

УДК 621.9.025

Г.М. Виговський, к.т.н., доц.

В.М. Бушля, к.т.н., доц.

*Житомирський державний технологічний університет*

## **ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ ТОРЦЕВИМИ ФРЕЗАМИ, ОСНАЩЕНИМИ НАДТВЕРДИМИ МАТЕРІАЛАМИ, ПРИ ЧОРНІЙ ОБРОБЦІ СІРОГО ЧАВУНУ**

*Представлено результати експериментальних досліджень впливу режимів різання на зносостійкість торцевих фрез, оснащених надтвердими матеріалами, при високошвидкісній чорній обробці сірого чавуну.*

**Ключові слова:** *торцева фреза, надтверді матеріали, високошвидкісна обробка.*

**Постановка проблеми.** Підвищення високої продуктивності обробки можливе за рахунок інтенсифікації параметрів процесу, зокрема підвищення швидкості різання або подачі. При чорній обробці підвищення продуктивності можливе збільшенням обсягів з'йому матеріалу в одиницю часу за рахунок використання великих глибин різання. При цьому основне питання є забезпечення високої зносостійкості при інтенсивних режимах різання. Використання інструментів, оснащених надтвердими матеріалами (НТМ) на основі кубічного нітриду бору, дозволяє збільшувати швидкість різання, що у процесі торцевого фрезерування призводить 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 чорні 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. За даними [1], дослідження стійкості фрез, оснащених ножами з НТМ, показали, що найбільше впливають на працездатність швидкість різання та подача, меншою мірою – глибина різання, що підтверджує результати роботи [2]. Справедливість таких даних підтверджується результатами досліджень [3], де підкреслюється, що найбільше впливають на стійкість інструмента швидкість різання, подача і глибина різання.

Інші результати отримані в роботі [4], де вказується, що подача на зуб значно більшою мірою, ніж швидкість різання, впливає на стійкість та працездатність фрези, оснащеної НТМ. Визначення степені впливу режимів різання на стійкість фрези [5] вказує на те, що остання найбільшою мірою залежить від подачі, при цьому вплив глибини різання на стійкості практично не позначається. Такі дані підтверджуються результатами роботи [6]. Зазначається, що подача в 2,6 раза інтенсивніше впливає на стійкість торцевої фрези, ніж значення швидкості різання.

Результати, що накопичені при визначенні впливу зміни режимів різання на характер зношування ножів торцевих фрез, оснащених надтвердими матеріалами, свідчать про те, що глибина різання є фактором, який найменше впливає на період стійкості фрез. Так, зазначається [7], що зміна глибини різання у всьому дослідженому діапазоні режимів різання практично не впливає на стійкість інструмента, що дозволяє припустити можливість реалізації чорнової обробки за умови розподілу припуску ( $t_f = 0,8 \dots 1,5$  мм) за ступінчастими схемами різання ( $t_z = 6 \dots 10$  мм).

В роботі [8] наводяться результати аналізу типів зношування та їх комбінацій, які описують умови виходу з ладу інструменту з НТМ. Так, вважається, що комбінація абразивного та хімічного типів зношування спричиняє появу лунок на передній поверхні інструменту. Явищу термічної втоми відповідає поява тріщин на різальній кромці інструменту. Хімічний знос викликає появу рисок та борозен в основному по задній поверхні пластини з НТМ. Вплив ударного навантаження викликає на поверхні інструменту викришування та утворення відколів.

Визначення характеру руйнування пластин з надтвердих матеріалів і факторів, що найбільше впливають на інтенсивність зношування при обробці сірого чавуна [5], дає результати, які свідчать про те, що на передній поверхні інструменту утворюється лунка, риси і борозни, орієнтовані в напрямку сходу стружки. Істотно впливає на характер руйнування товщина зрізу. При її великих значеннях можливе утворення великих відколів (до декількох десятків міліметра) на головній задній поверхні. При фрезеруванні сірого чавуна припустиме збільшення подачі до 0,3 мм/зуб.

Залежність стійкості торцевих фрез від швидкості різання при обробці сірого чавуна має характерний графік горбоподібної форми [8]. Дослідження впливу швидкості різання на зношування торцевих фрез, оснащених НТМ, в діапазоні  $10 \leq V \leq 100$  м/с вказують, що

значення максимального періоду стійкості ( $T_{\max} = 400$  хв.) досягаються при швидкості різання  $V = 50$  м/с.

Аналіз робіт, присвячених впливу режимів обробки і геометрії інструменту при торцевому фрезеруванні чавуну, показав, що існує незначна кількість аналітичних або емпіричних залежностей [5, 9], для оцінки впливу режимів різання на період стійкості при обробці чавуну, при цьому тип загострення приймався гостровершинним, який не є раціональним для даного типу оброблюваного матеріалу. Встановлено, що стійкість фрез при середніх (чистових та напівчистових) режимах складає 450–500 хв. [5, 6]. Відомості щодо періоду стійкості фрез на чорнових операціях відсутні.

**Мета і завдання досліджень.** Наведений аналіз 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 й є **метою 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  $h_3 = 0,5$  мм, яка є характерною величиною для НТМ при напівчистових та чорнових процесах обробки. З метою мінімізації кількості досліджень використовувалось повнофакторне планування експерименту для побудови наступної залежності:

$$T = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

Визначення значень коефіцієнтів лінійного та взаємного впливу факторів для даного полінома першого степеня (1) проводилося за наступною матрицею повнофакторного експерименту типу  $2^3$ .

Для компенсації впливу випадкових похибок кожен дослід проводився при рівномірному трикратному дублюванні за однакових значень вхідних параметрів.

Факторами виступали:  $x_1$  – швидкість різання  $V$ , м/хв.;  $x_2$  – подача  $S_z$ , мм/зуб.;  $x_3$  – глибина різання  $t$ , мм. Діапазони зміни факторів та інтервали варіювання представлено в таблиці 1.

Таблиця 1  
Дійсні значення факторів та інтервали їх варіювання

$x_1^{-1}$	$x_1^0$	$x_1^{+1}$	$\varepsilon_1$
879,62	1143,506	1407,392	263,886
$x_2^{-1}$	$x_2^0$	$x_2^{+1}$	$\varepsilon_2$
0,1	0,175	0,25	0,075
$x_3^{-1}$	$x_3^0$	$x_3^{+1}$	$\varepsilon_3$
0,75	1,125	1,5	0,375

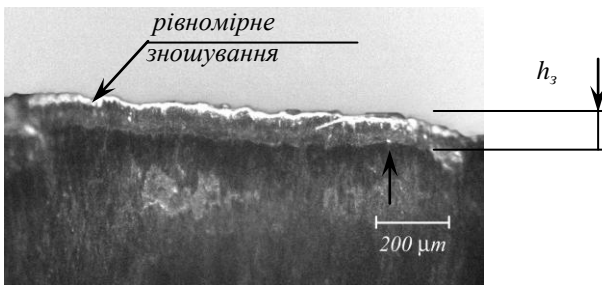
З врахуванням попередньо отриманих результатів досліджень [10] умов ударного навантаження при врізанні ножа торцевої перевірка забезпечення рівня періоду стійкості проводилась при використанні раціональної геометрії. Так геометричні параметри різальної частини ножа фрези становили: передній кут  $\gamma = -5^\circ$ , кут нахилу головної різальної кромки  $\lambda = -10^\circ$ , радіус при вершині  $r = 3$  мм, загострення задньої циліндричної поверхні проводилось з постійним значення 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 приймався  $S_z = 0,1 \dots 0,25$  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 стійкісних досліджень вони вибиралися з діапазону  $V = 14,5 \dots 23,5$  м/с.

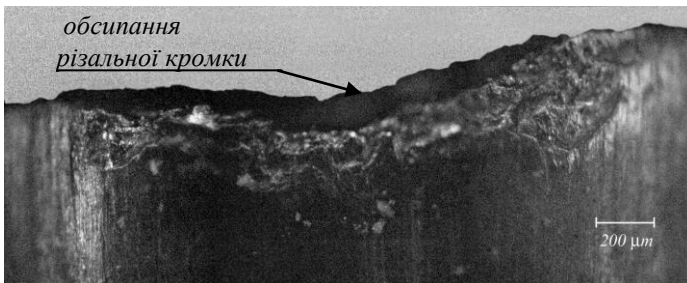
У процесі обробки проводилась реєстрація величини фаски зносу по задній поверхні, інтенсивності збільшення фаски в процесі обробки

та проводився аналіз зношених, передньої та задньої, поверхонь ножів фрези. Аналіз характеру зношування при проведенні стійкісних досліджень 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 такі:

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



а)



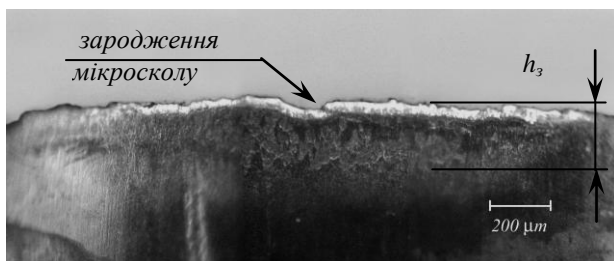
б)

Рис. 1. Характер зношування задньої поверхні ножа фрези  
( $V = 14,5$  м/с;  $S_z = 0,25$  мм/зуб.;  $t = 0,75$  мм) 90X:

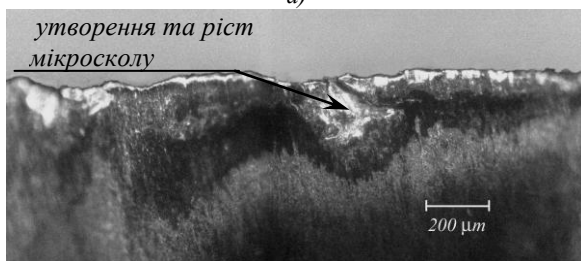
а) рівномірне зношування; б) обсипання різальної кромки

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

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



а)

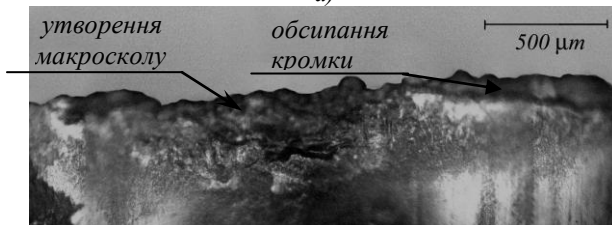


б)

Рис. 2. 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



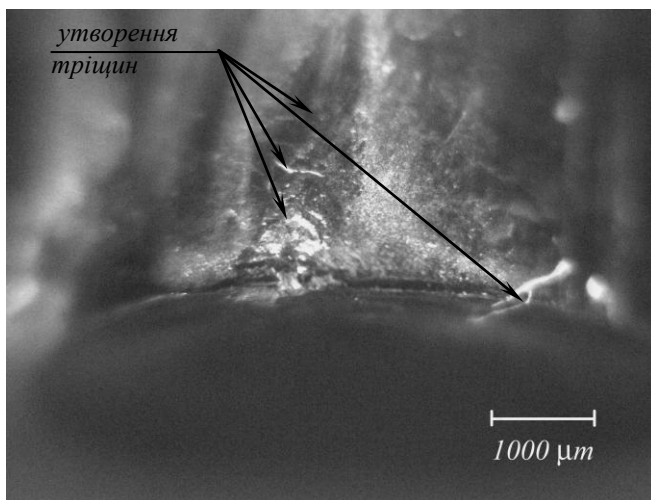
а)



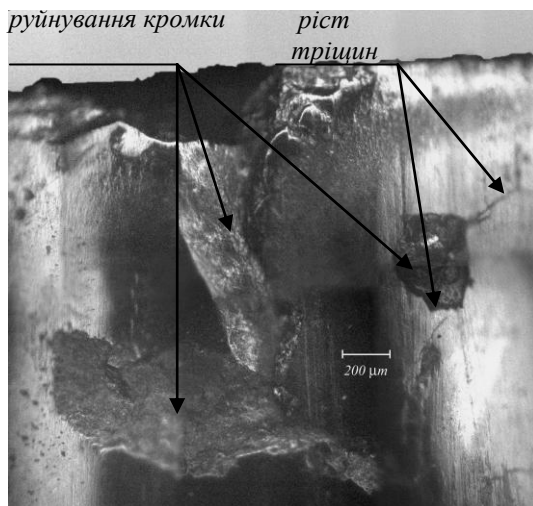
б)

Рис. 3. 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)  
утворення макросколу та обсипання кромки

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



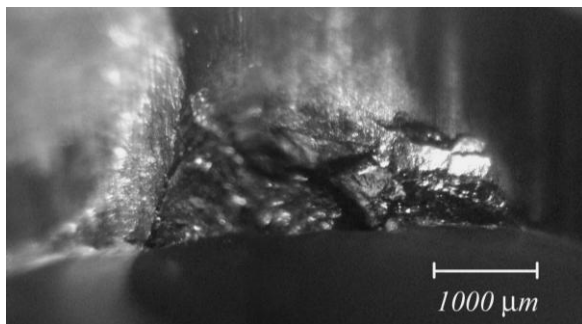
а)



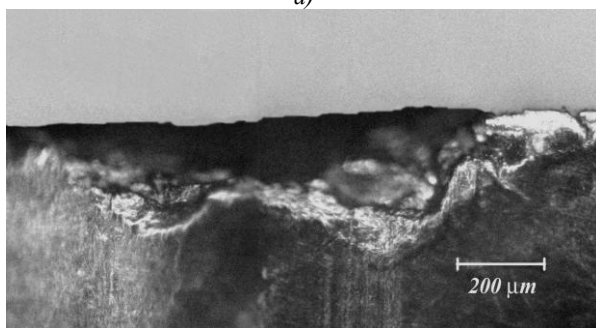
б)

Рис. 4. 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) іст 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. 5).



а)



б)

Рис. 5. 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) викришування 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 спостерігались 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 за умови мінімізації ударного навантаження (значення кута нахилу головної різальної кромки  $\lambda = +5^\circ$ ).

Математична обробка результатів експериментів, згідно з планом повнофакторного експерименту, дозволила отримати рівняння регресії в чисельному вигляді:

$$T = 337,3 - 17,3 \cdot x_1 - 30,8 \cdot x_2 - 13,6 \cdot x_3 + \\ + 2,16 \cdot x_1 \cdot x_2 - 4,33 \cdot x_1 \cdot x_3 - 1,66 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

Аналіз коефіцієнтів регресії показує, що при збільшенні всіх значень факторів спостерігається зменшення періоду стійкості, і що подача найбільш інтенсивно впливає на стійкість різальної частини ножа фрези. Встановлено, що глибина різання найменшою мірою впливає на період стійкості фрез, оснащених НТМ, що підтверджує результати попередніх досліджень [2–4, 6]. Отримані дані дозволяють рекомендувати обробку чавунних деталей торцевими фрезами з НТМ з величинами припуску на один ніж  $t_f = 1 \dots 1,5$  мм, що при використанні спірально-ступінчастих схем різання дозволяє реалізувати процес фрезерування з сумарними глибинами  $t_\Sigma = 8 \dots 10$  мм. Математична обробка результатів досліджень підтверджує дані робіт [5, 6] щодо порівняння ступеня впливу подачі на зуб та швидкості різання. З отриманих значень коефіцієнтів регресійного рівняння випливає, що подача на зуб значно більшою мірою впливає на стійкість інструменту, ніж швидкість різання. При забезпеченні необхідного рівня зносостійкості фрези, оснащеної НТМ, рекомендується призначати подачу на зуб з діапазону  $S_z = 0,15 \dots 0,2$  мм/зуб. при одночасному завданні швидкості різання в межах  $V = 19 \dots 23,5$  м/с. Проведені розрахунки рівня продуктивності, який досягається при використанні запропонованих режимів при обробці сірих чавунів, показали, що інтенсивність зняття припуску сягає  $400 \dots 550$  мм<sup>3</sup>/с, залежно від реалізованої спірально-ступінчастої схеми різання.

**Висновки.** За результатами досліджень з встановлення впливу режимів різання на період стійкості та характер зношування та руйнування різальної частини торцевих фрез, оснащених надтвердими матеріалами, при чорновій обробці сірого чавуну визначено раціональні значення режимів різання для процесів обробки торцевими фрезами, оснащеними НТМ, для процесів чорнового різання.

## Список використаної літератури:

1. *Панов А.А.* Опыт интенсификации обработки деталей инструментом, оснащенный 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* ; под ред. *Г.А. Коссовича* // Высокопроизводительный инструмент из сверхтвердых материалов и области его применения. – 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* ; АН УССР Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича. – 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 глибокої обробки торцевими фрезами / *Г.М. Виговський, В.М. Бушля* // Вісник СумДУ (Технічні науки). – Суми : СумДУ, 2003. – № 2 (48). – С. 12–18.

ВИГОВСЬКИЙ Георгій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, проректор з науково-педагогічної роботи Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- проектування різальних інструментів.

БУШЛЯ Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, доцент Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- стандартизація в машинобудуванні, точність обробки.

Стаття надійшла до редакції

**Виговський Г.М., Бушля В.М.** Визначення режимів обробки торцевими фрезами, оснащеними надтвердими матеріалами, при черновій обробці сірого чавуну

**Выговский Г.Н., Бушля В.Н.** Определение режимов обработки торцевыми фрезами, оснащенными сверхтвердыми материалами, при черновой обработке серого чугуна

**Vygovskyy G.N., Buschle V.N.** Determination of processing modes end mills equipped with superhard materials, roughing of gray cast iron

УДК 621.9.025

**Определение режимов обработки торцевыми фрезами, оснащенными сверхтвердыми материалами, при черновой обработке серого чугуна / Г.Н. Выговский, В.Н. Бушля**

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния режимов резания на износостойкость торцевых фрез, оснащенных сверхтвердыми материалами, при высокоскоростной черновой обработке серого чугуна.

Ключевые слова: торцевая фреза, сверхтвердые материалы, высокоскоростная обработка.

УДК 621.9.025

**Determination of processing modes end mills equipped with superhard materials, roughing of gray cast iron / G.N. Vygovskyy, V.N. Buschle**

The results of experimental studies of the impact on the durability of the cutting end mills equipped with superhard materials at high speed roughing processing of gray cast iron.

Keywords: End mills, superhard materials, high-speed processing.