

Ю.В. Петраков, д.т.н., проф.
С.М. Чамата, аспір.

Національний технічний університет України «КПІ»

ПІДВИЩЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОБРОБЛЯЮЧОЇ СИСТЕМИ ПРИ ШЛІФУВАННІ ОПРАВОК СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ

Наведено методику розрахунку спеціального люнета з управлінням від системи ЧПК шліфувального верстата для оброблення робочої поверхні оправок станів холодної прокатки труб. Люнет забезпечує можливість шліфування оправок, що належать до нежорстких деталей (відношення довжини до діаметра сягає 30...50) зі зміною діаметра за довжиною за спеціальним законом шляхом перманентного управління положенням підтримуючих елементів.

Вступ. Виготовлення безшовних труб виконується на станах холодної прокатки труб (ХПТ), що реалізують процес пільгерування (рис. 1, а), при якому деформування заготовки в трубу 1 необхідного діаметра відбувається за рахунок взаємодії з робочими поверхнями калібрів 2 і оправки 3, які мають складні форми. Тому виготовлення інструментарію для забезпечення технологічної операції пільгерування вимагає застосування операцій шліфування на верстатах з ЧПК.

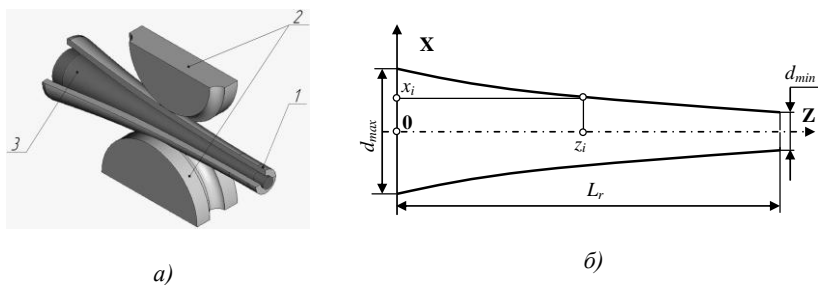


Рис. 1. Схема процесу пільгерування на стані ХПТ (а)
та геометрія оправки (б)

Оправки станів ХПТ виготовляються зі спеціальної сталі (Сталь 60С2ХФА, твердість HRC 54...58, Сталь S 690 BOHLER, твердість HRC 58...64 тощо), мають жорсткі вимоги до точності (допуск на діаметр робочої частини $\pm 0,01...0,03$ мм) та якості поверхні (Ra 0,16

мкм). Тому немає альтернативи оброблення робочої поверхні оправок шліфуванням. Оправки станів ХПТ за своїми геометричними параметрами (рис. 1, б) належать до нежорстких деталей (відношення довжини до діаметра 30...50) і переважно мають робочу поверхню круглого поперечного перерізу, але зі зміною координати x , за довжиною z , за спеціальним законом:

$$x_i = 0,5 \left[d_{\min} + d_{\max} - d_{\min} - kL_r \left(\frac{z_i}{L_r} \right)^n + kz_i \right], \quad (1)$$

де d_{\min} , d_{\max} – мінімальний і максимальний діаметри оправки; L_r – довжина робочої частини; k – початкова конусність; n – показник степеня.

Таким чином, спеціальна форма робочої поверхні оправки з одного боку вимагає застосування шліфувального верстата з ЧПК, а з іншого – не дозволяє використовувати звичайні конструкції лунетів, як, наприклад, при шліфуванні циліндричних деталей. Відомі конструкції лунетів [1, 2], які можуть бути застосовані для вирішення аналогічних завдань, проте вони мають дві координати, що управляються.

Постановка завдання. Розробити конструкцію лунета, який застосовується на круглошліфувальному верстаті з ЧПК і використовує для управління опорами додаткову координату верстата. Розробити методику проектування, яка орієнтована на автоматичне визначення всіх геометричних параметрів лунета і дозволяє отримати закон управління додатковою, нижньою, опорою, скоротивши таким чином кількість координат верстата, що управляються.

Викладення основного матеріалу. Для вирішення першої частини поставленого завдання було запропоновано дві схеми конструкцій лунетів:

- схема № 1 лунета з двома підтримуючими опорами, що виконані за прямою;
- схема № 2 лунета з двома підтримуючими опорами, що виконані за сферою.

Розглянемо запропоновані конструкції лунетів більш детально.

Лунет з двома підтримуючими опорами, що виконані за прямою. Розрахункова схема передбачає застосування нижньої опори лунета, що виконана за прямою (рис. 2). На схемі представлений поперечний переріз круглошліфувального верстата. Деталь 1 підтримується опорою 2, що переміщується від серводвигуна через кульково-гвинтову пару (на схемі не показано), і опорою важеля 3 лунета, контактуюча поверхня якого виконана за прямою. При зміні діаметра деталі опора 2 і копір 4, що встановлений на опорі 2 через ролик 5 повертає важіль 3, забезпечуючи постійний контакт опори

важеля 3 з деталлю. Постійний контакт ролика 5 з копіром забезпечується пружиною 6. Для забезпечення функціонування люнета необхідно розрахувати профіль копіра 4.

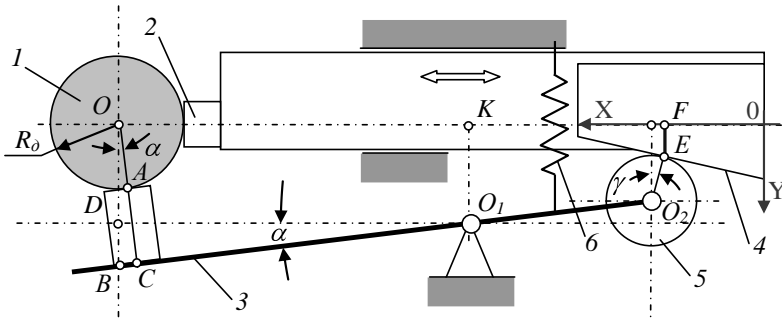


Рис. 2. Розрахункова схема № 1

З геометричних співвідношень схеми, враховуючи, що кут DO₁B дорівнює куту α, а трикутник O₁DB є прямокутним, можна визначити залежності для розрахунку кута α.

З трикутника O₁DB маємо:

$$\tan \alpha = \frac{OB - KO_1}{O_1D} \quad (2)$$

З трикутника OCB маємо:

$$OB = \frac{R_0 + DC}{\cos \alpha} \quad (3)$$

Після підстановки залежності (3) в (2) можна отримати математичну модель геометричної взаємодії для розрахунку кута α:

$$OK \cdot \sin \alpha = R_0 + AC - KO_1 \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

В моделі (4) всі величини, крім α відомі і визначаються конструктивними параметрами кінематичної схеми (рис. 2). Так KO₁ – відстань між віссю центрів верстата і опорою важеля 3 за вертикальною координатою, KO – відстань між віссю центрів верстата і опорою важеля 3 за горизонтальною координатою, а AC – висота нижньої опори люнета.

Математична модель (4) простіше за все може бути розв’язана чисельним методом, що забезпечить необхідну точність розрахунку.

Люнет з двома підтримуючими опорами, що виконані за сферичною поверхнею. Розрахункова схема передбачає застосування двох опор люнета, що виконані за сферичною поверхнею (рис. 3). На

схемі представлений поперечний переріз круглошліфувального верстата. Деталь 1 підтримується двома опорами 2 і 3 лонета, поверхня яких виконана за сферою. При зміні діаметра деталі опора 2 переміщується від серводвигуна через кульково-гвинтову пару (на схемі не показано) і копір 4, що встановлений на опорі 2 через ролик 5 повертає важіль 6, забезпечуючи постійний контакт нижньої опори з деталлю. Постійний контакт ролика 5 з копіром забезпечується пружиною 6. Тут також, як і в першій схемі, для забезпечення функціонування лонета необхідно розрахувати профіль копіра 4.

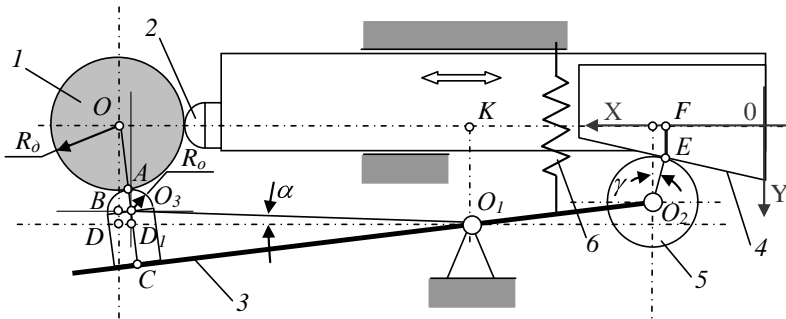


Рис. 3. Розрахункова схема № 2

Також з геометричних співвідношень схеми можна визначити залежності для розрахунку кута α .

З трикутника O_3CO_1 можна розрахувати довжину гіпотенузи O_1O_3 :

$$O_1O_3 = \sqrt{CO_1^2 + CO_3^2}. \quad (5)$$

З прямокутного трикутника $O_3D_1O_1$ маємо:

$$O_3D_1 = O_1O_3 \cdot \sin \alpha, \text{ а } D_1O_1 = O_1O_3 \cdot \cos \alpha. \quad (6)$$

З прямокутного трикутника OBO_3 маємо:

$$OB = \sqrt{RO + R_0^2} - \sqrt{RO - D_1O_1^2}, \quad (7)$$

де R_0 – радіус сфери нижньої опори лонета; R_0 – радіус деталі.

З іншого боку:

$$BD = KO_1 - OB. \quad (8)$$

З побудов схеми $BD = O_3D_1$ і враховуючи рівняння (7) і (8), отримаємо:

$$KO_1 - \sqrt{RO + R_0^2} - \sqrt{RO - O_1O_3 \cdot \cos \alpha^2} = O_1O_3 \cdot \sin \alpha. \quad (9)$$

Рівняння (9) разом з (5) визначає математичну модель геометричної взаємодії, що дозволяє розраховувати кут α у функції

радіуса деталі. В математичній моделі (9) всі величини, крім кута α відомі і визначаються конструктивними параметрами кінематичної схеми рисунка 3. Так KO_1 – відстань між віссю центрів верстата і опорою важеля 3 за вертикальною координатою, KO – відстань між віссю центрів і опорою важеля 3 за горизонтальною координатою, а величина O_1O_3 визначається з рівняння (5).

Математична модель (9) також, як і модель (4), простіше за все може бути розв’язана чисельним методом.

Розрахунок профілю копіра. Для визначення профілю копіра 4 необхідно розглянути геометричні співвідношення лівої частини схеми люнета (рис. 4).

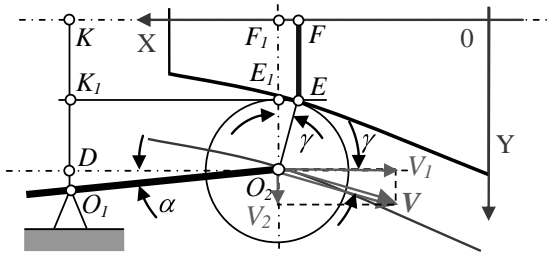


Рис. 4. Схема для розрахунку профілю копіра

З геометричних співвідношень трикутника O_1DO_2 маємо:

$$O_1D = O_1O_2 \cdot \sin \alpha, \quad (10)$$

тому

$$F_1O_2 = KD = KO_1 - O_1O_2 \cdot \sin \alpha. \quad (11)$$

З плану швидкостей руху центра ролика у зворотній схемі можна визначити кут тиску в парі копір–ролик:

$$\gamma = \arctan\left(\frac{V_2}{V_1}\right), \quad (12)$$

де складові швидкості руху за еквідистантою відповідно до кінематичної схеми всього механізму визначаються таким чином:

$$V_2 = \frac{d\varphi_{1O_2}}{dt}; \quad V_1 = \frac{dR_o}{dt}. \quad (13)$$

Після підстановки залежностей (4) в (3) можна остаточно визначити кут тиску:

$$\gamma = \arctan\left(\frac{d\varphi_{1O_2}}{dR_o}\right). \quad (14)$$

Таким чином, залежності для розрахунку матеріального профілю копіра отримуються з трикутника O_2E_1E :

$$EF = F_1O_2 - R_p \cdot \cos \gamma; \quad F_1F = R_p \cdot \sin \gamma. \quad (15)$$

За схемою розташування осей системи координат, в якій задається профіль копіра, можна остаточно отримати залежності для визначення матеріального профілю у вигляді масиву даних:

$$\begin{cases} \varphi_p = \varphi_\theta - R_p \cdot \sin \varphi_\theta - R_p \cdot \sin \varphi_\theta \\ \varphi_p = F_1O_2 - R_p \cdot \cos \varphi_\theta \end{cases}. \quad (16)$$

Алгоритм проектування профілю копіра. Проектування профілю копіра доцільно здійснювати на ПЕОМ за алгоритмом, блок-схема якого представлена на рисунку 5.

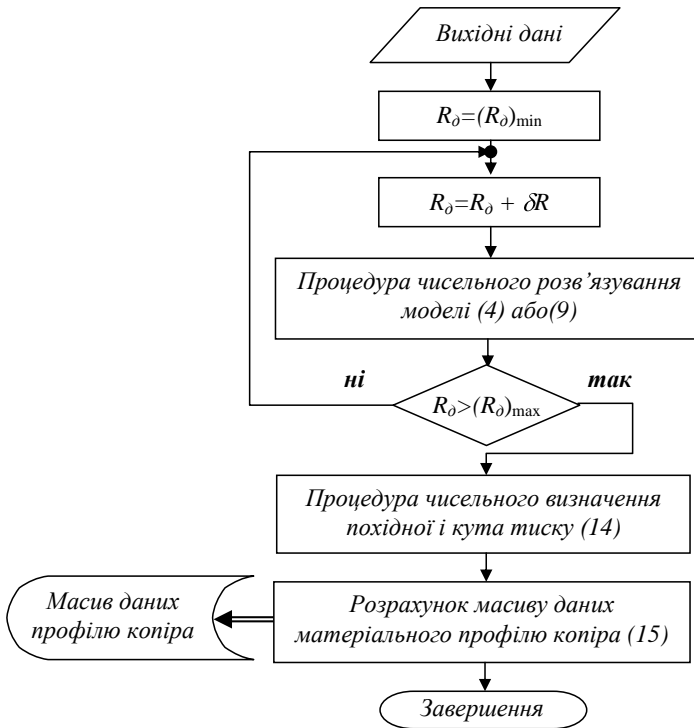
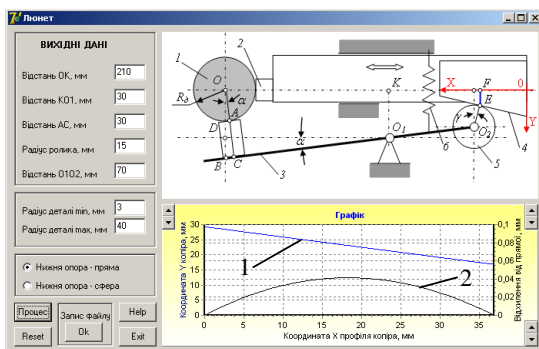


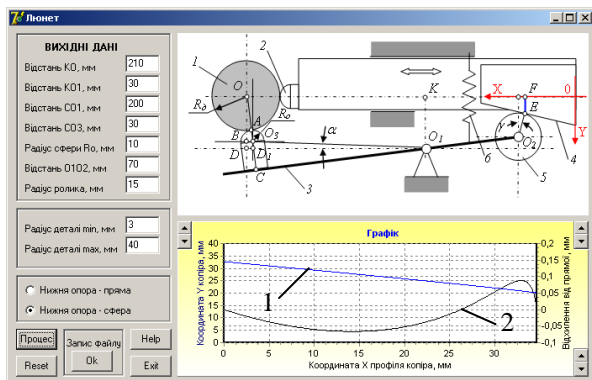
Рис. 5. Блок-схема проектування профілю копіра

Розрахунки виконуються у функції радіуса деталі, який змінюється з кроком ΔR . Розв'язування математичної моделі для кута α виконується за спеціальною процедурою з наперед заданою точністю, наприклад 0,000001 рад. Процедура чисельного визначення похідної, що необхідна для розрахунку кута тиску за залежністю (14), виконується як розділені різниці утвореного на попередніх процедурах масиву даних. Масив даних матеріального профілю копіра зберігається у файлі формату *.txt.

Прикладна програма проектування. Інтерфейс програми, що реалізує алгоритм, представлений на рисунку 5, зображено на рисунку 6. Прикладна програма дозволяє проектувати копір лунета у двох випадках, що були розглянуті вище. Для зручності користування на головному інтерфейсі при виборі форми опор лунета з'являється його кінематична схема, а вихідні дані мають однакове позначення у відповідних віконцях введення даних і на схемі. Після закінчення процедур проектування на інтерфейсі з'являються графіки профілю копіра (лінія 1) і відхилення профілю копіра від прямої – лінія 2.



a)



б)

Рис. 6. Інтерфейс програми «Люнет»: а – опори, що виконані за прямою; б – опори, що виконані за сферою

Програма дозволяє зберегти розрахований профіль копіра у файлі формату *.cld, який може використовуватись при виготовленні на верстаті з ЧПК.

Висновок. Завдяки запропонованій конструкції з'являється можливість автоматичного підвищення жорсткості заготовки в процесі шліфування, незалежно від зміни її діаметра у поперечному перерізі і, таким чином, забезпечити можливість шліфування оправок станів ХПТ з дотриманням вимог за точністю та якістю робочої поверхні. Розроблена прикладна програма проектування люнета, зокрема, профілю копіра, рекомендована для застосування при модернізації шліфувального верстата з ЧПК 3М152МВФ2 для шліфування оправок станів ХПТ.

Список використаної літератури:

1. Rest apparatus. US Patent 4288945, B24В 41/06, Sep. 15, 1981.
2. Grinding machine with a steady rest US Patent 4711054, B24В 49/02, Dec. 8, 1987.

ПЕТРАКОВ Юрій Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

– управління процесами оброблення (лезвийна, абразивна тощо) деталей на верстатах з ЧПК;

– інтегровані CAD/CAM системи.

ЧАМАТА Сергій Миколайович – аспірант кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

– управління процесами шліфування нежорстких деталей круглого поперечного перерізу з криволінійною утворюючою, зокрема, оправок станів холодної прокатки труб на верстатах з ЧПК.

Стаття надійшла до редакції 03.04.2012

Петраков Ю.В., Чамата С.М. Підвищення жорсткості технологічної оброблюючої системи при шліфуванні оправок станів холодної прокатки труб

Петраков Ю.В., Чамата С.М. Повышение жесткости технологической обрабатывающей системы при шлифовании оправок станов ХПТ

Petrakov Y.V., Chamata S.M. Increase of inflexibility of the technological processing system at grinding of fingers for cold rolling pipes

УДК 621.924

Повышение жесткости технологической обрабатывающей системы при шлифовании оправок станов ХПТ / Ю.В. Петраков, С.М. Чамата

Представлена методика проектирования специального люнета с управлением от системы ЧПУ шлифовального станка для обработки рабочей поверхности оправок станов холодной прокатки труб. Люнет обеспечивает возможность шлифования оправок, которые относятся к нежестким деталям (отношение длины к диаметру 30...50) с изменением диаметра по длине по специальному закону путем перманентного управления положением поддерживающих элементов.

УДК 621.924

Increase of inflexibility of the technological processing system at grinding of fingers for cold rolling pipes / Y.V. Petrakov, S.M. Chamata

A design technique special rest system is presented with a control from the system CNC grinding machine-tool for machining of surface of figures of the cold rolling of pipes. Rest apparatus is provided by possibility of grinding of mounting which behave to the non-rigid details (attitude of length toward a diameter 30..50) with the change of diameter on length on the special law by a permanent control position of supporting elements.

