

УДК 621.9.048.6

Вплив радіальної податливості пружної системи інструменту токарного верстата на точність обробки

Шевченко О.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

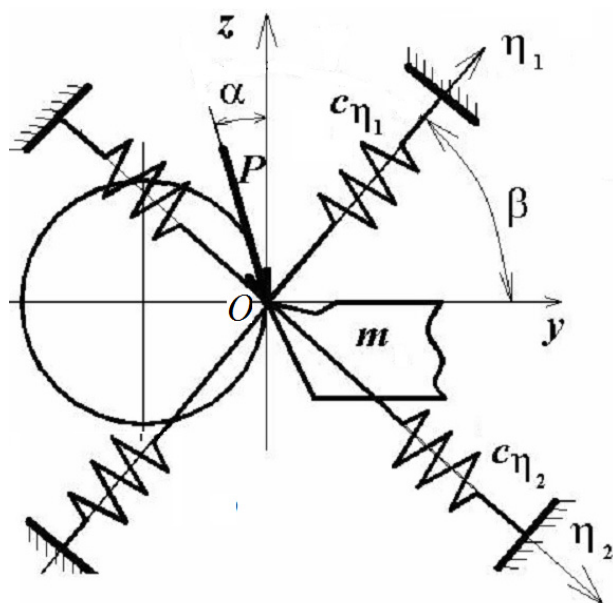
Параметри податливості та напрямок осей головних координат є характеристиками пружної системи токарного верстата і не залежать від напрямку зовнішнього навантаження. Радіальна податливість пружної системи інструменту є різною при різних напрямках навантаження, що обумовлює наявність осей мінімальної та максимальної податливості. Однією з причин виникнення автоколивань при різанні є наявність координатного зв'язку між процесом різання та рухом за різними координатами пружної системи верстата. Полярні діаграми радіальної податливості пружної системи інструменту дозволяють однозначно визначити напрямки осей мінімальної та максимальної податливості та кут розвороту головних осей координат відносно узагальнених координат системи. Зміною напрямку головних координат пружної системи інструменту відносно напрямку дії сили різання можна зменшити енергію самозбудження автоколивань, забезпечити вібростійкий процес різання та підвищити точність обробки.

Ключові слова: координатний зв'язок, пружна система, полярна діаграма, радіальна податливість, точність обробки.

Основною причиною виникнення автоколивань при різанні є зміна площі зрізу та сили різання внаслідок відносного коливального руху інструменту і оброблюваної деталі з урахуванням наявності координатного зв'язку між процесом різання та рухом за різними координатами пружної системи верстата [1]. При токарній обробці траєкторія руху вершини різця має форму наближену до еліпсу, головні вісі якого зазвичай не співпадають з узагальненими координатними осями верстата. Крім того, радіальна податливість системи інструменту є різною при різних напрямках навантаження, що обумовлює наявність осей мінімальної та максимальної податливості. Рух за цими осями вважається незалежним, а координати є нормальними або головними. Крім того, параметри податливості, або жорсткості, пружної системи та напрямок осей головних координат є характеристиками пружної системи і не залежать від напрямку зовнішнього навантаження. Таким чином, причинами виникнення координатного зв'язку є наявність взаємозв'язку між узагальненими координатами пружної системи інструменту та розбіжність напрямку дії сили різання з головними координатами системи. Враховуючи це, зміною напрямку головних координат пружної системи інструменту відносно напрямку дії сили різання можна зменшити енергію самозбудження автоколивань, забезпечити вібростійкий процес різання та підвищити точність обробки.

Властивості пружної системи інструменту можна визначити на основі розрахункової схеми (рис. 1), яка представлена у вигляді приведеної маси m , що зв'язана з базою верстата ланками з пружними властивостями c_{n_1} і c_{n_2} , орієнтованими під кутом β до узагальненої системи координат yOz . На масу m діє сила різання P , прикладена до вершини різця під кутом α . Припускається, що маса рухається тільки в напрямках головних осей координат Ox_1 і Ox_2 .

Розрахункова схема дозволяє визначити пружне переміщення вершини різця в радіальному та тангенціальному напрямках від дії сили різання. Радіальне переміщення різця найбільше впливає на точність обробки, змінюючи відстань між вершиною різця і оброблюваною поверхнею деталі. Переміщення різця в тангенціальному напрямку може мати вплив на точність тільки при обробці деталей малих діаметрів через зміну кутів різання і в даній роботі не розглядаються.

Рис.1. Розрахункова схема пружної системи інструменту токарного верстата в площині yOz

Визначимо пружні переміщення системи інструменту в напрямку головних осей координат:

$$\eta_1 = -P \cdot \sin(\beta - \alpha) / c_{\eta_1} \text{ та } \eta_2 = P \cdot \cos(\beta - \alpha) / c_{\eta_2}. \quad (1)$$

Пружне переміщення системи інструменту в напрямку нормалі до оброблюваної поверхні можна представити у вигляді:

$$y = y_2 + y_1 = \eta_2 \cdot \sin \beta + \eta_1 \cdot \cos \beta. \quad (2)$$

Підставляючи вирази (1) у рівняння (2) отримаємо:

$$y = P \cdot \cos(\beta - \alpha) \cdot \sin \beta / c_{\eta_2} - P \cdot \sin(\beta - \alpha) \cdot \cos \beta / c_{\eta_1}. \quad (3)$$

У відповідності до схеми пружної системи (рис. 1) величина y визначає зміну товщини зрізуваного шару, причому $y_2 > 0$, а $y_1 < 0$ (при $\beta > \alpha$).

Відповідно до цього статичну характеристику пружної системи інструменту можна представити у вигляді [2]:

$$K_{ПС} = K_{ПС2} + K_{ПС1}, \text{ де } K_{ПС2} = y_2 / P > 0, \text{ а } K_{ПС1} = y_1 / P < 0. \quad (4)$$

В результаті із врахуванням (3) та (4) отримаємо статичну характеристику пружної системи інструменту у вигляді [3]:

$$K_{ПС} = y / P = \cos(\beta - \alpha) \cdot \sin \beta / c_{\eta_2} - \sin(\beta - \alpha) \cdot \cos \beta / c_{\eta_1}. \quad (5)$$

Якщо встановити діапазон значень коефіцієнтів жорсткості c_{η_1} і c_{η_2} пружної системи інструменту в напрямку головних осей координат $O\eta_1$ і $O\eta_2$, то за допомогою виразу (5) є можливість визначити діапазон значень кута β розвороту головних осей координат пружної системи, при якому ця система буде мати найменшу радіальну податливість і відповідно буде забезпечена найбільша точність обробки.

На рис. 2 наведені приклади полярних діаграм радіальної податливості пружної системи інструменту $K_{ПС}$ (мкм/Н), розраховані за виразом (5). Полярна діаграма радіальної

податливості дозволяє однозначно визначити при яких значення податливостей c_{η_1} і c_{η_2} в напрямках головних осей координат та кута їх повороту β відносно узагальнених координат системи можна забезпечити мінімальний вплив радіальних переміщень інструменту на точність токарної обробки. При розрахунках $K_{ПС}$ враховувались різні співвідношення коефіцієнтів жорсткості c_{η_1} і c_{η_2} (Н/мкм), змінювався напрямок головних осей координат $O\eta_1$ і $O\eta_2$ в діапазоні кутів $\beta = 0^\circ \div 360^\circ$ при незмінному напрямку дії сили різання P під кутом $\alpha = 30^\circ$.

Аналіз результатів розрахунків за виразом (5), що графічно представлені на рис. 2, дає можливість зробити наступні висновки:

- суттєвий вплив на величину статичної характеристики пружної системи інструменту $K_{ПС}$ має кут розвороту β головних осей координат та співвідношення жорсткостей в їх напрямку;

- графічно та аналітично можна визначити при яких параметрах пружної системи $K_{ПС} < 0$, що може викликати втрату системою вібростійкості при різанні внаслідок занурення інструменту в оброблювану деталь при збільшенні сили різання;

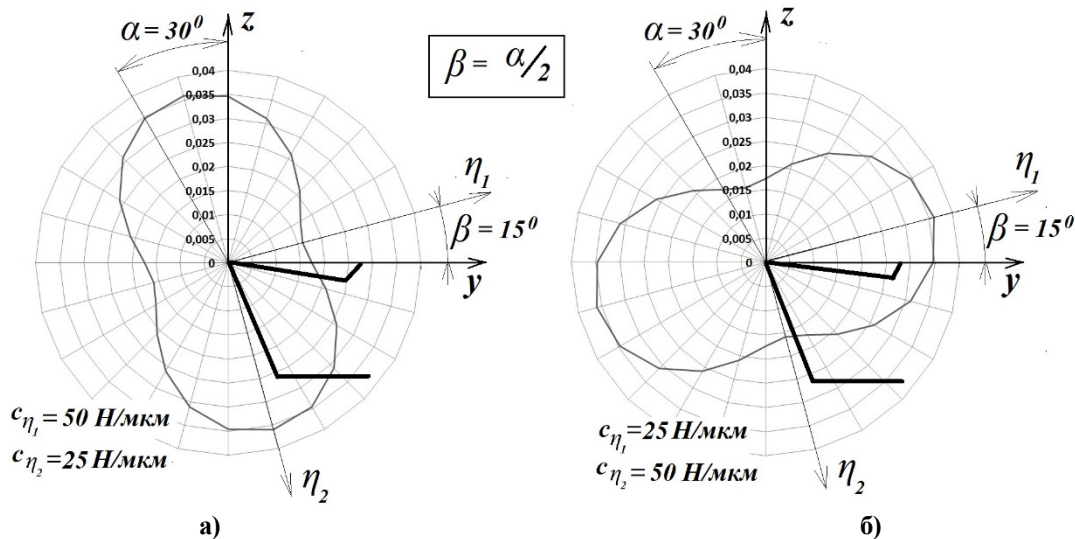


Рис.2. Полярні діаграми радіальної податливості пружної системи інструменту $K_{ПС}$ (мкм/Н) при $\alpha = 30^\circ$ та співвідношенні коефіцієнтів жорсткості $c_{\eta_1} / c_{\eta_2} = 50/25$ (а) та $c_{\eta_1} / c_{\eta_2} = 25/50$ (б)

- для підвищення точності токарної обробки шляхом зменшення впливу координатного зв'язку можна рекомендувати кут розвороту β головних осей координат наближати за величиною до половини кута α , який визначає напрямок дії сили різання P , а саме $\beta = \alpha/2$ [4];

- для підвищення режимів вібростійкої обробки нежорстким консольним інструментом, враховуючи його домінуючий вплив на $K_{ПС}$, рекомендовано конструктивно забезпечити відповідність діаграми податливості консольної частини інструменту до рис. 2,а, при цьому співвідношення мінімальної та максимальної жорсткості за напрямками головних осей координат наближити до $c_{\min}/c_{\max} \approx 0,7$;

- при силовому точінні на токарних верстатах традиційного компонування діаграма радіальної податливості пружної системи інструменту близька за формою рис. 2,б, коли напрямок осі мінімальної податливості наближений до напрямку дії сили різання [5]. Для підвищення вібростійкості та точності при такій схемі обробки можна рекомендувати зменшення радіальної податливості пружної системи конструктивними заходами, або використання інструментального оснащення з орієнтованою жорсткістю та демпфером для переорієнтації напрямків головних

осей координат системи інструменту у відповідність до рис. 2,а та гасіння коливань в напрямку осі найбільшої податливості.

Список літератури

1. Орликов М.Л. Динамика станков: Учеб. пособие для вузов. - Киев: Вища школа, 1980.-256с.
2. Кудинов В.А. Автоколебания на низких и высоких частотах (устойчивость движений) при резании // Станки и инструмент. - 1997.- N 2.-С.16-21.
3. Шевченко О.В. Методи підвищення сталості процесу різання при токарній обробці нежорстким інструментальним оснащенням. Машинознавство № 8 (146). . Київ, 2009. с. 16-23.
4. Різцетримач: пат. 21427 Україна: МПК В23В 29/00. № 200610313 ; заявл. 27.09.2006; опубл. 15.03.2007, Бюл. № 3. 3 с.
5. Шевченко О.В., Ліщінер-Іващенко О.В. Забезпечення умов вібростійкої обробки розточувальними оправками на токарному верстаті / Матеріали X Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент» – Житомир, Державний університет «Житомирська політехніка»: 06-09.10.2019. с. 142-145.

Influence of radial flexibility of the elastic system of the lathe on machining accuracy

Shevchenko Oleksandr

Flexibility parameters and the direction of the axes of the main coordinates are characteristics of the elastic system of the lathe and do not depend on the direction of external load. The radial flexibility of the elastic system of the cutter is different at different directions of loading, which determines the presence of the axes of minimum and maximum flexibility. One of the reasons for self-oscillations during cutting is the presence of a coordinate relationship between the cutting process and the movement of different coordinates of the elastic system of the machine tool. Polar diagrams of the radial flexibility of the elastic system of the cutter allow to unambiguously determine the directions of the axes of minimum and maximum flexibility and the angle of rotation of the main coordinate axes relative to the generalized coordinates of the system. By changing the direction of the main coordinates of the elastic cutter system relative to the direction of the cutting force, it is possible to reduce the self-excitation energy of self-oscillations, ensure vibration-resistant cutting process and increase machining accuracy.

Keywords: relationship between coordinates, elastic system, polar diagram, radial flexibility, machining accuracy.