

УДК 621.923: 621.924

Наумова М.І., Руденко Р.О., наук. кер. Фролов В.К., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
e-mail: rock-scorpions@yandex.ru, superheroroman@gmail.com,
v.k.frolov@gmail.com

МІНІМІЗАЦІЯ ВПЛИВУ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ СИСТЕМИ НА ТОЧНІСТЬ ВНУТРІШНЬОГО ШЛІФУВАННЯ

Велика номенклатура деталей, що використовуються при виготовленні виробів, агрегатів та механізмів містять глибокі отвори малого діаметра. Внутрішнє шліфування найчастіше застосовують при обробленні точних отворів у загартованих деталях, з переривчастими поверхнями, в деталях з різною товщиною стінок або неоднорідною твердістю, а також точних отворів великих діаметрів (понад 100 мм), коли іншими способами неможливо забезпечити необхідну точність [1].

В роботі проаналізовані способи зменшення та компенсації пружних деформацій технологічної обробляючої системи та представлені запатентовані авторами технічні пропозиції для вирішення цієї проблеми.

При шліфуванні спостерігається лінійна ω та кутова Θ деформація оправки під дією радіальної складової сили різання. Це призводить до зменшення точності оброблення. Зазвичай шліфувальна оправка закріплена на верстаті консольно. Можна значно підвищити жорсткість, розташувавши оправку на двох опорах, але наразі не існує внутрішньошліфувальних верстатів таких конструкцій.

Жорсткість, лінійну та кутову деформацію оправок при різних схемах закріплення визначають за відомими [2] залежностями (табл. 1).

Таблиця 1. Залежності для розрахунку жорсткості та деформацій оправок

Схема закріплення оправки	Консольна	На двох опорах
Кутова деформація	$\Theta = \frac{PL^2}{2EI} \quad (1)$	–
Жорсткість	$j = \frac{3EI}{L^3} \quad (2)$	максимальна $j = \frac{6EI}{L^3} \quad (3)$
Лінійна деформація	$\omega = \frac{PL^3}{3EI} \quad (4)$	максимальна $\omega = \frac{PL^3}{6EI} \quad (5)$
E – модуль пружності матеріалу; I – момент інерції; L – довжина оправки		

Кутова деформація оправок навіть при режимі чистового оброблення може досягати 3°. При цьому твірна шліфувального круга та твірна оброблюваного отвору непаралельні одна одній, що призводить до нерівномірного зношування робочої поверхні круга та зменшенню точності шліфування.

Авторами запропоновані способи шліфування глибоких отворів, що забезпечують паралельність твірних.

Спосіб шліфування [3] передбачає зміну форми шліфувального круга.

Шліфувальному кругу надають форму зрізаного конуса, діаметр якого зменшується в напрямку шліфувальної бабки. Кут при вершині конуса дорівнює подвоєному значенню кутової деформації (1) оправки:

$$\Omega = 2\Theta = PL^2/EI.$$

Спосіб шліфування [4] передбачає поворот бабки виробу. Кут повороту дорівнює значенню кутової деформації (1) оправки:

$$\Theta = PL^2/2EI.$$

Тим самим вісь деталі повертається відносно осі шліфувального круга в площині розташування векторів поздовжньої подачі шліфувальної бабки та поперечної подачі бабки виробу. При застосуванні способу необхідно одночасно з поздовжньою подачею $S_{noz\delta}$ шліфувальної бабки здійснювати поперечну подачу S_{non} бабки виробу. Подачі мають бути узгоджені одна з одною згідно з залежністю:

$$S_{noz\delta}/S_{non} = ctg \Theta.$$

Аналізуючи вирази (2-5), можна визначити шляхи підвищення жорсткості оправок та зменшення їх лінійних деформацій (рис. 1).

Одним із способів забезпечення точності шліфування шляхом зменшення лінійних деформацій елементів системи є раціоналізація форми оправки.

Традиційну циліндричну форму консольної частини шліфувальної оправки запропоновано замінити зрізаним кубічним параболоїдом, діаметр якого збільшується від місця установки інструмента до хвостовика оправки [5]. Розміри зрізаного кубічного параболоїда знаходяться у співвідношенні:

$$D = 2 \sqrt[3]{L + \frac{1}{8}d^3},$$

де D – максимальний діаметр кубічного параболоїда;

L – довжина кубічного параболоїда;

d – мінімальний діаметр кубічного параболоїда.

Результати розрахунків показують, що жорсткість оправки у формі зрізаного кубічного параболоїда більше жорсткості циліндричної оправки при рівних довжинах та об'ємах їх консольних частин. При збільшенні співвідношення довжини та діаметру оправки ефективність запропонованої

конструкції зростає, а при зменшенні – знижується. Отже, запропонована конструкція дозволяє підвищити жорсткість при незмінній собівартості виготовлення.



Рис. 1. Шляхи підвищення жорсткості оправок

Підвищити точність шліфування можна шляхом зменшення похибки базування заготовки, що реалізовано в запропонованій конструкції верстата [6]. При цьому спрощується процес налагодження за рахунок наявності двох самоцентрівних патронів, які виключають залежність точності базування заготовки від кваліфікації робітника. Крім того, через розташування оброблюваної заготовки за межами робочої зони верстата (в осьовому отворі шпинделя виробу), можна обробляти заготовки, довжина яких перевищує довжину робочої зони верстата.

На базі верстата [6] створено конструкції верстатів [7] та [8], в яких вільний хвостовик шліфувальної оправки підтримується нерухожим або

рухомим люнетом, виконаними у вигляді напямної втулки, яка співвісна шліфувальній оправці. При такому закріпленні кутова деформація оправки відсутня, а її максимальна лінійна деформація складає:

$$\omega = \frac{PL^3}{6EI}$$

що вдвічі менше лінійної деформації консольно закріпленої оправки.

Запропоновані рішення компенсують кутові деформації шліфувальних оправок та збільшують їх жорсткість, що дозволяє забезпечити необхідну точність оброблення з меншими витратами або підвищити продуктивність процесу за рахунок інтенсифікації режиму шліфування.

Список використаних джерел:

1. Никифоров И.П. Повышение эффективности внутреннего шлифования в условиях пониженной жёсткости технологической системы: Автореф. дис. д.т.н. / И.П. Никифоров. – СПб.: СПбГПУ, 2007. – 34 с.
2. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; Отв. ред. Писаренко Г.С. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с.
3. Пат. на кор. модель № 105186, Україна, В24В 1/00. Спосіб шліфування глибоких внутрішніх циліндричних поверхонь / Фролов В.К., Соломенко О.В., Шуплецов Д.К., Наумова М.І.; заявник і патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». - № u201508022; заявл. 12.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.
4. Пат. на кор. модель № 105187, Україна, В24В 1/00. Спосіб шліфування глибоких циліндричних отворів / Фролов В.К., Соломенко О.В., Шуплецов Д.К., Наумова М.І.; заявник і патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». - № u201508023; заявл. 12.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.
5. Пат. на кор. модель № 108542, Україна, В23В 29/00, В24В 45/00. Інструментальна оправка для оброблення глибоких отворів / Фролов В.К., Руденко Р.О., Гладський М.М., Наумова М.І.; заявник і патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». - № u201512790; заявл. 24.12.2015; опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14.
6. Пат. на кор. модель № 110802, Україна, В24В 5/00, В24В 5/10. Верстат для шліфування отворів в порожнистих валах / Фролов В.К., Руденко Р.О., Гладський М.М., Наумова М.І.; заявник і патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». - № u201603289; заявл. 30.03.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20.
7. Заявка на пат. на кор. модель № u201611810, Україна, В24В 5/00, В24В 5/40. Верстат для шліфування труб зсередини / Фролов В.К., Гладський М.М., Руденко Р.О., Наумова М.І.; заявник і патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». - № u201611810; заявл. 22.11.16. Рішення про видачу деклараційного патенту від 06.03.2017.
8. Заявка на пат. на кор. модель № u201611811, Україна, В24В 5/00, В24В 5/40. Верстат для шліфування отворів в трубах / Фролов В.К., Гладський М.М., Руденко Р.О., Наумова М.І.; заявник і патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». - № u201611811; заявл. 22.11.16. Рішення про видачу деклараційного патенту від 06.03.2017.