

**Сергій Михайлович Бехало**

аспірант кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів

Сумський державний університет (Суми, Україна)

E-mail: [s.bekhalo@pmtkm.sumdu.edu.ua](mailto:s.bekhalo@pmtkm.sumdu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0682-8434>. ResearcherID: MSW-8637-2025

## **ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ БОРОШНОМЕЛЬНИХ ВАЛЬЦІВ ШЛЯХОМ ЗМЕНШЕННЯ ГЛИБИНИ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ**

*Однією з актуальних науково-технічних задач є підвищення ресурсу деталі та обладнання, що напряду впливає на економічну складову його використання. Борошномельне виробництво також стикається з необхідністю заощаджувати. У роботі наведено загальну характеристику борошномельних вальців та технологічного процесу відновлення їх робочої поверхні. Зроблено та теоретично обгрунтовано припущення щодо можливого зменшення глибини обробки на стадії шліфування, що в подальшому дозволить підвищити загальний ресурс борошномельних вальців. Визначено можливі проблеми практичного впровадження наведеної оптимізації та варіанти їх подолання. Описано додатковий позитивний ефект імплементації дослідження.*

**Ключові слова:** борошномельний валець; рифля; шліфування; глибина обробки; оброблювана поверхня; чавун; різання; вимірювання; оптимізація.

Рис.: 5. Бібл.: 7.

**Актуальність теми дослідження.** Збільшення ресурсу будь-якої деталі чи механізму безпосередньо впливає на економічну складову їх використання. Ця залежність виражається в тому, що збільшення терміну ефективної експлуатації умовної одиниці обладнання при незмінній їхній вартості зменшує затрати на ремонт чи заміну такого обладнання. Особливо актуальним питання продовження терміну експлуатації обладнання є для підприємств України, які вже четвертий рік працюють в умовах війни та пов'язаних з нею викликами. До питання економії коштів додається пошкодження, повне знищення або закриття виробничих потужностей, що виготовляли деталі чи комплектуючі для обладнання вітчизняних підприємств. Ця проблема стосується і борошномельної галузі країни, де одним із найпоширеніших типів борошномельного обладнання залишається вальцьовий верстат типу А1-БЗН з вальцями виробництва ПрАТ «Могилів-Подільський машинобудівний завод» (не працює у теперішній час). Інвестиції в капітальний ремонт таких вальців із заміною їхньої циліндричної частини або ж повну модернізацію обладнання із заміною вальцьових верстатів значно перевищують можливі витрати на продовження строку служби наявних вальців. Покращення технології обробки поверхні борошномельних вальців направлене на зменшення глибини шліфування та різання, що в свою чергу збільшить загальний ресурс цієї комплектуючої.

**Постановка проблеми.** Відновлення поверхні вальців виконується у два етапи: шліфування та нарізання рифлів, які здійснюються на спеціальних шліфувально-рифельних верстатах. Сумарне зменшення діаметра вальців (початковий діаметр – 250,0 мм) після повного циклу обробки становить 0,25-1,00 мм залежно від параметрів нанесення рифлі, при цьому в разі зменшення діаметра вальців до показника  $\varnothing \leq 242$  мм ефективність їх використання значно знижується через зниження виходу борошна та збільшення частки побічних продуктів. За таких умов кількість операцій відновлення поверхні вальця складає від 8 (у разі зменшення діаметра вальця на 1,00 мм) до 32 (при зменшенні діаметру вальця на 0,25 мм). Враховуючи одночасне використання на борошномельному заводі вальців з різними параметрами нарізання рифлі, ефективнішим є використання схеми перестановки вальців залежно від крупності помелу, при цьому показник кількості операцій з відновлення їх поверхні не буде близький до мінімальної межі, що вже дозволяє збільшити ресурс вальців. Подальше збільшення ресурсу борошномельних вальців вбагається шляхом зменшення глибини обробки поверхні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Інформація про вальцьове подрібнююче обладнання та конструктивні особливості основних функціональних складальних його одиниць, наведена в роботі [1], дає загальне уявлення про обладнання борошномельної галузі. У праці [2] описані останні досягнення у визначенні оброблюваності через знос інструменту, силу різання та температуру, форму та крихкість стружки, цілісність поверхні, а також розглянуті передові методи покращення оброблюваності. Дослідженням механічної оброблюваності зносостійких чавунів займалися автори [3, 4], які обґрунтували матеріал, оптимальні геометричні параметри різальних інструментів, встановили характер впливу умов обробки зносостійких чавунів на основні показники процесу – стійкість різального інструменту й режими різання залежно від твердості матеріалу [3] – та порівняли умови обробки ущільненого графітового чавуну, сірого чавуну і сфероїдального графітового чавуну, дослідили вплив мікроструктури, хімічного складу, а також інших змінних (ріжучий інструмент, методи змащування та охолодження тощо) на процес обробки [4]. Аналіз температурного аспекту процесу різання високоміцних чавунів досліджено у працях [5; 6]. Авторами зроблено порівняльний аналіз температур різання та складових сил для сірих чавунів, чавунів з вермикулярним графітом і високоміцних чавунів з кулястим графітом [5], на основі експериментальних та модельованих даних встановлено взаємозалежність швидкості різання, подачі та глибини обробки з підвищенням температури та сил різання [5; 6]. Контактні процеси на робочих поверхнях та умови зношування різальних лезових інструментів, вплив умов різання на величини параметрів зношування, стійкість інструменту й допустиму швидкість різання, рекомендації щодо запобігання зношуванню інструментів тощо досить детально наведено у посібнику [7].

**Виділення недослідженої частини загальної проблеми.** Вивчення актуальних досліджень та останніх публікацій з тематики показало, що переважна їх частина направлена на дослідження механічної обробки, вплив режимів різання, дослідження ріжучих інструментів тощо. У той час як поточне дослідження спрямоване на вивчення можливості зменшення глибини обробки поверхні вальця за рахунок покращення аналізу поверхні до її шліфування та оптимізації глибини нарізання рифлі з урахуванням отриманих результатів такого аналізу.

**Метою статті** є теоретичне дослідження можливості збільшення ресурсу борошномельних вальців шляхом зменшення глибини обробки поверхні під час регламентного перенарізання рифлі. Як похідна мета, вбачається розглянути перспективи та напрямки подальших досліджень, а також коротко проаналізувати додаткові вигоди від здійсненого дослідження.

**Виклад основного матеріалу.** Для кращого розуміння досліджуваного питання слід навести основні вихідні дані оброблюваної поверхні борошномельних вальців. Бочки робочих вальців виконують двошаровими, зовнішній шар зі спеціального чавуну, а внутрішній – із сірого. Склад чавуну робочого шару приблизно наступний: вуглецю 3-3,5 %, кремнію 0,8-1,5 %, марганцю 0,55-1,2 %, хрому 0,8-1,4 %, нікелю 1,5-2,5 %, молібдену 0,25-0,45 % [1]. Склад чавуну робочого шару варіюється залежно від виробника вальців та зазвичай є комерційною таємницею, при цьому твердість робочого шару дещо зменшується від верхньої точки до нижньої, що пояснюється технологією відцентрового лиття.

Профіль рифлі вальця визначається кутом вістря  $\alpha$  (20-35°), величина якого визначається положенням грані вістря і кутом спинки  $\beta$  (60-70°), в утворенні якого прийняла грань спинки. Ці дві грані утворюють кут загострення рифлі  $\theta$  (100-110°). З метою збільшення терміну експлуатації вальців на вершинах рифлів залишають невелику площадку шириною  $a$ , з раніше існуючої циліндричної поверхні (рис. 1) [1].

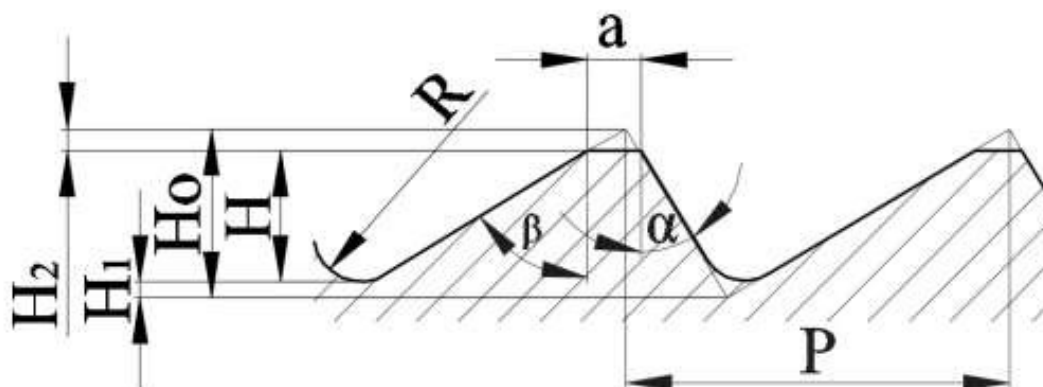


Рис. 1. Профіль рифлі вальцьового верстата [1]

Наявність площадки  $a$  додатково зумовлена особливостями самого процесу помелу пшениці. Так, на практиці борошномельні вальці, що використовуються у вальцьових верстатах з найбільшою крупністю помелу, за умови гострої форми вістря рифлі (без площадки  $a$ ) не перемелюють сировину, а подрібнюють її, у результаті чого порушується технологія виготовлення борошна й занадто подрібнені частинки засмічують очищувальні комплектуючі борошномельного комплексу, що призводить до втрат сировини та додаткових дій робочого персоналу.

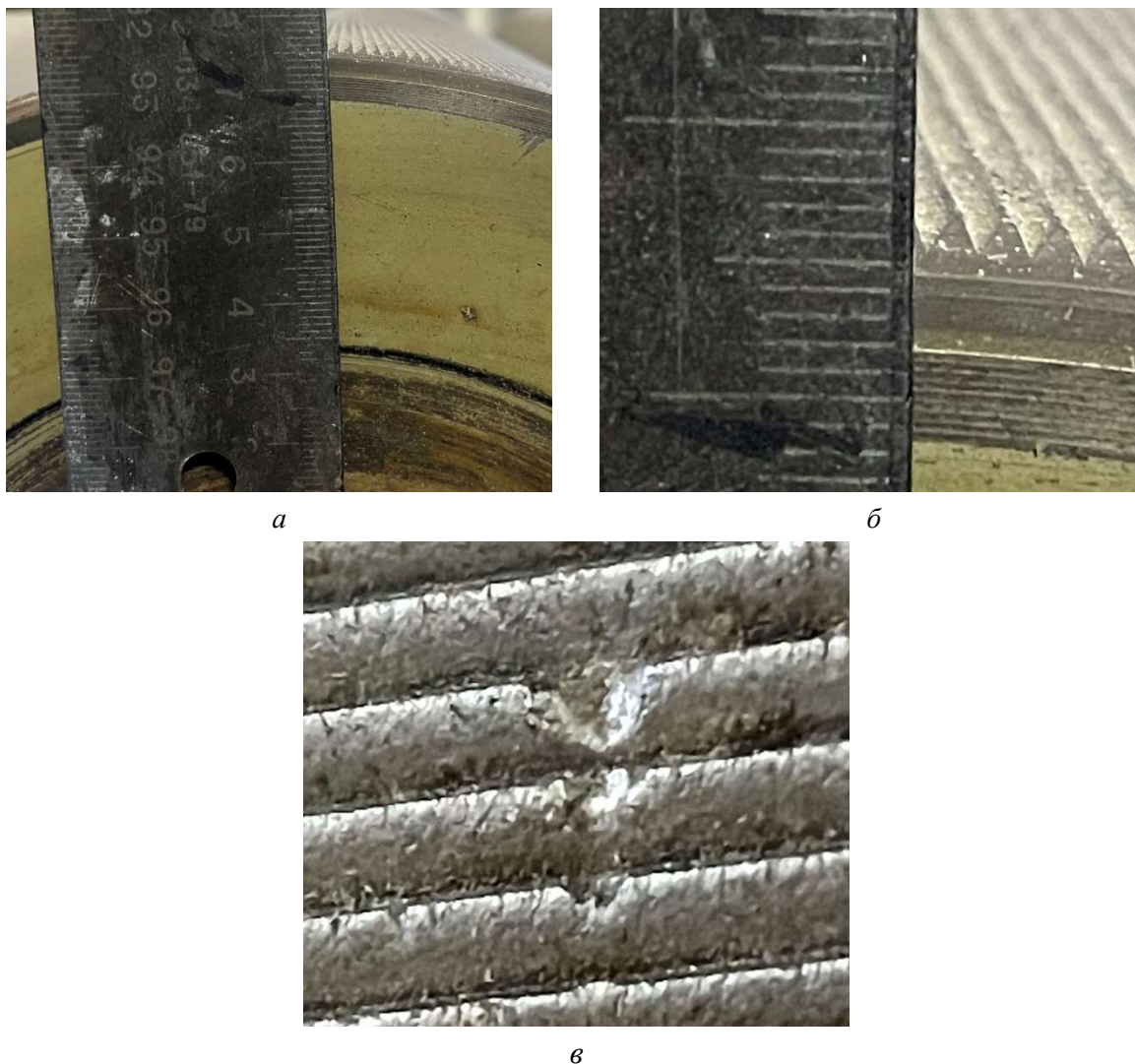
Нарізку рифлів здійснюють під ухилом до прямолінійної твірної циліндричної поверхні. Це дозволяє знизити вібраційну складову процесу подрібнення, а також регулювати ступінь подрібнення частинок, яка зі збільшенням ухилу також збільшується. Ухил рифлів визначається тангенсом кута нахилу рифлів до циліндричної твірної, вираженим у відсотках (від 4 до 10 %) [1].

Густина нарізки рифлів, тобто кількість рифлів, що припадають на 10 мм окружності вальців, визначається правилами технологічного процесу борошномельного виробництва та залежно від крупності помелу цей показник може варіюватись від 3 до 12.

Нарізанню рифлі при відновленні поверхні передують процес шліфування вальця. Глибина шліфування визначається висотою рифлі  $H$  (рис. 1) та становить до 0,5 мм. Процес шліфування, як і процес нарізання рифлі, здійснюється на спеціальних шліфувально-рифельних верстатах.

Проаналізувавши наведені вихідні дані, допускається можливим зменшення глибини обробки при шліфуванні вальця та нарізанні рифлі за рахунок попереднього вимірювання мінімальної висоти рифлі, наданого на відновлення вальця для врахування цього показника при шліфуванні.

Стосовно зменшення глибини шліфування, підставою для такого припущення є те, що поверхня вальця, який передається на обробку, може бути неоднорідною (рис. 2) і висота рифлі  $H$  після використання вальця у процесі виробництва зазвичай не є рівною 0. Ця умова не стосується вальців останніх помольних систем, які не мають рифлі. Однак слід зауважити, що в процесі виробничого використання борошномельний валець може зазнати наднормативних пошкоджень, у результаті чого відбувається відділення частинки поверхні рифлі, яке можна візуально виявити без спеціальних приладів.



*Рис. 2. Поверхня борошномельного вальця після його використання:  
а – оригінальний розмір; б – 5-кратне збільшення,  
в – пошкоджена поверхня (5-кратне збільшення)*

Джерело: розроблено автором.

Доцільно припустити, що при розрахунку показника глибини шліфування має враховуватись показник найменшого значення висоти рифлі конкретного вальця  $H_{\min}$ . Таким чином, одним зі шляхів зменшення глибини шліфування і в подальшому збільшення ресурсу вальця є попереднє дослідження поверхні вальця на предмет виявлення найменшого значення висоти рифлі. Найпростіше візуальне обстеження є достатнім для виявлення значних пошкоджень рифлі та прийняття рішення щодо подальшого продовження аналізу робочої поверхні вальця.

Після виявлення найменшого значення висоти рифлі  $H_{\min}$  (при  $H_{\min} > 0$ ) шліфування поверхні вальця можна буде здійснювати на глибину  $t = H - H_{\min}$ , у результаті чого схематичне зображення поверхні вальця матиме такий вигляд (рис. 3).

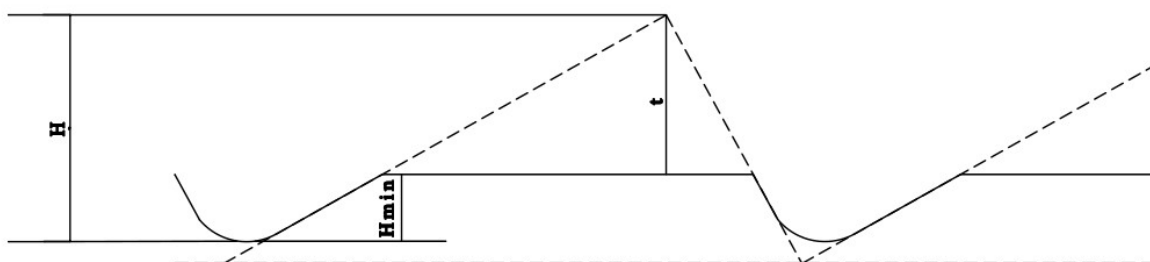


Рис. 3. Схематичне зображення поверхні вальця після шліфування на глибину  $t$   
Джерело: розроблено автором.

Впровадження такої оптимізації процесу шліфування поверхні борошномельного вальця може позитивно вплинути не лише на ресурс вальця, а й на ресурс шліфувального інструменту та енергозатрати на шліфування, адже зі зменшенням глибини шліфування зменшується і зношування поверхні шліфувального інструменту та енергоємність цього процесу. Так, у роботі [5] наведено закономірність про те, що температура та сили різання зростають зі збільшенням швидкості різання ( $V_c$ ), подачі ( $S_z$ ) та глибини різання ( $t$ ), незалежно від типу чавуну чи охолоджувального середовища, оскільки це зумовлено посиленням пластичної деформації та збільшенням швидкості тертя між стружкою та інструментом.

Зменшення глибини шліфування додатково зменшить і температурний вплив на оброблюваний валець, що також сприятиме збільшенню ресурсу робочої поверхні, оскільки високі температури в робочій зоні, які виникають у результаті обробки шліфуванням, можуть завдавати термічних пошкоджень оброблюваній поверхні. Похідним позитивним ефектом також можна відзначити зменшення утворення відходів у результаті шліфування, що буде доброю екологічною тенденцією.

Додаткового дослідження потребує процес вимірювання мінімальної висоти рифлі оброблюваного вальця і в разі розробки ефективного та економічно обґрунтованого способу вимірювання цієї величини таке теоретичне дослідження можливе до імплементації в реальних умовах. При цьому це впровадження матиме економічний ефект і для підприємства, що виконує роботи з відновлення поверхні борошномельних вальців, адже частково зменшаться такі складові собівартості робіт, як витрати на споживану шліфувально-рифельним верстатом електроенергію та на шліфувальний інструмент, тоді як вартість однієї операції перенарізання рифлі можна залишити незмінною.

Серед проблемних питань, що можуть виникнути при експериментальному дослідженні наведеної оптимізації процесу шліфування борошномельного вальця, попередньо вбачається підвищення зносу різального інструменту на наступному технологічному процесі – нарізанні рифлі. Така негативна обставина прогнозується через те, що в заглибленнях між рифлями можуть залишатись часточки шліфувального інструменту, відділені в результаті його абразивного зносу, які негативним чином впливатимуть на різець. У випадку підтвердження цього припущення доцільним буде розглянути раціональність заміни операції шліфування поверхні вальця на її токарну обробку або модернізації геометрії різця для покращення процесу різання і стружкоутворення. Достатньо детальний опис як самого процесу різання, так і можливостей до покращення оброблюваності, наведені у дослідженні [2].

Наступним після шліфування йде технологічний процес нарізання рифлі. Зазвичай нарізання рифлі здійснюється на умовно рівній поверхні борошномельного вальця, яку отримують після його шліфування. У запропонованому вище варіанті шліфування на глибину  $t$  поверхня вальця не буде умовно рівною, оскільки залишиться частина попередньої

рифлі висотою  $H_{\min}$  (рис. 3). За таких умов процес нарізання рифлі на шліфувально-рифельному верстаті ускладнюється, адже верстат важливо відрегулювати таким чином, щоб для отримання заданих параметрів обробленої поверхні була врахована існуюча геометрія оброблюваної поверхні.

Допускається, що правильне налаштування шліфувально-рифельного верстата дозволить зберегти закладену на етапі шліфування тенденцію на збільшення ресурсу борошномельного вальця. При неправильному налаштуванні обладнання збережений ресурс вальця на попередньому технологічному процесі – шліфуванні – буде змарнований, сам валець доведеться повторно шліфувати, що призведе до підвищення витрат на відновлення робочої поверхні та додаткового зменшення ресурсу вальця.

Під правильним налаштуванням процесу нарізання рифлі розуміється таке розміщення різця (рис. 4), при якому його вістря (положення різця 1) знаходиться безпосередньо над заглибленням оброблюваної поверхні, що залишилось після процесу шліфування, та при початку процесу різання сам різець займає умовне положення 2, а при наступному робочому ході – умовне положення 3.

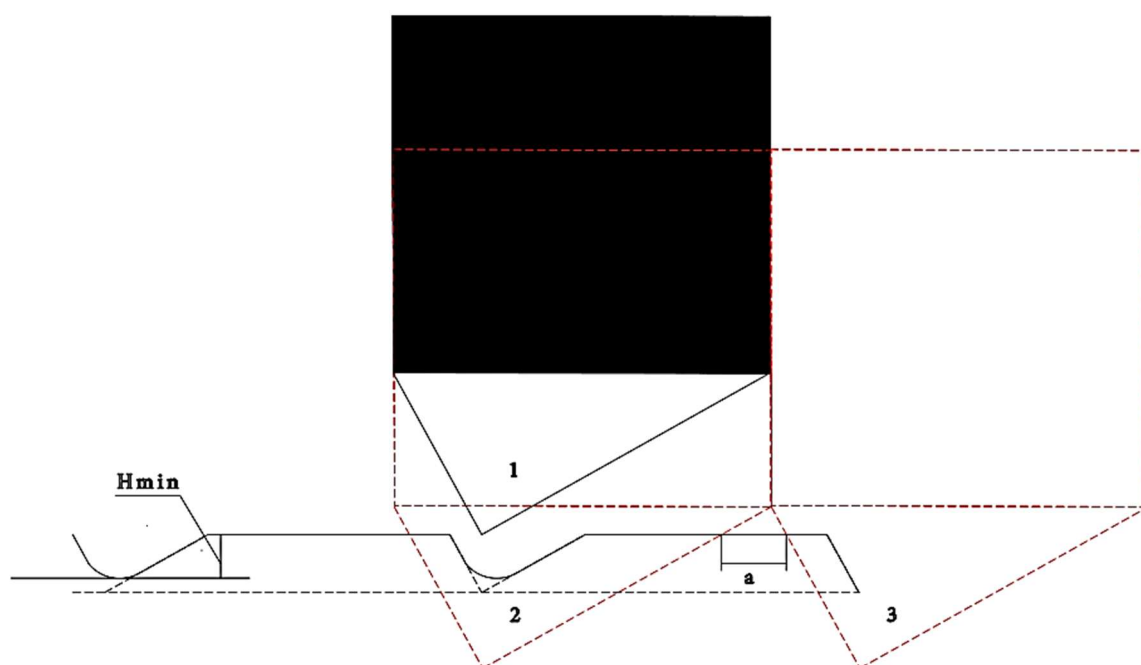


Рис. 4. Схематичне зображення правильного розташування різця

Джерело: розроблено автором.

Додатковими параметрами для контролю та врахування при налаштуванні процесу різання мають бути ухил та густина нарізки рифлі, адже їх неврахування призведе до порушення геометрії обробленої поверхні борошномельного вальця і, відповідно, додаткових втрат на усунення цього дефекту. Вимірювання таких величин не потребує додаткових досліджень, оскільки наявні вимірювальні прилади повною мірою забезпечують належний рівень точності.

Успішним завершенням відновлення поверхні борошномельного вальця вважатиметься отримання заданої її форми (рис. 5).



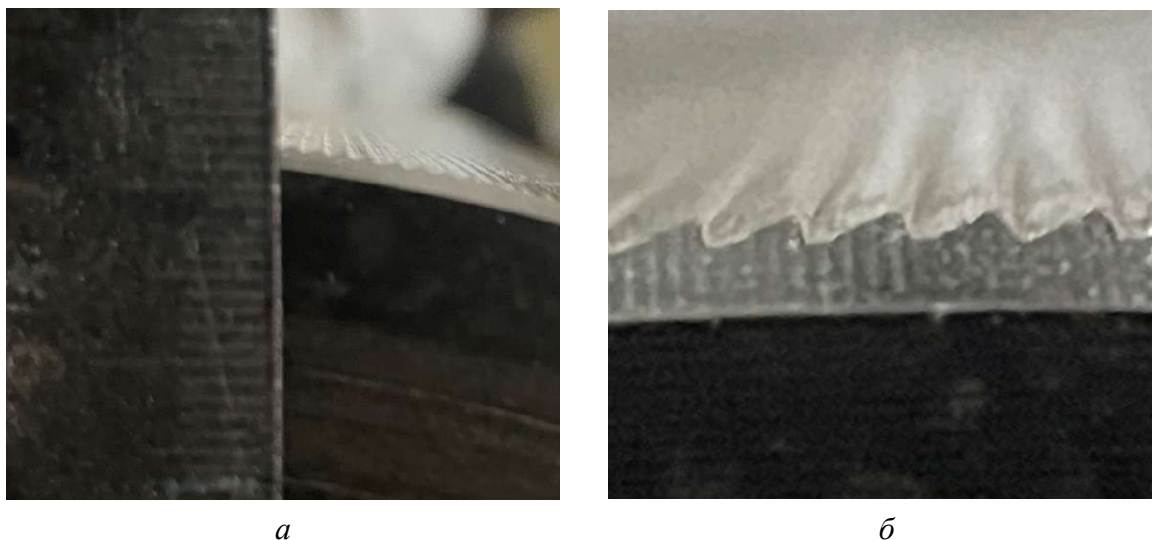


Рис. 5. Поверхня борошномельного вальця після перенарізання рифлі:  
а – оригінальний розмір; б – 5-кратне збільшення

Джерело: розроблено автором.

Похідним позитивним ефектом прогнозується незначне зменшення кількості утворення стружки в результаті нарізання рифлі через зменшення площі знятого шару на величину площі заглиблення, що залишиться після шліфування на зменшену глибину як описано вище.

**Висновки.** У роботі зроблено теоретичне дослідження збільшення ресурсу борошномельних вальців за рахунок зменшення глибини їх шліфування. Результат дослідження напряму залежить від величини найменшого значення висоти рифлі  $H_{\min}$  та не буде постійним, адже вважається, що названа величина буде змінною. При цьому наявність значних пошкоджень (рис. 2) рифлі вальця не дозволить застосовувати описану в цій роботі методику через подальше залишення/виникнення дефектів робочої поверхні вальця. Також важливим аспектом вбачається правильне налаштування шліфувально-рифельного верстату на стадії нарізання рифлі для недопущення браку.

Серед похідних позитивних результатів можна виділити зменшення споживання енергії шліфувально-рифельним верстатом під час шліфування, збільшення терміну служби шліфувального інструменту та зменшення кількості відходів через зменшення глибини шліфування при незмінній для замовника вартості роботи.

На наступних стадіях планується проаналізувати існуючі технології для аналізу поверхонь з метою визначення найбільш раціональної з них для вимірювання найменшої висоти  $H_{\min}$  рифлі оброблюваного вальця та можливості її використання перед технологічним процесом відновлення поверхні борошномельного вальця. Доцільним буде розрахувати кількісні показники енергоефективності, збільшення ресурсу шліфувального інструменту та покращення екологічності процесу шліфування. Подальші дослідження можливих шляхів оптимізації також будуть направлені на вивчення впливу геометрії різця, його матеріалу, сучасних технологій змащування та охолодження тощо на процес різання. При цьому корисними будуть роботи [2-7] та інші.

#### Список використаних джерел

1. Петров, В. М. (2019). *Вальцьове подрібнююче обладнання*. Одеська державна академія будівництва та архітектури (ОДАБА).
2. Liao, Z., Schoop, J. M., Saelzer, J., Bergmann, B., Priarone, P. C., Splettstößer, A., Bedekar, V. M., Zanger, F., & Kaynak, Y. (2024). Review of current best-practices in machinability evaluation and understanding for improving machining performance. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 50, 151-184. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2024.02.008>.

3. Derbaba, V., Patsera, S., & Hryhorenko, V. (2022). Features of mechanical processing of wear-resistant cast iron. *Collection of Research Papers of the National Mining University, 71*, 217-230. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/71.217>.

4. Sirtuli, L. J., Bermejo, J. M. B., Windmark, C., Norgren, S., Ståhl, J.-E., & Boing, D. (2024). Machining of compacted graphite iron: A review. *Journal of Materials Processing Technology, 118553*. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2024.118553>.

5. da Silva, L. R. R., Filho, A. F., Costa, E. S., Marcucci Pico, D. F., Sales, W. F., Guesser, W. L., & Machado, A. R. (2018). Cutting temperatures in end milling of compacted graphite irons. *Procedia Manufacturing, 26*, 474-484. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.056>.

6. Антонюк, В. С. (2025). Аналіз температур у зоні різання та сил різання при лезовій обробці чавуну з вермикулярним графітом. *Технічна інженерія, 1(95)*, 19-23. [https://doi.org/10.26642/ten-2025-1\(95\)-19-23](https://doi.org/10.26642/ten-2025-1(95)-19-23).

7. Внуков, Ю. М., & Залога, В. О. (2024). *Зношування і стійкість різальних лезових інструментів (2-ге вид.)*. Сумський державний університет.

### References

1. Petrov, V. M. (2019). Valtsove podribniuiuche obladdannia. [Rolling mill crushing equipment]. *Odeska derzhavna akademiia budivnytstva ta arkhitektury (ODABA)- Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (ODABA)*.

2. Liao, Z., Schoop, J. M., Saelzer, J., Bergmann, B., Priarone, P. C., Splettstößer, A., Bedekar, V. M., Zanger, F., & Kaynak, Y. (2024). Review of current best-practices in machinability evaluation and understanding for improving machining performance. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 50*, 151-184. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2024.02.008>.

3. Derbaba, V., Patsera, S., & Hryhorenko, V. (2022). Features of mechanical processing of wear-resistant cast iron. *Collection of Research Papers of the National Mining University, 71*, 217-230. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/71.217>.

4. Sirtuli, L. J., Bermejo, J. M. B., Windmark, C., Norgren, S., Ståhl, J.-E., & Boing, D. (2024). Machining of compacted graphite iron: A review. *Journal of Materials Processing Technology, 118553*. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2024.118553>.

5. da Silva, L. R. R., Filho, A. F., Costa, E. S., Marcucci Pico, D. F., Sales, W. F., Guesser, W. L., & Machado, A. R. (2018). Cutting temperatures in end milling of compacted graphite irons. *Procedia Manufacturing, 26*, 474-484. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.056>.

6. Antoniuk, V. S. (2025). Analiz temperatur u zoni rizannia ta syl rizannia pry lezovii obrobtisi chavunu z vermykuliarnym hrafitom. [Analysis of temperatures in the cutting zone and cutting forces during blade machining of cast iron with vermicular graphite.] *Tekhnichna inzheneriia – Technical Engineering, 1(95)*, 19-23. [https://doi.org/10.26642/ten-2025-1\(95\)-19-23](https://doi.org/10.26642/ten-2025-1(95)-19-23).

7. Vnukov, Yu. M., & Zaloha, V. O. (2024). *Znoshuvannia i stiikest rizalnykh lezovykh instrumentiv (2nd ed.)*. [Wear and resistance of cutting blade tools (2nd edition).] *Sumskyi derzhavnyi universytet – Sumy State University*.

Отримано 20.09.2025

UDC 621.9

### Serhii Bekhalo

PhD Student of the Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools  
Sumy State University (Sumy, Ukraine)

E-mail: s.bekhalo@pmtkm.sumdu.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0682-8434>. ResearcherID: MSW-8637-2025

## INCREASING THE RESOURCE OF THE FLOUR MILLING ROLLERS DUE TO REDUCING THE DEPTH OF SURFACE PROCESSING

*One of the current scientific and technical tasks is to increase the service life of parts and equipment, which directly affects the economic component of their use. The flour milling industry, especially in conditions of martial law, needs effective solutions to increase the equipment's resource, taking into account the fact that some production facilities have been closed.*



*This paper attempts to theoretically substantiate the possibility of increasing the service life of flour milling rollers, since one of the plants that produced them was closed. Optimizing the restoration of the roller's surface will be more financially beneficial than its major repair or complete replacement of the equipment.*

*The aim of the article is to investigate the theoretical possibility of increasing the service life of flour milling rollers by reducing the depth of surface machining during re-grooving. Additionally, it is planned to consider the prospects for further research and make a brief analysis of the derived benefits of the results obtained.*

*The paper provides a general description of flour milling rollers and the process of restoring their working surface. An assumption is made and theoretically substantiated about the possible reduction of the processing depth at the grinding stage. This assumption is based on the theoretical possibility of adjusting the grinding-fluting machine for high-quality cutting of the flute, provided that part of the previous flute with a height of  $H_{min}$  is left. The rationality of implementing the results of this study will depend on the chosen method of preliminary analysis of the roller's surface before its processing. Possible problems with the implementation of the results may be: the need for more precise adjustment of the grinding-fluting machine when cutting the flute, possible increased wear of the cutting tool. An additional positive effect of implementing the results of this work is described.*

*The result of possible optimization directly depends on the indicator of the smallest value of the flute height  $H_{min}$  and will not be constant due to the variability of this value. Significant damage to the flute excludes the possibility of applying the method described in this work. Derivative positive results will be a decrease in energy consumption by the grinding-fluting machine during grinding, an increase in the service life of the grinding tool and a partial reduction in the amount of waste.*

**Keywords:** flour milling roller; flute; grinding; machining depth; processed surface; cast iron; cutting; measurement; optimization.

*Fig.: 5. References: 7.*