

УДК 621.923

А.І. Грабченко, д-р техн. наук, І.М. Пижов, д-р техн. наук, Харків,  
В.Г. Клименко, Полтава, Україна

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЛОСКОГО ТОРЦЕВОГО ШЛІФУВАННЯ**

*Розглянуті питання, пов'язані з перспективою розширення технологічних можливостей процесу плоского торцевого шліфування за рахунок інтенсифікації прокачування технологічної рідини через зони шліфування і правки круга. На базі розроблених ефективних способів шліфування і пристроїв для їх здійснення запропоновано конструкцію плоскошліфувального верстата з вертикальним шпинделем, що дозволило вирішити поставлену задачу.*

*Рассмотрены вопросы, связанные с перспективой расширения технологических возможностей процесса плоского торцевого шлифования за счет интенсификации прокачки технологической жидкости через зоны шлифования и правки круга. На базе разработанных эффективных способов шлифования и устройств для их осуществления предложена конструкция плоскошлифовального станка с вертикальным шпинделем, что позволило решить поставленную задачу.*

*We consider the problems connected with prospect of expansion of technological opportunities of the process of the flat of the mechanical grinding due to the intensification of pumping process fluid through the zone grinding and dressing of the circle. On the basis of the developed effective ways of grinding and devices for their implementation of the proposed design surface grinding machine with vertical spindle, which allowed to solve the task.*

**Постановка проблеми.** Відомо, що верстати, що працюють торцем круга, широко використовуються в різних галузях промисловості. Серед них особливе місце займають верстати з вертикальним розташуванням шпинделя, які можуть мати як прямокутні [1], так і круглі (оберткові) столи [5]. Крім цього часто використовуються двосторонні верстати, на яких можна обробляти дві паралельні площини деталі одночасно.

Шліфувальні верстати з вертикальним розташуванням шпинделя забезпечують високі показники продуктивності і точності обробки при низькій шорсткості обробленої поверхні виробів. За умови, що діаметр кола (абразивної голівки) більше ніж ширина робочого столу, обробка поверхні ведеться на прохід [1], що сприятливо позначається на значеннях вихідних показників обробки. Такі верстати призначені для шліфування плоских поверхонь в умовах масового і серійного типів виробництва. При чорновому шліфуванні шпиндель шліфувальної бабки нахилиють в горизонтальній площині в напрямку поздовжнього переміщення столу верстата. Цим уникають надмірного нагрівання (а, отже, і деформації) оброблюваної деталі

і досягають підвищення продуктивності обробки до 50% [5]. У деяких випадках нахил круга сприяє спрощенню подачі технологічної рідини в зону шліфування [6]. На етапі чистового шліфування нахил шпинделя зменшують. Величина нахилу круга проявляється характерною сіткою на шліфованій поверхні [5]. При прецизійному шліфуванні, коли вимоги до рівня поверхні особливо високі, круг повертають у вихідне положення, в результаті чого його робоча поверхня стає паралельної площині столу [3]. Перспективність плоского шліфування пов'язано з тим, що в даний час близько 20% деталей машинобудування мають плоскі поверхні, і багато з них підлягають остаточній обробці на плоскошліфувальних верстатах [4].

**2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання розширення технологічних можливостей процесів шліфування за рахунок поліпшення умов охолодження зони шліфування вже досить повно висвітлені в літературі і особливо в публікаціях наукової школи Л.В. Худобина [9], [2]. Як показали праці наукової школи М.Ф. Семка [8], це повною мірою відноситься і стосовно комбінованим процесам шліфування. Важливою особливістю тут є те, що паралельно з функцією охолодження ступінь наповнення зони шліфування технологічної рідиною багато в чому визначає ефективність протікання або електроерозійних розрядів при алмазно-іскровому шліфуванні або електрохімічних процесів у разі алмазно-електрохімічної обробки. При електрохімічній правці робочої поверхні (РПК) струмопровідних кругів в автономній зоні важливе значення має ступень наповненості електролітом як зони обробки, так і зони правки. Електроліт в даному випадку одночасно виконує дві функції – охолодження зони шліфування та забезпечення нормального протікання процесу правки РПК. Таким чином, можна в результаті сказати, що створення умов, що забезпечують досить повне заповнення зон шліфування і правки круга технологічної рідиною, є важливою умовою, що забезпечує передумови для розширення технологічних можливостей як звичайних, так і комбінованих процесів плоского торцевого шліфування.

Як звісно, торцешліфувальні верстати, які мають прямокутні столи вважаються більш універсальними, бо дозволяють вести обробку важкодоступних (наприклад, нахилених) плоских поверхонь [5]. Недоліком існуючих плоскошліфувальних верстатів з вертикальним розташуванням шпинделя можна вважати те, що з одного боку в них використовуються недостатньо ефективні методи подачі технологічної рідини в зону шліфування, а з іншого вони не мають пристроїв для практичної реалізації сучасних комбінованих процесів шліфування. А це, у свою, чергу практично виключає широке застосування для процесів обробки алмазних кругів на зносостійких металевих зв'язках.

На даний момент вже зроблені важливі кроки в цьому напрямку. У роботі [7] виконаний докладний аналіз сучасного стану питання стосовно до процесу плоского торцевого шліфування на верстатах з вертикальним шпинделем. Зокрема, встановлено, що здійснення процесу в суцільному шарі технологічної рідини з додатковою її подачею у внутрішню порожнину круга відкриває нові перспективи в плані розширення технологічних можливостей розглядуваного процесу обробки. При цьому використання катодів-сепараторів частково вирішує завдання електрохімічної правки алмазних кругів на металевих зв'язках.

**3. Мета дослідження.** Підвищення ефективності плоского торцевого шліфування на верстатах з вертикальним шпинделем шляхом розширення його технологічних можливостей.

**4. Основні матеріали досліджень.** Виконані дослідження дозволили виявити додаткові можливості в плані вдосконалення запропонованого процесу. Досвід застосування процесу дозволить довести, що в умовах, коли злив технологічної рідини організований таким чином, що шліфування ведеться в її суцільному шарі має не тільки переваги, але і недоліки. До останніх слід віднести те, що з одного боку технологічна рідина швидко забруднюється продуктами шліфування і правки круга, які, потрапляючи в зону обробки, можуть погіршувати якість обробленої поверхні. З другого використання катоду-сепаратору суттєво ускладнює можливість здійснення електрохімічної правки круга при обробці струмопровідних деталей. Все це в цілому знижує технологічні можливості процесу шліфування.

У даній роботі була зроблена спроба розробки конструкції плоскошліфувального верстата з вертикальним розташуванням шпинделя стосовно використання торцевих кругів. Ця конструкція розроблена з урахуванням існуючих напрацювань, а саме запропонованих способів шліфування і правки, а також пристроїв для їх здійснення. Це повинно дати можливість істотного підвищення ефективності процесу плоского торцевого шліфування.

Відмітна особливість запропонованого верстата є те, що він оснащений додатковим електродвигуном, вал якого встановлений співвісно зі шпинделем і механічно пов'язаний з ним за допомогою муфти зі змінним пружним елементом. При цьому напівмуфта, розміщена на шпинделі, встановлена з можливістю реалізації або робочого, або холостого ходу, а пристрій для зливу технологічної рідини виконаний з можливістю ступінчастої або плавної зміни її рівня у ванні по відношенню до рівня зони шліфування. Що стосується робочої частини пристосування, то вона складається з двох ділянок при цьому правлячий катод встановлений на ділянці, прилеглій до периметра робочої поверхні пристосування, а середня

частина призначена для розміщення оброблювальних деталей. З метою можливості реалізації шліфування «на прохід» ширина ділянки для розміщення оброблених виробів приймається менше не зовнішнього, як звичайно, а внутрішнього діаметру круга. Це дає можливість паралельно зі шліфуванням вести процес електрохімічної правки круга.

Запропонована конструкція верстата дозволяє, по-перше, здійснювати як попереднє (за умови, що рівень зливного отвору знаходиться вище за рівень зони шліфування), так і остаточне шліфування (за умови, що рівень зливного отвору знаходиться нижче за рівень зони шліфування), по-друге, використання додаткового електродвигуна, пов'язаного з шпинделем за допомогою механічної муфти зі змінним пружним елементом, дозволяє істотно підвищити ефективність попереднього шліфування за рахунок створення механічних коливань (вібрацій) шпинделя, а, отже, і шліфувального круга (тобто фактично реалізовується вібраційне шліфування). В цілому, у поєднанні з можливістю реалізації електрохімічної правки круга, це призводить до істотного розширення технологічних можливостей процесу шліфування.

На рис. 1, (вигляд збоку) зображена принципова схема плоскошліфувального верстата з прямокутним столом, що здійснює зворотно-поступальне переміщення з подовжньою подачею  $S_{\text{под}}$  і періодичною вертикальною подачею  $S_v$  (глибина шліфування  $t$ ). Оскільки шліфування ведеться «на прохід», то поперечна подача  $S_{\text{поп}}$  використовується в даному випадку для попереднього налаштування верстата. Як видно з рисунку, на станині 1 верстата розміщений шпиндельний вузол 2 з вертикальним шпинделем 3 на нижньому кінці якого за допомогою оправки 4 встановлений шліфувальний круг 5 (в даному випадку торцевий алмазний круг на металевій зв'язці). Стіл 6 верстата забезпечений ванною 7 в якій розміщені пристосування 8 для оброблених деталей 9 і катод 10 для електрохімічної правки круга 5. Додатковий електродвигун 10 за допомогою фланцю 11 з'єднаний з верхньою частиною шпиндельного вузла 2. Вал 12 електродвигуна і шпиндель 3 встановлені співвісно і з'єднані за допомогою муфти 13 зі змінним пружним елементом 14. Муфта складається з двох напівмуфт, причому напівмуфта, розміщена на шпинделі, встановлена з можливістю реалізації або робочого (попереднє вібраційне шліфування), або холостого ходу (якщо реалізується остаточне шліфування з передачею обертання на шпиндель від іншого електродвигуна через ремінну передачу, на схемі показано пунктиром). Позитивний полюс джерела постійного електричного струму (на рисунку не показаний) підключений до шпинделя 3, що обертається, (за допомогою струмоз'ємника),

а негативний полюс до столу 6 верстата. Діелектрична пластина 15 між станиною 1 і шпіндельним вузлом 2 дозволяє електрично ізолювати їх одне від одного. Оскільки вал електродвигуна 10 і шпіндель 3 з'єднані безпосередньо через муфту 13, а, отже, подача технологічної рідини (ТР) у внутрішню порожнину круга через порожнистий шпіндель 3 представляє певні труднощі, то використовується стакан 16, закріплений на торці круга 5. Отвори на торцях стакану і круга співпадають. Гумовий кожух 17 усуває надмірне розбризкування технологічної рідини. Пристрої 18 для підведення технологічної рідини забезпечують її подачу як безпосередньо у ванну 7, так і у внутрішню порожнину шліфувального круга 5. В останньому випадку електропровідна рідина (електроліт) під дією відцентрових сил інтенсивно прокачується через зону шліфування, а також через міжелектродний зазор  $\Delta$  і цим самим забезпечує оптимальні умови як для охолодження зони обробки, так і для нормального протікання електрохімічного процесу правки круга.

Пристрій 19 для зливу технологічної рідини виконаний з можливістю ступінчастої (за допомогою системи отворів з різним рівнем по висоті ванни, як показано на рисунку) або плавної зміни її рівня у ванні по відношенню до рівня зони шліфування, причому верхній рівень (ВРТР) служить для реалізації чорнового, а нижній (НРТР) чистового етапів шліфування.

Це пов'язано з тим, що для остаточної операції важливо подавати в зону шліфування очищену технологічну рідину, що і забезпечується у разі, коли її рівень у ванні знаходиться нижче рівня зони шліфування. Змінний елемент 14 з заданими пружними властивостями дозволяє в деякій мірі управляти інтенсивністю вібрацій в зоні шліфування, а, отже і продуктивністю попередньої обробки.

Необхідність витримування вимоги, щодо значення ширини робочої частини пристосування пояснюється наступним. При ширині її ділянки, призначеної для розміщення оброблювальних деталей, меншій ніж внутрішній діаметр круга ( $B_{\text{дет.}} < d_{\text{кр. min}}$ ) реалізується ідея шліфування «на прохід», а установка правлячого катода на ділянці, прилеглий до периметра робочої поверхні пристосування, забезпечуються необхідні умови для електрохімічної правки робочої поверхні круга в тому числі і при обробці струмопровідних деталей. При цьому катод повинен перекривати робочу поверхню круга по всій її ширині.

Слід зазначити, що даний верстат може з успіхом застосовуватися і при звичайному алмазно-абразивному шліфуванні, тобто у разі використання алмазних і ельборових кругів на органічних і керамічних зв'язках, а також кругів на основі звичайних абразивів. В даному випадку використовуються

традиційні технологічні рідини, а процес обробки ведуть при виключеному джерелі постійного струму.

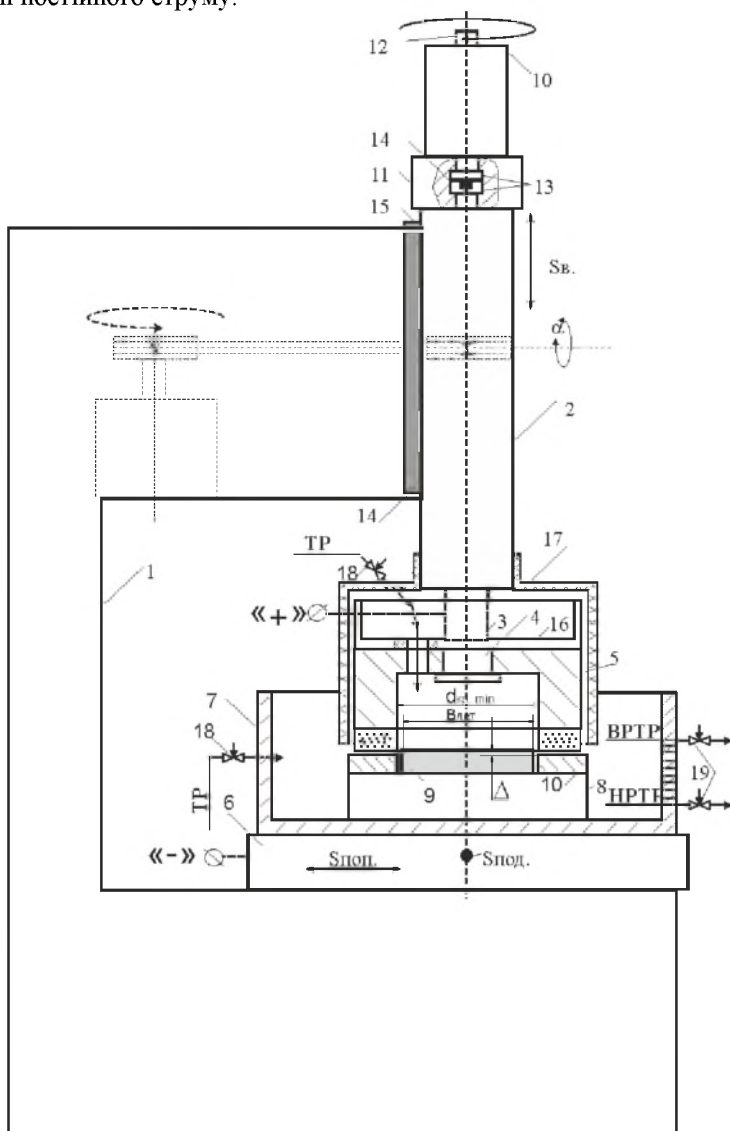


Рисунок 1 – Запропонована конструкція плоскошліфувального верстата

Головка шпинделя встановлена з можливістю реалізації відповідного повороту РПК на кут  $\alpha$  (рис. 1). Величина цього кута, як було відмічено вище, залежить від виду технологічної операції (чорнова, чистова чи прецизійна). При цьому найбільш раціональним варіантом обробки слід вважати такий [10], коли вертикальна подача ( $S_v$ ) здійснюється на подвійний хід столу верстата, а величина кута  $\beta$  між вектором подовжньої подачі ( $S_{\text{под.}}$ ) столу і віссю шпинделя не перевищує  $90^\circ$  (рис. 2 а, б). В умовах комбінованого процесу шліфування нахил круга, як правило, не роблять, бо завдяки безперервній електрохімічній правці РПК температура у зоні шліфування може бути значно зменшеною. Це одночасно дозволяє знизити питомі витрати алмазів круга за рахунок того, що на частині РПК, яка не приймає участі у шліфуванні, не відбувається зняття зв'язки електрохімічним способом.

Верстат може мати також і стіл, що обертається. Як звісно [5], такі верстати вважаються найбільш продуктивними і можуть працювати за двома схемами обробки: багатопрхідною або однопрхідною (глибинне шліфування). Ванна 6 в цьому випадку виконується у вигляді ємкості, поперечний перетин якої має форму кільця (рис. 3).

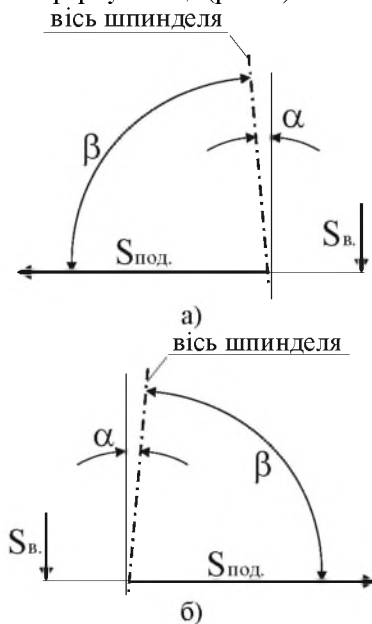


Рисунок 2 – Порядок здійснення  $S_v$  на подвійний хід столу верстата

На рисунках 1 і 3 наведений випадок, коли для подачі технологічної рідини у внутрішню порожнину круга, а отже і в зони шліфування і правки використовується пристрій у вигляді спеціального торцевого круга [11]. Недоліком цього пристрою є те, що для його реалізації потрібні спеціальні круги з пазами на базовому торці, а також необхідність складання пристрою кожного разу при заміні круга. Окрім цього за наявності пазів є небезпека ослаблення міцності круга і особливо у разі використання кругів зі звичайних абразивів, а також кругів з надтвердих матеріалів з пресованим (неметалічним) корпусом, що є додатковим обмежуючим фактором при призначенні високопродуктивних режимів обробки, а отже знижує технологічні можливості процесу шліфування.

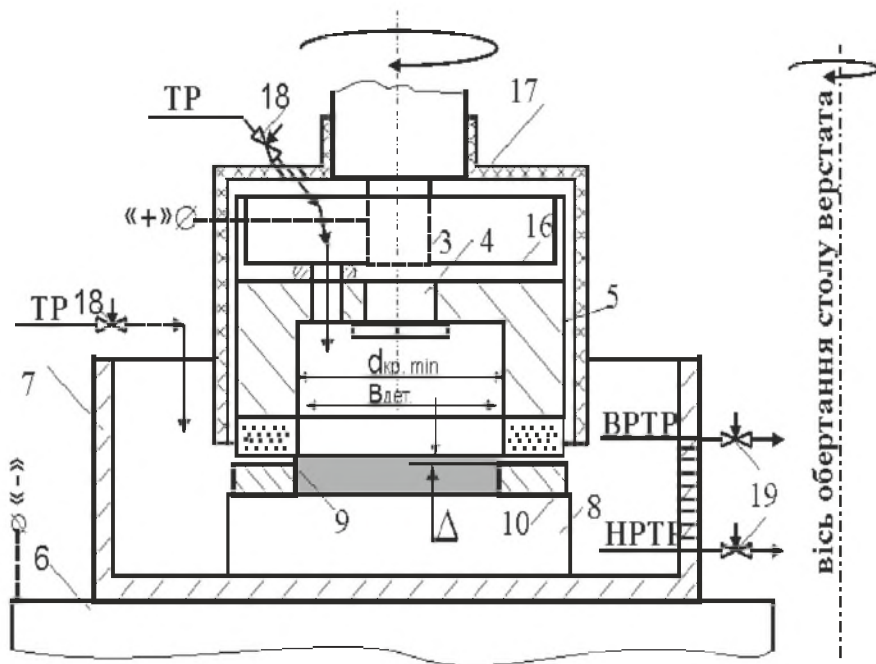


Рисунок 3 – До реалізації процесу стосовно верстата з круглим столом

У зв'язку з цим нами запропоновано більш ефективний пристрій, конструкція якого наведена на рис. 4. Змінна оправка 1, встановлена за



допомогою конуса в шпинделі 2 плоскошліфувального верстата, виконана як одне ціле зі стаканом, у внутрішню порожнину якого подається технологічна рідина.

Внутрішня поверхня стакану нахилена по відношенню до осі обертання круга під гострим кутом  $\alpha$ , що сприяє кращому попаданню технологічної рідини в зону шліфування. При необхідності оправка 1 може додатково кріпитися в шпинделі, наприклад, за допомогою струни (на рисунку не показана) для чого вона має верхній різьбовий отвір. Нижня зовнішня торцева поверхня стакану є головною настановною базою для шліфувального круга 3, який кріпиться до оправки 1 за допомогою шайби 4 і болта 5. Для цього в нижній частині оправки передбачений різьбовий отвір. На утворюючих циліндровій поверхні, яка є для круга направляючою базою, виконані не наскрізними по глибині пази. При цьому візуально дана циліндрова поверхня нагадує шліцьовий вал.

В осьовому напрямі пази виконані наскрізними, при цьому з одного боку вони виходять в порожнину стакану, а з іншою у внутрішню порожнину шліфувального круга 3. На торці шайби 4, прилеглому до внутрішнього торця круга 3 не наскрізні по глибині пази виконані в радіальному напрямі, що дозволяє спрямовувати технологічну рідину, що надходить з порожнини стакану через пази на оправці 1, на внутрішню поверхню круга 3.

Еластична прокладка 6 дозволяє забезпечити попадання всього потоку рідини в пази шайби 4, а, отже, на внутрішню поверхню круга 3 звідкіля вона під дією відцентрових сил інтенсивно прокачуватиметься через зону шліфування, як показано на рисунку стрілками.

Отже, змінна оправка одночасно виконує три функції: по-перше, в ній установлюється і закріплюється шліфувальний круг, по-друге, за її допомогою круг механічно зв'язаний зі шпинделем станка, по-третє, завдяки стакану і системі пазів оправка виконує функцію доставки технологічної рідини у внутрішню порожнину круга. Таким чином за рахунок розташування пазів на стаціонарній змінній оправці, виконаній спільно зі стаканом для подачі технологічної рідини, запропонований пристрій дозволяє, по-перше, використовувати стандартні шліфувальні круги, а, отже, реалізувати високопродуктивні режими шліфування, по-друге, зменшити допоміжний час на обробку за рахунок виключення операції складання пристрою при зміні круга.

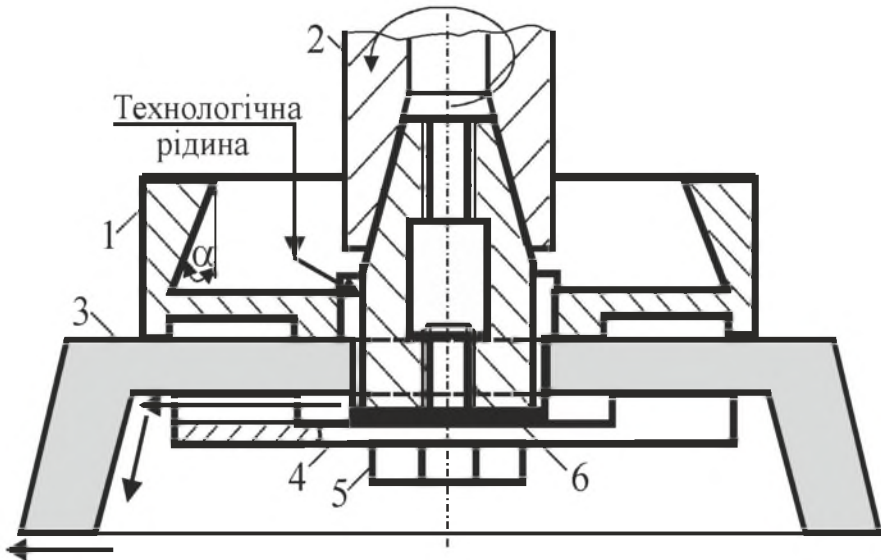


Рисунок 4 – Пристрій для подачі технологічної рідини в зони шліфування і правки

Як відомо, для правки шліфувальних кругів зі звичайних абразивів широко застосовуються алмазні правлячі інструменти (олівці, ролики, гребінки і т. і.). Температурний фактор має суттєве значення у випадку правки абразивних кругів цими інструментами [2]. Дуже важливо забезпечувати у зоні правки температуру нижчу ніж її критичне для алмазу значення, тобто  $T \leq 700^\circ\text{C}$ , щоб не дозволити проявитися інтенсивному протіканню відомому ефекту графітизації алмазу. Згідно ГОСТ 607-80 у цьому випадку рекомендується використовувати рясну подачу технологічної рідини (не менш ніж 20л/хв.). При використанні звичайних процесів шліфування це вимагає застосування спеціальних пристроїв для захисту від розбризкування. Найбільш ефективно ця задача вирішується стосовно правки торцевих кругів на запропонованому верстаті, коли правлячий алмазний інструмент знаходиться у суцільному шарі технологічної рідини [12]. Це дозволяє суттєво (на 10-20%) збільшити загальний строк служби алмазних правлячих інструментів і сприяє підвищенню ефективності плоского торцевого шліфування на верстатах з вертикальним розташуванням шпинделя.

**Висновки та перспективи розвитку.** Таким чином, виконані розробки дозволили запропонувати прості і надійні підходи, що забезпечують основні передумови для розширення технологічних можливостей як звичайного, так і комбінованого процесів плоского торцевого шліфування.

Надалі представляє значний інтерес питання дослідження вихідних показників, які забезпечує запропонований плоскошліфувальний верстат, у тому числі і стосовно обробки наноматеріалів, які, як відомо, мають підвищену чутливість до рівня температур в зоні шліфування.

**Список літератури:** 1. [Електронний ресурс]. Плоскошліфувальний верстат з вертикальним шпинделем і електромеханічним управлінням ШПВ 01. – Режим доступу: <http://www.bulstan.ru/shlif/spec/shpv01.htm>. 2. *Киселев Е.С.* Теплофизика правки шлифовальных кругов с применением СОЖ. / Е.С. Киселев. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. 171 с. 3. *Лоскутов В.В.* Шлифовальные станки. / В.В. Лоскутов. – М.: Машиностроение. – 1976. –191 с. 4. *Маталин А.А.* Технология машиностроения / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с. 5. *Наерман М.С.* Справочник молодого шлифовщика. / М. С. Наерман. – М.: Высш. шк., 1985. – 207 с. 6. Пат. 2162788 Российская Федерация, МПК В24В55/02. Способ подачи смазочно-охлаждающей технологической смеси в зону шлифования / Степанов Ю.С., Афонасьев Б.И., Куценко С.А., Харламов Г.А., Подзолков М.Г.; патентообладатель и заявитель Орловский государственный технический университет. – 99107768/02; заявл. 07.04.1999; опубл. 10.02.2001. Бюл. №4. 7. Расширение технологических возможностей процесса плоского торцевого шлифования / Грабченко А.И., Пыжов И.Н., Клименко В.Г. // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: 2012. – Вып.81. – С. 64-75. 8. *Семко М.Ф.* Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов / Семко М.Ф., Грабченко А.И., Ходоревский М.Г. – Харьков: Вища школа, 1980. – 192 с. 9. *Худобин Л.В.* Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке / Л.В. Худобин, Е.Г. Бердичевский. – М.: Машиностроение. – 1977. – 189 с. 10. Пат. 76437 Україна, МПК (2013.01) В24 В 1/00. Спосіб шліфування надтвердих матеріалів / Алексєєнко Д.М., Грабченко А.І., Пижов І.М., Клименко В.Г. Власник Сумський державний університет. -№ и 2012 05440; заявл. 03.05.2012; опубл. 10.01.2013. Бюл. № 1. 11. А.с. 1627394 СССР, МПК<sup>5</sup> В24D17/00 В24В55/02. Торцовый шлифовальный круг / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов, С.А. Култышев, Еременко Ю.В. (СССР) – № 4639488/08; заявл. 14.12.1988; опубл. 15.02.1991, Бюл. № 6. 12. Пат. 76444 Україна, МПК (2013.01) В24 В 53/00. Спосіб правки торцевих абразивних кругів на шліфувальних верстатах з вертикальним шпинделем / Грабченко А.І., Пижов І.М., Кравченко С.І., Клименко В.Г. Власник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № и 2012 05634; заявл. 08.05.2012; опубл. 10.01.2013. Бюл. № 1.

*Надійшла до редколегії 11.03.13*