

**Володимир Віталійович Кальченко¹, Володимир Іванович Венжега²,
Геннадій Володимирович Пасов³, Антоніна Вікторівна Кологойда⁴,
Богдан Сергійович Завертанний⁵, Ярослав Володимирович Кужельний⁶**

¹доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: vykalchenko74@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9072-2976>

ResearcherID: [G-6752-2014](https://orcid.org/0000-0002-9072-2976). **Scopus Author ID:** [56644727300](https://orcid.org/0000-0002-9072-2976)

²кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: vivenzhega@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>

ResearcherID: [H-3560-2014](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X). **Scopus Author ID:** [16510833000](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X)

³кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: genapasov@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>

ResearcherID: [H-4455-2014](https://orcid.org/0000-0001-7248-9085). **Scopus Author ID:** [57220212743](https://orcid.org/0000-0001-7248-9085).

⁴кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: kolohoida@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1742-2686>

ResearcherID: [I-1118-2014](https://orcid.org/0000-0002-1742-2686). **Scopus Author ID:** [57222329484](https://orcid.org/0000-0002-1742-2686)

⁵кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: zavertannyi@stu.cn.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0009-0001-7492-3663>

ResearcherID: [KHD-2575-2024](https://orcid.org/0009-0001-7492-3663). **Scopus Author ID:** [57219253414](https://orcid.org/0009-0001-7492-3663)

⁶кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: k.y.v.immortal.@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5269-8557>

ResearcherID: [J-1127-2016](https://orcid.org/0000-0002-5269-8557)

СУЧАСНІ МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ

У роботі проаналізовано основні фактори, що впливають на точність розмірів, відхилень форми і розташування, шорсткість поверхонь, прихованих дефектів, продуктивність процесу при проведенні абразивної обробки широкої номенклатури виробів із високоточними циліндричними, конічними, торцевими, сферичними, торовими, гвинтовими і криволінійними поверхнями. На основі проведеного аналізу пропонується разом із використанням традиційних методів абразивної обробки в кожному конкретному випадку в залежності від вимог по точності, серійності виробництва, використовуваного обладнання та інструменту застосовувати сучасні методи, обладнання, інструмент та матеріали, такі як суперабразивні матеріали, інноваційні шліфувальні круги, системи шліфування з охолодженням рідким азотом, мінімальним змащенням (MQL), високошвидкісне шліфування (HSG), використання CNC-систем.

Стаття є публікацією оглядово-інформаційного характеру.

Ключові слова: абразивна обробка; шліфування; абразивний інструмент; ефективність шліфування; точність розмірів; шорсткість поверхонь.

Рис.: 1. Бібл.: 8.

Актуальність теми дослідження. У сучасній продукції машинобудування для виконання службового призначення широко застосовуються деталі з високоточними циліндричними, конічними, торцевими, сферичними, торовими, гвинтовими та криволінійними поверхнями, остаточно якість яких визначається фінішними операціями. Трудомісткість операцій, що здійснюються на шліфувальних верстатах, оснащених абразивним інструментом, постійно зростає у загальному обсязі трудомісткості обробки і складає в середньому 25-30%, а в окремих галузях до 50 % загальної трудомісткості обробки. Тому дуже важливим є пошук нових і впровадження прогресивних існуючих способів абразивної обробки з охоптом широкої номенклатури оброблюваних деталей різного призначення для підвищення ефективності процесів. Це значна наукова й технологічна проблема, що

має важливе народногосподарське значення для машинобудування, верстатобудування, автомобільної, текстильної, вальничої промисловостей, трубовальцевого виробництва й енергетики України.

Постановка проблеми. Сучасна техніка – складні технічні системи, що працюють із високими швидкостям, під великим силовими навантаженнями, тому потребують високих вимог до точності розмірів, відхилень форми й розташування, шорсткості поверхонь деталей. Це включає дотримання всіх дій, пов'язаних із виготовленням продукту виробництва, а саме:

- підготовку засобів виробництва та їх обслуговування;
- одержання, транспортування і зберігання матеріалів, напівфабрикатів, вихідних заготовок, комплектуючих деталей і складальних одиниць;
- механічну, термічну обробку, миття, фарбування, балансування, старіння;
- технічний контроль, випробування і атестацію продукції на всіх етапах виробництва.

Одним із найбільш важливих етапів є механічна обробка для отримання кінцевої точності, особливо для високоточних виробів, за допомогою абразивної обробки на шліфувальних верстатах різного типу. У роботі потрібно провести дослідження відомих сучасних методів та інструменту для підвищення ефективності обробки на заключних етапах, а саме при шліфуванні та запропонувати сучасні способи вирішення проблем для покращення якості та конкурентоспроможності продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвитку абразивної обробки сприяло створення нових абразивних матеріалів і нових зв'язків, вдосконалення технології отримання абразивних матеріалів та інструментів із них, створення нових методів обробки [1].

Абразивні матеріали є матеріалами підвищеної твердості, що застосовуються в масивному й подрібненому стані для механічної обробки. Абразивні матеріали можуть бути як природного, так і штучного походження.

До природних матеріалів належать: природний алмаз, корунд, наждак, кварцовий пісок, гранат, кремій.

До штучних абразивних матеріалів належать: алмаз синтетичний; ельбор; штучний електрокорунд, який випускається у вигляді кількох різновидів: нормального електрокорунду (вміщує 93-95 % корунду, решта – домішки), білого електрокорунду (вміщує 98-99 % корунду, решта – домішки), легованого електрокорунду (титанові та хромові електрокорунди), монокорунду; карбїду кремнію; карбїду бору.

Група шліфувальних, полірувальних, викінчувальних, заточувальних верстатів поєднується за ознакою використання як різального інструменту абразивних шліфувальних кругів. Найбільш поширені серед них круглошліфувальні, безцентровошліфувальні, внутрішньошліфувальні, плоскошліфувальні, спеціалізовані, спеціальні й заточувальні [2].

Під дією високих температур у зоні обробки матеріали деталей зазнають структурних і фазових перетворень, які викликають залишкові напруження, тому виникає потреба в зону різання подавати змащувально-охолоджувальні рідини [3; 4]. У більшості така рідина подається під тиском насосом, очищується через фільтри і знову з бака подається циклічно. Для визначення залишкових напружень використовується методика, що ґрунтується на положеннях механічного способу академіка М. М. Давиденкова. Повне залишкове напруження визначається як сума напружень, що знімаються при розрізі досліджуваного зразка і при послідовному видаленні шарів металу.

Адаптивні системи керування шліфувальних верстатів (АСКШВ) призначені для автоматичного регулювання параметрів процесу шліфування в режимі реального часу, що дозволяє забезпечити високу точність та якість обробки. Вони враховують динамічні зміни

умов роботи, такі як знос шліфувального круга, температурні зміни, властивості матеріалу, а також вплив зовнішніх факторів [5]. Основними перевагами верстатів з адаптивними системами керування є:

- підвищення точності обробки за рахунок автоматичного підлаштування параметрів для досягнення необхідної якості обробки;
- зменшення браку шляхом автоматичного виявлення та корекції помилок під час процесу обробки;
- зниження зносу інструменту, так як оптимізація режимів роботи допомагає знизити навантаження на інструмент і продовжити його термін служби;
- підвищення продуктивності мінімізацією простоїв та максимальним використанням можливостей верстата.

Важливим параметром, який впливає на якість обробки, термін служби інструменту та продуктивність процесу шліфування є швидкість шліфування (або швидкість різання при шліфуванні) — це швидкість, з якою абразивний інструмент або шліфувальний круг обертається під час обробки матеріалу [6]. Вона вимірюється в метрах за секунду (м/с). Визначення правильної швидкості шліфування залежить від матеріалу заготовки, характеристик шліфувального круга (зернистість, твердість, матеріал, структура, розміри), типу обробки (чорнова, напівчистова, чистова). Оптимальна швидкість шліфування забезпечує баланс між швидкістю зняття матеріалу та якістю поверхні, що обробляється.

Для абразивної обробки: заточування, шліфування, притирки, суперфінішування і т. ін. служить абразивний інструмент. Він поділяється на інструмент на жорсткій основі (круги, головки, сегменти, бруски), інструмент на гнучкій основі (еластичні круги, шкурки, стрічки), пасти, абразивні зерна [7].

Інструмент на жорсткій основі характеризується видом абразивного матеріалу, його зернистістю, твердістю, структурою, зв'язкою, класом точності, формою та розмірами.

Кожний вид інструменту на жорсткій зв'язці являє собою тіло, утворене абразивними зернами, з'єднаними різними видами зв'язок. Абразивні зерна можуть вільно розташовуватись у всьому об'єму тіла, знаходитись тільки в робочому прошарку, можуть бути орієнтованими так, щоб забезпечити найбільш ефективний процес шліфування. Залежно від умов застосування використовуються різні форми шліфувальних кругів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що для підвищення ефективності процесів шліфування потрібен системний і комплексний підхід. Він повинен враховувати реальні умови виробництва які не завжди повною мірою можуть забезпечити точність та продуктивність процесу, із впровадження сучасних методів та інструменту для абразивної обробки деталей широкої номенклатури.

Метою статті є аналіз методів підвищення ефективності шліфування різноманітних поверхонь деталей за рахунок впровадження сучасних методів та інструменту як бази для створення нових способів шліфування і визначення умов та областей їх раціонального застосування.

Виклад основного матеріалу. Проведемо систематизацію сучасних основних напрямів, які найбільше впливають на якість та продуктивність абразивної обробки на верстатах.

1. Використання суперабразивних матеріалів.

1.1. Алмазні абразиви.

Алмазні абразиви виготовляються з натуральних або синтетичних алмазів, які є найтвердішим відомим матеріалом. Їх висока твердість і зносостійкість дозволяють обробляти важкооброблювані матеріали з мінімальним зносом інструменту. Це особливо актуально для шліфування надтвердих матеріалів, таких як карбіди, кераміка та композити. Вони забезпечують більший термін служби інструменту і високу якість поверхні.

1.2. Кубонітридні абразиви.

Кубонітридні абразиви виготовляються з кубічного нітриду бору (CBN), що є другим за твердістю матеріалом після алмазу. CBN має кілька унікальних властивостей, які роблять його ідеальним для обробки:

- висока твердість, майже така ж, як у алмазу, що дозволяє обробляти надтверді матеріали;
- термічна стійкість вища ніж в алмаза, що робить його придатним для роботи з матеріалами, які виділяють багато тепла під час обробки;
- хімічна стійкість виключає взаємодію з залізом та його сплавами, що робить його придатним для шліфування сталей;
- тривалий термін служби, завдяки чому інструменти з CBN довше зберігають свою абразивну здатність, ніж традиційні абразиви.

Враховуючи зазначені властивості абразивні інструменти із CBN знайшли застосування для шліфування високошвидкісних сталей, нержавіючих сталей, легованих сталей, чавунів та інших твердих матеріалів.

1.3. Мікроскопічні абразивні частинки.

Мікроскопічні абразивні частинки використовуються для створення надгладких поверхонь, що зменшує потребу в додатковій обробці. Мікроскопічні абразивні частинки – це дуже малі тверді частинки, які використовуються для шліфування, полірування або різання матеріалів. Вони можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як алмаз, карбід кремнію, корунд (оксид алюмінію) та інші, залежно від їхнього застосування та необхідних властивостей. Ці частинки використовуються в різних галузях, включаючи металообробку. Завдяки своїм малим розмірам, вони можуть проникати у важкодоступні місця, забезпечуючи більш точне й ефективне оброблення поверхонь.

2. Прецизійне шліфування на високоточних шліфувальних верстатах.

Високоточні шліфувальні верстати — це спеціалізовані машини, які використовуються для обробки деталей з мінімальними допусками та високою якістю поверхні.

Основними типами високоточних шліфувальних верстатів є:

- круглошліфувальні верстати для обробки циліндричних поверхонь деталей, таких як вали, підшипники тощо;
- плоскошліфувальні верстати для шліфування плоских поверхонь та для виготовлення деталей зі складною геометрією;
- безцентровошліфувальні верстати для обробки деталей без закріплення їх в центрах, що дозволяє обробляти тонкі та довгі деталі з високою швидкістю і точністю;
- внутрішньошліфувальні верстати для обробки внутрішніх поверхонь отворів у деталях;
- ультраточні шліфувальні верстати для обробки особливо складних та відповідальних деталей, де потрібна точність на рівні мікронів.

3. Кріогенне шліфування.

Охолодження здійснюється за допомогою рідкого азоту. Кріогенне шліфування зменшує теплове навантаження на оброблюваний матеріал, що запобігає виникненню термічних дефектів. Цей метод особливо ефективний для термочутливих матеріалів, таких як сплави титану та різні композити. Кріогенне шліфування – це процес обробки матері-

алів, який використовує наднизькі температури для заморожування та підвищення крихкості матеріалів перед їх шліфуванням. Це особливо важливо для матеріалів, які мають високу в'язкість. Кріогенне шліфування включає два етапи. Першим етапом є заморожування. Матеріал охолоджується рідким азотом або іншими охолоджувальними агентами до дуже низьких температур (звичайно нижче $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$), що робить його більш крихким. На другому етапі здійснюється уже сам процес шліфування.

Оскільки матеріал крихкий, він легко розпадається на дрібні фрагменти, що полегшує процес обробки. Цей метод дозволяє зберегти цілісність матеріалу та забезпечує високу точність обробки.

4. Система мінімального змащення (MQL).

Система мінімального змащування MQL (Minimal Quantity Lubrication) — це технологія, яка використовується в обробці металів для зниження кількості мастильних матеріалів, що подаються в зону різання. Основна мета MQL — зменшити кількість мастила до мінімально необхідного рівня, щоб досягти ефективного охолодження та змащування, при цьому мінімізуючи вплив на навколишнє середовище та знижуючи витрати.

Основні характеристики та переваги MQL:

4.1. Мінімальна кількість мастила. MQL використовує значно менші об'єми мастильного матеріалу порівняно з традиційними методами охолодження та змащування.

4.2. Подача аерозолю. Мастило зазвичай подається у вигляді аерозолю, що складається з дрібних крапель мастила, змішаних з повітрям. Це забезпечує ефективне охолодження та змащування без надмірного мастила.

4.3. Покращена якість обробки. MQL сприяє зменшенню температури в зоні різання та зниженню тертя, що може покращити якість поверхні оброблюваного матеріалу та збільшити тривалість служби інструменту.

4.4. Зменшення відходів. Оскільки використовується менше мастильного матеріалу, кількість відходів значно знижується, що знижує витрати на утилізацію та покращує екологічну ефективність процесу.

4.5. Зменшення ризиків для здоров'я: менша кількість мастильних матеріалів знижує ризик виникнення небезпечних для здоров'я ситуацій, таких як утворення туману, що може викликати респіраторні проблеми.

5. Автоматизація та цифрові технології.

Автоматизація процесу шліфування з використанням CNC-систем дозволяє досягти високої точності та повторюваності. Це дає можливість оптимізувати параметри шліфування в режимі реального часу, зменшити час налаштування та підвищити продуктивність. Сучасні шліфувальні верстати оснащені адаптивними системами, які автоматично налаштовують параметри процесу залежно від умов шліфування. Це дозволяє досягти оптимальних результатів при мінімальних витратах часу й ресурсів.

6. Високошвидкісне шліфування (HSG).

6.1. Використання високошвидкісних шліфувальних кругів: Збільшення швидкості різання дозволяє значно підвищити продуктивність, одночасно зберігаючи високу якість обробки.

6.2. Зниження сили шліфування: За рахунок підвищеної швидкості можна зменшити силу натискання, що знижує знос інструменту та покращує якість поверхні.

7. Інноваційні шліфувальні круги.

Основними типами інструменту є гібридні та нанокompозитні шліфувальні круги. Використання нових матеріалів та їхніх комбінацій дозволяє створювати шліфувальні круги з поліпшеними характеристиками, такими як підвищена зносостійкість, краще видалення стружки та зниження температури в зоні різання.

Гібридні та нанокompозитні шліфувальні круги являють собою прогресивні інструменти, що використовуються для обробки різних поверхонь, зокрема металів, кераміки та інших твердих матеріалів. Вони комбінують властивості традиційних шліфувальних матеріалів з перевагами нанотехнологій і сучасних композитів, що дозволяє досягти значно кращих результатів у точності, довговічності та ефективності обробки.

Гібридні шліфувальні круги поєднують властивості двох або більше матеріалів, таких як кераміка, метали, полімери та інші зв'язуючі речовини. Вони забезпечують кращу зносостійкість і стійкість до температур, що робить їх ефективними для важких або високошвидкісних операцій шліфування. Такі круги часто використовуються у випадках, коли необхідно зменшити кількість тепла, що утворюється під час обробки, або зменшити зношування інструменту.

Нанокompозитні шліфувальні круги містять у своєму складі наночастинки (наприклад, оксид алюмінію, карбід кремнію, алмаз тощо), які значно покращують механічні властивості круга, такі як міцність, твердість та зносостійкість. Завдяки цьому вони забезпечують більш точне і чисте шліфування з меншою кількістю дефектів на поверхні оброблюваного матеріалу. Наночастинки також сприяють рівномірному розподілу навантаження під час обробки, що знижує ризик утворення мікротріщин. Основними перевагами нанокompозитних шліфувальних кругів є:

7.1. Підвищена зносостійкість: Завдяки використанню наноматеріалів та сучасних композитів, такі круги служать довше і не вимагають частого замінення.

7.2. Висока точність обробки: Нанокompозити забезпечують високу точність шліфування, що важливо для фінішної обробки поверхонь.

7.3. Ефективність: зниження тепловиділення та рівномірний розподіл навантаження дозволяють збільшити продуктивність обробки.

7.4. Зменшення кількості дефектів: використання нанокompозитів сприяє зниженню ймовірності утворення мікротріщин та інших дефектів.

8. Використання нових методів шліфування.

Шліфування зі схрещеними осями абразивного інструменту та оброблюваної деталі [8]. Такий метод потребує використання спеціально профільованих шліфувальних кругів, що мають чорнову ділянку для зрізання основного припуску та калібрувальну ділянку, на якій формується остаточна точність. Впровадження нових способів такого шліфування з охоптом широкої номенклатури оброблюваних деталей різного призначення є суттєвим резервом інтенсифікації та підвищення ефективності процесів.

Шліфування зі схрещеними осями (або схрещені осі) – це техніка, при якій абразивний інструмент і оброблювана деталь мають різні осі обертання, що перетинаються під певним кутом. Це дозволяє досягти певних переваг у процесі шліфування:

8.1. Поліпшення якості обробки. Схрещення осей може забезпечити більш рівномірний розподіл абразивного навантаження по поверхні деталі, що допомагає досягти кращого фінішного результату.

8.2. Зменшення залишкових слідів. Така техніка дозволяє зменшити сліди від обробки на поверхні деталі, оскільки напрямки руху абразиву і деталі не збігаються.

8.3. Підвищення точності. Вона може бути корисною для шліфування деталей зі складними формами або для забезпечення високої точності обробки.

8.4. Зменшення теплових навантажень. Схрещені осі можуть допомогти розподілити тепло, що виникає під час шліфування, зменшуючи ризик перегріву деталі та шліфувального інструменту.

Ця техніка може використовуватися у різних типах шліфувальних машин і може бути налаштована залежно від вимог до обробки та специфікацій деталей.

Оскільки ця тема недостатньо висвітлена в літературі, то розглянемо процес шліфування на прикладі обробки двох торців деталі одночасно на двосторонньому торцешліфувальному верстаті моделі 3342АДО.

Для отримання калібрувальної ділянки на торці круга необхідна комбінована правка. Шліфувальні бабки 1 разом зі шліфувальними кругами 2 орієнтують на кут ν в вертикальній площині (рис. 1, а) і на кут γ – в горизонтальній (рис. 1, б). За допомогою спеціального пристрою 3 вся торцева поверхня правиться в площині, перпендикулярній осі обертання круга. Після цього алмазним олівцем 5, закріпленим на барабані кругової подачі 4 заготовок в зону обробки, правиться ділянка круга, суміжна із зовнішнім діаметром (рис. 1, в), в результаті чого отримують калібрувальну ділянку, яка на вході (ав) не бере участь у зрізуванні припуску і захищена напрямними 6 та 7 (рис. 1, г). Чорновий припуск зрізується на центральній ділянці *bc*. Під час шліфування деталь весь час переміщується в зону, що звужується, поступово зрізуючи припуск на обробку. Остаточна точність формується калібрувальною ділянкою *cd* на виході із зони обробки.

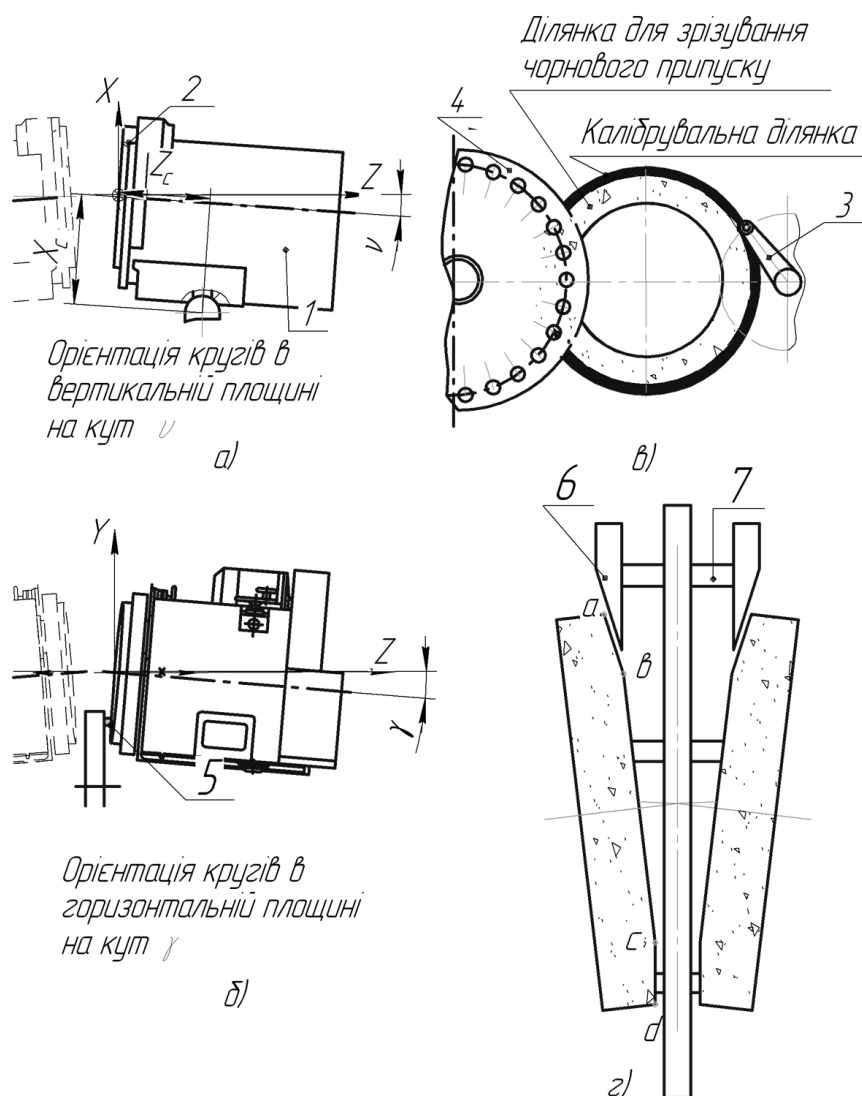


Рис. 1. Схема шліфування на двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342АДО зі схрещеними осями інструменту та оброблюваних деталей із використанням спеціально профільованих кругів

Висновки. У роботі проаналізовано застосування сучасних методів, верстатів, обладнання, інструменту та матеріалів таких як суперабразивні матеріали, інноваційні шліфувальні круги, системи шліфування з охолодженням рідким азотом, мінімальним змащенням (MQL), високошвидкісне шліфування (HSG), використання систем адаптивного керування при шліфуванні. Це забезпечить необхідну налаштованість процесу виробництва і буде підтримувати його стабільність, та стійку повторюваність кожної операції в передбачених технологічних режимах, нормах і умовах, а отже, сприятиме підвищенню рівня якості і конкурентоспроможності продукції.

Список використаних джерел

1. Vijoy, Bhattacharyya. *Modern Machining Technology: Advanced, Hybrid, Micro Machining and Super Finishing Technology* / Vijoy Bhattacharyya and Biswanath Doloi. – Academic Press, 2019. 780 с.
2. Бочков, В. М. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів : підручник / В. М. Бочков, Р. І. Сілін, О. В. Гаврильченко ; за ред. Р.І. Сіліна; Ін-т інноваційних технологій і змісту освіти МОН України. – Львів : Бескид Біт, 2008. – 448 с.
2. Міренський, І. Г. Основи технології машинобудування : навч. посіб. / І. Г. Міренський ; Харківська нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : Тимченко А. М., 2008. – 256 с.
3. Основы теории тепловых явлений при шлифовании деталей машин: учеб. пособие / А. В. Якимов, Б. О. Ткаченко, С. Г. Зимин, А. А. Якимов, Н. И. Решетнев, А. М. Шинтасов, В. П. Ларшин. – Одесса : ОГПУ, 1997. – 272 с.
4. Основы теории резания материалов: підручник для студентів вищих навчальних закладів / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок та ін. ; під заг. ред. М. П. Мазура. – Львів : Новий Світ-2000, 2011. – 423 с.
5. Петраков, Ю. В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням / Ю. В. Петраков. – Київ : УкрНДІАТ, 2004. – 383 с.
6. Якість і продуктивність абразивно-алмазної обробки: навч. посібник / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, А. А. Якимов. – Одеса : ОДПУ, 1999. – 212 с.
7. Паливода, Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Р. Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
8. Кальченко, В. В. Наукові основи ефективного шліфування зі схрещеними осями абразивного інструмента та оброблюваної деталі: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Кальченко Володимир Віталійович ; Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т". – Харків, 2006. – 489 с.

References

1. Bhattacharyya, B., Doloi, B. (2019). *Modern Machining Technology: Advanced, Hybrid, Micro Machining and Super Finishing Technology*. Academic Press.
2. Bochkov, V.M., Silin, R.I., Gavrilchenko, O.V. (2008). *Rozrakhunok ta konstruiuvannia metal-orizalnykh verstativ [Calculation and design of metal-cutting machines]*. Beskyd Bit.
2. Mirenskyi, I.H. (2007). *Osnovy tekhnolohii mashynobuduvannia [Fundamentals of mechanical engineering technology]*. KhNAMG.
3. Yakimov, A.V., Tkachenko, B.O., Zimyn, S.G., Yakimov, A.A., Reshetnev, N.I., Shintasov, A.M., Larshin, V.P. (1997). *Osnovy teorii teplovykh yavlyshch pry shlifuvanni detalei mashyn [Fundamentals of the theory of thermal phenomena in the grinding of machine parts: a study guide]*. ODPU.
4. Mazur, M.P., Vnukov, Yu.M., Dobroskok, V.L. et al. (2010). *Osnovy teorii rizannia materialiv [Fundamentals of the theory of cutting materials]*.
5. Petrakov, Yu.V. (2004). *Avtomatychne upravlinnia protsesamy obrobky materialiv rizanniam [Automatic control of material processing processes by cutting]*. UkrNDIAT.
6. Yakymov, A.V., Novykov, F.V., Novykov, H.V., Yakymov, A.A. (1999). *Yakist i produktyvnist abrazyvno-almaznoi obrabotky [Quality and productivity of abrasive diamond processing]*. ODPU.
7. Palyvoda, Yu.Ye., Diachun, A.Ye., Leshchuk, R.Ya. (2019). *Instrumentalni materialy, rezhymy rizannia, tekhnichne normuvannia mekhanichnoi obrobky [Tool materials, cutting modes, technical standardization of mechanical processing]*. Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu.

8. Kalchenko, V.V. (2006). Naukovi osnovy efektyvnoho shlifuvannya zi skhreshchenymy osiamy abrazynovoho instrumenta ta obrobljuvanoj detali [Scientific basis of effective grinding with crossed axes of the abrasive tool and the processed part]. *Doctor's Dissertation*. Kharkiv.

Отримано 04.11.2024

UDC 621.923

**Volodymyr Kalchenko¹, Volodymyr Venzhega², Hennadiy Pasov³,
Antonina Kolohoida⁴, Bohdan Zavertannyi⁵, Yaroslav Kuzhelnyi⁶**

¹Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in scientific and pedagogical work
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vykalchenko74@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9072-2976>
ResearcherID: [G-6752-2014](https://orcid.org/0000-0002-9072-2976). **Scopus Author ID:** [56644727300](https://orcid.org/0000-0002-9072-2976)

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vivenzhega@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>
ResearcherID: [H-3560-2014](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X). **Scopus Author ID:** [16510833000](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X)

³PhD in Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Industrial Mechanical Engineering
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: genapasov@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>
ResearcherID: [H-4455-2014](https://orcid.org/0000-0001-7248-9085). **Scopus Author ID:** [57220212743](https://orcid.org/0000-0001-7248-9085)

⁴PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kolohoida@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1742-2686>
ResearcherID: [I-1118-2014](https://orcid.org/0000-0002-1742-2686). **Scopus Author ID:** [57222329484](https://orcid.org/0000-0002-1742-2686)

⁵PhD in Technical Sciences, senior lecturer of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv
Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

E-mail: zavertannyi@stu.cn.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0009-0001-7492-3663>
ResearcherID: [KHD-2575-2024](https://orcid.org/0009-0001-7492-3663). **Scopus Author ID:** [57219253414](https://orcid.org/0009-0001-7492-3663)

⁶PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: k.y.v.immortal@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5269-8557>
ResearcherID: [J-1127-2016](https://orcid.org/0000-0002-5269-8557)

MODERN METHODS AND TOOLS FOR IMPROVING GRINDING EFFICIENCY

In modern machine-building products, parts with high-precision cylindrical, conical, end, spherical, toroidal, helical, and curved surfaces are widely used for their service, the final quality of which is determined by finishing operations. The labor intensity of operations performed on grinding machines equipped with abrasive tools is constantly increasing in the total amount of labor intensity of processing and is on average 25-30 %, and in some industries up to 50% of the total labor intensity of processing. Therefore, it is very important to search for new and implement progressive existing methods of abrasive processing covering a wide range of machined parts for various purposes in order to increase the efficiency of processes. This has an important national economic significance for machine building, machine tool building, automotive, textile, timber industries, pipe rolling production and the energy industry of Ukraine.

In the work, research and systematization of the main factors affecting the accuracy of dimensions, shape and location deviations, surface roughness, hidden defects, process productivity during abrasive processing of a wide range of products were carried out. On the basis of the conducted analysis, it is proposed to use modern methods, equipment, tools and materials such as super abrasive materials, innovative grinding wheels, grinding systems with liquid nitrogen cooling, minimal lubrication (MQL), high-speed grinding (HSG), use of CNC systems.

The article is a review and informational publication.

Key words: abrasive processing; grinding; abrasive tool; grinding efficiency; dimensional accuracy; surface roughness.

Fig.: 1. References: 8.