

© В.А. Дербаба¹, В.А. Козечко¹, С.Т. Пацера¹, О.Л. Войчишен¹, В.І. Козечко¹
¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ З НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

© V. Derbaba¹, V. Kozechko¹, S. Patsera¹, O. Voichyshen¹, V. Kozechko¹
¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

PERFORMANCE INDICATORS OF CUTTING TOOLS FROM EXTRA HARD MATERIALS

Мета. Встановлення залежностей, що пов'язують систему показників процесу обробки з технічними обмеженнями, з одного боку, та областю існування параметрів точіння зносостійких чавунів інструментом з надтвердих полікристалічних матеріалів, що відображає техніко-економічні показники процесу з іншого.

Методика. В роботі запропоновано структурно-статичну залежність ймовірності неруйнування інструменту (композиту), що є складовою математичної моделі з розрахунку параметрів процесу точіння.

Результати. Найбільш характерними відмовами лез з точки зору експлуатаційної надійності ріжучих інструментів є граничне зношування в результаті природного зношування (ступова відмова) і руйнування (фарбування) ріжучої кромки в результаті прояву потайних дефектів інструментального матеріалу або перевищення допустимих навантажень і втрати втимої міцності в міру зносу). Відповідно цим критеріям відмов вихідними показниками довговічності та безвідмовності різальних інструментів у теорії різання та системі експлуатації різальних інструментів служать період стійкості.

Ефективність точіння високоміцних чавунів нерозривно пов'язана зі зносостійкістю та міцністю інструментальних матеріалів, що застосовуються. Перспектива розширення застосування полікристалічних матеріалів з урахуванням нітриду бору (композитів) впливає зі з'ясування основних експлуатаційних показників інструментальних матеріалів.

Аналіз і досвід використання надтвердих полікристалічних матеріалів показав, що при рівній глибині різання, меншій подачі, високої швидкості різання композити забезпечують найбільше об'ємне напрацювання.

Наукова новизна. В роботі встановлено залежності параметрів ріжучого інструменту з надтвердих матеріалів від основних параметрів процесу точіння чавунів. З використанням графоаналітичного аналізу обґрунтовано першорядний вплив глибини різання на період стійкості та надійності безвідмовної роботи різальних пластин із надтвердих матеріалів.

Практична значимість. Встановлено, що при точінні чавуну марки ІЧ210Х28ГЗС відбувається зношування як задньої і передньої поверхні леза. Причина зношування передньої поверхні полягає в наявності великої кількості зносостійких карбідів хрому і вищої жорсткості стружки, що сходять

Ключові слова: зносостійкі чавуни, тверді сплави, полікристалічні тверді матеріали (композити).

Вступ. Одним із найважливіших напрямів технічного прогресу в машинобудуванні є впровадження у виробництво матеріалів, що забезпечують високу

конструкційну міцність та зносостійкість, корозійну та ерозійну стійкість деталей вузлів та механізмів машин протягом усього заданого ресурсу їх експлуатації [1].

Незважаючи на досягнуті істотні успіхи, за останні роки щодо створення принципово нових матеріалів, особливо на базі порошкової та гранульної металургії, а також шаруватих та волокнистих композитів, питомих споживання у машинобудуванні сталей та чавунів переважає. Сталь і чавун, як і раніше, залишаються основними конструкційними матеріалами у виробництві гірничих машин, великих корпусних виробів складної геометрії, що технологічно та економічно доцільно, а часто є і єдино можливим.

За умов гострого дефіциту легованих сталей та спеціальних сплавів особливо роль у машинобудуванні набувають зносостійких чавунів з унікальними експлуатаційними властивостями. Однак широке використання їх обмежене, зокрема через проблеми механічної обробки. Виходячи з цього, рішення задачі підвищення продуктивності механічної обробки зносостійких високохромистих чавунів, що широко використовуються в гірському машинобудуванні, набувають виключно важливого значення та актуальності [2].

Розширення обсягів використання у машинобудуванні важкооброблюваних матеріалів та проблема їх обробки вимагають та вдосконалення інструментальних матеріалів. Один із ефективних шляхів інтенсифікації процесу різання твердих матеріалів – застосування полікристалічних надтвердих матеріалів для лезового інструменту. Полікристалічні надтверді матеріали мають значну перевагу в порівнянні з твердим сплавом, перевершують його за твердістю і термостійкістю, що визначає високу зносостійкість на високих швидкостях різання при наголошеному навантаженні.

Продуктивність процесу різання, головним чином товщина зрізу та швидкість різання, значною мірою обмежується стійкістю різального інструменту. Зрештою обидва параметри визначають рівень техніко-економічної ефективності обробки.

Найважливішими енергетичними показниками багатофакторного управління параметрами процесу різання є сили і температура різання, від рівня яких залежить інтенсивність зносу контактних поверхонь леза інструменту.

Основна частина. Ефективність точіння високоміцних чавунів нерозривно пов'язана зі зносостійкістю та міцністю інструментальних матеріалів. Перспектива розширення застосування полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНМ) з урахуванням нітриду бору (композитів) впливає зі зіставлення основних експлуатаційних показників інструментальних матеріалів [1].

Результати випробувань періоду стійкості (критерієм затуплення була ширина майданчика нормального зносу по задній поверхні) та ймовірності неруйнування стандартних змінних багатогранних пластин (ПНМ) квадратної форми 12x12,7x4,76 мм при поздовжньому наголошеному точінні вибіленого чавуну бочки прокатних валків виконання твердістю НВ 460... 480 без охолодження наведені в табл.

Таблиця

Експлуатаційні показники основних видів інструментальних матеріалів при точінні вибіленого чавуну твердістю HB 460... 480

Експлуатаційні показники	Твердий сплав ВК60М	Ріжуча кераміка		Композит	
		ВОК-95М	Силиніт-Р	Кіборит	Ніборит
Режим різання: глибина t , мм	1,5				
подача s , мм/об	0,8	0,25		0,3	0,4
швидкість v , м/с	0,25	1,2		1,5	1,2
Продуктивність $Q = 60 \cdot t \cdot s \cdot v$, см ³ /хв	18	27		40,5	43,2
Величина зносу h , мм	1,0	0,4		0,5	0,6
Період стійкості T , хв	16	28	36	40	42
Інтенсивність зношування $I = h / T$, мкм/хв	62	14	11,1	12,5	14,3
Площа обробленої поверхні $F = 600 \cdot T \cdot s \cdot v$, см ²	1920	5040	6480	10800	12100
Відносне зношування $U = h / F$, мкм/см ²	0,521	0,079	0,062	0,046	0,050
Вірогідність не руйнації P_T	0,85	0,63	0,52	0,81	0,84
Об'ємне напрацювання $W = Q \cdot T \cdot P_T$, см ³	245	476	505	1312	1524

Контрольні порівняльні випробування виконували на верстаті мод. ІМ65 при точінні бочки розміром Ø300x800 мм однієї партії валків. Геометрія різальної частини збірних прохідних різців високої жорсткості: кути в плані $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$, передні кути $\gamma = \gamma_1 = 8^\circ$; задні кути $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$; радіус при вершині $r = 1,2$ мм; захисна фаска на передній поверхні $f_\gamma \times \gamma_f = 0,2 \times 20^\circ$. Режими різання підбиралися з урахуванням експлуатаційних властивостей та на основі досвіду застосування кожного інструментального матеріалу.

Аналіз і досвід використання ПНМ показує, що при рівній глибині різання, меншій подачі (ніж при обробці твердим сплавом ВК60М), високої швидкості різання композити забезпечують найбільше об'ємне напрацювання W . Локальний характер мікроруйнувань контактних поверхонь леза твердого сплаву при абразивному стиранні чорновому точенні "по кірці".

Ріжуча кераміка займає проміжне значення за продуктивністю та стійкістю між твердим сплавом і композитом. Однак, незважаючи на низькі значення інтенсивності зношування та величину відносного зносу, неможливість

багаторазового переточування пластин і невисокі властивості міцності обмежують широке застосування різальної кераміки у важкому машинобудуванні [3, 4]. Цілісні пластини з силініту – *P* перевершують за стійкістю і поступаються за надійністю двошаровим пластин з кераміки марки ВОК-71 на твердосплавній підкладці.

Композити марки кіборит і ніборит, при однаковій інтенсивності зношування з ріжучою керамікою, мають значно менший відносний знос. Найбільше напрацювання досягається за рахунок застосування допустимих за міцністю підвищених подач та забезпечення високих значень ймовірності неруйнування інструменту.

Основні марки композитів для великогабаритних пластин відрізняються своїми експлуатаційними властивостями. Залежно від зеренної структури та якості вихідних мікропорошків нітриду бору, матеріалу зв'язки, пошарової будови, тиску та температури спікання та інших технологічних "ноу-хау" заготовки пластин отримують з певними характеристиками за твердістю, міцністю та зносостійкістю.

Відмінність між кіборитом і ніборитом (базовими представниками композитів на керамічній та металевій зв'язці) полягає у більшому періоді стійкості першого та більшої ймовірності неруйнування другого. Відповідно до цього зносостійкий кіборит доцільно застосовувати для чистового точіння з помірною подачею та підвищеною швидкістю різання. Головне достоїнство нібориту - висока міцність серед композитів (середнє значення між ріжучою керамікою ВОК-71 і твердим сплавом ВК6ОМ) і найбільша ймовірність неруйнування, здатність витримувати великі перерізи зрізу, краща шліфованість алмазними колами при переточці та можливість надійного механічного кріплення в різці за допомогою вставки з напаяною пластиною.[2, 3]

Загальною характеристикою процесу точіння зносостійких чавунів композитами є утворення елементної стружки, відсутність наросту на передній поверхні та переважне зношування задньої поверхні леза. Але кінетика зносу леза пластин при точінні низьколегованих і високохромистих чавунів неоднакова.

При точінні чавуну виконання СПХН зношується в основному задня поверхня (рис. 1а) з утворенням заокругленої поверхні на ріжучій кромці у вигляді терасних уступів по радіусу та зазубрин по довжині. Візуально висота зазубрин у кілька разів перевищує глибину уступів. На зношеній задній поверхні чітко видно дрібні борозни у бік швидкості різання, як сліди впливу продуктів зносу. На передній поверхні подібних борозенок поза товщини зрізу немає.

При точенні чавуну марки ИЧ210Х28Г3С відбувається зношування як задньої, і передньої (менш інтенсивно) поверхонь леза, і навіть з округленням ріжучої кромки (рис. 1 б).

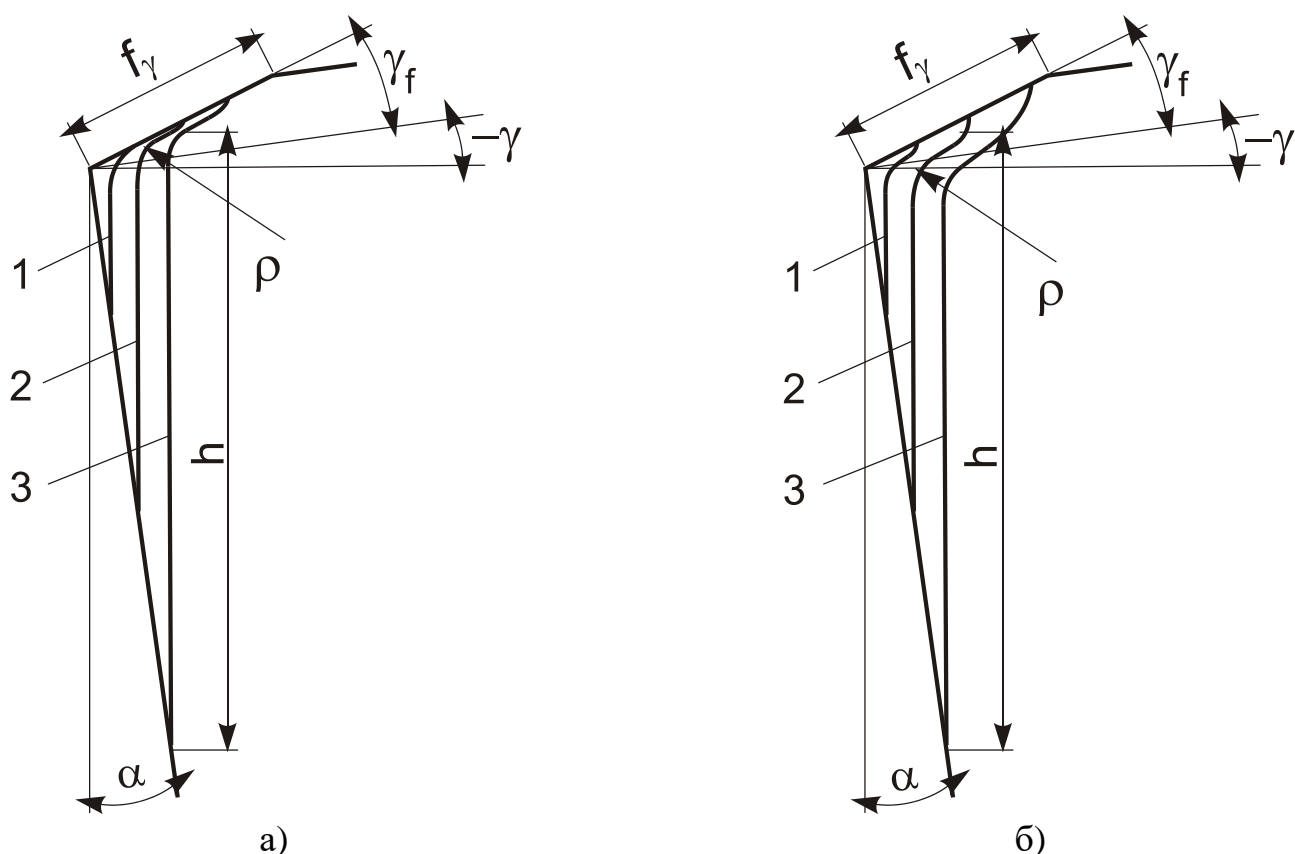


Рис. 1. Схема зміни профілю леза ПСТМ з нібориту при точінні чавунів марки СПХН(а) та Г210Х28Г3С(б): 1 – кінець періоду опрацювання; 2 – період нормального зносу; 3 – початок катастрофічного зносу

Причина зношування передньої поверхні полягає в наявності великої кількості зносостійких карбідів хрому і більш високої жорсткості стружки, що сходиться. Після приробітку леза зношування на передній поверхні розвивається в напрямку сходу стружки з одночасним зниженням ріжучої кромки.[4, 5] До кінця періоду стійкості величина зношування може досягати довжини контакту стружки з передньою поверхнею. Висота зазубрин на ріжучій кромці значно вища, ніж при точінні низьколегованого чавуну. Така особливість зношування леза вимагає збільшення припуску на переточування.

Наявність порівняно гладких поверхонь та відсутність явних адгезійних вививів на зношених поверхнях леза вказують на переважання абразивно-механічного виду зношування.

Характер наростання протягом часу різання величини зносу задньої поверхні ріжучих пластин для досліджуваних марок чавунів і композитів однаковий (рис. 2).

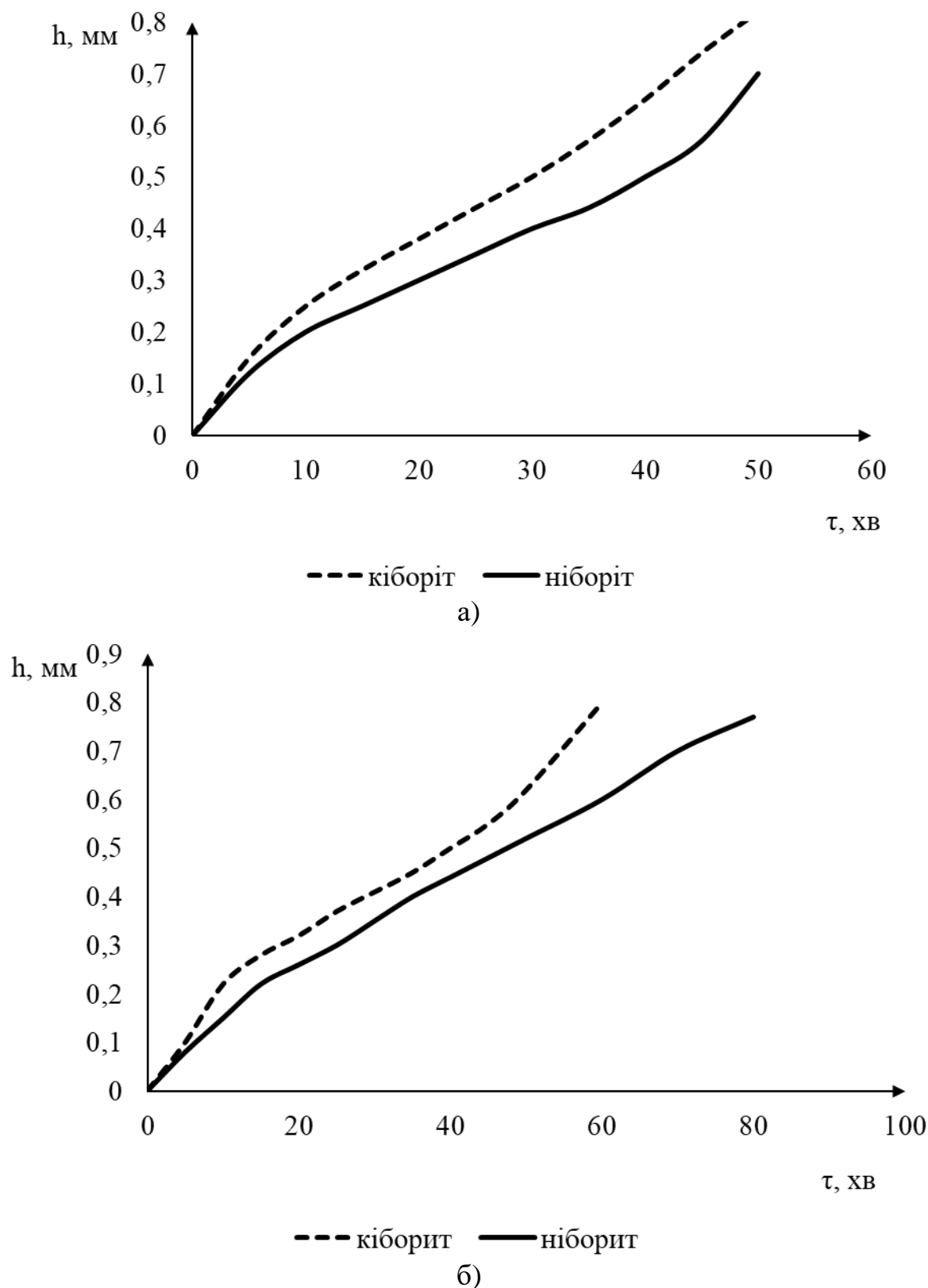


Рис. 2. Кривї зношування передньої поверхні h в залежності від тривалості точіння τ чавунів твердістю HB = 530...550 ($t = 1,5$ мм, $s = 0,25$ мм/об, $v = 1,2$ м/с, $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$, $\gamma = \gamma_1 = -8^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$, $f_\gamma \times \gamma_f = 0,2$ мм \times 20 $^\circ$, $r = 1,2$ мм):
 а – відбілений чавун СПХН; б – зносостїйкий чавун ИЧ210Х28Г3С

Основна серія випробувань проводилася у виробничих умовах вальцетокарних цехів при точінні "після кірки" бочки з вибіленим робочим шаром сортових та листових прокатних валків, отриманих способом виливки у металевий кокіль або способом відцентрового лиття. Окремі випробування у процесі точіння відлитих у земляні форми заготовок із високохромистого чавуну проводили за ідентичних умов. Для випробувань були обрані порівняно нові токарно-гвинторізні та вальцетокарні верстати, що мають достатню жорсткість і точність для експлуатації ПСТМ. Попередня обробка "по кірці" виконувалася точінням твердим сплавом на низьких швидкостях різання або шліфування крупнозернистими колами з електрокорунду.

Твердість оброблюваної поверхні вимірювалася на спеціально вирізаних кільцях на твердомірі Брінелля або безпосередньо за допомогою твердоміра "Екватіп" методом пружної віддачі в одиницях Шора.

Слабкий вплив глибини різання на питомий тиск і температуру на контактних поверхнях леза визначає і незначну зміну періоду стійкості і особливо ймовірність неруйнування ріжучої кромки.[4]

Для встановлення взаємозв'язку між періодом стійкості і вірогідністю неруйнації інструменту та глибиною різання були побудовані графіки $T-t$ і $\ln P_T - t$ в логарифмічній системі координат (рис. 3) Вплив глибини різання добре описується виразами $T = c \cdot t^{-0,3}$ та $P_T = e^{-c \cdot t^{0,1}}$.

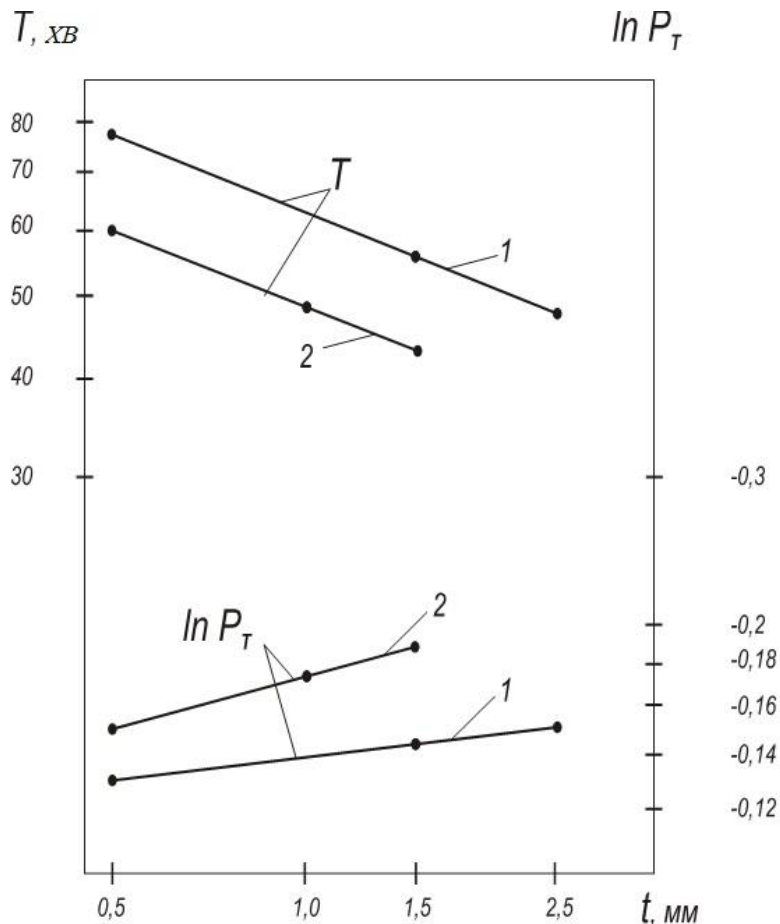
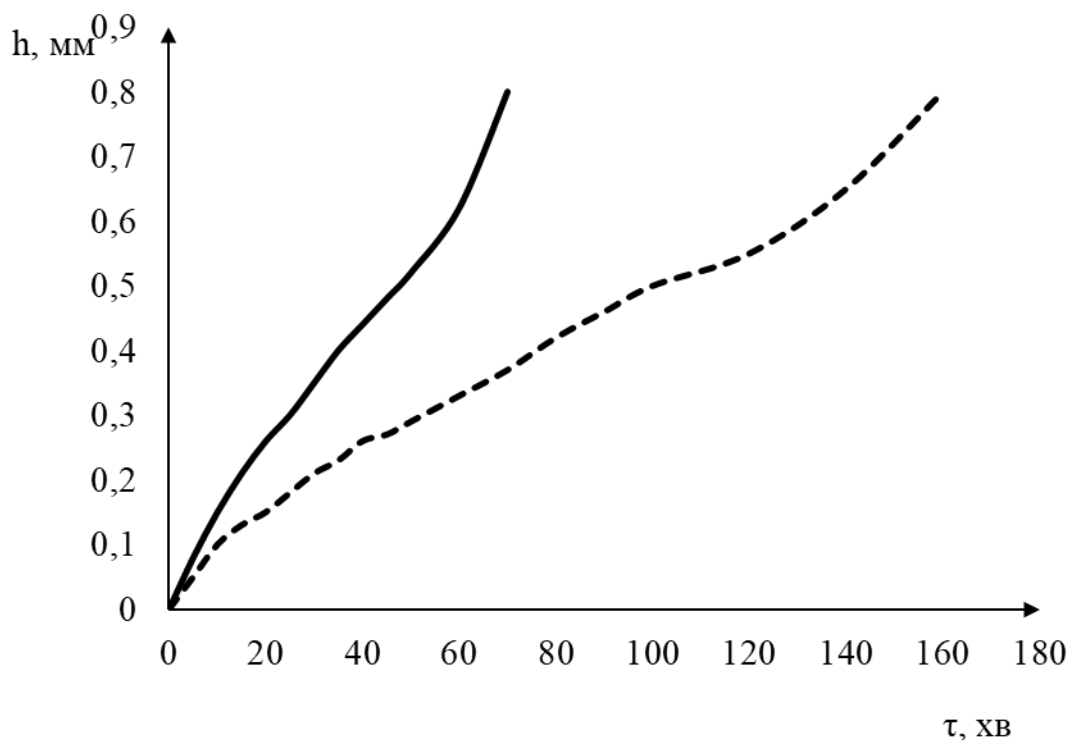
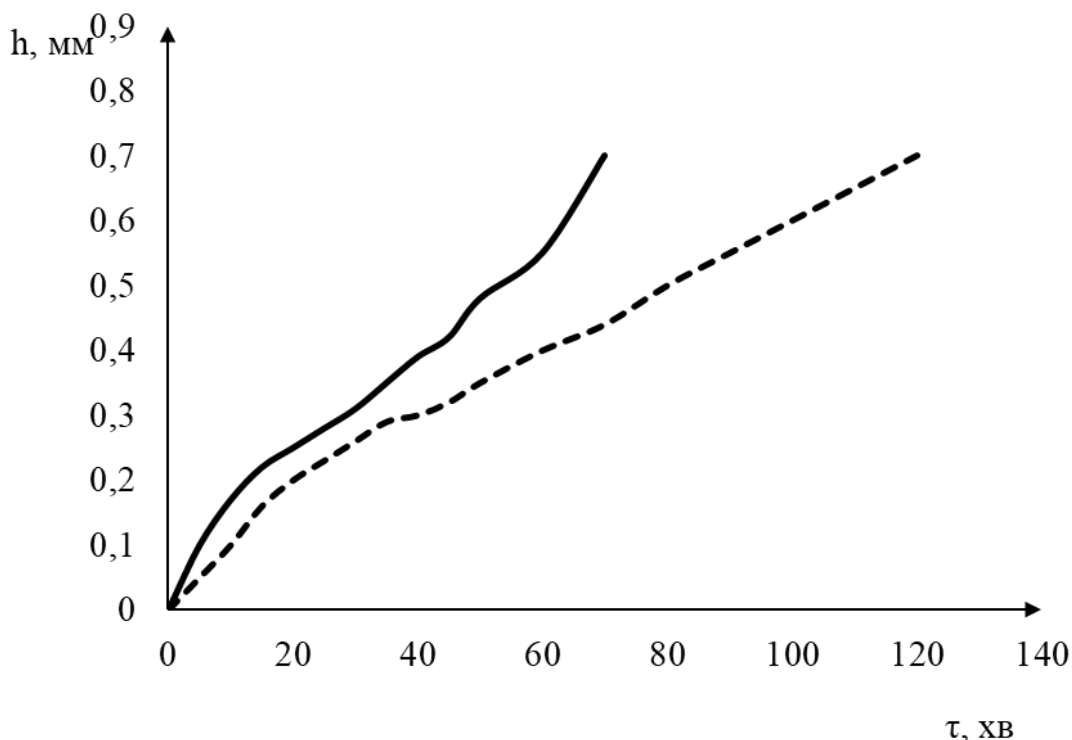


Рис. 3. Залежність періоду стійкості T та ймовірності неруйнування $\ln P_T$ від глибини різання t : 1 – ніборит; 2 – кіборит

На рис. 4 наведені криві зношування в залежності від величини подачі.



а)



б)

Рис. 4. Графік зміни величини зношування від тривалості точіння відбіленого низьколегованого чавуну НВ=530...550: а – ніборит; б – кіборит; 1 – ніборит ($t = 1,5 \text{ мм}$, $v = 1 \text{ м/с}$, $f_\gamma \times \gamma_f = 0,5 \text{ мм} \times 20^0$, $r = 2 \text{ мм}$; 1- $s = 0,1 \text{ мм/об}$; 2- $s = 0,3 \text{ мм/об}$; 3- $s = 0,5 \text{ мм/об}$,); 2 – кіборит ($t = 1 \text{ мм}$, $v = 1,5 \text{ м/с}$, $f_\gamma \times \gamma_f = 0,2 \text{ мм} \times 20^0$, $r = 1,6 \text{ мм}$; 1- $s = 0,1 \text{ мм/об}$; 2- $s = 0,2 \text{ мм/об}$; $s = 0,3 \text{ мм/об}$)

Висновки. Встановлено, що здатність протистояння зношуванню та руйнуванню в процесі різання леза ріжучого інструменту залежить від трьох факторів:

– від експлуатаційних характеристик інструментального та оброблюваного матеріалу;

– від кінематичної точності, жорсткості та вібростійкості системи різання та якості виконання ріжучого інструменту;

– від рівня сприйманих силових та теплових навантажень та захисної опірності самої геометрії інструменту.

При рівній глибині різання, меншій подачі, ніж при обробці твердим сплавом ВК60М, перевищуючи допустиму швидкість різання, композити забезпечують найбільшу об'ємну напрацювання.

При точінні чавуну виконання СПХН зношується в основному задня поверхня леза інструменту з утворенням заокругленої поверхні ріжучою кромкою у вигляді терасних уступів по радіусу і зазубрин по довжині.

При точінні чавуну марки ИЧ210Х28Г3С відбувається зношування як задньої і передньої поверхні леза. Причина зношування передньої поверхні полягає в наявності великої кількості зносостійких карбідів хрому і вищої жорсткості стружки, що сходять.

При точінні низьколегованого вибіленого чавуну твердістю НВ = 530...550 істотний вплив на збільшення зносу та період його стійкості, а також ймовірність неруйнування надає зростання величини подачі та швидкості різання.

Перелік посилань

1. Derbaba, V. (2013). Modeling of influence of measurement errors of base tangents of teeth on the indicators of sorting. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(4), 48-52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.19457>
2. Zhuravel, O.Yu., Derbaba, V.A., Protsiv, V.V., & Patsera, S.T. (2019). Interrelation between shearing angles of external and internal friction during chip formation. *Solid State Phenomena. Materials Properties and Technologies of Processing*, (291), 193–203. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.291.193>
3. Bohdanov, O., Protsiv, V., Derbaba, V., & Patsera, S. (2020). Model of surface roughness in turning of shafts of traction motors of electric cars. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 41–45. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-1/041>
4. Savchenko, I., Kozechko, V. & Shapoval, A. (2022) Method for Accelerating Diffusion Processes When Borating Structural Steels. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 793–800. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6_94
5. Pilipenko, V., Grigorenko, S, Kozechko, V, & Bohdanov, O. (2021). A deformation mode in a cold rolling condition to provide the necessary texture of the ti-3AL-2.5V alloy/ *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1): 078 – 083. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/078>

ABSTRACT

Purpose. Establishing dependencies connecting the system of indicators of the processing process with technical limitations, on the one hand, and the area of existence of the parameters of turning wear-resistant cast iron with a tool made of superhard polycrystalline materials, reflecting the technical and economic indicators of the process, on the other.

The methods. In the work, the structural-static dependence of the probability of non-destruction of the tool (composite) is proposed, which is a component of the mathematical model for calculating the parameters of the turning process.

Findings. The most characteristic failures of blades from the point of view of the operational reliability of cutting tools are extreme wear as a result of natural wear (gradual failure) and destruction (painting) of the cutting edge as a result of the manifestation of hidden defects of the tool material or exceeding permissible loads and loss of fatigue strength during wear). According to these failure criteria, the initial indicators of the durability and failure-freeness of cutting tools in the theory of cutting and the system of operation of cutting tools are the period of stability.

The efficiency of high-strength cast iron turning is inextricably linked to the wear resistance and strength of the tool materials used. The prospect of expanding the use of polycrystalline materials, taking into account boron nitride (composites), emerges from the comparison of the main performance indicators of tool materials.

The analysis and experience of using ultra-hard polycrystalline materials showed that with the same cutting depth, lower feed, and high cutting speed, composites provide the largest volume work.

The originality. The paper establishes the dependence of the parameters of the cutting tool made of superhard materials on the main parameters of the turning process of cast iron. With the use of grapho-analytical analysis, the primary influence of cutting depth on the period of stability and reliability of trouble-free operation of cutting plates made of superhard materials is substantiated.

Practical implementation. It was established that when turning cast iron, wear occurs on both the back and front surfaces of the blade. The reason for the wear of the front surface is the presence of a large amount of wear-resistant chromium carbides and the higher hardness of the chips coming off.

Keywords: *wear-resistant cast irons, hard alloys, polycrystalline solid materials (composites).*