

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-273-3-30-38>

УДК 621.91.02

ВИБІР РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ЛИВАРНОЇ КОРКИ ВИСОКОЛЕГОВАНОГО ВИБІЛЕННОГО ЧАВУНА

Шумакова Т.О., Ніколаєнко А.П.

CHOICE OF CUTTING TOOL FOR MACHINING of CASTING CRUST OF HIGH ALLOY white CAST IRON

Shumakova T.O., Nikolaenko A.P.

У статті розглянуто проблеми механічної обробки деталей машин лезовими інструментами, виконаними з синтетичних надтвердих матеріалів, що мають унікальні фізико-механічні властивості. З широкої гами надтвердих матеріалів були обрані ті, що виробляються на основі кубічного нітриду бору (КНБ). В якості різучого інструменту були обрані токарні різці з механічним кріпленням пластин. Було надано перевагу круглим пластинам з гексаніту, який є однією з модифікацій полікристалічного кубічного нітриду бору, і має більш високу з усіх марок КНБ ударну стійкість. Розглянуто можливість застосування кубічного нітриду бору для виконання операції обдирки ливарної кірки зовнішніх поверхонь деталей «Валок листопрокатний», виконаних з високолегованого вибіленого чавуну хромопідсиленого марки ЛПХНМдц-73 шляхом проведення ряду експериментальних досліджень. Визначено ресурс різучих пластин з кубічного нітриду бору модифікації гексаніту марки RGN 190700 S02015. Були проведені порівняльні дослідження між стійкістю інструменту, працюючого у різних умовах – з різними твердістю поверхонь деталей та різними режимами різання. Визначено, що при обробці ливарної кірки зовнішніх поверхонь бочки високолегованих листопрокатних валків у всіх випадках різучі пластини, виконані з КНБ марки RGN 190700 S02015 володіють значно більшим ресурсом у порівнянні з шліфувальними кругами з електрокорунду білого марки 25A 900×80×305 F3 6N 6V 50m/c. Результати експериментів показали, що стійкість пластин з КНБ на 80-82,7% більша ніж стійкість шліфувальних кругів. Ця значна різниця дозволила рекомендувати на операціях обдирки ливарної корки чавунних валків віддавати перевагу саме лезовій обробці на токарних верстатах. Крім того у статті доведено, що використання лезових методів обробки на операціях обдирки є більш економічно екологічно вигідним методом ніж шліфування. В статті також були запропоновані раціональні параметри режиму різання для забезпечення необхідної якості поверхневого шару деталей. Встановлено, що для виконання операції обдирки ливарної корки листопрокатних валків твердістю 81-83 HSD раціональними будуть режими: глибина різання $t = 3...4$ мм; подача $S = 0,4$ мм/об; швидкість різання $V = 10...15$ м/хв. Результати досліджень можуть бути використані для подальшого вибору раціональних умов

механічної обробки заготовок з вибілених високолегованих чавунів підвищеної твердості у виробничій практиці.

Ключові слова: розширення технологічних можливостей, шліфувальний круг, різець, кубічний нітрид бору, вибілений високолегований чавун, режими різання.

Вступ. В останні роки, як у світовій промисловості, так і в Україні зростає виробництво та застосування лезових різучих інструментів із синтетичних надтвердих матеріалів (НТМ) – кубічного нітриду бору та полікристалічних алмазів, з одночасним істотним розширенням областей використання таких інструментів [1, 2, 3]. Ці принципово нові як за технологією виготовлення, так і за умовами експлуатації інструментальні матеріали дозволяють вести обробку зі швидкостями різання на порядок вищими, ніж тверді метали [2, 4, 5]. Так пластинами з НТМ оснащують різальні інструменти, що використовуються на операціях точіння, фрезерування, свердління, розгортання, розточування деталей виконаних з чавунів і загартованих сталей, кольорових сплавів, новітніх важкооброблюваних композиційних матеріалів і сплавів (рис. 1). Такі інструменти у всіх промислово розвинених країнах знайшли своє застосування не тільки в масовому та багатосерійному, але головним чином у серійному та дрібносерійному виробництві [3, 5].

Полікристалічні надтверді матеріали отримують шляхом вторинного спікання при високих тисках і температурі мікропорошків як синтетичних алмазів, так і з кубічного нітриду бору [1, 6, 7].

Полікристалічний алмаз – це композиційний матеріал на основі частинок алмазу, спечених з використанням металевої сполучної речовини [1]. Алмаз є найтвердішим і, отже, найбільш зносостійким з усіх матеріалів. Як інструментальний матеріал він має гарну зносостійкість, але недостатню хімічну стабільність при високих температурах і легко розчиняється в залозі. Полікристалічний алмаз дає

більш високий рівень міцності ріжучої кромки, його структура і розмір «зерна» дуже різноманітна (від дрібної до великої), що дозволяє виготовляти інструменти з різними ріжучими та властивостями міцності. Інструмент такого матеріалу здатний вести обробку матеріалів з абразивними включеннями від 2-70%, зберігаючи при цьому стійкість ріжучої кромки. Застосування інструментів, оснащених пластинами з полікристалічних алмазів, обмежується обробкою кольорових металів, таких як алюмінієві сплави з високим вмістом кремнію, композиційних матеріалів із металевою матрицею та пластиків, армованих вуглецевим волокном. У поєднанні з ЗОР полікристалічний алмаз може застосовуватися для фінішної обробки титану.



Рис. 1. Приклади інструментів, оснащених пластинами з надтвердих синтетичних матеріалів:
а – прохідні різці; б – розточувальні різці;
в – фреза торцева насадна; г – розгортка

Надтвердий матеріал на основі полікристалічного кубічного нітриду бору (КНБ) є другим за твердістю матеріалом після алмазу, має робочу температуру до 1250°C, характеризуються високим опором термічним ударам та циклічним навантаженням, а також слабкою хімічною взаємодією із залізом. Матеріал виробляється з різним вмістом кубічного нітриду бору, сполучних матеріалів, розміром зерна, що дозволяє отримувати різні характеристики та властивості інструментів під конкретні матеріали та види обробки [6].

Основна сфера застосування інструменту з полікристалічного кубічного нітриду бору – це чистова та напівчиста обробка сірих, високоміцних та білених чавунів та загартованих сталей, сплавів на основі алюмінію та міді, композиційних неметалевих матеріалів, твердих вольфрамкобальтових сплавів. Механічна обробка проводиться в більшості випадків в умовах автоматизованого виробництва на базі

верстатів з ЧПК, багатоцільових верстатів, автоматичних ліній, спеціальних швидкісних верстатів.

На теперішній час розроблена та випускається широка номенклатура інструменту з КНБ для високошвидкісного різання [6, 7, 8]:

- токарні прохідні, розточувальні, канавкові, різьбові різці, у тому числі складної конструкції для зняття підвищених допусків із деталей типу прокатних валків;

- торцеві хвостові та насадні фрези, у тому числі регульовані та переналагоджувані, які можуть оснащуватися пластинами з різних інструментальних матеріалів з оптимальною для кожного геометрією;

- гама розточувальних напайних та збірних різців;

- зенковки, розточувальні голівки і т.д.

Інструменти можуть оснащуватися як напайними ріжучими елементами (циліндричні та прямокутні вставки, багатогранні твердосплавні пластини з напайкою в одній з вершин), так і змінними круглими або багатограними пластинами цільної або двохшарової конструкції (рис. 2). Найбільш ефективно використання пластин, виконаних з КНБ, при високошвидкісному торцевому чистовому фрезеруванні алюмінієвих сплавів та кольорових металів забезпечують високошвидкісні фрези, орієнтація положення пластин у яких здійснюється в осьовому, радіальному та кутовому напрямках [9].



Рис. 2. Приклади змінних пластин, що виконано з кубічного нітриду бору

Інструменти, оснащені НТМ, у порівнянні з інструментами з напаяними пластинами, мають ряд переваг:

- більш високі показники міцності, надійності та стійкості;
- зменшення витрат на купівлю нових та утилізацію зношених пластин;
- менші прості обладнання при заміні та налагодженні інструменту, що особливо важливо при експлуатації сучасних дорогих верстатів з ЧПК та автоматичних ліній;
- менші втрати гостродефіцитних матеріалів (вольфраму, кобальту, танталу та ін.) за рахунок збільшення повернення пластин на переробку.

Недоліки інструментів, оснащених НТМ:

- висока вартість через їх високу точність, а отже, високу трудомісткість виготовлення пластин та інструменту в цілому;
- неможливість повного забезпечення оптимальної геометрії різальної частини інструменту через задану форму пластин та умови їх кріплення.

Постановка проблеми. Незважаючи на досить велику кількість досліджень щодо використання інструментів із надтвердих матеріалів, питання регламентації найбільш ефективної галузі їх застосування та вибору раціональних режимів різання залишаються досить актуальними.

Аналіз досліджень і публікацій. Механічна обробка деталей з високоміцних, твердих і важкообробних матеріалів є одним з таких процесів і досить поширена в промисловості. В даний час проводиться велика кількість досліджень по знаходженню оптимальної системи параметрів якості поверхонь деталей машин, яка найбільш повно відображала їх експлуатаційні властивості [10-14].

У роботі [15] наведено результати дослідження процесу точіння загартованих сталей 50Г, Х12М, 40ГМФР та 9ХС різцями з КНБ. За критерій продуктивності процесу авторами був обраний параметр – стійкість інструменту, ріжуча пластина якого була виконана з гексаніту-Р. Авторами [15] встановлено, що у всіх випадках зростання швидкості різання призводить до зниження стійкості інструменту, але з різною інтенсивністю. Так, при точінні загартованих сталей 40ГМФР (HRC_э 47-49) і Х12М (HRC_э 58-60) зростання швидкості різання в досліджуваному діапазоні $V = 0,6 \dots 3,5$ м/с чинить слабкий вплив на зміну стійкості різців з надтвердих матеріалів. Автори також відзначають, що при різанні заготовок зі сталі Х12М і 9ХС зношування пластин з КНБ було нижче, ніж при різанні сталей 40ГМФР і 50Г. Цей результат вони пояснюють наявністю у складі оброблюваного матеріалу значної кількості хрому (до 1,25% сталі 9ХС і до 12% сталі Х12М), який стоїть на другому місці в ряді металів, хімічно активних до кубічного нітриду бору. Авторами встановлено, що вплив швидкості різання знижується зі зростанням відсоткового вмісту цих елементів. В роботі [15] також був розглянутий вплив застосування різних складів змашувально-охолоджуючих рідин (ЗОР) на зносо-

стійкість інструменту, оснащеного пластинами з КНБ гексаніту-Р. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що всі склади використаних ЗОР дозволяють підвищити працездатність інструменту з гексаніту-Р, і ця залежність має екстремальний характер у швидкісному діапазоні від 1 до 2 м/с.

Авторами роботи [16] були проведені результати досліджень, які показали, що для матеріалів на основі КНБ, що мають дрібнозернисту структуру та керамічну сполуку, інтенсивність зношування незначна навіть при одержуваному фрезеруванні сірого чавуну зі швидкістю $V = 3000-4000$ м/хв. Обмеженням для використання цих матеріалів при високошвидкісній обробці є їхня стійкість до термічного удару.

Згідно з [6, 17] КНБ рекомендується для точіння в важких умовах з нерівномірним допуском при швидкості різання $V = 300-800$ м/хв та глибині різання до 3 мм; для попереднього та напівчистого фрезерування при $V = 400-1200$ м/хв та глибина різання до 4 мм, при напівчистовому фрезеруванні сірого чавуну при швидкості $V = 1000$ м/хв.

При обробці сірих високоміцних чавунів підвищення продуктивності забезпечується за рахунок використання високошвидкісного точіння зі швидкістю $V = 500-3000$ м/хв. Отже, при високошвидкісному торцевому фрезеруванні чавунних корпусних деталей на верстатах типу «обробний центр» касетними регульованими фрезами з пластинами КНБ різних марок, форм і розмірів забезпечується підвищення продуктивності різання і стійкості інструменту в 3-6 разів.

Для розточування отворів в корпусних деталях з чавунів будь-якої твердості використовуються розточувальні головки регульовані зі змінними пластинами з КНБ. Головки використовуються в умовах автоматизованого виробництва, на спеціальних верстатах, автоматичних лініях, верстатах з ЧПУ, гнучких виробничих модулях та системах. Режими різання, що рекомендуються: швидкість 500-800 м/хв; подача 0,05...0,3 мм; глибина 0,5...2,0 мм.

У роботі [18] наведено порівняльний аналіз стійкості пластин з ВКЗМ та КНБ прохідних різців, що використовуються як інструмент на чорновій вальцетаканній операції технологічного процесу обробки деталей «Валок листопрокатний». Всі досліджувані деталі були виконані з вибілених високолегованих чавунів з твердістю поверхонь, що обробляються в межах HSD 74-80 одиниць. З результатів експериментальних досліджень, наведених в [18] слід, що на стійкість різців, ріжуча частина яких оснащена твердим сплавом ВКЗМ значний вплив збільшує твердість оброблюваного матеріалу і глибини різання. Так, у роботі [18] встановлено, що при збільшенні твердості чавуну всього на 6 одиниць стійкість різців, зменшилася з 90 до 30 хв., що склало 66,5%. Зміна глибини різання з 2 до 3,5 мм, при подачі $S=2$ мм/об та частоті $n=3,0$ об/хв призвело до погіршення стійкості різця на 60%. При цьому стійкість різця,

оснащений пластинами з КНБ модифікації гексаніт, в 3 рази вище стійкості різця, оснащеного традиційними пластинами, виконаними з ВКЗМ.

У роботі [18] встановлено, що при чорновому та чистовому точінні високолегованих вибілених чавунів сплав ВКЗМ найбільш продуктивний на малих швидкостях різання ($V = 4,5 \dots 6$ м/хв) та високих поздовжніх подачах ($S = 2 \dots 3$ мм/об). При цьому для пластин з КНБ модифікації гексаніт прийнятний зворотний ефект – високі швидкості різання ($V = 23 \dots 27$ м/хв) та малі поздовжні подачі ($S = 0,6 \dots 0,8$ мм/об). Проведення економічної оцінки продуктивності процесу механічної обробки деталей, виконаних з вибілених високолегованих чавунів, традиційним та новим досліджуваним інструментом показало, що знімання металу однією одиницею інструменту з гексаніту в 4,1 рази більше порівняно з обробкою ВКЗМ. Застосування пластин з гексаніту порівняно з пластинами з ВКЗМ, що використовуються в даний момент, дозволяє підвищити продуктивність обробки бочки валків в 3,3 рази.

Як показали результати досліджень авторів [19, 20] економічний ефект від впровадження токарних та розточувальних різців, фрез та іншого лезового інструменту на основі ріжучих елементів із НТМ для високошвидкісного різання важкооброблюваних матеріалів зі швидкостями $500 \dots 3000$ м/хв забезпечується за рахунок підвищення швидкості різання в $5 \dots 10$ разів, продуктивність обробки в $1,5 \dots 10$ разів, стійкість інструменту як мінімум на порядок, якість обробки поверхні в порівнянні з твердосплавним інструментом. З іншого боку, висока швидкість дозволяє здійснити обробку без ЗОР, тобто, так зване «сухе» різання, що зменшує витрати та покращує екологічну обстановку на робочому місці, а також зменшує шкідливі викиди у навколишнє середовище.

З проведеного аналізу існуючих робіт стає ясно, що на сьогодні основні закономірності процесу різання надтвердими матеріалами розкрито недостатньо. Рекомендації щодо їх застосування мають загальний або суперечливий характер, що не дозволяє в умовах промислового виробництва здійснити вибір ефективних технологічних рішень та раціональних режимів обробки.

Метою досліджень даної роботи є показати можливість ефективного застосування різців, що оснащено змінними пластинами з кубічного нітриту бору при виконанні токарної операції обдирки ливарної корки високолегованих зносостійких вибілених чавунів.

Основними завданнями дослідження є:

- теоретичні дослідження областей застосування пластин, виконаних їх надтвердих синтетичних матеріалів;

- аналіз існуючих результатів досліджень, спрямованих на виявлення факторів, що впливають на продуктивність процесу механічної обробки важкооброблюваних матеріалів високої твердості різцями, оснащеними пластинами з кубічного нітриту бору;

- розробка та економічне обґрунтування технологічних рекомендацій, що до механічної обробки зовнішніх поверхонь деталей типу «Валок листопрокатний» на операціях обдирки ливарної корки;

- розробка рекомендацій по вибору режимів різання, які забезпечують найбільш економічне отримання необхідних параметрів стану поверхневого шару деталей.

Результати досліджень. Об'єктом досліджень даної роботи були деталі типу «Валок листопрокатний», що виготовляються методом відцентрового литва.

Листопрокатний валок – це найважливіший та унікальний інструмент металургійного виробництва, від якості виливки та механічної обробки якого залежить якість та кількість прокатоного металу. Одним з перспективних способів отримання заготовок листопрокатних валків є відцентрове лиття у металеві форми-виливниці [21]. Однак, промисловий досвід свідчить про те, що застосування даного способу лиття значно ускладнює механічну обробку отриманих валків, оскільки збільшується їх твердість, глибина вибіленого шару чавуну, змінюється хімічний склад елементів, що легують, збільшуються глибина ливарної кірки. При цьому, як вказують автори [1, 20], використовувати загальномашинобудівні нормативи при обробці зовнішніх поверхонь деталей неможливо, оскільки вони не містять відомостей для визначення режимів різання та стійкості різця для випадків обробки вибілених високолегованих чавунів.

На сьогоднішній день у технологічному ланцюжку обробки листопрокатних валків, отриманих відцентровим способом лиття з твердістю поверхневого шару 71-83 HSD, найбільш трудомісткою є операція обдирки ливарної корки шліфуванням. Це обумовлено тим, що у структурі ливарної корки міститься велика кількість твердих складових ледебуриту і цементиту, а також наявності пригарів, раковин, тріщин [21]. Обдирка ливарної корки шліфуванням є вкрай економічно недоцільною операцією. Це пов'язано з тим, що значно збільшується витрата дорогих шліфувальних кіл. Крім цього весь припуск високолегованого кошового чавуну, витрачається в шлам. Тому очевидним стає необхідність заміни шліфування лезовою обробкою.

Складовими показниками при оцінці економічного ефекту від заміни шліфування точінням є:

1. Вартість токарного верстата приблизно в три рази нижче, ніж шліфувального. Точність обробки при точінні і шліфуванні ливарної корки ідентична, а час обробки є значно (іноді в три рази) нижчим.

2. Вартість шліфувальних кіл приблизно співпадає з вартістю змінних пластин з КНБ, однак пластини двосторонні, тобто при критичному зношенні однієї сторони пластини є можливість використання другої. Строк роботи змінних пластин з КНБ значно вищий також за рахунок їх більшій стійкості.

3. При зношенні шліфувального круга допоміжний час на заміну інструмента та налагодження

верстату значно вищий у порівнянні з заміною зношеної багатогранної пластини при точінні лезовим інструментом.

4. Утилізація шліфувального шламу є дуже коштовною процедурою. В даний час промислові відходи в Україні розміщуються у відвали, терикони, шламозвалища та інші накопичувачі, з яких вони проникають у ґрунт, забруднюючи повітря та підземні води [22]. Натомість, стружка, що лишається після лезової обробки є дуже дорогоцінною для виробництва, бо відцентровий спосіб литва передбачає концентрацію коштовних легуючих елементів саме в поверхневому шарі листопрокатних валків. Тому вся стружка ретельно збирається, та відправляється на переплавлення.

5. При виконанні грубошліфувальної операції обов'язкове використання ЗОР, а при точінні ливарної корки різцями зі змінними пластинами з КНБ допускається «сухе точіння», тобто без використання ЗОР та майбутньої її утилізації.

Як уже зазначалося раніше, для підвищення продуктивності процесу обробки деталей виконаних з вибілених високолегованих чавунів з метою скорочення витрати ріжучого інструменту, а також економії енергоресурсів доцільно використати надтверді полікристалічні матеріали, виконані з кубічного нітриду бору (КНБ). Для перевірки цього твердження було проведено низку експериментальних досліджень. Дані дослідження були спрямовані на порівняльну оцінку ефективності застосування на операції обдирки ливарної корки шліфувальних кіл і різців з механічним кріпленням пластин, виконаних із КНБ.

При проведенні експериментальних досліджень були використані наступні ріжучі інструменти:

- шліфувальний круг на керамічній зв'язці з електрокорунду білого марки 25A 900×80×305 F36 N 6V 50m/c ГОСТ Р 52781-2007 (рис. 3);

- різці з механічним кріпленням круглої двосторонньої пластини, виконаної з КНБ модифікації гексаніт RNGN 190700 S02015 (рис. 4), що випускається компанією «InterVit» (м. Київ) [7]. Технологічні характеристики пластини: діаметр $D = 19,05 \pm 0,025$ мм; висота $t = 7,94 \pm 0,13$ мм; фаска по передній поверхні $f = 1,5$ мм; кут фаски $\gamma_f = -15^\circ$; марка матеріалу W 87. Наявність фаски в конструкції пластини з гексаніту підвищує стійкість до ударних навантажень, відповідно, і ресурс у таких пластин вищий [23]. При експерименті пластина поверталася та встановлювалася 8 разів (4 ділянки ріжучої кромки з одного боку та 4 ділянки після перевертання пластини на інший бік). Обробка ріжучою пластиною проводилася до величини зношування фаски по задній поверхні пластини $h_z = 0,5$ мм (рис. 5).



Рис. 3. Зовнішній вигляд шліфувального круга, що досліджувався в роботі



Рис. 4. Зовнішній вигляд прохідного токарного різця з механічним кріпленням пластин RNGN 190700 S02015

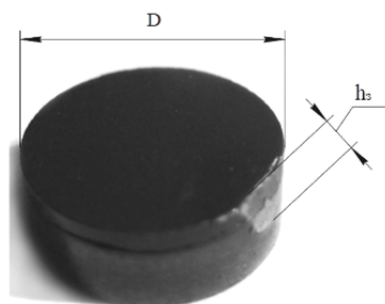


Рис. 5. Зовнішній вигляд фаски зношування ріжучої кромки пластини

В якості зразків, що досліджувалися були обрані литі відцентрові валки, виконані з високолегованого хромопідлегованого чавуну марки ЛПХНМдц-73. Хімічний склад та технічні характеристики чавуну наведено в табл. 1, 2. Твердість поверхнього шару деталей, що досліджувалась була в межах HSD 81-83 одиниці. Діаметр зовнішньої поверхні бочки валку $D = 730$ мм, довжина оброблюваної поверхні – 2500 мм.

Таблиця 1

**Хімічний склад чавуну ЛПХНМдц-73
робочого шару хромопелітних валків**

Хімічний склад, % за масою									
C	Si	Mn	P не більше	S не більше	Cr	Ni	Mo	V	W
2,9-3,5	0,5-1,1	0,5-1,0	0,1	0,04	1,2-2,0	4,0-4,6	0,2-0,6	0,1-0,2	0,1-0,4

Таблиця 2

**Технологічні та фізико-механічні властивості
чавуну ЛПХНМдц-73**

Глибина робочого шару, мм	HSD	σ_B , МПа	E, ГПа	KCU, Дж/см ²	α (20-100 °C)
40-60	73 - 86	320-450	18-20	2,7-3,0	12-13

Дослідження проводилися на спеціальних круглошліфувальному та токарному верстатах моделей ХШ5-15, 1А825 відповідно. Змінними параметрами при цьому були: твердість бочки валка, глибина різання, швидкість різання, поздовжня подача. Діапазон вимірювання режимів різання було обрано наступним:

- для шліфування – поперекова подача, $S_p = 0,025 \dots 0,075$ мм/об; частота обертання деталі $n_d = 5 \dots 10$ об/хв; поздовжня подача $S_{пов} = 0,07$ м/мин; швидкість обертання шліфувального круга $V_k = 35-50$ м/с;
- для точіння – глибина різання, $t = 1 \dots 4$ мм; частота обертання шпинделя верстата $n = 5 \dots 10$ об/хв; подача $S = 0,4 \dots 0,9$ мм/об.

Кадр фотографування процесу токарної обдирки ливарної корки деталей, що досліджуються токарним прохідним різцем, оснащеним пластиною RNGN 190700 S02015 наведено на рис. 6.



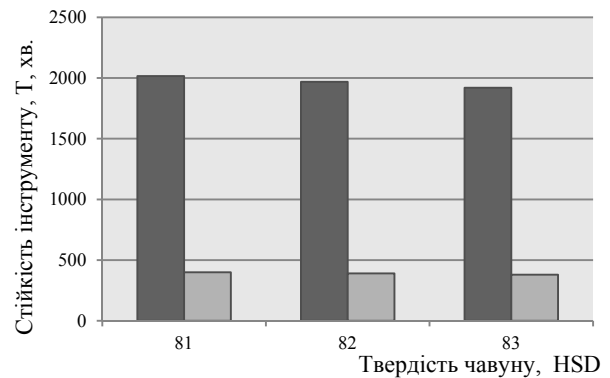
Перехід 1



Перехід 2

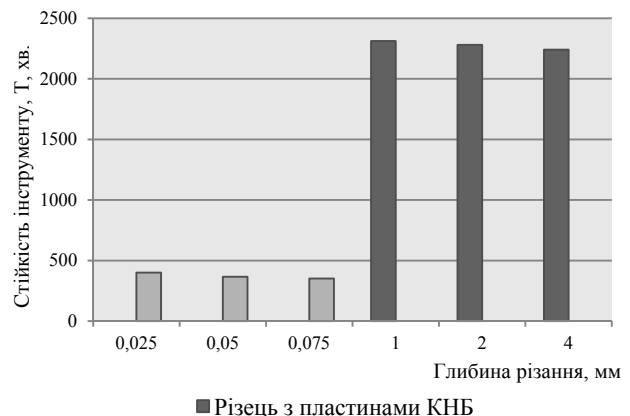
Рис. 6. Фото процесу токарної обробки деталей, що досліджуються прохідним різцем, оснащеним пластиною RNGN 190700 S02015

Результати експериментальних досліджень стійкості шліфувальних кіл та різців оснащених пластинами з КНБ залежно від твердості оброблюваного матеріалу та режимів різання наведено на графічних залежностях (рис. 7-9).



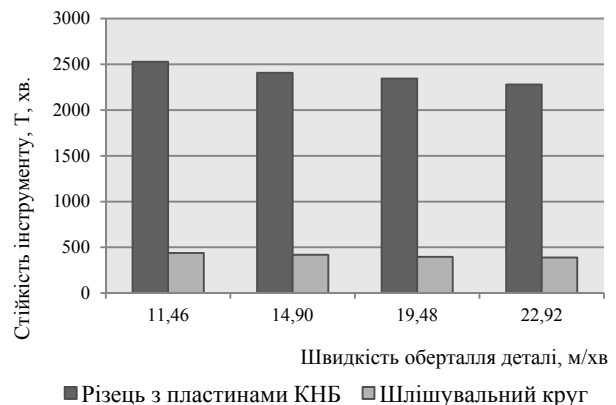
■ Різець з пластинами КНБ □ Шлішувальний круг

Рис. 7. Порівняльні діаграми залежності стійкості інструментів від твердості матеріалу, що оброблювався



■ Різець з пластинами КНБ

Рис. 8. Порівняльні діаграми залежності стійкості інструментів від глибини різання



■ Різець з пластинами КНБ □ Шлішувальний круг

Рис. 9. Порівняльні діаграми залежності стійкості інструментів від швидкості обертання деталі

Зовнішній вигляд поверхонь деталей, що досліджувалися до та після токарної обдирки прохідним різцем, оснащеним пластиною RNGN 190700 S02015 наведено на рис. 10, 11.



Рис. 10. Зовнішній вигляд ливарна корки чавунного листопрокатного валка



Рис. 11. Зовнішній вигляд поверхні після токарним різцем, оснащеним пластиною RNGN 190700 S02015

Результати експериментальних досліджень показали, що змінення твердості поверхневого шару валків з 81 до 83 HSD як для обробки корки шліфувальним кругом, так і для обробки пластинами з КНБ не призвело до значної зміни зношування інструменту (збільшився всього на 5%).

Зі збільшенням глибини різання стійкість ріжучого інструменту знижується. Аналіз наведених на рис. 8 залежностей показав, що при знятті ливарної корки шліфуванням збільшення глибини різання в 3 рази призводить до погіршення стійкості шліфувального круга на 12%. Разом з тим при дослідженні стійкості пластин з КНБ встановлено, що збільшення глибини різання в 4 рази призводить до збільшення зношування пластин на 3%.

Аналіз отриманих залежностей показав, що на операції обдирання ливарної кірки у всіх випадках зростання швидкості різання призводить до зниження стійкості інструменту, але з різною інтенсивністю. Так при обдирці кірки, як шліфувальним кругом, так і різцем із пластинами з КНБ при зростанні швидкості на 50% спостерігалася незначне підвищення зносу інструменту і становить 11,2% та 9,8% відповідно. З отриманих залежностей можна дійти невтішного висновку, що у операції обдирки ливарної кірки високолегованих чавунних валків зростання швидкості різання у досліджуваному діапазоні слабо впливає зміна стійкості ріжучих інструментів, що збігається з думкою автором робіт [19, 20, 23].

Експеримент показав, що при обробці ливарної кірки зовнішніх поверхонь бочки високолегованих листопрокатних валків у всіх випадках ріжучі пластини, виконані з полікристалічного КНБ марки RNGN 190700 S02015 володіють значно більшим ресурсом у порівнянні з шліфувальними кругами з електрокорунду білого марки 25A 900×80×305 F3 6N 6V 50m/c. Як видно з залежностей, наведених на рис. 7-9 стійкість пластин з КНБ на 80-82,7% більша ніж стійкість шліфувальних кругів. Ця значна різниця дозволяє зробити висновок, що на операціях обдирки ливарної корки чавунних валків раціонально віддавати перевагу лезовій обробці на токарних верстатах. Високоєфективним, при цьому є вибір саме різців з механічним кріпленням пластин з полікристалічного нітриду бору модифікації гексаніт. Для виконання операції обдирки, як показують результати експериментальних досліджень, раціональними будуть режими: глибина різання $t = 3 \dots 4$ мм; подача $S = 0,4$ мм/об; швидкість різання $V = 10 \dots 15$ м/хв.

Висновки.

1. В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень було встановлено, що найбільш ефективним синтетичним надтвердим матеріалом, з досліджуваних марок, при обробці деталей із високоміцних чавунів є кубічний нітрид бору модифікації гексаніту, оскільки саме ця марка КНБ має більш високу ударну стійкість та продуктивність.

2. Експериментальним шляхом визначено, що найбільш ефективною для обдирки ливарної корки листопрокатних валків твердістю поверхневого шару 81-83 є операція токарної обробки різцями з механічним кріпленням круглих пластин з КНБ марки RNGN 190700 S02015 з фаскою по передній поверхні $f = 1,5$ мм та кутом фаски $\gamma_f = -15^\circ$.

3. Експериментально встановлено, що у порівнянні з обдиркою корки шліфувальним кругом з електрокорунду білого марки 25A 900×80×305 F3 6N 6V 50m/c стійкість інструменту з КНБ на 80-82,7% більша ніж стійкість шліфувальних кругів.

4. Результати експериментальних досліджень свідчать, що для виконання операції обдирки різцями, оснащеними пластинами з КНБ марки RNGN 190700 S02015 найбільш раціональними є режими обробки: глибина різання $t = 3 \dots 4$ мм; подача $S = 0,4$ мм/об; швидкість різання $V = 10 \dots 15$ м/хв.

5. Результати теоретичних та експериментальних досліджень можуть бути використані для подальшого вибору раціональних умов механічної обробки заготовок з вибілених високолегованих чавунів підвищеної твердості у виробничій практиці.

Література

1. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні: підручник для студентів вищих навчальних закладів / А.І. Грабченко та ін. Житомир: ЖДТУ, 2003. 415 с.

2. Инструменты из сверхтвердых материалов / под. ред.: Н.В. Новикова, С.А. Клименко. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2014. 608 с.
3. Huang Y., Liang S.Y. Modeling of CBN Tool Flank Wear Progression in Finish Hard Turning // *Trans. of the ASME: Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2004, vol. 126, no. 1, pp. 98-107. DOI:<https://doi.org/10.1115/1.1644543>
4. Грубый С.В., Лапшин В.В. Исследование режущих свойств резцов из нитрида бора: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. Наука и образование. 2012. №6. С. 61-76. DOI: <http://dx.doi.org/10.7463/0612.0423622>
5. Макаров М.В. Повышение эффективности точения инструментом из СТМ на основе назначения рациональных режимов резания с учетом ультразвуковой диагностики его свойств: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01. Рыбинск, 2000, 16 с.
6. <http://www.kompozit.spb.ru>
7. <http://www.intervit.com.ua>
8. <http://www.weiss-diamant.com>
9. <http://microbor.com>
10. Кріль О.С., Соколов В.І. Тривимірне моделювання металорізальних верстатів та інструментального оснащення. Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2016. 160 с.
11. Krol O., Sokolov V., Tsankov P. Modeling of vertical spindle head for machining center. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020, No. 1553. 012012. – VSPID-2019. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1553/1/012012>
12. Krol O.S., Osipov V.I. Modeling of construction spindle's node machining centre SVM1F4/Commission of Motorization and Power Industry of Agriculture. – OL PAN, 2013, Vol.13, is.3, Lublin, Poland. – P. 108–113
13. Krol O., Juravlev V. Modeling of spindle for turret of the specialized tool type SF16MF3 // *TEKA Com. Mot. and Energ. in Agriculture*. – OL PAN, 2013, Vol.13, No. 4, Lublin, Poland. P. 141–147.
14. Krol O., Sukhorutchenko I. 3D-modeling and optimization spindle's node machining centre SVM1F4 // *TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture*. – Vol.13. – № 3. 2013. – Lublin, Poland. P. 114–119.
15. Гартфельдер В.А., Секлетина Л.С., Янюшкин А.Р. Лезвийная обработка закаленных сталей инструментами из кубического нитрида бора // *Системы. Методы. Технологии*. 2020. №1(45). С. 29-33. DOI: <http://dx.doi.org/10.18324/2077-5415-2020-1-29-33>
16. Куликов М.Ю. Картамышев А.Ю. Влияние структуры на работоспособность инструмента из нитрида бора при чистовой обработке деталей, упрочненных методами электроконтактных технологий // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2011. Вып. 1. С. 62-64.
17. Куц В.А. Совершенствование процесса механической обработки чугунных прокатных валков с целью повышения производительности и улучшения эксплуатационных свойств: дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01. Екатеринбург, 1999. 203 с.
18. Шумакова Т.А. Повышения производительности механической обработки деталей из отбеленных высоколегированных чугунов // *Вісник національного технічного університету «ХП»*. Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. 2015р. №11(1120). С.108-115.
19. Коган Б.И. Прогрессивные режущие материалы для токарной обработки восстанавливаемых поверхностей

- деталей машин // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2013. № 1. С. 58-64.
20. Тотай А.В., Нагоркин М.Н., Федоров В.П. Детали машин. Современные средства и прогрессивные методы обработки: учебник для академического бакалавриата Изд. 2-е, перераб. и доп.: Москва – Юрайт, 2016. 288 с.
21. Жижкина Н.А. Научные и технологические основы литья крупногабаритных биметаллических заготовок для прокатных станков: дис. ... док. тех. наук: 05.16.04. Брянск, 2017. 421 с.
22. Гальчук Т.Н. Вдосконалена технологічна схема переробки шламових відходів машинобудування // *Вісник Хмельницького національного університету*. 2012. №4 С. 26-30.
23. Криворучко Д.В., Некрасов С.С., Нешта А.А. и др. Выбор инструментального материала режущих пластин для обработки износостойкого чугуна // *Збірник наукових праць: Процеси механічної обробки в машинобудуванні*. 2013. Вип. 14. С 82-94.

References

1. Working processes of high technologies in machine-building industry: a handbook for students of the highest ranks / A.I. Grabchenko and in. Zhytomyr: ZhDTU, 2003. 415 p.
2. Instrumenty iz sverkhkhtverdykh materialov / pod. red.: N.V. Novykova, S.A. Klimenko. Izd. 2-e, pererab. i dop. M.: Mashynostroenie, 2014. 608s.
3. Huang Y., Liang S.Y. Modeling of CBN Tool Flank Wear Progression in Finish Hard Turning // *Trans. of the ASME: Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2004, vol. 126, no. 1, pp. 98-107. DOI:<https://doi.org/10.1115/1.1644543>
4. Gruby S.V., Lapshin V.V. Study of cutting properties of boron nitride cutters: scientific publication of MSTU im. N.E. Bauman. Science and education. 2012. No. 6 S. 61-76. DOI: <http://dx.doi.org/10.7463/0612.0423622>
5. Makarov M.V. Increasing the efficiency of turning with an STM tool based on the appointment of rational cutting modes, taking into account ultrasonic diagnostics of its properties: Ph.D. dis. ... cand. those. sciences: 05.03.01. Rybinsk, 2000, 16 p.
6. <http://www.kompozit.spb.ru>
7. <http://www.intervit.com.ua>
8. <http://www.weiss-diamant.com>
9. <http://microbor.com>
10. Krol O.S., Sokolov V.I. Trivimirne modelyuvannya metalorizalnih verstativ ta instrumentalnogo osnashchennya. Severodonetsk: SNU Im. V. Dalya, 2016. 160 s.
11. Krol O., Sokolov V., Tsankov P. Modeling of vertical spindle head for machining center. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020, No. 1553. 012012. VSPID-2019. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1553/1/012012>
12. Krol O.S., Osipov V.I. Modeling of construction spindle's node machining centre SVM1F4/Commission of Motorization and Power Industry of Agriculture. – OL PAN, 2013, Vol.13, is.3, Lublin, Poland. – P. 108–113
13. Krol O., Juravlev V. Modeling of spindle for turret of the specialized tool type SF16MF3 // *TEKA Com. Mot. and Energ. in Agriculture*. – OL PAN, 2013, Vol.13, No. 4, Lublin, Poland. P. 141–147.
14. Krol O., Sukhorutchenko I. 3D-modeling and optimization spindle's node machining centre SVM1F4 // *TEKA*

- Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. –Vol.13. – № 3. 2013. – Lublin, Poland. P. 114–119.
15. Gartfelder V.A., Sekletina L.S., Yanyushkin A.R. Blade processing of hardened steels with cubic boron nitride tools // Systems. Methods. Technologies. 2020. № 1(45). pp. 29-33. DOI: <http://dx.doi.org/10.18324/2077-5415-2020-1-29-33>
 16. Kulikov M.Yu. Kartamyshev A.Yu. Influence of the structure on the performance of a tool made of boron nitride in the finishing processing of parts hardened by methods of electrocontact technologies // Bulletin of the Ivanovo State Power Engineering University. 2011. Issue. 1. S. 62-64.
 17. Kuts V.A. Improving the process of mechanical processing of cast-iron rolls in order to increase productivity and improve operational properties: dis...cand. those. sciences: 05.03.01. Ekaterinburg, 1999. 203 p.
 18. Shumakova T.A. Improving the productivity of machining parts from chilled high-alloy cast irons // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Collection of scientific works. Series: Mechanical and technological systems and complexes. 2015 No. 11(1120). S. 108-115.
 19. Kogan B.I. Progressive cutting materials for turning of machine parts to be restored. Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2013. No. 1. S. 58-64.
 20. Totai A.V., Nagorkin M.N., Fedorov V.P. Machine parts. Modern means and progressive methods of processing: a textbook for academic baccalaureate Ed. 2nd, revised, and additional: Moscow - Yurayt, 2016. 288 p.
 21. Zhizhkina N.A. Scientific and technological foundations of casting large-sized bimetallic blanks for rolling mills: dis. ... doc. those. sciences: 05.16.04. Bryansk, 2017. 421 p.
 22. Galchuk T.N. Completed technological scheme for the processing of sludge inlets of machine-building // Bulletin of the Khmelnytsky National University. 2012. No. 4 S. 26-30.
 23. Krivoruchko D.V., Nekrasov S.S., Neshta A.A. Choice of tool material for cutting inserts for processing wear-resistant cast iron // Collection of scientific practices: Processes of mechanical processing in machine-building industry. 2013. Vip. 14. C 82-94.

Shumakova T.O., Nikolaenko A.P. Choice of cutting tool for machining of casting crust of high alloy white cast iron

The article considers the process of machining with blade tools from synthetic superhard materials machine parts with unique physical and mechanical properties. Superhard materials from cubic boron nitride (CBS) were selected from a wide range. Turning cutters with mechanical plate mounting were selected as the cutting tool. Preference was given to round plates made of hexanite, which is one of the modifications of polycrystalline cubic boron nitride, and has the highest impact resistance of all brands of KNB. Several series of experiments were conducting to study the possibility of using cubic boron nitride to perform the machining operation of the casting crust of the outer surfaces of parts "Rolled sheet" made of high-alloy white chromium-nickel cast iron brand LPHNMdts-73. The resource of cutting plates from cubic boron nitride of hexanite modification RNGN 190700 S02015 brand was determined. Durability of tools were compared. Tools were operated in different conditions - with different surface hardness of parts and different cutting modes. The casting crust of the outer surfaces of the barrels of high-alloy sheet metal rolls was machined and it was determined that cutting plates made of KNB brand RNGN 190700 S02015 have a significantly greater durability compared to grinding wheels made of white corundum brand 25A 900×80×305 F3 6N 6V 50m/c in all cases. The results of experiments showed that the strength of the plates of the KNB is 80-82.7% greater than the strength of grinding wheels. According to this significant difference machining of casting crust of iron rolls on lathes machine-tools was recommended. In addition, the article proves that the use of blades of machining methods in peeling operations is a more cost-effective and environmentally friendly method than grinding. The article also proposed the optimal cutting modes to ensure the desired properties of the parts surface layer. The following rational modes for the machining operations of casting crust of sheet rolled rolls with a hardness of 81-83 NSD was established: cutting depth $t = 3 \dots 4$ mm; feed $S = 0.4$ mm / rev; cutting speed $V = 10 \dots 15$ m / min. The results of research can be used for further selection of rational conditions for machining of high-alloy white cast iron bars of high hardness in industrial practice.

Key words: expansion of technological capabilities, grinding wheel, cutter, cubic boron nitride, chilled cast iron, cutting conditions.

Шумакова Тетяна Олександрівна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк), shumakovatania@gmail.com
Ніколаєнко Анна Павлівна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк), apnikolaenko@gmail.com

Стаття подана 01.02.2022 р.