітом-Р.

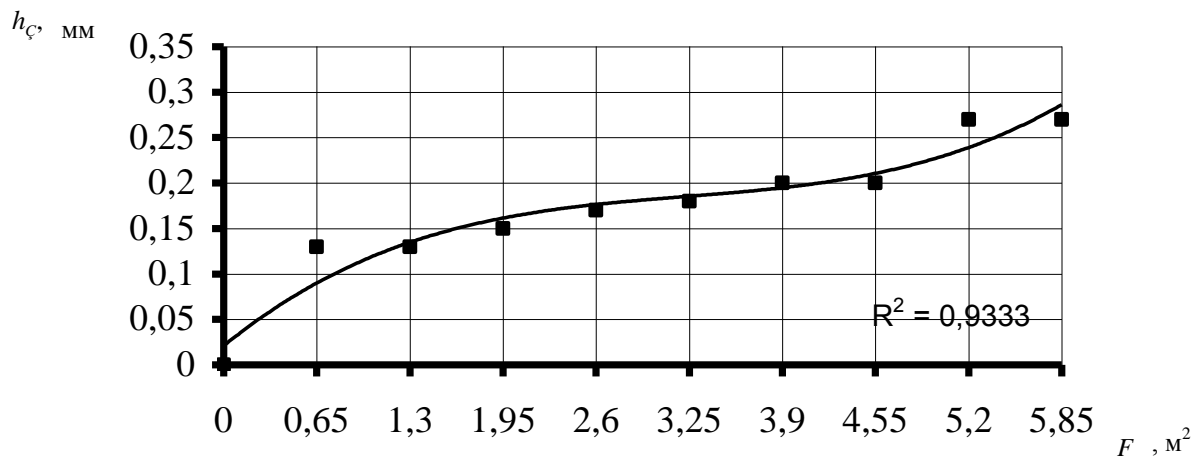


Рис. 9. Залежність фаски зносу задньої поверхні ножів  $h_c$  залежно від площі обробленої поверхні при  $V = 314$  м/хв.;  $S_z = 0,325$  мм/зуб.;  $t = 0,06$  мм

Дослідження оптимальних режимів експлуатації фрез при обробці загартованої сталі 45 дозволило встановити, що оптимальними режимами експлуатації торцевих фрез із застосуванням косокутної геометрії ножів є швидкість різання  $V = 280$  м/хв., подача на зуб  $S_z = 0,25$  мм/зуб; глибина різання  $t = 0,06$  мм, при цьому період стійкості складає до 400 хв. машинного часу при забезпеченні шорсткості поверхні до  $Ra = 1,25$  мкм.

## 2. Дослідження стійкості торцевих фрез при чорновій обробці чавунів.

При чорновій обробці підвищення продуктивності можливе збільшенням обсягів зйому матеріалу в одиницю часу за рахунок використання великих глибин різання. При цьому основним питанням є забезпечення високої зносостійкості при інтенсивних режимах різання. Використання інструментів, оснащених НТМ, дозволяє збільшувати швидкість різання, що для процесу торцевого фрезерування

приводить до лінійного збільшення хвилинної подачі, яка також визначає продуктивність, але при цьому постає питання щодо зносостійкості різального інструмента.

Застосування ступінчастих схем різання при конструюванні торцевих фрез з НТМ дозволяє розширити область їх використання і на чорнові процеси. Однак питання зносостійкості торцевих фрез при обробці чавунів в умовах інтенсифікації режимів різання ( $V > 12$  м/с) та великих глибинах різання вивчені недостатньо. Зокрема, існує ряд даних стосовно степені впливу швидкості різання і подачі на інтенсивність зношування інструменту.

Аналіз [8–10] вказує на те, що необхідними є більш детальні експериментальні дослідження впливу режимів різання на зносостійкість торцевих фрез при чорновій обробці чавунів надтвердими матеріалами, при використанні безвершинної геометрії, і встановлення впливу інтенсифікації режимів на характер зношування і руйнування інструменту, що і являло собою мету роботи.

З метою встановлення впливу швидкості різання  $V$ , подачі на зуб  $S_z$  та глибини різання  $t$  на період стійкості торцевої фрези оснащеної НТМ марки гексаніт-Р при одноножовому фрезеруванні чавуну СЧ 20 при застосуванні косокутної безвершинної геометрії ножа фрези та з метою встановлення характеру зношування та руйнування НТМ проводилися відповідні дослідження. За критерій стійкості приймалася величина фаски зносу по задній поверхні  $h_c = 0,5$  мм, яка є характерною величиною для НТМ при напівчистових та чорнових процесах обробки.

З врахуванням попередньо отриманих результатів досліджень [10] умов ударного навантаження при врізанні ножа торцевої перевірка забезпечення рівня періоду стійкості проводилася при використанні раціональної геометрії. Так, геометричні параметри різальної частини ножа фрези становили: передній кут  $\gamma = -5^\circ$ , кут нахилу головної різальної кромки  $\lambda = -10^\circ$ , радіус при вершині  $r = 3$  мм, загострення задньої циліндричної поверхні проводилося з постійним значенням заднього кута в напрямку швидкості різання  $\alpha = 8^\circ$ .

Попередні розрахунки показали, що для зняття припусків величиною  $t_\Sigma = 6 \dots 10$  мм глибина різання на одному ножі повинна становити  $t_i = 0,75 \dots 1,5$  мм. Згідно з рекомендаціями [10] щодо створення умов раціонального ударного навантаження ножа фрези при врізанні, ефективним є збільшення подачі до величини  $0,2 \dots 0,25$  мм/зуб., тому серед рекомендованого діапазону подач  $0,05 \dots 0,25$  мм/зуб для проведення досліджень інтервал варіювання подачі на зуб приймалася  $S_z = 0,1 \dots 0,25$  мм/зуб. Оскільки було встановлено, що швидкість різання не впливає на вказаний характер навантаження запропоновано змістити діапазон швидкостей різання в зону його більших значень. Рекомендованими значеннями швидкості різання при обробці сірого чавуну вважаються  $V = 8 \dots 12$  м/с [5], однак, згідно з [8], значення швидкості різання мають приймати більші значення і тому при проведенні досліджень вони обирались з діапазону  $V = 14,5 \dots 23,5$  м/с.

В процесі обробки проводилась реєстрація величини фаски зносу по задній поверхні, інтенсивності збільшення фаски в процесі обробки та проводився аналіз зношених, передньої та задньої, поверхонь ножів фрези. Аналіз характеру зношування при проведенні досліджень стійкості фрез показав, що найбільш характерним видом зношування при заданих умовах проведення експерименту є рівномірне зношування по задній поверхні з утворенням, незначної за розмірами, лунки на передній поверхні. Нетиповим видом зношування є утворення сколів з подальшим руйнуванням надтвердого матеріалу, що спостерігалось в умовах максимального навантаження інструменту.

Класифікуючи отримані в процесі обробки види зношування, можливо виділити наступні:

1. Рівномірний характер зношування різальної кромки з подальшим монотонним осипанням кромки (рис. 10.)

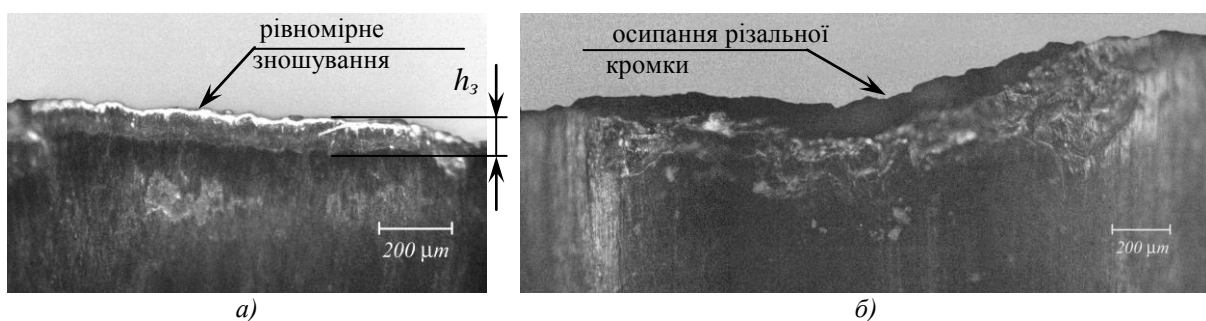




Рис. 10. Характер зношування задньої поверхні ножа фрези  
 ( $V = 14,5$  м/с;  $S_z = 0,25$  мм/зуб.;  $t = 0,75$  мм) 90X:  
 а) рівномірне зношування;  
 б) – обсіпання різальної кромки

2. Утворення мікросколів з їх подальшим ростом при одночасному рівномірному зношуванні кромки (рис. 11).

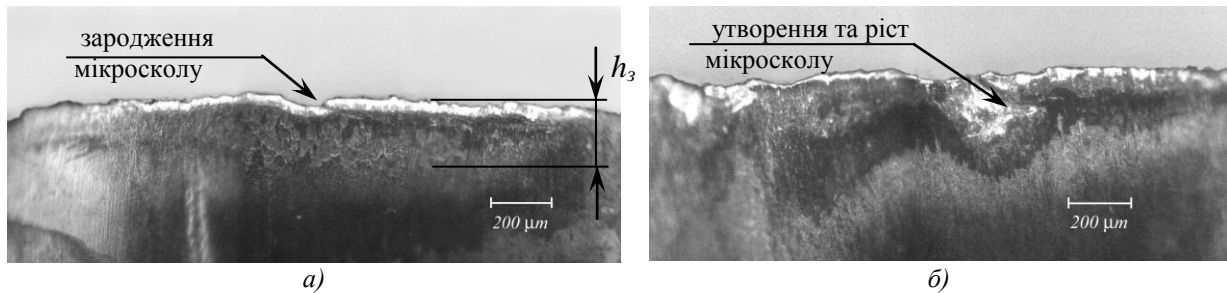


Рис. 11. Характер зношування задньої поверхні ножа фрези  
 ( $V = 23,5$  м/с;  $S_z = 0,1$  мм/зуб.;  $t = 1,5$  мм) 90X:  
 а) зародження мікросколу; б) ріст мікроскопу

3. Утворення мікросколів з їх подальшим інтенсивним розповсюдженням і утворенням макросколу (рис. 12.).

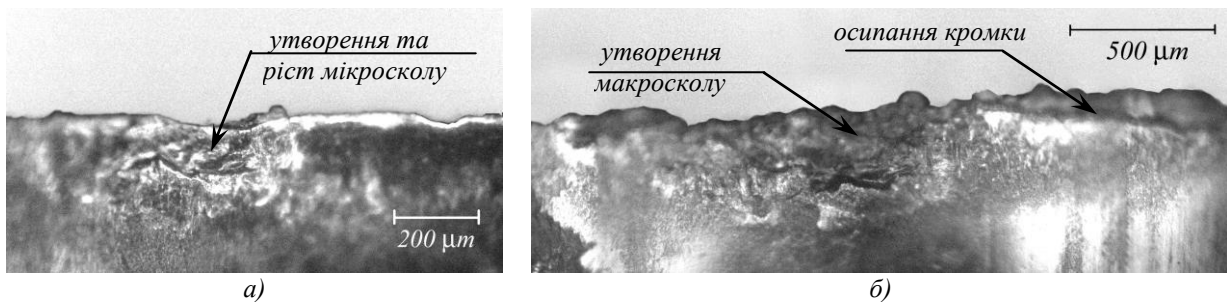
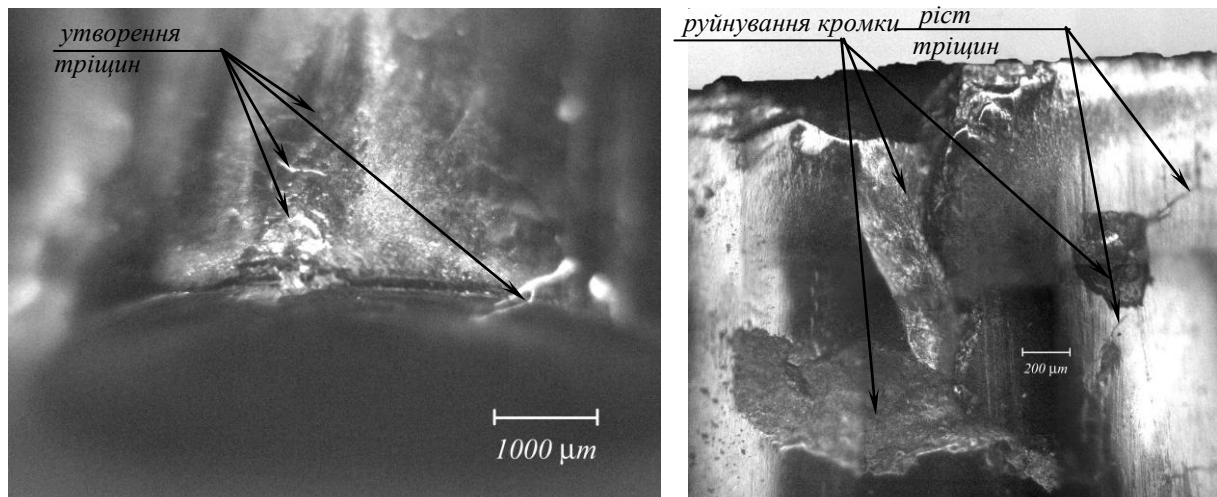


Рис. 12. Характер зношування та руйнування ножа фрези  
 ( $V = 23,5$  м/с;  $S_z = 0,25$  мм/зуб.;  $t = 1,5$  мм) 90X:  
 а) утворення мікросколу;  
 б) творення макросколу та обсіпання кромки

4. Зародження та ріст тріщин на задній поверхні ножа фрези з наступним руйнуванням різального клину інструменту (рис. 13)



а)

б)

Рис. 13. Характер зношування та руйнування задньої поверхні ножа фрези  $V = 23,5$  м/с;  $S_z = 0,25$  мм/зуб.;  $t = 1,5$  мм): а) утворення тріщин  $20X$ ;  
б) ріст тріщин з подальшим руйнуванням кромки  $90X$

5. Макроруйнування різального клину внаслідок його ударного перевантаження та/або перевантаження при сталому різанні з подальшою механічною поломкою (рис. 14).

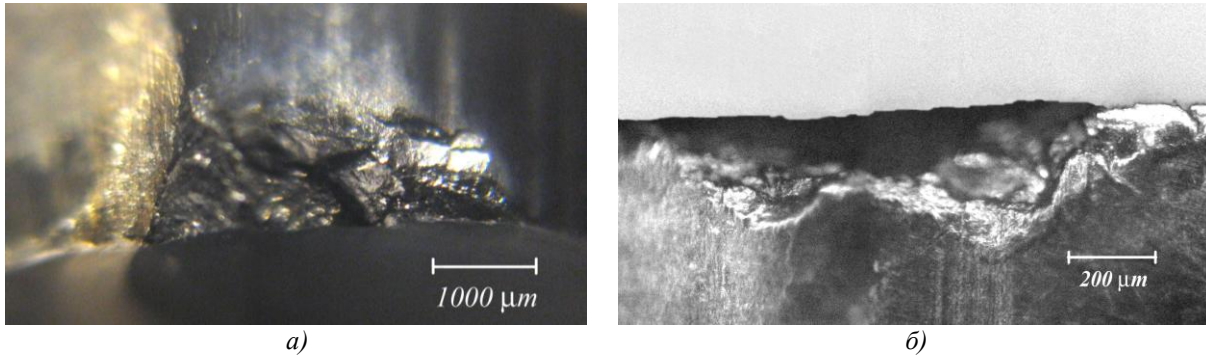


Рис. 14. Характер руйнування різальної частини ножа ( $V = 24,5$  м/с;  $S_z = 0,25$  мм/зуб.;  
 $t = 0,5$  мм;  $\lambda = +5^\circ$ ;  $r = 3,5$  мм;  $\gamma = -10^\circ$ ): а) викривлення  $20X$ ;  
б) скол по задній поверхні  $90X$

Випадки 1 та 2 є типовими представниками характеру зношування, який спостерігався в усьому діапазоні досліджуваних режимів, окрім випадку росту мікросколу з їх подальшим збільшенням і переходом в макросколу та утворенням мікротріщин з руйнуванням різального клину які спостерігалися при максимальних значеннях режимів:  $V = 23,5$  м/с;  $S_z = 0,25$  мм/зуб.;  $t = 1,5$  мм. Руйнування різальної кромки внаслідок її механічної поломки при проведенні стійкісних досліджень не спостерігалось. Випадок 5 реєструвався при проведенні ряду силових досліджень, при значеннях геометричних параметрів поза межами їх раціональних значень з умови мінімізації ударного навантаження (значення кута нахилу головної різальної кромки  $\lambda = +5^\circ$ ).

Встановлено, що глибина різання найменшою мірою впливає на період стійкості фрез, оснащених НТМ, що підтверджує результати попередніх досліджень [2–4, 6]. Встановлено, що подача на зуб значно більшою мірою впливає на стійкість інструменту, ніж швидкість різання.

#### Висновки:

1. За результатами досліджень з встановлення впливу режимів різання на період стійкості та характер зношування та руйнування різальної частини торцевих фрез, оснащених НТМ, при чистовій обробці деталей із високоміцних чавунів і загартованих сталей, а також при чорновій обробці сірого чавуну визначено раціональні значення режимів різання для забезпечення необхідної стійкості інструменту.

2. Застосування косокутної геометрії ножів торцевих фрез призвело до збільшення довжин різальних кромки ножів, які беруть участь в обробці, і підвищення загальної стійкості інструменту  $T$ .

3. Раціональними для чистової обробки чавуну є: швидкість різання – 700 м/хв.; подача на зуб – 0,325 мм/зуб.; задній кут в напрямку вектора швидкості різання –  $6^\circ$ ; кут нахилу різальної кромки –  $\lambda = -45^\circ$ ; радіус задньої циліндричної поверхні – 10 мм.

4. Раціональними для обробки загартованих сталей є режими різання: швидкість різання – 280 м/хв.; подача на зуб – 0,25 мм/зуб.; глибина різання – 0,06 мм.

5. Для оптимальних режимів експлуатації та геометричних параметрів стійкість ступінчастих фрез косокутного різання складає не менше 400 хв. машинного часу при площі обробленої поверхні в 20 і 6 м<sup>2</sup> відповідно чавуну і загартованої сталі.

6. Отримані дані дозволяють рекомендувати обробку чавунних деталей торцевими фрезами з НТМ з величинами припуску на один ніж  $t_i = 1...1,5$  мм, що при використанні спіральні-ступінчастих схем різання дозволяє реалізувати процес фрезерування з сумарними глибинами  $t_\Sigma = 8...10$  мм. При забезпеченні необхідного рівня зносостійкості фрези, оснащеної НТМ, рекомендується призначати подачу на зуб з діапазону  $S_z = 0,15...0,2$  мм/зуб. при одночасному завданні швидкості різання в межах  $V = 19...23,5$  м/с. Проведені розрахунки рівня продуктивності, який досягається при використанні

запропонованих режимів при обробці сірих чавунів, показали, що інтенсивність зняття припуску сягає 400...550 мм<sup>3</sup>/с, залежно від реалізованої спіральньо-ступінчастої схеми різання.

#### Список використаної літератури:

1. *Панов А.А.* Опыт интенсификации обработки деталей инструментом, оснащенным синтетическим сверхтвердым материалом и керамикой / *А.А. Панов* // Вестник машиностроения. – 1989. – № 11. – С. 37–41.
2. *Жедь В.П.* Состояние и перспективы развития лезвийного инструмента из поликристаллических сверхтвердых материалов на основе нитрида бора / *В.П. Жедь, Г.В. Боровский* // Резание и инструмент. – 1984. – Вып. 34. – С. 6–11.
3. *Лищинский Н.Я.* Торцовые фрезы с упругими элементами / *Н.Я. Лищинский* // Синтетические алмазы. – 1978. – Вып. 1. – С. 30–31.
4. *Каменкович А.С.* Лезвийные инструменты из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора / *А.С. Каменкович* // Высокопроизводительный инструмент из сверхтвердых материалов и области его применения ; под ред. *Г.А. Коссовича*. – М., 1976. – С. 3–32.
5. Технологические особенности механической обработки инструментом из поликристаллических сверхтвердых материалов / *П.В. Захаренко, В.М. Волкогон, А.В. Бочко и др.* ; отв. ред. *Г.Г. Карюк*. – К. : Наук. думка, 1991. – 288 с.
6. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение : справочник/ *В.П. Жедь, Г.В. Боровский, Я.А. Музыкант и др.* – М. : Машиностроение, 1987. – 320 с.
7. Analyzing PCBN tool wear// *Thomas J. Broskea, GE Superabrasives*// Modern Machine Shop Online [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mmsonline.com/articles/010102.html>.
8. К вопросу об износе инструмента из кубического нитрида бора / *С.А. Клименко, Ю.А. Муковоз, В.А. Ляшко и др.* // Сверхтвердые материалы. – 1988. – № 2. – С. 42–45.
9. *Кабалдин Ю.Г.* Стойкость режущего инструмента, оснащенного керамикой и сверхтвердыми материалами / *Ю.Г. Кабалдин, Б.Я. Мокрицкий, А.И. Пронин* // Станки и инструмент. – 1991. – № 12. – С. 19–21.
10. *Виговський Г.М.* Характеристики процесу врізання для глибинної обробки торцевими фрезами / *Г.М. Виговський, В.М. Бушля* // Вісник СумДУ (Технічні науки). – Суми : СумДУ, 2003. – № 2 (48). – С. 12–18.

**ВИГОВСЬКИЙ** Георгій Миколайович – проректор з науково-педагогічної роботи, кандидат технічних наук, професор кафедри технологій машинобудування Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- проектування різальних інструментів.

**ГРОМОВИЙ** Олексій Андрійович – декан факультету інженерної механіки, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- моделювання технологічних процесів.

Стаття надійшла до редакції 27.09.2013

**Выговський Г.М., Громовий О.А.** Зносостійкість торцевих фрез, оснащених надтвердими матеріалами  
**Выговский Г.Н., Громовой А.А.** Износостойкость торцовых фрез, оснащенных сверхтвердыми материалами  
**Выговский Г.Н., Громовой А.А.** Analyzing PCBN face milling tool wear

УДК 621.914

**Износостойкость торцовых фрез, оснащенных сверхтвердыми материалами / Г.Н. Выговский, А.А. Громовой**

В статье представлены результаты экспериментальных исследований износостойкости торцовых фрез оснащенных сверхтвердыми материалами при чистовой обработке деталей из серых чугунов и закаленных сталей и черновой обработке плоских поверхностей деталей из серого чугуна.

Ключевые слова: торцевая фреза, сверхтвердые материалы, чистовая обработка, износостойкость.

УДК 621.914

**Analyzing PCBN face milling tool wear / Выговский Г.Н., Громовой А.А.**

The paper presents experimental results of PCBN face milling tool wear at finish machining of parts from gray cast iron and hardened steel and rough machining of flat surfaces of gray cast iron parts.

Ключевые слова: