

(Kharkiv). Volume 4, - No 7 (64) (2013). - P. 49-55. **3.** Shelkovoy A.N., A. N. Kravtsov and A.A. Klochko. *Investigation of the dynamics of coarse-grained hobbing of hardened gears using WAVLET-analysis [Text]*. Problems of design and automation engineering industries: a collection of research laborP. - Volgograd: VolgGTU, Togliatti: Irbit: ZAO "ONYX", 2013. - 208 p. : ill., Table. ; - (Series: Quality Management processes in engineering / under total. Ed. YM Solomentseva). (p. 106 - 115). **4.** Shelkovoy A.N., E.V. Mironenko and A.A. Klochko. *General principles of modeling the optimal control parameters of precision, quality and performance gear treatment quenched coarse-grained gearP*. News SevNTU: ST. ScienceP. pr. Series "Mashinopriladobuduvannya that transport." - Sevastopol, 2013. - Vip. 140. - P. 203-210. **5.** Timofeev U.V., et al. *Processing Technology coarse-grained cogwheels Monohull cutters cutting with alternating double conical toothed rackP*. News Natsionalnogo tehničnogo universitetu "Harkivsky politehničny institut ": ST. ScienceP. pr. tematičnost vipusk: Tehnologii v mashinobuduvanni. - Kharkiv: NTU KhPI, 2010. - No 49. - pp 111-116. **6.** Kane M.M. et al. *Quality Management Engineering*. - Moscow: Mechanical Engineering, 2010. - 416 p. **7.** Timofeev U.V., et al. *Technological bases ensure productivity, accuracy and quality gear treatment quenched coarse-grained gearP*. News of Donetsk Natsionalnogo tehničnogo universitetu: ST. ScienceP. pr. Seriya: Mashinobuduvannya i mashinoznavstvo. - Donetsk: DNTU, 2013. - No 1 (10) (2013). - P. 131-140. **8.** Klochko A.A., U.V Timofeev and A. N., Shelkovoy. *Fields optimal. control the parameters of precision, quality and performance gear treatment quenched coarse-grained gearP*. Reliable tools and optimization of technological systems: Sat. scientific. tr. - Kramatorsk: DSEA, 2012. - Vol. 32. - P. 332-343. **9.** Shelkovoy A.N., U.V Timofeev and A.A. Klochko. *AN Technological obpespechenie given system parameters of the surface layer of cylindrical gears hardened coarse-grained*. Reliable tools and optimization of technological systems: Sat. scientific. tr. - Kramatorsk: DGMA, 2012. - Vol. 32. - P. 274-280.

*Поступила (received) 05.09.2014*

## УДК 621.91

**М.С. СТЕПАНОВ**, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»;  
**М.С. ІВАНОВА**, асистент НТУ «ХПІ»

### ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПОСЛІДОВНО-ПАРАЛЕЛЬНІЙ ОБРОБЦІ ОТВОРІВ КОМБІНОВАНИМ ОСЬОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Досліджена осьова складова сили різання і крутний момент при послідовно-паралельній схемі різання комбінованим осьовим інструментом. Досліджений вплив кількості ступенів комбінованого осьового інструмента на сумарні силові навантаження та характер їх зміни при збільшенні кількості одночасно працюючих ступенів інструмента. Зроблено висновок про доцільну кількість одночасно працюючих ступенів комбінованого осьового інструмента.

**Ключові слова:** комбінований осьовий інструмент, режими різання, осьова сила різання, крутний момент, відведення стружки.

**Вступ.** Одним з показників, що підвищують собівартість виробу, є витрати на енергію, яка витрачається при роботі верстата. Величина енергетичних витрат при обробці отворів на металорізальних верстатах прямо пропорційно залежить від величин сил різання, які виникають внаслідок дії різальних кромок на оброблюваний матеріал. Більш того, величини сили

<sup>1</sup>© М.С. Степанов, М.С. Іванова, 2014

різання та крутильного моменту є важливими характеристиками процесу обробки, від яких залежить умови роботи устаткування та інструменту, точність обробки деталі тощо.

**Аналіз останніх досліджень та літератури.** При обробці ступінчастих отворів автор роботи [1] пропонує отвори діаметром більше 30 мм свердлити за два та більше переходи, спочатку свердлом меншого діаметру, далі – потрібного. В роботі [2], навпаки, для скорочення часу обробки при свердлінні ступінчастих отворів рекомендують починати свердління з отворів більших діаметрів. В роботі [3] також запропоновано при обробці лезовими інструментами виконувати видалення припусків за один або декілька переходів. Крім того, з метою зменшення величини поведення осі отвору перед свердлінням роблять попереднє засвердлювання (зацентрування) коротким жорстким свердлом.

Для підвищення продуктивності обробки ступінчастих отворів за рахунок концентрації технологічних переходів використовують комбіновані осьові інструменти (КОІ). Найбільший ступінь концентрації технологічних переходів досягається при послідовно-паралельній та паралельній схемі роботи ступенів такого інструмента. Це зменшує тривалість часу обробки, але призводить до концентрації сил різання.

**Метою статті** є дослідження осьової складової сили різання та крутного моменту при обробці отворів КОІ.

**Постановка проблеми.** Раніше [4] на базі використання енергетичного критерію була розроблена математична модель стійкості КОІ від дії всіх складових сил різання, на основі яких отримані значення критичних подач. Проте вплив конструктивних параметрів такого інструмента, а саме кількості одночасно працюючих ступенів, на силові характеристики процесу різання матеріалів недостатньо досліджено.

В умовах обробки КОІ по паралельній або послідовно-паралельній схемі різання можуть бути характерні особливості у формуванні сумарних силових параметрів (осьової сили та крутного моменту).

**Матеріали досліджень.** Процес обробки КОІ має свої особливості. Внаслідок великої кількості одночасно працюючих різальних кромки, видалення стружки відбувається у більш складних умовах, ніж при обробці стандартним осьовим інструментом, що ускладнює її виведення із зони різання та утруднює підведення ЗОР.

Різниця між діаметрами ступенів також може призвести до погіршення умов транспортування стружки і, навіть, її пакетування, що в свою чергу сприяє утворенню несприятливих умов різання із-за зростання сил тертя.

В зв'язку з вищевказаним, величина сили різання та крутий момент, що виникають при обробці КОІ, є важливими характеристиками процесу обробки отворів. При послідовно-паралельній роботі ступенів КОІ осьову складову сили різання та крутий момент можна визначити:

$$P_o = \sum_{i=1}^n P_{oi} = P_{o1} + P_{o2} + P_{o3} + \dots + P_{on};$$

$$M_{kp} = \sum_{i=1}^n M_{kpi} = M_{kp1} + M_{kp2} + M_{kp3} + \dots + M_{kpn},$$

де  $P_{o1}, P_{o2}, P_{o3}, P_{on}, M_{kp1}, M_{kp2}, M_{kp3}, M_{kpn}$  – осьова складова сили різання та крутний момент на першому, другому, третьому та  $n$ -ому ступені КОІ відповідно.

З урахуванням формул [5] для визначення осьової сили та крутого моменту при свердлінні та розсвердлюванні можемо записати:

$$\begin{aligned} P_{o\Sigma} &= 10 \cdot C_p \cdot d_1^q \cdot S^y \cdot K_p + 10 \cdot C_p \cdot \left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right)^q \cdot S^y \cdot K_p + \\ &+ 10 \cdot C_p \cdot \left(\frac{d_3 - d_2}{2}\right)^q \cdot S^y \cdot K_p + \dots + 10 \cdot C_p \cdot \left(\frac{d_n - d_{n-1}}{2}\right)^q \cdot S^y \cdot K_p = \\ &10 \cdot C_p \cdot S^y \cdot K_p \cdot \left[ d_1^q + \left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right)^q + \left(\frac{d_3 - d_2}{2}\right)^q + \dots + \left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right)^q \right]; \\ M_{kp} &= 10 \cdot C_M \cdot d_1^q \cdot S^y \cdot K_p + 10 \cdot C_M \cdot d_1^q \cdot \left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right)^q \cdot S^y \cdot K_p + \\ &+ 10 \cdot C_M \cdot d_2^q \cdot \left(\frac{d_3 - d_2}{2}\right)^q \cdot S^y \cdot K_p + \dots + 10 \cdot C_M \cdot d_{n-1}^q \cdot \left(\frac{d_n - d_{n-1}}{2}\right)^q \cdot S^y \cdot K_p = \\ &10 \cdot C_M \cdot S^y \cdot K_p \cdot \left[ d_1^q + d_1^q \cdot \left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right)^q + d_2^q \cdot \left(\frac{d_3 - d_2}{2}\right)^q + \dots + d_{n-1}^q \cdot \left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right)^q \right], \end{aligned}$$

де  $C_p, C_M, K_p, q, y$  – емпіричні коефіцієнти та показники ступеню, які залежать від умов обробки (матеріалу деталі, матеріалу інструмента, наявності ЗОР, форми заточки інструмента тощо);  $d_1, d_2, d_3, d_{n-1}, d_n$  – діаметр першого, другого, третього,  $n-1$ -го та  $n$ -го ступенів КОІ.

**Результати досліджень.** Для визначення впливу кількості одночасно працюючих ступенів КОІ типа «ступінчасте свердло» на сумарну осьову складову сили різання та сумарний крутний момент нами були проведені експерименти. Режими обробки призначалися у відповідності до даних з довідника [5] та технічних нормативів [6] для свердлення стандартними свердлами.

Результати сумарної осьової сили різання, отримані при обробці ступінчастими свердлами за послідовно-паралельною схемою різання, порівнювали з результатами осьової складової сили різання, отриманими при свердлінні стандартними свердлами з діаметрами  $d_{ce}$  рівним діаметру

останнього ступеня ступінчастого свердла  $d_n$ , тобто максимальному діаметру різального ступеня (рис. 1, 2).

Аналіз графіків (див. рис. 1, 2) показує, що при послідовно-паралельній обробці отворів КОІ зі збільшенням кількості ступенів такого інструмента сумарні значення осьової складової сили різання та крутильного моменту знижуються, причому максимальний градієнт зниження спостерігається при свердлінні отворів двоступінчастим інструментом. Це явище дозволяє зробити висновок, що найбільш доцільно використовувати двоступінчасті та триступінчасті КОІ не лише з точки зору забезпечення точності (зменшення поведіння осі отвору), але і з точки зору покращення силових характеристик.

Для зниження силових навантажень з метою зменшення витрат енергії КОІ типу «ступінчасте свердло» можна також використовувати для обробки гладких наскрізних отворів. В цьому випадку загальна глибина різання розподіляється між ступенями інструменту. Нами було досліджено вплив величина діаметра першого ступеня двоступінчастих свердел з діаметром другого ступеня  $d_2 = 30$  мм на сумарні силові характеристики (рис. 3, 4).

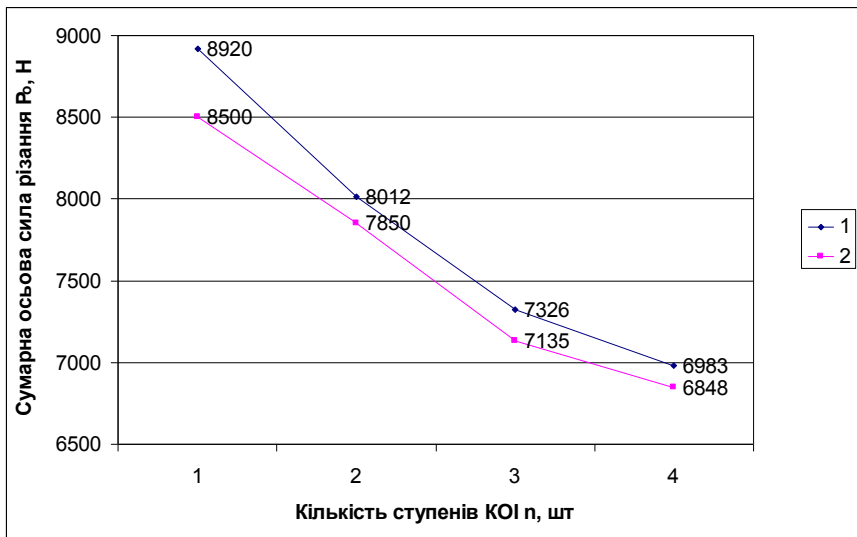


Рис. 1 – Вплив кількості ступенів КОІ на сумарну осьову складову сили різання при послідовно-паралельній обробці: 1 – матеріал заготовки сталь 45, матеріал інструмента Р9К5,  $v=20$  м/хв.,  $S=0,4$  мм/об; 2 – матеріал заготовки сталь 30ХГСА, матеріал інструмента Р6М5,  $v=30$  м/хв.,  $S=0,2$  мм/об

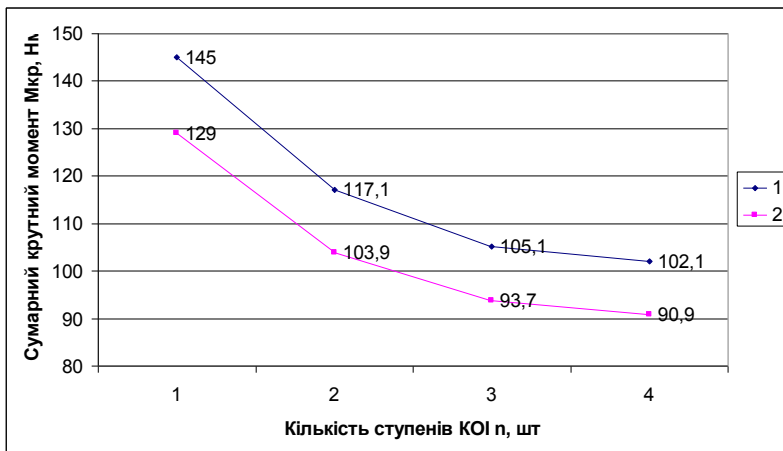


Рис. 2 – Вплив кількості ступенів КОІ на сумарний крутильний момент при послідовно-паралельній обробці: 1 – матеріал заготовки сталь 45, матеріал інструмента Р9К5,  $v=20$  м/хв.,  $S=0,4$  мм/об; 2 – матеріал заготовки сталь 30ХГСА, матеріал інструмента Р6М5,  $v=30$  м/хв.,  $S=0,2$  мм/об

Аналіз графіків (див. рис. 3, 4) показує, що діаметр першого ступеня КОІ також впливає на величину осової складової сили різання та крутильний момент, причому зі збільшенням діаметру першого ступеня ці параметри на досліджуваних режимах різання зменшувались.

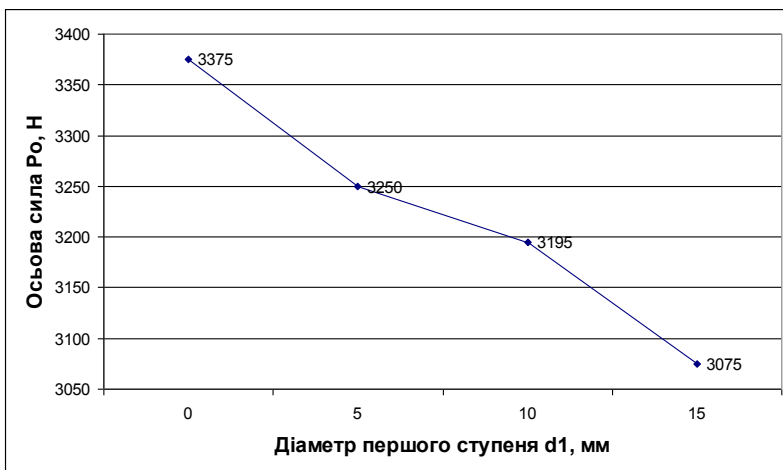


Рис. 3 – Вплив величини діаметра першого ступеня двоступінчастого свердла на сумарну осову складову сили різання

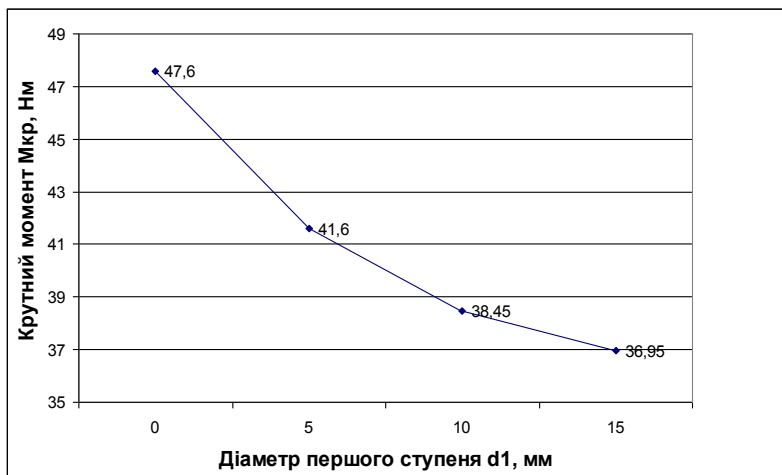


Рис. 4 – Вплив величини діаметра першого ступеня двоступінчастого свердла на сумарний крутящий момент

**Висновки.** Для зменшення силових навантажень та енергетичних витрат при обробці отворів доцільно застосовувати комбінований осьовий інструмент з кількістю ступенів не більше трьох. Причому, у разі використання, наприклад, двоступінчастого свердла, ефективне зменшення силових навантажень досягається при співвідношенні діаметрів ступені  $d_2/d_1 \approx 2$ .

**Список літератури:** 1. Новиков. Ф.В. Теоретические основы технологии машиностроения: Учеб. / Ф.В. Новиков, А.А. Якимов, Г.В. Новиков, Н.И. Решетов. – Одесса.: ОНПУ, 2002. – 492 с. 2. Справочник метал листа : в 5-ти т. Т. 5 / Под ред. А.Н. Малова. – М.: Машгиз, 1960. – 1184 с. 3. Новиков Ф.В. Разработка математической модели обработки отверстий в высокоточных деталях / Ф.В. Новиков, В.И. Полянский // Тези доповідей XXI міжнародн. наук.-практич. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – С. 135. 4. Мальшико И.А. Осевые комбинированные инструменты (рекомендации по проектированию и эксплуатации) / И. А. Мальшико. – Донецк: ПКТИ, 1996. – 135 с. 5. Справочник технолога машиностроителя : в 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение. 1985, – 496 с. 6. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. В 2-х ч. – М.: Экономика, 1990. – 208 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Novikov., F. V., A. A. Jakimov, G. V. Novikov and N. I. Reshetov. *Teoreticheskie osnovy tehnologi mashinostroenija*. Odessa: ONPU, 2002. Print. 2. Malov, A. N. *Spravochnik metallista*. Moscow: Mashgiz, 1960. Print. 3. Novikov, F. V. and V. I. Poljanskij. "Razrabotka matematicheskoj modeli obrabotki otverstij v vysokotochnyh detaljah." *Tezi dopovidej XXI mizhnarodn. nauk.-praktich. konf. "Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja"*. Kharkov: NTU "KhPI", 2013. Print. 4. Malyshko, I. A. *Osevyje kombinirovamyje instrumenty (rekomentacii po proektirovaniju i jekspluatcii)*. Doneck: PKTI, 1996. 135. Print. 5. Kosilova, A. G. and R. K. Meshherjakov. *Spravochnik tehnologa mashinostroitelja*. Moscow:

Mashinostroenie. 1985. Print. **6.** *Obshhemashinostroitel'nye normativy vremeni i rezhimov rezanija dlja normirovanija rabot, vypolnjaemyh na universal'nyh i mnogocelevyh stankah s ChPU.* Moscow: Ekonomika, 1990. Print.

*Надійшла* (received) 10.09.2014