

В. І. ЛАВРІНЕНКО, д-р техн. наук,
О. О. ПАСІЧНИЙ, канд. техн. наук, Київ, Україна,
В. Ю. СОЛОД, канд. техн. наук, Дніпродзержинськ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ПОДРІБЛЕНИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА МІНЕРАЛЬНИХ КОНЦЕНТРАТІВ У ВИГЛЯДІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ НАПОВНЮВАЧІВ У РОБОЧОМУ ШАРІ КРУГІВ З НТМ

У статті пропонується, для підвищення ефективності шліфування, частину зерен НТМ замінити функціональним наповнювачем, основною функцією якого повинно бути таке структурування абразивного робочого шару, яке функціонально буде аналогічно створенню інструменту з дискретним ріжучим шаром. Представлено деякі показники обробки таким інструментом.

В статье предлагается, для повышения эффективности шлифования, часть зерен СТМ заменить функциональным наполнителем, основной функцией которого является такое структурирование рабочего слоя, которое функционально будет аналогично созданию инструмента с дискретным режущим слоем. Представлены некоторые показатели обработки таким инструментом.

*V. I. LAVRINENKO, O. O. PASICHNIJ, V. JU. SOLOD
APPLICATION CRUSHED TOOL MATERIALS AND MINERAL CONCENTRATES IN THE
FORM OF FUNCTIONAL LOADINGS IN A WORKING LAYER OF CIRCLES FROM
SUPERFIRM MATERIALS*

In article it is offered, for increase of efficiency of grinding, a part of grains SHM to replace with the functional filler which basic function is such structurization of a working layer which will be functional similarly to creation of the tool with a discrete cutting layer. Some indicators of processing are presented by such tool.

Свого часу було виявлено, в тому числі і одним з авторів даної статті [1], що відносна концентрація алмазів у робочому шарі круга у 100%, яка є найбільш характерною для кругів з надтвердих матеріалів, є у значній частині процесів шліфування перебільшеною і більш ефективною є концентрація у 75%, а навіть, як свідчать роботи А.І.Грабченка і В.О.Федоровича – 50% і навіть менше [2]. Це помітили і закордонні дослідники, тому в імпортих кругах здебільшого концентрація складає саме 75% [3]. Разом з тим виникає певна проблема, оскільки зменшення концентрації призводить до збільшення площі зв'язки, яка контактує зі шламом, а і навіть із оброблюваним матеріалом і, як наслідок, слабкою ділянкою на робочій поверхні круга стає зв'язуюче. Відтак, виникає необхідність його чимось зміцнювати або втримувати від підвищеного зношування. Здебільшого посилення цієї слабкої ланки відбувається за рахунок модифікування чи зміни зв'язуючого, що

призводить до невиправданого розширення номенклатури зв'язуючих, зростання дефіцитності їх специфічних складових, значної втрати універсальності зв'язуючих і, як наслідок, збільшення витрат на виробництво шліфувальних кругів з НТМ. На наш погляд, ідеологія вирішення цієї проблеми повинна бути дещо іншою. Треба змінювати не склад зв'язуючого, а застосовувати більш-менш універсальне зв'язуюче і, при цьому, частину зерен НТМ замінювати на функціональні наповнювачі, основною функцією яких і повинно бути посилення отієї слабкої ланки робочого шару круга. Це фактично є розробка абразивного інструменту з дискретним ріжучим шаром, у якому знаходяться ріжучі зерна та функціональні тверді включення у вигляді подріблених інструментальних матеріалів. Безумовно, для останніх необхідно для різних умов обробки визначити їх функцію – зносостійкість, теплопровідність, зменшення коефіцієнту тертя, тощо.

У цьому напрямку є певні напрацювання, які знайшли своє відображення в літературі. Так, авторами [4] з метою підвищення продуктивності та якості обробки в структуру шліфувального круга нарівні із абразивними зернами та керамічною зв'язкою вносяться електрокорундові сферичні частинки. При цьому, величина таких частинок дорівнювала 0,45...0,65 від величини абразивних зерен, а їх кількість складала 0,50...0,54 від кількості самих абразивних зерен. Іншим варіантом такого рішення є пропозиція авторів [5], коли абразивний інструмент має корпус, на якому розташовані вставки з абразивом різної зернистості, що спираються на корпус через еластичні елементи різної жорсткості. З метою підвищення точності та якості обробки, а також збільшення зносостійкості інструменту на еластичних вставках з меншою жорсткістю розташовані вставки, які містять абразив з більшою зернистістю і навпаки. Авторами [6] уточнюється такий функціональний елемент. В їх рішенні шліфувальний круг має робочу частину, яка містить зерна алмазу або кубічного нітриду бору і зв'язуюче, у склад якого входять фенольна смола та наповнювач, а також опорний елемент з пористого склоподібного матеріалу у формі диску, на який встановлюють робочу частину круга. Матеріал вказаного елемента містить зерна білого плавленого глінозему та склоподібне зв'язуюче. Теплопровідність і коефіцієнт теплового розширення введеного елемента забезпечують розмірну стабільність шліфувального круга незалежно від кількості тепла, що виділяється в процесі шліфування. Вкажемо, що характеристики тертя за цих умов мають суттєве значення, оскільки існує небезпека схоплення зв'язуючого з оброблюваним матеріалом, а це може призвести до вириву частинок зв'язуючого, підвищення коефіцієнта тертя, зростання температури в зоні контакту та наступному руйнуванню. На подолання тертя витрачається значна частина енергії в процесі обробки. Наприклад, при обробці пластмас різанням на тертя припадає до 60% від всього тепловиділення. Існує, і є найбільш розповсюдженою, можливість зниження тертя за

рахунок модифікації або просочення зв'язок. Так, в склад зв'язуючих вводять наповнювачі, що сприяють зниженню тертя (чавун, графіт, дисульфід молибдену, фтористий кальцій, тощо) або імпрегнатори з великою адгезійною здатністю та термодинамічною місткістю (олія рослинна, сірка, сульфат натрію, стеарин, тощо). Разом з тим, таке модифікування або просочування потребує зміни технологічного регламенту на виготовлення алмазного та кубонітового інструменту, є специфічним для певних умов обробки і не завжди спрацьовує позитивно. Тому, в рамках даної роботи нами розглядався саме викладений вище інший підхід – не модифікація зв'язуючого, а часткова заміна (до 50%) алмазів або кубоніту на функціональні елементи з подріблених інструментальних матеріалів різної зернистості від 160/125 до 1000/800, а дослідження особливостей застосування таких елементів і було *метою* даної роботи.

Вкажемо, що абразивний інструмент з НТМ здебільшого обмежується лише двома найбільш твердими штучними матеріалами: синтетичними алмазами та кубічним нітридом бора. Між тим, у багатьох випадках в конструкціях шліфувальних кругів, які є характерними для кругів з НТМ, виникає необхідність у використанні досить твердих абразивних матеріалів, але значно меншої вартості і інших фізико-механічних показників. Вкажемо, що до таких матеріалів можливо віднести групу тугоплавких надтвердих матеріалів, які уявляють собою алмазоподібні матеріали у вигляді кристалів з локалізованими еквівалентними зв'язками [7], а також подріблені полікристалічні надтверді матеріали – гексаніт та киборит. Відомостей в літературі по застосуванню Гексаніта-А є достатньо і відомо, що він має певну область застосування. При цьому, шліфувальні круги виготовлялися виключно з Гексаніту-А, а ось дані по одночасному застосуванню в робочому шарі подріблених зерен та зерен шліфпорошків НТМ у літературі відсутні. А між тим, було би доречним застосувати такі подріблені інструментальні матеріали саме у вигляді функціональних наповнювачів.

Досліджень з використання вказаних матеріалів у конструкціях шліфувальних кругів з НТМ майже не проводиться, а також невідомі дослідження по вихідним даним цих абразивних матеріалів. Тому на першому етапі нас цікавило якраз отримання таких вихідних даних для інструментальних керамік – оксидної ВО13 (система Al_2O_3), оксидно-карбідної ВОК71 і ВОК60 (система Al_2O_3+TiC) та нітридної Силініт (система Si_3N_4). Абразивний матеріал (рисунок 1) отримували в результаті подріблення спечених різальних пластин з інструментальних керамік, що вже були у використанні, до необхідної зернистості. Остання технологія досить відома, наприклад, для отримання Гексаніту-А. Додатково вкажемо, що зацікавленість у таких дослідженнях також ще полягає у тому, що шлам кераміки є досить

активним абразивним матеріалом, який значно зношує зв'язку алмазних кругів, якими ця кераміка піддається обробці. Тому, виявлення принципових особливостей дії такого абразивного впливу може допомогти у пошуку шляхів підвищення зносостійкості кругів. Порівняння працездатності різних ІАНТМ в шліфувальних кругах провадили при обробці зразків з полімерної зв'язки Б8 та сірого чавуну (рисунок 2).

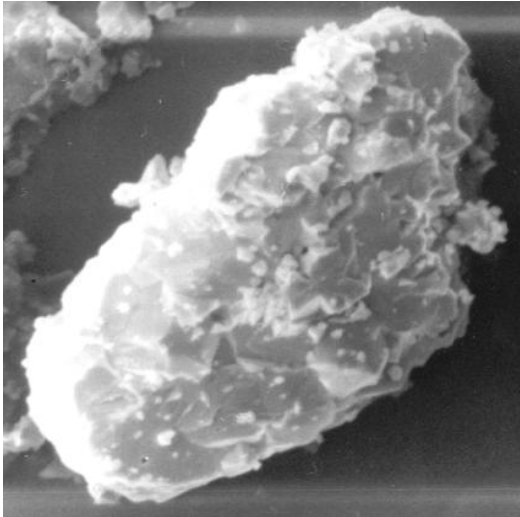


Рисунок 1 – Приклад абразивного зерна з подрібленої кераміки VO13

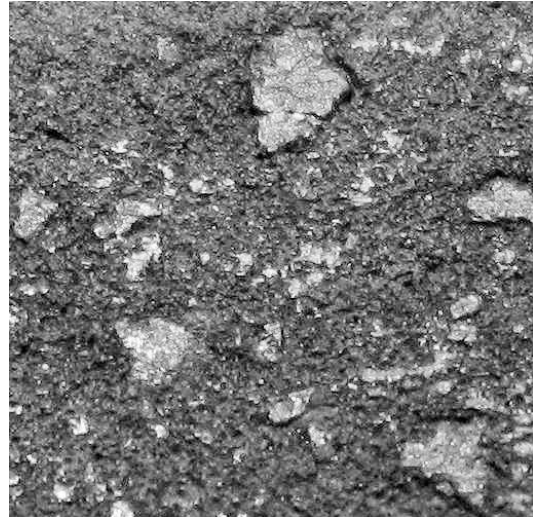


Рисунок 2 – Стан поверхні кругу з наявністю зерен Si_3N_4 з площинками тертя

Виявлено, що із підвищенням твердості інструментальних абразивних матеріалів та НТМ при обробці як чавуну, так і полімерного матеріалу, знос кругу зростає. Тим самим, можливо зробити висновок, що для обох цих матеріалів не є необхідним провадити обробку кругами з НТМ. Для цього більш ефективними будуть круги з абразивним матеріалом у вигляді подрібленої ріжучої кераміки, наприклад, оксидної. Крім того, з аналізу рис. 2 та стану ріжучої поверхні кругів з різних абразивних матеріалів можливо зробити ще один важливий висновок. Пов'язаний він з тим, що для алмазних та кубонітових кругів характерною є їх розвинена робоча поверхня із виступаючими зернами, а ось для кругів з подрібленою керамікою характерною є наявність на робочій поверхні великої кількості зерен із чітко вираженими площинками тертя (рисунок 3). Як наслідок, з цього випливає також висновок про те, що такі подріблені керамічні матеріали можуть бути використані як функціональні і бути заміниками певної частини алмазів або кубоніту у вигляді матеріалів, що будуть захищати зв'язку від зношування, а навіть і бути певними антифрикційними елементами в зоні контакту зв'язки з оброблюваним матеріалом. Тим самим, у нас є два основних напрямки застосування подріблених інструментальних матеріалів: перший у вигляді опорних антифрикційних та антизношувальних елементів і другий у вигляді активних абразивних та також антизношувальних елементів.

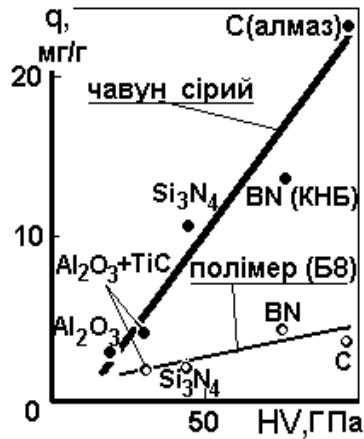


Рисунок 3 – Залежності, що відбивають вплив твердості абразивних матеріалів на показник зносостійкості кругів з ними при шліфуванні сірого чавуну та полімерної зв'язки Б8

До першого напрямку слід віднести вказані вище подріблені кераміки та компакти з мікропорошків КНБ [8]. Компакти мікропорошків КНБ розроблені в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України. Вони мають специфічну шарувату будову (рисунок 4), що дозволяє їм пошарово зношуватися в процесі алмазно-абразивної обробки і значно (до 2-х раз) зменшувати витрати високовартісних надтвердих матеріалів. Приклад стану ріжучої поверхні круга з опорними компактами поданий на рисунку 5. Звернемо увагу на те, що з подріблених керамік найбільш зносостійкими є кераміки на основі Al_2O_3 . Між тим, в Україні є природня мінеральна сировина у вигляді мінеральних зернистих концентратів, у т.ч. із вмістом Al_2O_3 , яка може розглядатися у вигляді опорних елементів. До такої мінеральної сировини, що потенційно мають абразивні властивості, віносяться титано-цирконові мінерали та кварць – продукти переробки титано-цирконової руди на Вольногорском горно-металургійному комбінаті Дніпропетровської області України.

Нашими дослідженнями [9] виявлено, що у якості опорних елементів у робочому шарі круга можуть бути ефективно застосовані такі зернисті мінеральні концентрати українського виробництва – рутилові. Встановлено, що застосування їх у вигляді часткової (25%) заміни алмазів дозволяє підвищити зносостійкість алмазних кругів та отримати незвичний мікропрофіль обробленої поверхні, який неможливо досягти стандартними алмазними кругами. Окрім того, домішка цих природних зернистих порошоків в зв'язку алмазно-абразивних кругів, дозволяє, по-перше, отримати значну (до 25 %) економію надтвердих матеріалів (алмазів та кубоніту), по-друге, знижується вартість цих кругів, що суттєво впливає на техніко-економічні

показники механічної обробки і, по-третє, підвищується якість оброблюваних поверхонь.

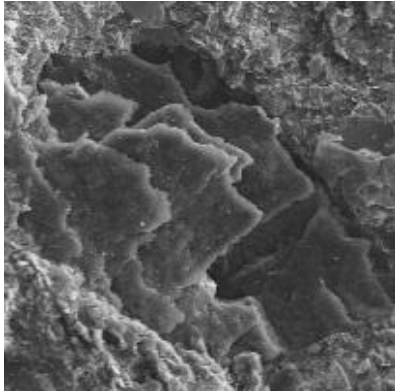


Рисунок 4 – Вигляд компакту на зламі робочого шару круга

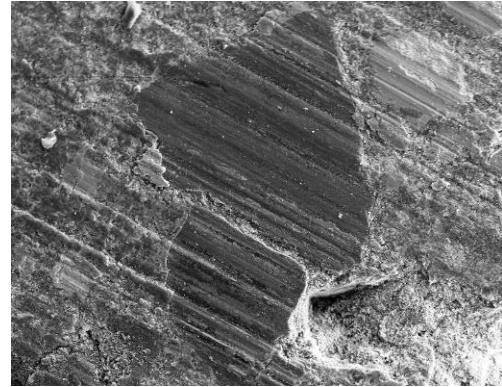


Рисунок 5 – Вигляд стану робочої поверхні круга із опорними антифрикційними компактами

До другого напрямку слід віднести подріблений киборит. Киборит це композиційний матеріал з неперервним каркасом кубічного нітриду бора, характеризується високою твердістю, термостійкістю та механічною міцністю. В Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України, на основі систем $cBN-Al$ та $cBN-TiC-Al$, розроблено и виготовляються високоякісні надтверді полікристалічні матеріали киборит (киборит-1, -2, -3).

На теперішній час з кибориту виготовляють високоефективний лезовий інструмент. Перспективність застосування подрібненого кибориту для виготовлення шліфувального інструменту обумовлюється широким використанням для обробки шліфуванням виробів із сталі з покриттям (наплавками), які містять C, Cr, Ti, B, Ni, W, V та інші елементи. Шліфувальний інструмент на основі гексаниту-А не показує достатньо високої ефективності при обробки таких матеріалів, та, крім того, характеризується досить несталими показниками обробки.

Одним з важливих факторів, який впливає на працездатність шліфувального інструмента, є інтенсивність видалення із зони обробки продуктів шліфування. Цей вимозі добре задовольняють інструменти із структурованою (перервною) структурою робочого шару. Тому перспективним виглядає застосування подрібненого кибориту не лише як абразивного, а і як структуруючого елементу в шліфувальному інструменту з НТМ.

Для попередніх дослідів у цьому напрямку було виготовлено абразивні шліфувальні круги 12А2-45 з використанням подрібненого кибориту на органічній зв'язці В2-08 (рисунок 6).

Результаті обробки без охолодження таким інструментом сталі Р6М5, з продуктивністю до $500 \text{ мм}^3/\text{хв.}$, показав, що обробка не викликає появи дефектів на поверхні та має задовільну для інструментального виробництва шорсткість, яка мало різниться для кожного з інструментів (рисунок 7).

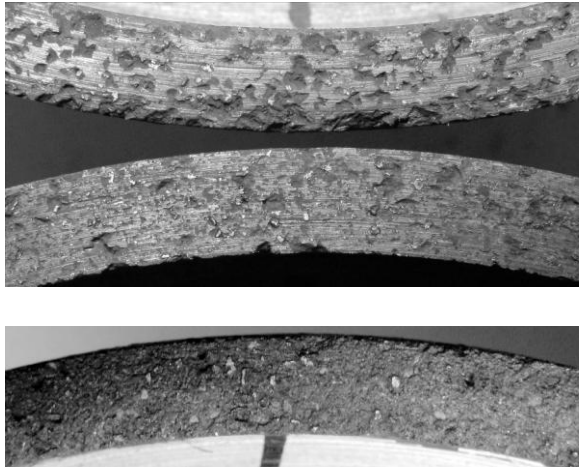


Рисунок 6 – Фрагменти робочої поверхні бразивних кругів: а – з подрібненого кибориту K500/400; б – суміші подрібненого кибориту K500/400 та алмазів АС6 125/100, по 50%; в – суміші подрібненого кибориту K500/400 та кубоніту КВ 125/100, по 50%.

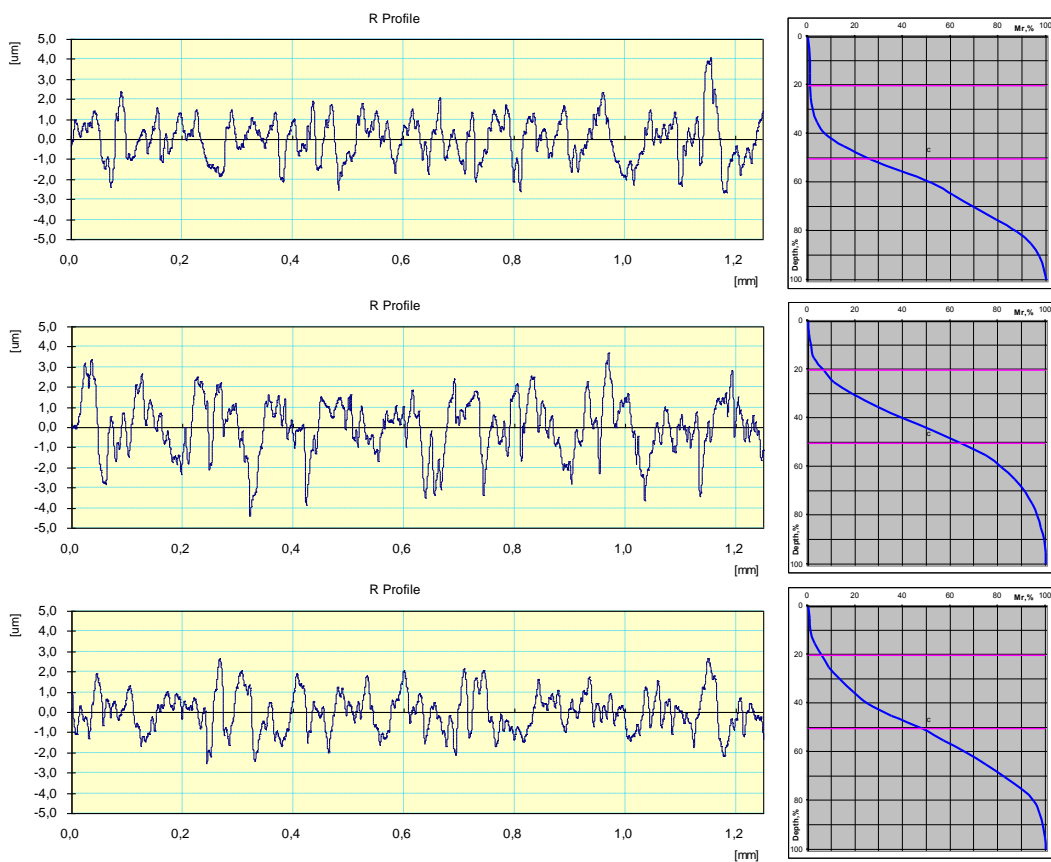


Рисунок 7 – Шорсткість та опорна крива поверхні обробленої киборитовим інструментом при продуктивності $500 \text{ мм}^3/\text{хв}$: а) — з подрібненого кибориту K500/400; б) — суміші подрібненого кибориту K500/400 та алмазів АС6 125/100, по 50%; в) — суміші подрібненого кибориту K500/400 та кубоніту КВ 125/100, по 50%.

Витрати інструменту найбільші були у випадку, якщо він був виготовлений тільки з подрібненого кубоніту — 12 мг/г (при продуктивності $500 \text{ мм}^3/\text{хв}$), значно менший для суміші кибориту та кубоніту — 7 мг/г, та найменший для суміші кибориту та алмазу — 6 мг/г.

Також досить сталою була різниця, при обробки кожним з кругів, по такому показнику, як відносна опорна крива профілю обробленої поверхні (див. рисунок 7). Для інструменту виготовленого тільки з подрібленого кибориту — відносна довжина заповненого профілю на рівні 50% була 20–30%, для інструменту із суміші кибориту та кубоніту — 40–50%, а для суміші кибориту та алмазу — 60–70%.

У подальшій роботі ми плануємо виготовити та дослідити показники роботи інструменту з подрібленого кибориту та його суміші з кубонітом та алмазами на металевій зв'язці, що дозволить більш повно розкрити високі фізичні властивості киборита, як функціонального матеріалу у абразивному інструменті.

Список використаних джерел: 1. *Лавриненко В.И.*, Угол направления действия касательных напряжений – ключ к инструменту из СТМ // Сверхтвердые материалы. – 2002. – № 2. – С. 71–76. 2. 3D моделирование процессов алмазно-абразивной обработки : Монография / *А.И.Грибченко, В.А.Федорович.* – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 376 с. 3. *Шепелев А.А., Лавриненко В.И.* Выбор характеристики кругов для шлифования инструментальных материалов: Рекомендации. – К.: ИСМ АН УССР, 1989. – 11 с. 4. А.с. № 1073082 (СССР). Шлифовальный круг / Московский станкоинструментальный институт и Институт высоких температур АН СССР: *И.П.Третьяков, В.Н.Тимофеев, Б.П.Кудряшов, В.Т.Ивашильников.* – Оpubл. в Б.И., 1984, № 6. 5. А.с. № 1077771 (СССР). Абразивный инструмент / Воронежский политехнический институт: *В.Н.Старов, Г.С.Фролов, Л.А.Федотова, Ю.А.Дубовых.* – Оpubл. в Б.И., 1984, № 9. 6. Пат. № 4385907 (США). Шлифовальный круг с опорным элементом из теплоизоляционного материала / Toyota Koki Kabushiki Kaisha: *T. Tomita, I. Suzuki, T. Imai, M. Kitajima.* – Оpubл. 31.05.83. 7. Синтетические сверхтвердые материалы. В 3-х т. Т.1. Синтез сверхтвердых материалов /Редкол.: Новиков Н.В. (отв. ред.) и др. - Киев: Наук. думка, 1986. - 280 с. 8. К вопросу об использовании компактов металлизированных порошков кубонита в виде наполнителей в рабочем слое алмазных кругов / *В.И.Лавриненко, Б.В.Сытник, И.В.Лещук и др.*// Инженерия поверхности и реновация изделий : Материалы 9-й международной науч.-техн. конф. 25–29 мая, 2009 г., г. Ялта. – К.: АТМ Украины, 2009. – С. 94–99.

Bibliography (transliterated): 1. Lavrinenko V.I., Ugol napravlenija dejstvija kasa-tel'nyh naprjazhenij – ključ k instrumentu iz STM // Sverhtverdye materialy. – 2002. – № 2. – S. 71–76. 2. 3D modelirovanie processovalmazno-abrazivnoj obrabotki : Monografija / *A.I.Gribchenko, V.A.Fedorovich.* – Har'kov: NTU «HPI», 2008. – 376 s. 3. Shepelev A.A., Lavrinenko V.I. Vybhor harakteristiki krugov dlja shlifovanija inst-rumental'nyh materialov: Rekomendacii. – K.: ISM AN USSR, 1989. – 11 s. 4. A.s. № 1073082 (SSSR). Shlifoval'nyj krug / Moskovskij stankoinstrumental'nyj insti-tut i Institut vysokih temperatur AN SSSR: *I.P.Tret'jakov, V.N.Timofeev, B.P.Kudrjashov, V.T.Ivashinnikov.* – Opubl. v B.I., 1984, № 6. 5. A.s. № 1077771 (SSSR). Abrazivnij instrument / Voronezhskij politehnicheskij in-stitut: *V.N.Starov, G.S.Frolov, L.A.Fedotova, Ju.A.Dubovyh.* – Opubl. v B.I., 1984, № 9. 6. Pat. № 4385907 (SShA). Shlifoval'nyj krug z opornim elementom z teploizoljacionogo materi-alu / Toyota Koki Kabushiki Kaisa: *T. Tomita, I. Suzuki, T. Imai, M. Kitajima.* – Opubl. 31.05.83. 7. Sinteticheskie sverhtverdye materialy. V 3-h t. T.1. Sintez sverhtverdyh materialov /Redkol.: Novikov N.V. (otv. red.) i dr. - Kiev: Nauk. dumka, 1986. - 280 s. 8. K voprosu ob ispol'zo-vanii kompaktovmetalizirovannyh poroshkov kubonita v vide napolnitelej v rabochem sloealmaznyh krugov / *V.I.Lavrinenko, B.V.Sytnik, I.V.Lewuk i dr.*// Inzhenerija po-verhnosti i renovacija izdelij : Materialy 9-j mezh-dunarodnoj nauch.-tehn. konf. 25–29 maja, 2009 g., g. Jalta. – K.: АТМ Ukrainy, 2009. – S. 94–99.