

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: superheroroman@gmail.com, v.k.frolov@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ОПРАВОК ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ТОЧНИХ ГЛУХИХ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ

В машинобудуванні часто виникає задача – обробити глухий глибокий отвір підвищеної точності. Для цього необхідно використовувати інструментальні оправки, головною характеристикою яких є жорсткість на згин, тобто здатність чинити опір згинаючому навантаженню – радіальній складовій сили різання, яка виникає при точінні або шліфуванні. Через те, що прогин оправки прямо пропорційний радіальній силі та обернено пропорційний її жорсткості, то підвищення жорсткості оправки безпосередньо впливає на підвищення точності оброблених отворів і опосередковано – на збільшення продуктивності процесу за рахунок підвищення складових режиму різання.

Відомо, що на жорсткість оправки впливають наступні чинники: модуль пружності матеріалу, момент інерції перерізу, довжина та схема установки. Недоліком оправок для оброблення точних глухих глибоких отворів є недостатня жорсткість, обумовлена великою довжиною, яка визначається довжиною оброблюваного отвору та не може бути зменшена, а також консольною схемою встановлення, яка обумовлена типом отвору та не може бути замінена на установку на двох опорах. Тому підвищити її жорсткість можна тільки за рахунок збільшення перших двох параметрів.

Збільшення модулю пружності оправки шляхом заміни матеріалу призводить до її подорожчання, тому що матеріали з більшим, ніж у сталі, модулем пружності, є більш вартісними. Тому оправки виготовляють комбінованими, збільшуючи модуль пружності за рахунок використання втулок, які щільно встановлені на циліндричній частині. Вони знаходяться в стиснуто-напруженому стані та виготовлені переважно з кераміки або іншого матеріалу, який має більший у порівнянні зі сталлю модуль пружності [1]. Недоліками такої конструкції оправки є складність її виготовлення та складання, що підвищує вартість її виготовлення.

Збільшення моменту інерції перерізу оправки можливе за рахунок збільшення її діаметра або зміни її форми, наприклад, з циліндричної на конічну [2]. Однак це призводить до збільшення витрат матеріалу та доцільне тільки для оправок, які призначені для оброблення неглибоких отворів.

Метою даної роботи є підвищення жорсткості інструментальних оправок для обробки точних глухих глибоких отворів без зміни собівартості їх виготовлення.

Відомі балки рівного опору вигину [3], момент опору яких змінюється пропорційно згинаючому моменту від зовнішніх навантажень. Форма та поперечний переріз таких балок різноманітні в залежності від призначення. Вони широко використовуються в будівництві, при виготовленні ресор, тобто в тих виробках, де потрібна підвищена жорсткість при економії матеріалу.

Відомі конструкції інструментальних оправок для оброблення точних глибоких отворів типу CoroCut MB, CoroTurn SL, CoroTurn 107, CoroTurn 111, T-Max P та інші від SANDVIK Coromant [4]. Недоліком таких конструкцій є недостатня жорсткість, яка обумовлена циліндричною формою або складеною конструкцією, а також висока вартість даного інструментального забезпечення.

Відомі конструкції інструментальних оправок для оброблення точних глибоких отворів від KYOCERA Precision Tools [5]. Недоліком цих конструкцій, як і оправок від SANDVIK Coromant, є недостатня жорсткість і висока вартість.

Авторами запатентована конструкція інструментальної оправки [6] для оброблення точних глухих глибоких отворів (рис. 1,а, 1,б). Оправка виконана у вигляді стрижня, що має хвостовик для закріплення 1, 5, консольну частину 2, 6 та місце для встановлення інструмента 3, 7, конструктивне виконання якого залежить від особливостей інструмента 4, 8. Консольній частині оправки надано форму зрізаного кубічного параболоїда з коефіцієнтом кривизни k .

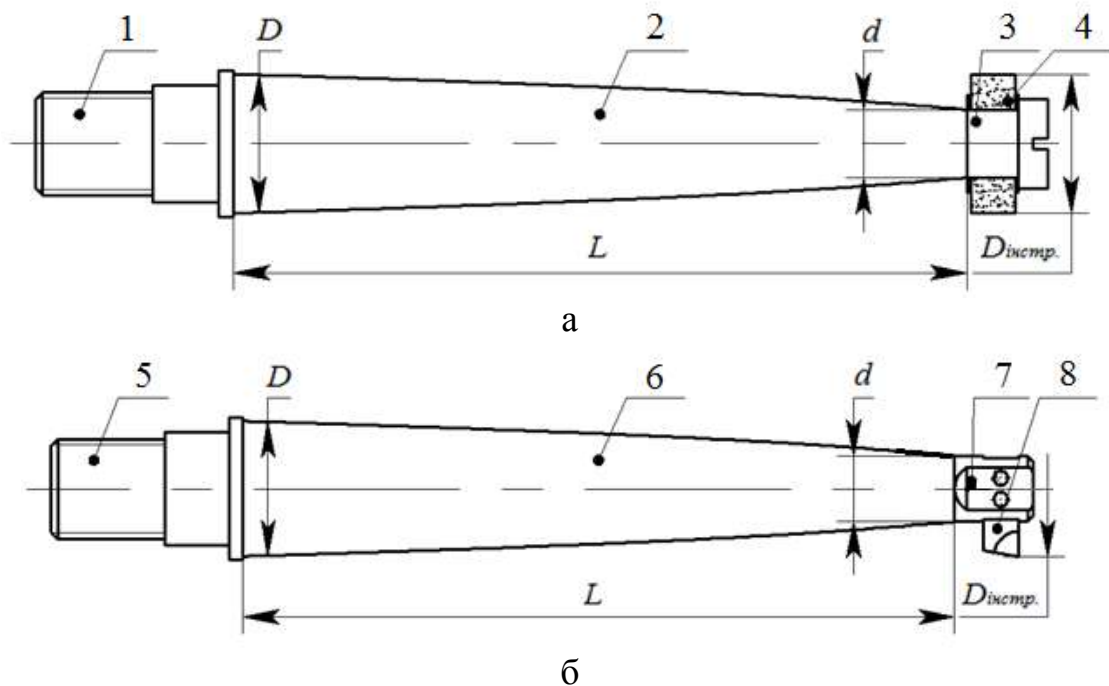


Рис. 1. Інструментальні оправки з консольною частиною у формі зрізаного кубічного параболоїда для шліфування (а) та розточування (б)

Співвідношення діаметрів консольної частини інструментальної оправки залежить від коефіцієнта кривизни параболоїда k (рис. 2).

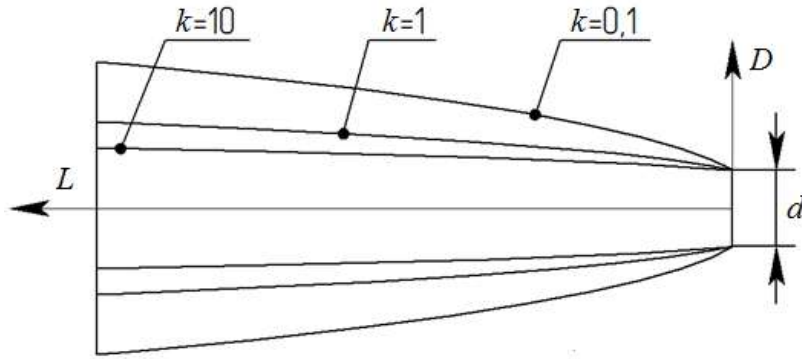


Рис. 2. Вплив коефіцієнта кривизни параболоїда k на співвідношення діаметрів інструментальної оправки

Порівняємо жорсткість параболоїдної та циліндричної оправок, враховуючи, що довжина та об'єм кубічного параболоїда дорівнюють відповідно довжині та об'єму вихідного циліндра.

Об'єм зрізаного кубічного параболоїда визначається з виразу:

$$V_{\text{п}} = \frac{3}{5} \pi k \left\{ \left[\frac{L + k \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3}{k} \right]^{\frac{5}{3}} - \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^5 \right\}.$$

Об'єм циліндра складає:

$$V_{\text{ц}} = \pi \left(\frac{D_{\text{ц}}}{2} \right)^2 L.$$

Прирівнявши $V_{\text{п}}$ та $V_{\text{ц}}$, отримаємо:

$$\frac{3}{5} \pi k \left\{ \left[\frac{L + k \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3}{k} \right]^{\frac{5}{3}} - \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^5 \right\} = \pi \left(\frac{D_{\text{ц}}}{2} \right)^2 L.$$

Вирішивши останнє рівняння відносно $D_{\text{ц}}$, отримаємо вираз для визначення діаметра циліндра, об'єм якого дорівнює об'єму параболоїда:

$$D_{\text{ц}} = 2 \times \sqrt{\frac{\frac{3}{5} k \left\{ \left[\frac{L + k \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3}{k} \right]^{\frac{5}{3}} - \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^5 \right\}}{L}}.$$

Прогин оправки в формі зрізаного кубічного параболоїда складає:

$$\omega_{\text{п}} = \frac{4Pk^{\frac{4}{3}}}{\pi E} \left\{ -\frac{3L^2}{\left[L + k \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3 \right]^{\frac{1}{3}}} + 9L \left[L + k \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3 \right]^{\frac{2}{3}} - \frac{27 \left[L + k \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3 \right]^{\frac{5}{3}}}{5} + \frac{27k^{\frac{5}{3}} \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^5}{5} \right\},$$

де P – одиничне навантаження, зосереджене на кінці оправки;

E – модуль пружності матеріалу оправки.

Прогин циліндричної оправки такої ж довжини та об'єму:

$$\omega_{\text{ц}} = \frac{100PL^5}{27\pi Ek^2 \left\{ \left[L + \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3 \right]^{\frac{5}{3}} - \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^5 \right\}^2}$$

Істинність виразів, отриманих для визначення об'єму та прогину оправок, підтверджена в системах Mathcad і T-FLEX CAD.

Наприклад, для оправки, консольна частина якої у формі зрізаного кубічного параболоїда має розміри: довжина $L = 300$ мм, мінімальний діаметр $d = 20$ мм, при використанні інструмента діаметром $D_{\text{інстр.}} = 30$ мм, коефіцієнт кривизни параболоїда складає $k = 0,126$, а найбільший можливий діаметр зрізаного кубічного параболоїда $D = 30$ мм. При навантаженні оправки з модулем пружності матеріалу $E = 200000$ Н/мм² силою $P = 100$ Н лінійна деформація її консольної частини складає $\omega = 0,1548$ мм.

За тих же вихідних даних, але при коефіцієнті кривизни параболоїда $k = 1$, максимальний діаметр складає $D = 21,8279$ мм, а лінійна деформація її консольної частини – $\omega = 0,4387$ мм.

Тобто, лінійна деформація оправки з коефіцієнтом кривизни параболоїда $k = 0,126$ менша за лінійну деформацію оправки з коефіцієнтом кривизни параболоїда $k = 1$ в декілька ($\approx 2,834$) разів.

Заміна традиційної циліндричної форми консольної частини інструментальної оправки на форму у вигляді зрізаного кубічного параболоїда з коефіцієнтом k дозволяє підвищити жорсткість оправки без зміни собівартості її виготовлення.

Список використаних джерел:

1. Альперович Т.А. и др. Конструкция шлифовальных станков: Учеб. для ПТУ / Т.А.Альперович, К.Н. Константинов, А.Я.Шапиро. - М.: Высшая школа, 1989. - 288с.
2. Акимов В.Л., Иванов В.А. Внутреннее шлифование / Под ред. В.И. Муцяно. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 128 с.
3. 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.
4. Режущие инструменты от SANDVIK Coromant. Режим доступу: http://sandvik.ecbook.se/se/ru/turning_tools_2015/ (дата звернення: 12.03.2016).
5. KYOCERA cutting tools – turning catalog. Режим доступу: http://www.kyoceraprecisiontools.com/indexable/pdf/Turning_Catalog_2016.pdf (дата звернення 12.03.2016).
6. Пат. на кор. модель № 114133, Україна, В24В 45/00, В23В 29/02. Інструментальна оправка для оброблення глибоких отворів / Фролов В.К., Руденко Р.О.; заявник і патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». - № u201609997; заявл. 18.01.2017; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4.