

А.П. Гавриш, д.т.н., проф.
Т.А. Роїк, д.т.н., проф.
П.О. Киричок, д.т.н., проф.
О.І. Лотоцька, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «КПІ»

ТОЧНІСТЬ ОБРОБЛЕННЯ ПІД ЧАС ШЛІФУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗАСОБІВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ

Наведено результати дослідження впливу на фактори точності поверхонь деталей технологічних процесів абразивного шліфування з застосуванням методів активного контролю деталей тертя з нових композиційних матеріалів, створених на базі шліфувальних відходів інструментальних сталей 86ХВН8Т, 11РЗАМЗФ, 4ХМНФС та 7ХГ2ВМФ для важких умов роботи друкарської техніки.

Встановлено закономірності впливу технологічних параметрів на механізм формування точності. Визначено основні аналітичні залежності факторів точності для різних схем абразивного шліфування нових композитів. Розроблено рекомендації для промисловості, що забезпечують якість поверхонь деталей тертя для друкарської техніки.

Ключові слова: параметри точності деталей тертя; абразивне шліфування; високозносостійкі композитні сплави; друкарська техніка.

Постановка проблеми. Однією з головних проблем розвитку галузі поліграфічного машинобудування України є безперервне підвищення параметрів якості, надійності, зносостійкості та довговічності друкарської техніки. Для забезпечення цих вимог у сучасних поліграфічних машинах набули широкого застосування різного роду деталі, що виготовляють з високолегованих зносостійких композиційних сплавів на основі штампових і інструментальних сталей, кольорових металів – міді, нікелю та алюмінію [1–5].

Ці композити створені науковцями лише нещодавно. Основною рисою їх є те, що вони синтезовані на основі шліфувальних шламових відходів основного виробництва промисловості, які містять у своєму складі такі гостродефіцитні для України матеріали, як вольфрам, ванадій, молібден, іридій, титан, хром, мідь та інші, які, на жаль, вивозились у відвали і не використовувались у повторному виробничому циклі. Вони пройшли всебічну перевірку в умовах жорстких умов експлуатації (температурні навантаження 800–850 °С, питомі навантаження до 5–7 МПа, кисень повітря, виробничий пил з абразивною властивістю) та навіть використовуються для виготовлення деталей тертя у найсучасніших поліграфічних комплексах фірми Koenig&Bauer AG (Німеччина), а саме KBA Rapida – 6+L–TT–L (шестифарбова з двома лаковими секціями) і KBA Rapida 75–4, струминних принтерів Océ Arizona 6170 XTS фірми Canon (США), паперорізальних машин WOHLENBERG Trim-tec 560, обладнання для висікання Drossert ST-6 (Німеччина) тощо.

Відомо [1–14], що зносостійкість деталей як один із головних параметрів надійності обладнання суттєво залежить від параметрів якості поверхонь тертя (шорсткість, фізичні властивості поверхневого шару, геометрична точність), які формуються на фінішних операціях тонкого абразивного оброблення.

В останні роки науковці виконали ряд досліджень з вивчення надтонких методів абразивного оброблення новітніх високозносостійких композитів [1–5]. У них основна увага була приділена встановленню основних закономірностей впливу технологічних факторів оброблення (режими різання, склад та зернистість абразивного інструменту, склад мастильно-охолоджувальних рідин, метод обробки) на параметри шорсткості, ступінь та глибину наклепу, рівень і знак залишкових напружень. На жаль, поза увагою дослідників залишилися питання геометричної точності, що впливають на характер зношування деталей не меншою мірою, ніж фізичні властивості поверхневого шару композита, який має бути оброблений за методами абразивного шліфування.

Тому дослідження точності обробки композитних деталей під час шліфування із застосуванням засобів активного контролю є актуальним завданням, що має як наукове, так і, що не менш важливо, практичне значення.

Мета і завдання досліджень. Метою цієї роботи було дослідити похибки обробки деталей з новітніх марок високозносостійких композитів, проаналізувати похибки встановлення деталей у верстатну систему, а також розробити технологічні рекомендації для здійснення активного контролю параметрів точності під час абразивного шліфування циліндричних поверхонь друкарських машин.

Результати досліджень. При аналізі сумарної похибки деталей Δ_z зазвичай виділяють такі складові, як похибка обробки $\Delta_{обр}$, похибка установки деталі $\Delta_{уст}$ та похибка базування $\Delta_{баз}$ [15–18]. При використанні засобів контролю під час процесу абразивного оброблення деталей, безумовно, корисним є

додаткове виділення похибки вимірювання $\Delta_{вим}$, при цьому доцільно підкреслити, що в даному випадку трактування та значущість похибок обробки, вимірювань та встановлення будуть трохи іншими, а похибка базування залишається незмінною і у даній роботі не розглядається.

Похибка оброблення. Більшість існуючих приладів активного контролю базується на двоконтактній схемі вимірювань. Під час контролю цими приладами на розміри деталей, що оброблюються, не впливають температурні і пружні деформації системи «верстат–пристрій–інструмент–деталь», розмірне зношування інструменту та налаштування верстата на певний розмір. У цьому випадку на розміри деталей (як і раніше) впливають їх температурні деформації і додається вплив запізнення відводу шліфувального круга та форми оброблюваної поверхні деталі [19].

Отже, при активному контролі (під час процесу абразивного оброблення) приладами, що базуються на двоконтактній схемі вимірювань, маємо:

$$\Delta_{i\partial} = \Delta_{\partial.д.} + \Delta_{\zeta} + \Delta_{\delta}, \quad (1)$$

де $\Delta_{\partial.д.}$ – температурні деформації деталей; Δ_{ζ} – похибка розмірів деталей, що залежить від запізнення відводу шліфувального круга; Δ_{δ} – похибка розмірів деталей, що пов'язана з формою поверхонь оброблення.

Як показали численні дослідження, температурні деформації деталі під час шліфування із застосуванням контролю в процесі оброблення зазвичай становлять значну частку загальної похибки обробки.

Як видно з точкових діаграм (рис. 1), криві відхилень розмірів деталей від рівня налаштування та криві їх температурних деформацій добре узгоджуються. Корисно зазначити, що під час контролю у процесі оброблення температурні деформації деталей впливають дещо більшою мірою, ніж при шліфуванні з пробними вимірами, оскільки за час цих вимірювань деталі встигають частково охолонути. Через це температурні деформації при врізному шліфуванні (рис. 1, а) більші, ніж при позовжньому (рис. 1, б).

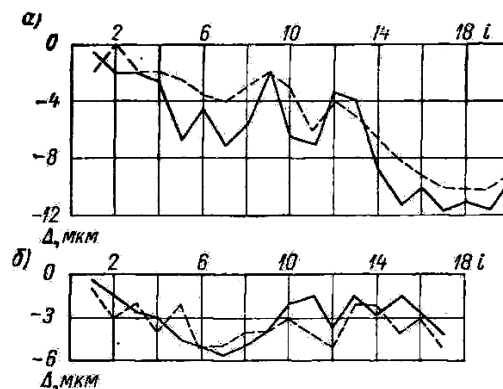


Рис. 1. Точкові діаграми: а) при врізному шліфуванні деталі з композита 86Х6НФТ ($D = 60$ мм); б) при позовжньому шліфуванні композитної деталі з високолегованого композиційного сплаву 86Х6НФТ; ----- – відхилення розмірів; ----- – температурні деформації деталей

Температурні деформації деталей залежать від багатьох факторів. Цим пояснюється відсутність достатньо повних аналітичних залежностей для їх розрахунків.

Тому розрахунки температурних деформацій деталей з високолегованих композитів, що мають бути прошліфовані, на сьогодні практично неможливі.

Заплановане їх зменшення за рахунок зниження режимів різання веде до небажаного зменшення продуктивності праці.

При використанні приладів контролю у процесі обробки температурну деформацію деталі можливо визначити експериментально. Для цього необхідно у момент надання приладом кінцевої команди на відвід шліфувального круга зафіксувати фактичне показання за шкалою приладу, в подальшому, не відводячи скобу приладу від деталі, уважно стежити за змінами показників за шкалою лімба до повного її охолодження. Час охолодження деталі (під дією мастильно-охолоджувальної рідини, що застосовується під час шліфування) складає усього декілька хвилин.

Досліди показали, що в більшості випадків найсильніше впливає на температурну деформацію деталей зміна різальної здатності шліфувального круга за весь період його стійкості, особливо при внутрішньому шліфуванні. Зазвичай стабільність різальної здатності досягається шляхом правки шліфувального круга, але і в цьому випадку розсіювання температурних деформацій деталей у партії

оброблення повністю виключити практично неможливо. Тому періодичне регулювання приладу для компенсації систематичної складової температурних деформацій деталей у партії має відбуватися за результатами вимірювань температурної деформації не одної, а декількох деталей з партії.

Похибка розмірів деталей, що залежить від запізнення відводу шліфувального круга, під час реалізації процесу різання веде себе по-різному при поздовжньому та врізному шліфуванні [2, 19–24].

Під час поздовжнього шліфування закінчення оброблення після досягнення певного заданого розміру у якомусь перерізі має відбуватися не миттєво, а лише у кінці робочого ходу. Від того, що в цьому випадку зрізання металу відбувається пошарово, то при черговій поперечній подачі можливо випадково «проскочити» рівень розмірного регулювання. Отже, похибка від запізнення буде визначатися величиною фактичної поперечної подачі на останній робочий хід шліфувального круга.

При врізному шліфуванні закінчення шліфування (відвід шліфувального круга) має відбуватися миттєво по досягненні заданого розміру (рівня налаштування). Проте дослідями встановлено, що виконання команди приладу на відведення круга відбувається з деяким запізненням; похибка розміру у даному випадку дорівнює: $\Delta_{\zeta} = S t_{\zeta}$, де S – швидкість зрізання припуску у кінці циклу шліфування; t_{ζ} – час запізнення, с.

Час запізнення (для створення прийнятих умов аналізу) можливо визначити сумою з чотирьох складових $t_{обр} = t_{з.с.} + t_{з.н.} + t_{з.к.} + t_{з.ф.}$, де $t_{з.с.}$ – час запізнення, пов'язаний зі схемою вимірювання деталі; $t_{з.н.}$ – час запізнення, пов'язаний з передаточними властивостями механізму приладу; $t_{з.к.}$ – час запізнення при виконанні кінцевої команди; $t_{з.с.}$ – час запізнення, пов'язаний з формою поверхні, що оброблюється.

Час запізнення ($t_{з.с.}$), пов'язаний зі схемою вимірювання деталі, обумовлюється тим, що вимірювання з допомогою більшості приладів для круглого внутрішнього і зовнішнього шліфування здійснюють так, що місця контакту з деталями вимірювальних наконечників і шліфувального круга зміщені один від одного на 90° . Тому $t_{з.н.} = \frac{15}{n}$ с, де n – кількість обертів деталі за хвилину.

Час запізнення ($t_{з.н.}$), пов'язаний з передаточними властивостями механізму приладу, практично відсутній у безінерційних приладах (індуктивних, ємнісних та електроконтактних). Для інерційних (пневматичних) приладів час запізнення визначається на основі їх фазочастотних характеристик. Дослідження пневматичних приладів BWI–1096 фірми Bruel and Kerg (Данія) показало, що цей час не перевищує значень у межах 0,05 с (при найбільш розповсюджених випадках шліфування, коли кількість обертів деталі лежить у межах 95–100 об./хв.).

Час запізнення ($t_{з.к.}$) при виконанні кінцевої команди визначається від моменту замикання контактів кінцевої команди до моменту відведення шліфувального круга і цілком залежить від конструкції механізму його відведення та типу його магніту.

Досліди, що були проведені на прецизійному верстаті для зовнішнього круглого шліфування AS–250 «Werkzajt» (ФРН) та прецизійному внутрішньому шліфувальному верстаті надвисокої точності SS–125 «Studder» (Швейцарія), показали, що цей час знаходиться у межах 0,15–0,20 с, коли магніт безструмується, і 0,25–0,30 с, коли магніт живиться електричним струмом.

За наявності дефектів форми (наприклад, овальності) деталі відбувається періодичне розмикання та замикання контактів. Тому необхідно протягом певного часу $t_{з.ф.}$ зрізати додаткові шари з поверхні композитної деталі тертя, щоб час замикання контактів кінцевої команди був більшим за час спрацювання команди.

Часом спрацювання $t_{сп.}$ названо той мінімальний час сигналу, що є необхідним для спрацювання механізму зупинки процесу шліфування [2, 4, 17, 19, 24].

У більшості випадків $t_{з.ф.}$ призводить не до зменшення точності, а до зниження продуктивності шліфування, що є негативною ознакою процесу оброблення високолегованих важкооброблюваних композитних матеріалів.

Похибка розмірів деталей, що пов'язана з формою поверхні оброблення. При шліфуванні, як і при інших методах обробки, через низку причин не безпідставно виникають похибки форми, тому розміри у різних перерізах будуть дещо різнитися. За дійсний (розрахунковий) розмір деталі береться середнє значення між найбільшим та найменшим її розмірами. Існує припущення, що спрацювання приладу відбувається при найменшому розмірі зовнішніх поверхонь і найбільшому розмірі внутрішніх. У такому випадку похибка розміру деталі (внаслідок впливу на неї форми) буде дорівнювати половині похибки форми. Проте це положення може бути справедливим у тому випадку, коли час спрацювання дорівнює нулю.

Як показали досліді, час спрацювання є співрозмірним з періодом коливань вимірювальних губок внаслідок похибки форми; так для пневмоелектричних блоків BWI–1096 воно було на рівні значень 0,04–0,05 с.

При поздовжньому шліфуванні певний час спрацювання відповідає певній невідповідності середнього розміру деталі і рівня налаштування на величину $\Delta_{\phi} = \frac{K}{2} \cos \pi \cdot Znt_{cp}$, що викликає зміщення центра групування розмірів деталей у партії зі знаком плюс (при шліфуванні зовнішніх поверхонь) і зі знаком мінус (при шліфуванні внутрішніх поверхонь). У цій формулі n і Z відповідно кількість обертів деталі за хвилину та кількість хвиль на одному оберті, K – похибка форми (для інерційних приладів необхідно враховувати їх амплітудно-частотні характеристики).

При врізному шліфуванні з малими подачами вплив похибки форми на розмір деталі буде практично таким самим, як і при поздовжньому шліфуванні. При більших значеннях подач, коли $S \geq \pi \cdot Z \cdot n \cdot K$, незалежно від часу спрацювання керуючого сигналу, похибка форми (овальність) не суттєво впливає на розмір деталі.

Похибка вимірювання. Прилади контролю ходу процесу оброблення, що були досліджені під час виконання даної роботи, є відносними приладами командної дії. Це є ознакою того, що перед початком шліфування партії деталей прилад налаштовується за зразковою (еталонною) деталлю на необхідний розмір (рівень налаштування), а під час процесу обробки основним завданням приладу є надання команди на закінчення шліфування після досягнення розрахованого і налаштованого рівня налашки. Команда може бути отримана візуально за певним показником шкали вимірювання чи автоматично шляхом включення–розімкнення контакта датчика.

Вочевидь, що як і до візуального методу оцінки показника приладу, так і до автоматичного включення–розімкнення контакта датчика мають висуватися абсолютно однакові вимоги. Прилади, що розглядаються, принципово відрізняються від універсальних, хоча і мають допоміжну шкалу, яка дозволяє полегшити їх налаштування, установлення припуску на виходжування та спостереження за ходом технологічного процесу обробки. Тому і критерії оцінки точності цих приладів мають бути дещо іншими.

Аналіз літературних та технічних паспортів приладів показав, що на сьогодні немає загальноприйнятих врівноважених необхідних та достатніх критеріїв оцінки точності вимірювання приладами контролю в процесі обробки.

Авторами статті запропоновано ряд основних критеріїв для оцінки похибки вимірювання для технологічних процесів абразивного шліфування деталей тертя поліграфічних машин, що виготовлені зі зносостійких високолегованих композитних сплавів на основі штампових та інструментальних сталей.

Варіація спрацювання – величина розсіювання $b\sigma_c$ вимірювання показника при багаторазовому спрацюванні приладу та його незмінному налаштуванні.

Варіація налаштування – величина розсіювання $b\sigma_H$ вимірювання при багаторазовому налаштуванні приладу на один і той самий розмір.

Зміщення налаштування – відхилення від рівня налаштування реального значення величини вимірювання $\Delta_{см}$ з часом.

Величини основних критеріїв точності універсальних шкальних приладів (похибка показань, варіація показань) здебільшого визначають безпосередньо за шкалою самого приладу. Величину критеріїв точності приладів контролю у процесі обробки (командних приладів) необхідно визначати не за шкалою самого приладу, а значеннями величини показника, що вимірюється і продукує контрприлад. У цьому випадку контрприладом слід називати прилад для контролю і досліджень інших приладів загальної структури вимірювань.

Похибку вимірювання приладами контролю в процесі оброблення доцільно поділити на дві складові: $\Delta_{в.м.} = \Delta_{нал.} + \Delta_{роб.}$, де $\Delta_{нал.}$ – похибка при налаштуванні; $\Delta_{роб.}$ – похибка при роботі приладу.

У процесі налаштування вимірювальної системи беруть участь: зразкова (еталонна) деталь, передавальний механізм приладу з рухомим контактом (механізм спрацювання), механізм налашки (наприклад, контакт для регулювання). Тому варіація налаштування приладу є результатом похибки атестації зразкової (еталонної) деталі, що оцінюється варіацією атестації $b\sigma_a$, нестабільності роботи механізму налашки та похибки, яка значною мірою є суб'єктивним фактором (кваліфікація, фізичний стан робітника, який обслуговує систему вимірювання) і яка може бути оцінена варіацією спрацювання $b\sigma_c$, нестабільності роботи механізму налашки та похибки, що виникає при регулюванні вимірювальної системи робітником та оцінюється варіацією регулювання $b\sigma_p$.

Похибка кожного окремого елементу зазвичай оцінюється випадковими та систематичними похибками, але досліді показали, що систематичні похибки є достатньо малими і ними можливо знехтувати. Отже:

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2}. \quad (2)$$

Варіацією атестації можливо нехтувати, якщо вимірювати зразкові (еталонні) деталі приладами з ціною поділки шкали 0,1–0,2 мкм.

Варіація спрацювання визначалась аналогічно, але вже при багаторазовому налаштуванні приладу на один і той самий розмір. У цьому випадку розсіювання показників контрприладу враховує і похибки механізмів регулювання та спрацювання.

Таким чином, внаслідок варіації налаштувань прилад може відповідати рівню регулювання d_0 , а приймати будь-які значення у межах $6\sigma_n$ (на рис. 2 показано лише одне з можливих відхилень від рівня Δ_i), тобто $\Delta_{\text{нал.}} = 6\sigma_n$.

При роботі верстатів положення налаштування не залишається постійним, а змінюється з часом (крива 1) під впливом таких факторів, як зношування вимірювальних поверхонь приладу (крива 2) і кількість спрацювань контактів, прогрів електричного ланцюга, температурні умови тощо (крива 3). Найбільша різниця між різними зміщеннями налаштування $\Delta_{\text{см,найб.}}$ за певний проміжок часу (разом з варіацією спрацювання) буде характеристикою похибки під час роботи приладу.

У зв'язку з тим, що крива 1 має випадковий характер, найбільше зміщення налаштування повинно характеризуватися положенням центра групувань налаштування $\overline{\Delta_{\text{см}}}$ та його розсіювання $6\sigma_{\text{см}}$, яке за аналогією позначимо варіацією зміщень. Проте практично положення центра групувань значною мірою визначається лише середнім зношуванням вимірювальних поверхонь контактів \overline{U} за певний період часу:

$$\Delta_{\text{роб}} = \overline{U} \pm 3\sqrt{\sigma_{\text{см}}^2 + \sigma_c^2}. \quad (3)$$

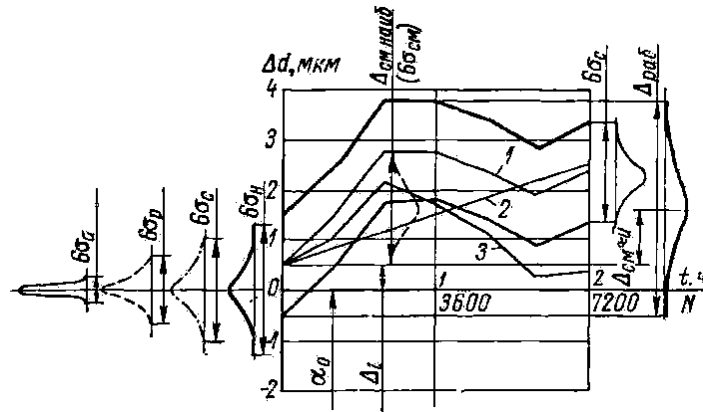


Рис. 2. Зміщення налаштування вимірювального приладу під впливом різних факторів

Сумуючи похибки при налаштуванні приладу з похибкою під час його роботи, можна визначити максимально допустиму похибку вимірювань:

$$\Delta_{\text{вим.пр.}} = \overline{U} \pm 3\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_p^2 + 2\sigma_c^2 + 2\sigma_{\text{см}}^2}. \quad (4)$$

Всі вказані варіації мають бути визначені при встановленні приладу на верстаті. Але в цьому випадку вони будуть залежати не лише від якості самого приладу, а якоюсь мірою і від умов роботи шліфувального верстата (до речі, слід зауважити, що це завдання досить важко реалізувати). Для оцінки якості безпосередньо самого приладу ці варіації необхідно встановлювати у лабораторних умовах.

Рисунок 2 ілюструє дослідні дані, що отримані на контрприладі IKR-1-4R фірми Bvel and Kert (Данія) з ціною поділки шкали 0,1 мкм при дослідженні пневматичного приладу BWI-1096 фірми Bvel and Kert (Данія) з ціною поділки шкали 1 мкм, які показують, що варіація налаштувань складає 2,3 мкм, похибка при роботі приладу до 3 мкм, а максимальна похибка вимірювань становить 1,0–1,9 мкм.

Похибка встановлення. Похибкою встановлення називають похибку деталі, що пов'язана зі змінами взаємного розташування деталі та вимірюваних щупів (контактів) приладу [2, 4, 20–24].

При одноразовій схемі вимірювань з одним вимірювальним щупом похибки встановлення можуть сягати значних величин, оскільки в цьому випадку до вимірювального розмірного ланцюга входять вузли верстата, які можуть витримувати значні температурні та силові деформації. Саме тому у більшості випадків недоцільно використовувати одноконтактні прилади і вони в подальшому у роботі не розглядаються.

При двоконтактній схемі вимірювання приладами з двома вимірювальними контактними щупами похибки встановлення, в основному, пов'язані з перекосами замикаючої лінії щодо поверхні оброблення, а також зі змінами розташування прямої лінії вимірювання щодо осі під час контролю деталей обертання. Слід зазначити, що під замикаючою лінією слід розуміти лінію, яка поєднує точки дотику вимірювальних контактних щупів з поверхнею деталі, яка у даний момент контролюється. Тому похибка

встановлення у цьому випадку достатньо може бути охарактеризована як варіація показань встановленого на верстаті приладу.

Досліди зі шліфування новітніх композитних матеріалів на прецизійних шліфувальних верстатах показали, що варіація показань встановленого на верстаті приладу значною мірою залежить від способу встановлення і закріплення приладу на верстаті. На прикладі приладів для круглого зовнішнього шліфування видно, що (порівняно з варіацією показань на контрприладі) варіація показань на верстаті збільшується для накидних приладів типу АК-3 у 7–10 разів, а настільних приладів типу BWI-1096 – у 12–15.

Таким чином, похибка встановлення може складати значну частину загальної сумарної похибки виготовлення деталі і питання установа приладів контролю під час процесу оброблення мають велике значення. Проте вони на сьогодні недостатньо вивчені.

При аналізі схем встановлення приладів для контролю в процесі шліфування новітніх композитів слід врахувати наступні критерії:

- 1) похибка встановлення, що залежить від стабільності положення вимірювальної техніки;
- 2) комфортність роботи, тобто комфортність налаштування приладу на необхідний розмір, комфортність обслуговування верстата, комфортність при встановленні та знятті деталі тощо;
- 3) простота конструкції;
- 4) кількість інформації, що може бути отримана при вимірюванні деталі і залежно від якої встановлено три методи контролю:
 - а) контроль в одній точці, коли вимірюється розмір в одному певному місці;
 - б) контроль по лінії (в одному перерізі), коли поряд з вимірюванням розміру можна визначити похибку форми як у поперечному, так і в поздовжньому напрямках;
 - в) контроль по всій поверхні.

У таблиці 1 наведено схеми встановлення приладів для реалізації цих методів контролю на круглошліфувальних, внутрішньошліфувальних та плоскошліфувальних верстатах. На схемах знаком \times позначено місця під'єднання приладів 1, а товстими лініями 2 умовно позначені встановлювальні пристрої. На деяких схемах наведено декілька можливих варіантів під'єднання приладів залежно від виду верстата, на якому встановлюється прилад (3 та 4). З таблиці видно, що для контролю в одній точці прилад 1 має бути з'єднаний з пристроєм встановлення 2, деталлю вимірювання чи вузлом 3 верстата, з яким деталь жорстко пов'язана.

Для контролю по лінії прилад 1 має бути з'єднаний зі встановлювальним пристроєм 2 з одним з тих вузлів 4 верстата, що не здійснює поздовжнього переміщення щодо деталі.

Для контролю по поверхні прилад 1 повинен бути з'єднаний встановлювальним пристроєм 2 з одним з тих вузлів 5 верстата, відносно якого деталь має поздовжнє та поперечне (обертальне) переміщення.

Таблиця 1 дозволяє класифікувати усю багатогранність засобів контролю в процесі шліфування на різних верстатах і полегшує вибір найбільш раціональних схем встановлення.

При зовнішньому круглому шліфуванні на сьогодні широко застосовуються схеми 2–31 та 3–31. За схемою 2–31 працюють настільні скоби. За схемою 3–31 найчастіше використовують накидні скоби, які зазвичай закріплюють до шліфувальної бабки і які можуть здійснювати контроль по поверхні, незважаючи на недостатню жорсткість кріплення. Тому вони достатньо широко застосовуються лише при врізному шліфуванні з контролем по лінії.

Отже, практично відсутні прилади, що забезпечують найбільш повний контроль деталі, наприклад, по поверхні. Автори розробили та реалізували обидва варіанти установки скоб за схемою 3–31 при дослідженні процесів тонкого абразивного шліфування високозносостійких композитів, синтезованих на основі високолегованих штампових та інструментальних сталей 86Х6НФТ, 11Р3АМ3Ф, 4ХМНФС та 7ХГ2ВМФ.

На рисунку 3, а показано варіант кріплення скоби до шліфувальної бабки верстата AS-250 фірми «Werkzajt» (ФРН), що має здатність швидкого виводу шліфувального круга. На рисунку 3, б показано варіант кріплення скоби до станини верстата AS-350 фірми «Werkzajt» (ФРН), який не має швидкого відводу шліфувального круга. Розташування скоб з боку шліфувального круга суттєво полегшує встановлення і зняття деталей при їх обробленні.

Створені прилади, які працюють з пневмоелектроконтактними блоками BWI-1096 (Bruel and Kerg, Данія), та контрприлади IKR-1-4R (Bruel and Kerg, Данія) забезпечують отримання стабільних метрологічних характеристик у всьому діапазоні досліджень (режими шліфування, тип зносостійкого композита, діапазон розмірів деталей оброблення). Наприклад, при тонкому абразивному шліфуванні високозносостійкого та високолегованого композита 86Х6НФТ розсіювання розмірів партії деталей діаметром 50–60 мм знаходиться у межах 10–12 мкм, а діаметром 5–12 мм – у межах не більше 3–4 мкм.

При внутрішньому круглому шліфуванні композитних сплавів 11Р3АМ3Ф, 4ХМНФС та 7ХГ2ВМФ використовувались усі три методи контролю, хоча застосування схем 1–32 та 3–32 жодного разу не

забезпечили отримання найкращих результатів вимірювань. Тому за схемою 1–32 працює лише пристрій з жорсткими калібрами, що обертаються, наприклад у напівавтоматі А3251М.

Схеми встановлення приладів для активного контролю

Метод контролю	Вид шліфування і тип верстата		
	кругле зовнішнє, AS-250 «Werkzajt» (ФРН); 31	внутрішнє, верстат високої точності SS-125 «Studder» (Швейцарія); 32	плоске, FF-350 «Abawerk» (ФРН); 37
1. Контроль в одній точці			
2. Контроль по лінії (в одному перерізі)			
3. Контроль по всій поверхні			

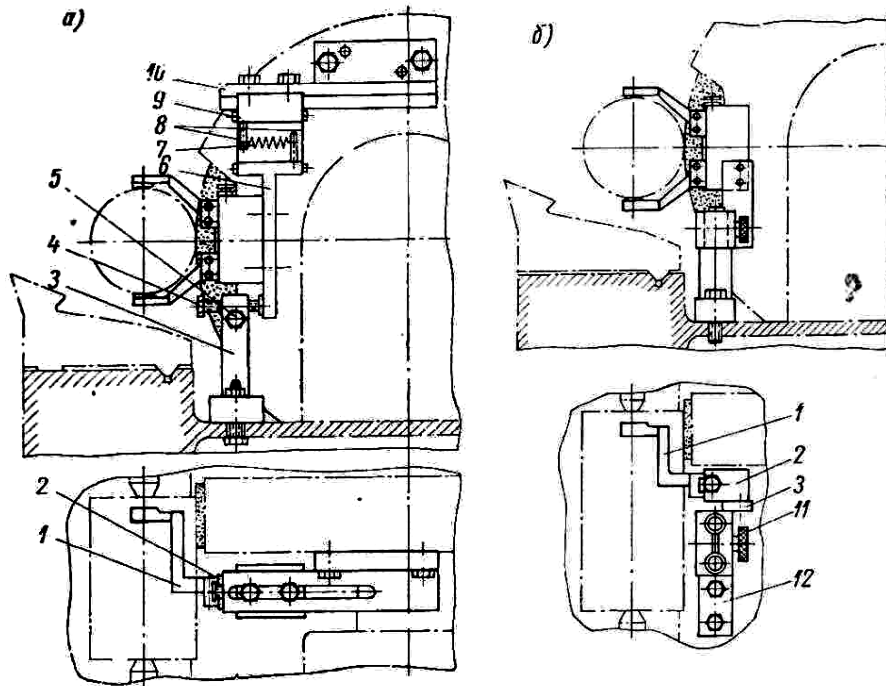


Рис. 3. Встановлення скоби на шліфувальних верстатах:
 а) моделі AS-250 (Werkzajt, ФРН); б) моделі AS-350 (Werkzajt, ФРН):
 1 – вимірювальна губка; 2 – скоба; 3 – кронштейн; 4 – упор; 5 – стопор упору;
 6 – підвіска; 7 – спіральна пружина; 8 – плоскі пружини; 9 – каретка; 10 – скалка;
 11 – стопор кронштейна; 12 – стійка

За схемою 2–32 працює більшість спеціально створених приладів, що успішно застосовуються для підвищення точності серійного виробництва прецизійних деталей, що виготовлені з новітніх марок високочинності композитів [1–5]. Зокрема, необхідно виокремити прилади П-53, П-56, П-57 та ОКБ-895А, ОКБ-1821, БВ-4006, БВ-4026 [25–28].

При здійсненні прецизійної абразивної обробки тонким плоским шліфуванням плоских поверхонь деталей зі зносостійких композитів позитивно зарекомендувала себе конструкція приладів, що працює за схемою 2–37 (табл. 1). Проте, незважаючи на те, що ці прилади дають найбільш повну інформацію про всі деталі, що встановлені на столі верстата, їх застосування вимагає деякого збільшення поздовжнього ходу стола. Крім того, слід зазначити, що плоскошліфувальні верстати не мають засобів для компенсації непаралельності та непрямолінійності і саме тому додаткова інформація не може бути використана безпосередньо у процесі шліфування.

Отже, у багатьох випадках плоске шліфування доцільно застосовувати за схемою 1–37. Вочевидь, що використання цієї схеми обумовлює створення компактних та жорстких приладів, а необхідність відкидання приладу при підході шліфувального круга не призводить до суттєвого ускладнення конструкції.

Висновки. Узагальнюючи наведені експериментальні дані, необхідно зробити такі висновки:

1. Вперше виконано комплексне дослідження надтонких технологічних процесів плоского, зовнішнього круглого та круглого внутрішнього шліфування деталей з новітніх марок високолегованих антифрикційних композитних сплавів, синтезованих на основі штампових та інструментальних сталей для поліграфічного обладнання з застосуванням засобів активного контролю і забезпеченням високих вимог до параметрів точності.

2. Проаналізовано складові похибок оброблення від дії різних технологічних факторів та розроблено практичні рекомендації щодо підвищення якості оброблення поверхонь деталей пар тертя при різних видах абразивного шліфування композитних деталей з метою забезпечення нормованих вимог зносостійкості та довговічності.

3. Показано, що підвищення точності шліфування з використанням засобів активного контролю у процесі оброблення можливо досягти шляхом зменшення складових загальної сумарної похибки, а саме – поліпшувати метрологічні показники приладів, стабілізувати умови шліфування (оптимізація режимів різання, раціональний вибір типу абразивного інструменту, його зернистості та структури) та розробляти прилади на основі найбільш сучасних схем встановлення.

4. Подальші дослідження точності обробки із застосуванням активного контролю доцільно спрямувати на вивчення процесів тонкого абразивного шліфування деталей друкарських машин, що виготовлені з сучасних композитів на базі кольорових металів (алюміній, мідь, нікель).

Список використаної літератури:

1. *Роїк Т.А.* Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації : монографія / *Т.А. Роїк, П.О. Киричок, А.П. Гавриш.* – К. : НТУУ «КПІ», 2007. – 404 с.
2. Технологія поліграфічного машинобудування : навч. посібник / *П.О. Киричок, Т.А. Роїк, А.В. Шевчук* та ін. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 508 с.
3. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин : монографія / *Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок* та ін. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 424 с.
4. Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин : навч. посібник / *П.О. Киричок, Т.А. Роїк, А.П. Гавриш* та ін. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 514 с.
5. Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні : монографія / *Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок* та ін. – К. : ЕКМО, 2010. – 209 с.
6. *Маталин А.А.* Качество поверхности и эксплуатационные свойства машин / *А.А. Маталин.* – Л. : Машгиз, 1976. – 384 с.
7. *Костецкий Б.И.* Качество поверхности и трение в машинах / *Б.И. Костецкий, Н.Ф. Колисниченко.* – К. : Техніка, 1969. – 216 с.
8. *Костецкий Б.И.* Износостойкость и антифрикционность деталей машин / *Б.И. Костецкий, И.Н. Носовский.* – К. : Техніка, 1965. – 206 с.
9. *Крагельский И.В.* Трение и износ / *Б.И. Костецкий.* – М. : Машиностроение, 1968. – 480 с.
10. Надежность и долговечность машин / *Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бершадский* и др. – К. : Техніка, 1975. – 408 с.
11. *Рыжов Э.В.* Высокоэффективные процессы финишной обработки / *Э.В. Рыжов.* – К. : Наукова думка, 1984. – 340 с.
12. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов / *Е.Н. Маслов.* – М. : Машиностроение, 1979. – 320 с.
13. *Яцерицин П.И.* Прогрессивная технология финишной обработки деталей / *П.И. Яцерицын.* – Минск : Беларусь, 1989. – 312 с.
14. Инструменты из сверхтвердых материалов / под. ред. акад. НАН України *Н.В. Новикова*, д.т.н. *С.А. Клименко.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с.
15. *Соколовский А.П.* Курс технологи машиностроения : в 2 ч. / *А.П. Соколовский.* – М. : Машгиз, 1947. – Ч. 1. – 435 с.
16. *Соколовский А.П.* Курс технологи машиностроения : в 2 ч. / *А.П. Соколовский.* – М. : Машгиз, 1949. – Ч. 2. – 464 с.
17. *Соколовский А.П.* Научные основы технологии машиностроения / *А.П. Соколовский.* – Л. : Машиностроение, 1995. – 515 с.
18. *Митрофанов С.П.* Групповая технология машиностроительного производства / *С.П. Митрофанов.* – Л. : Машиностроение, 1983. – 407 с.
19. *Амосов И.С.* Погрешности обработки при активном контроле в процессе шлифования / *И.С. Амосов, О.А. Иванов.* – Л. : Машиностроение, 1967. – 312 с.
20. *Балакшин Б.С.* Основы технологии машиностроения / *Б.С. Балакшин.* – М. : Машиностроение, 1969. – 559 с.
21. *Богуслаев В.О.* Основы технології машинобудування : навч. посібник / *В.О. Богуслаев, В.І. Ципак, В.К. Яценко.* – Запоріжжя : Мотор Січ, 2003. – 335 с.
22. *Гевко Б.М.* Технологія сільськогосподарського машинобудування : підручник / *Б.М. Гевко, І.С. Гевко, Д.Л. Радик.* – К. : Кондор, 2006. – 490 с.
23. *Корсаков В.С.* Основы технологии машиностроения / *В.С. Корсаков.* – М. : Высшая школа, 1974. – 280 с.
24. Технологія машиностроения : учебник / *А.В. Якимов, А.А. Якимов, В.Н. Царюк* и др. – Одесса : Астропринт, 2001. – 602 с.
25. *Амосов И.С.* Вопросы точности активного контроля при круглом наружном врезном шлифовании / *И.С. Амосов, О.А. Иванов.* – М. ; Л. : Машиностроение, 1968. – 312 с.
26. *Скраган В.А.* Повышение точности механической обработки / *В.А. Скраган, А.С. Азаров, И.С. Амосов.* – Л. : Машиностроение, 1967. – 336 с.
27. *Амосов И.С.* Установка скоб приборов активного контроля на универсальных круглошлифовальных станках / *И.С. Амосов.* – Л. : Машиностроение, 1988. – 217 с.

28. *Азаров А.С.* Оборудование измерительных систем активного контроля в процессе внутреннего и плоского шлифования / *А.С. Азаров.* – М. ; Л. : Машиностроение, 1990. – 246 с.

ГАВРИШ Анатолій Павлович – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- теорія процесів шліфування;
- методи фінішного оброблення матеріалів зі спеціальними властивостями.

Тел.: (067)623–88–13.

РОЇК Тетяна Анатоліївна – доктор технічних наук, професор кафедри репрографії Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- синтез нових композиційних матеріалів;
- технологія виробництва матеріалів.

Тел.: (066)200–48–70.

E-mail: roik2011@gmail.com.

КИРИЧОК Петро Олексійович – доктор технічних наук, професор кафедри технології поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту, проректор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- технологія поліграфічного машинобудування;
- поверхнева оздоблювально-зміцнювальна обробка деталей.

ЛОТОЦЬКА Оксана Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- технологія поліграфічного машинобудування;
- прецизійна оздоблювально-зміцнювальна обробка деталей.

Тел.: (067)736–95–55.

E-mail: ksushichka@ukr.net.

Стаття надійшла до редакції 15.06.2015