

К.К. Щербина, доц., канд. техн. наук, **М.М. Підгаєцький**, доц., канд. техн. наук,

В.А. Мажара, доц., канд. техн. наук, **А.І. Гречка**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: kir2912s@ukr.net

Т.В. Дяченко, викл.

Кропивницький інженерний коледж Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький, Україна

Експериментальне дослідження деформації пружно-гвинтового хона

В статі описується процес регулювання радіального розміру пружно-гвинтового хона, який відбувається на підставі пружних деформацій замкненого гвинтового тіла. Розглядаються математичні моделі процесу деформації пружно-гвинтового хону в осьовому напрямку при статичних навантаженнях в умовах додаткового опору пружним деформаціям. В результаті експериментального дослідження пружно-гвинтового хона визначена теоретична та експериментальна залежність величини приросту діаметра та сили деформації від осьової пружної деформації. Також представлені математичні моделі отримані в результаті проведеного експериментального дослідження залежності приросту діаметра від величини прикладеної сили та осьового пружного переміщення.

пружно-гвинтовий хон, пружно-деформована оболонка, твердо тільна модель, деформація геометричної вісі, пружні деформації

Постановка проблеми. Зростання сучасних вимог до процесів механічної обробки прецизійних отворів призводить до необхідності підвищення гнучкості прийнятих технологічних рішень. Одним із розповсюджених методів механічної обробки отворів є хонінгування. Особливістю хонінгування отворів є процес регулювання радіального розміру безпосередньо під час обробки. Отже, гнучкість процесу хонінгування отворів полягає у можливості реагувати на похибки (зміни) розмірів, геометричних відхилень від форми, шорсткості та хвилястості як після попередньої обробки, так і в процесі обробки. Існуючі хонінгувальні головки у значній мірі забезпечують технологічні вимоги до гнучкості процесу. Однак, вони потребують конструктивного вдосконалення, оскільки не в повній мірі виправляють геометричні відхилення оброблюваної поверхні, також при цьому відсутнє перекриття під час обробки отворів з переривчастими поверхнями. Тому вирішення обумовлених проблем за рахунок покращення функціональних показників хона є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На підставі аналізу існуючих хонінгувальних головок для обробки отворів [1,2,3] виявлено ряд недоліків. Зокрема обробка шліцевих та переривчастих отворів малих діаметрів призводить до ускладнення конструкції хонінгувальної головки та обмежень по величині діаметру оброблюваного отвору [4]. Також класичні конструкції хонінгувальної головки обмежують чітке реагування на зміни сили різання, що безпосередньо пов'язано з геометричними відхиленнями оброблюваного отвору, а саме з макро та мікронерівностями [5].

Постановка завдання. На підставі проведеного аналізу було запропоновано пружно-гвинтовий хон [5], який дозволяє усунути наведені вище недоліки існуючого алмазно-абразивного інструменту за рахунок використання пружних деформацій для збільшення величини радіального розміру та розміщення алмазно-абразивних брусків під кутом 45° . Але в запропонованій конструкції пружно-гвинтового хону існує ряд не вирішених питань, а саме форма деформації геометричної вісі [6], що потребує її експериментального дослідження

Виклад основного матеріалу. Дослідження будемо проводити для пружно-деформуємої оболонки (ПДО), яка виступає корпусом пружно-гвинтового хону [6].

Для проведення дослідження необхідно прийняти ряд припущень та умовностей, в тому числі:

- дію додаткового опору пружним переміщенням, що імітується веденням уявного стержня, який поєднує кінцівки полого гвинтового тіла;
- стержень розміщується в зоні, яка створює додатковий опір пружним деформаціям повздовж геометричної вісі полого гвинтового тіла;
- жорсткість уявного стержня приймається більшою за жорсткість гвинтового полого тіла за межами стержня;- однобічне розміщення уявного стержня розглядається у випадку розміщення його по один бік від геометричної вісі тіла. При цьому обумовлений стержень розглядається, як двохопорний, з навантаженням та моментами вигину, котрі діють в його опорах (кінцівках) ;
- симетричне розміщення уявного стержня розглядається у випадках його розміщення по обидва боки від геометричної вісі тіла. При цьому обумовлений стержень розглядається як двохопорний, з навантаженням та моментами вигину, котрі діють в його опорах (кінцівках) ;

Навантаження буде створюватися дією осьової сили PZ , яка діє на обидва кінці гвинтового тіла. Моменти вигину, які виникають на замикаючих кінцівках ПДО викличуть пружну деформацію геометричної вісі.

Деформація вигину геометричної вісі представляє собою синусоїду з двома напівхвилями із зміною фази посередині довжини, що буде характеризуватися рівнянням:

$$x = \frac{2PZa}{\sigma EJ} \left(2 \frac{z^3}{l} - 3z^2 + lz \right), \quad (1)$$

де PZ – осьова сила ;

E – модуль пружності ПДО;

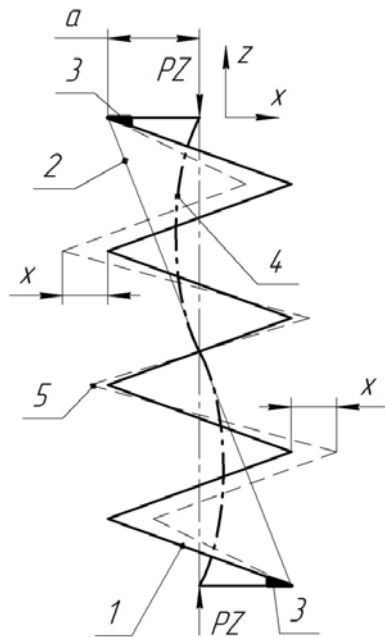
σ – межа міцності ПДО;

J – момент інерції попереднього переміщення.

Як видно із схеми (рис.1), синусоїдальний принцип деформації геометричної вісі сприяє еквідистантній деформації гвинтового тіла. При цьому деформація має двобічний симетричний характер, при якій також можуть виникати нерівномірні навантаження бокових поверхонь гвинтового тіла.

Дослідження деформації ПДО при однобічному розміщенні кінцівок виявило, що дія моментів вигину викличе пружну деформацію геометричної вісі у вигляді однієї напівхвилі синусоїди, що призведе до еквідистантної деформації ПДО. Отриманий вид деформації не прийнятний при експлуатації ПДО.

Дослідження деформації ПДО при опозитно віссесиметричному розміщенні кінцівок виявило, що дія моментів вигину викличе пружну деформацію геометричної вісі у вигляді двох напівхвиль синусоїди із зміною фази посередині довжини, що призведе до еквідистантної деформації ПДО. Такий вид деформації також не прийнятний при експлуатації ПДО.



1 – гвинтове тіло; 2 – уявний стержень; 3- замикаючі кінцівки гвинтового тіла; 4 - пружна деформація геометричної вісі ПДО; 5 – пружна деформація гвинтового тіла ПДО; a – плече геометричної вісі ПДО; PZ – осьова сила;

Рисунок 1 – Схема навантаження ПДО при віссесиметричному розміщенні уявного стержня

Джерело:[1]

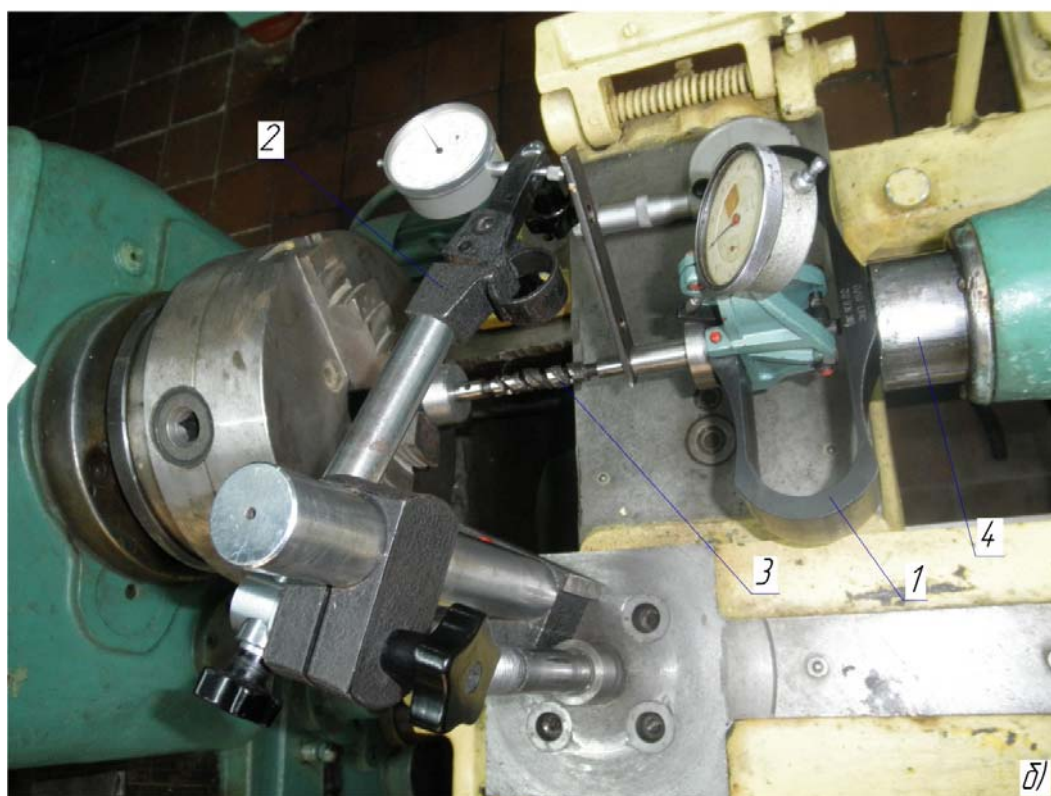
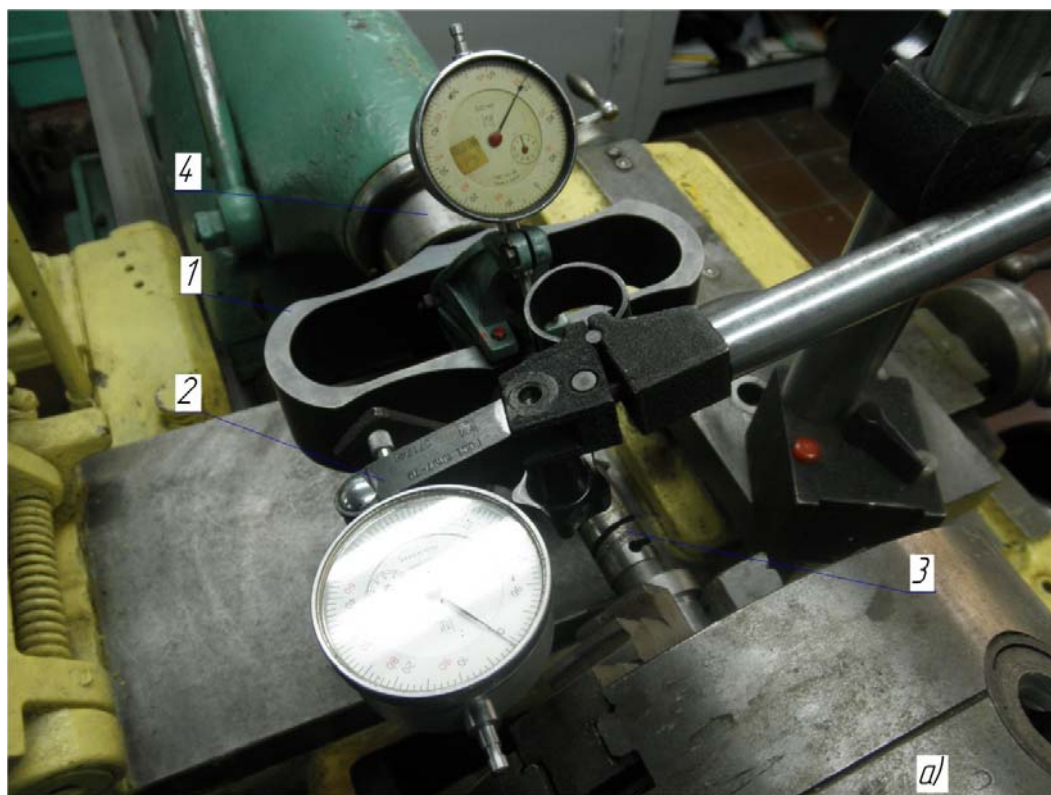
Для підтвердження або спростування отриманих теоретичних припущень по визначенню деформації ПДО проведемо експериментальне дослідження.

Експериментальне дослідження будемо проводити на дослідній установці для визначення необхідної сили деформації та приросту діаметра ПДО, що виконана за рахунок модернізації токарного верстату 1A616 і складається з динамометра 1, індикаторної магнітної стійки 2 та ПДО 3. (рис.2).

ПДО 1 встановлюється в трикулачковий патрон токарного верстата, в якому був виконаний спеціальний упор, що обмежує осьове переміщення. У свою чергу динамометр 1 встановлювався між ПДО 3 та піноллю задньої бабки 4. Для визначення осьової деформації ПДО 1 використовувалася спеціальна пластина з якою контактує ніж індикатора магнітної стійки 2.

Дослідна установка працює таким чином: зусилля та осьове переміщення відбувається за рахунок пінолли задньої бабки. Величина отриманої осьової деформації визначається за рахунок індикатора, який встановлюється на магнітній стійці, а величина прикладеного зусилля встановлювалась за рахунок динамометра 1, який був попередньо відкалібрований. Вимір отриманого радіального розміру здійснювався мікрометром.

Значення параметрів, що контролюються в процесі діагностування наведено в таблиці 1. За результатами діагностування отримані такі залежності необхідної сили деформації для ПДО 284156.001 та ПДО 284156.002 (рис. 3), а для ПДО 284156.003 та ПДО 284156.004 (рис. 3). Величина приросту діаметра ПДО 284156.001 (рис. 3) та ПДО 284156.003 від осьової деформації (рис. 3). Отримано значне неспівпадіння теоретичних та експериментальних залежностей. Це обумовлено тим, що гвинтовий паз виконаний замкненими кінцівками. Тобто, при пружних деформаціях виникає супротив, тому пропонується використовувати імперичні формули для розрахунку приросту діаметра та знаходження необхідної величини деформації.



1 – динамометр; 2 – індикаторна магнітна стійка; 3 – ПДО; 4 – піноль задньої бабки.

Рисунок 2 – Дослідна установка для визначення необхідної сили деформації та приросту діаметра ПДО

а) для ПДО 284156.003 та ПДО 284156.004; б) для ПДО 284156.001 та ПДО 284156.002

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 1 – Параметри, що контролюються в процесі діагностування

№	Показник індикатора переміщення, мм	Показник індикатора динамометра	Сила PZ, Н	Діаметр, мм
1	2	3	4	5
ПДО 284156.001				
1	0	0	0	8,74
2	0,25	20	597,5	8,76
3	0,5	40	1185,9	8,80
4	0,75	61	1803,8	8,82
5	1,0	80	2362,88	8,84
ПДО 284156.002				
1	0,25	16	479,8	-
2	0,5	30	891,7	-
3	0,75	43	1274,23	-
4	1,0	59	1745	-
ПДО 284156.003				
1	0	0	0	21,17
2	0,25	20	597,5	21,18
3	0,5	38	1127,1	21,20
4	0,75	55	1627,3	21,22
5	1,0	70	2059,6	21,24
ПДО 284156.004				
1	0,25	10	303,26	-
2	0,5	25	744,616	-
3	0,75	49	1450,7	-
4	1,0	72	2127,5	-

Джерело: розроблено авторами

Отже, значення необхідної сили деформації ПДО 284156.001 буде визначатися за таким рівнянням:

$$PZ = 3.62 + 2375.76 * \Delta z; \quad (2)$$

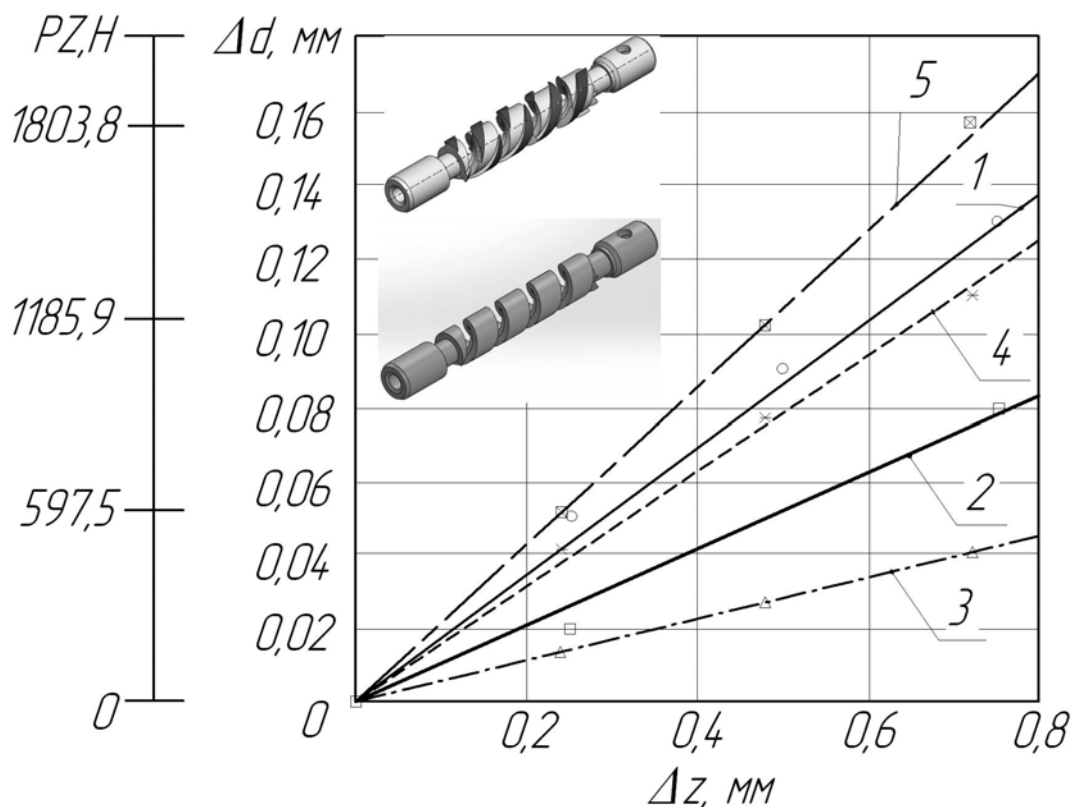
де Δz – осьової деформації;

Приріст величини діаметру ПДО 284156.001 буде визначатися за таким рівнянням:

$$d_1 = 6.93 + 0.104 * \Delta z; \quad (3)$$

Необхідна сила деформації ПДО 284156.002 буде визначатися за таким рівнянням:

$$PZ = 21.24 + 1713.8520 * \Delta z; \quad (4)$$



1 – експериментальна залежність сили деформації ПДО 284156.002; 2 – експериментальна залежність приросту діаметра ПДО 284156.001; 3 – теоретична залежність приросту діаметру ПДО 284156.001; 4 - теоретична залежність сили деформації ПДО 284156.001; 5 - експериментальна залежність сили деформації ПДО 284156.001.

Рисунок 3– Залежність необхідної сили деформації та приросту діаметра ПДО для пружно-гвинтового хона $d=12,7$ мм

Джерело: розроблено авторами

Необхідна сила деформації ПДО 284156.003 буде визначатися за таким рівнянням:

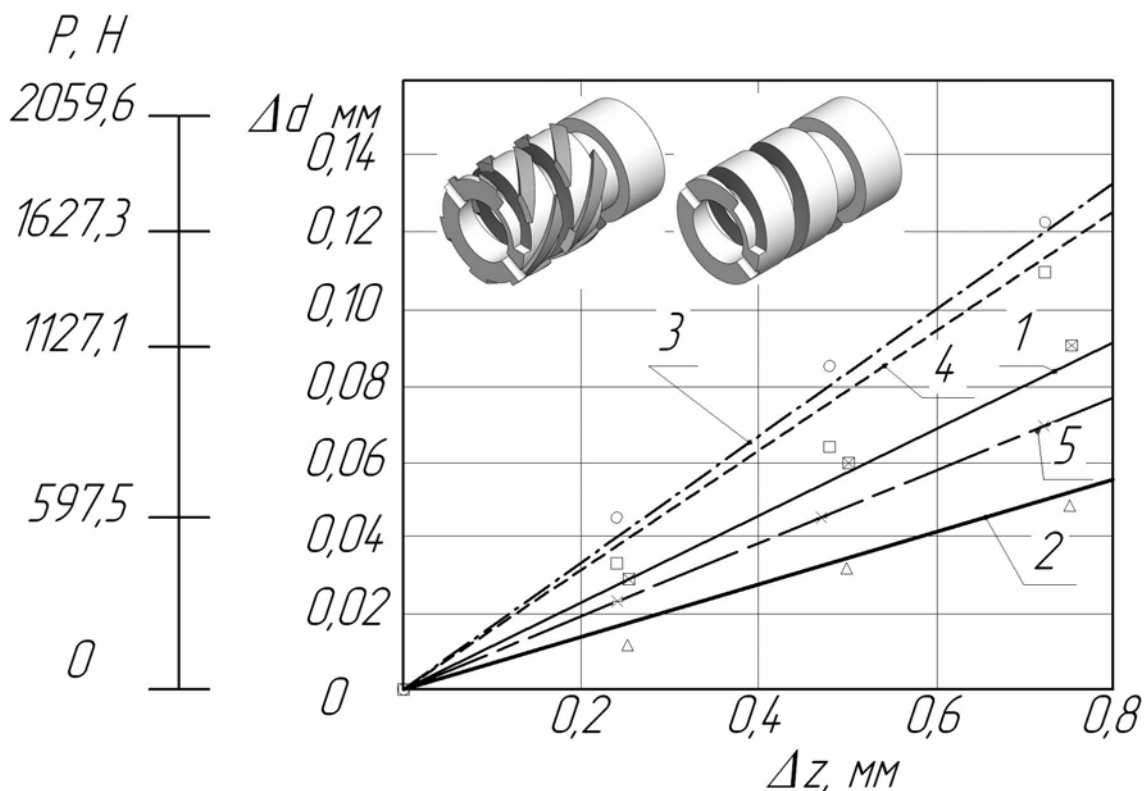
$$PZ = 52.5 + 2059.6 * \Delta z; \quad (5)$$

Приріст величини діаметра ПДО 284156.003 буде визначатися за таким рівнянням:

$$d_1 = 0.072 * \Delta z - 0.004; \quad (6)$$

Необхідна сила деформації ПДО 284156.004 буде визначатися за таким рівнянням:

$$PZ = 2160.97 * \Delta z - 155.274; \quad (7)$$



- 1 – теоретична залежність сили деформації ПДО 284156.003; 2 – теоретична залежність приросту діаметра ПДО 284156.003; 3 - експериментальна залежність сили деформації ПДО 284156.004;
4 - експериментальна залежність сили деформації ПДО 284156.003;
5 - експериментальна залежність приросту діаметра ПДО 284156.003;

Рисунок 4 – Залежність необхідної сили деформації та приросту діаметру ПДО для пружно-гвинтового хону $d=25,0$ мм

Джерело: розроблено авторами

Висновки. В результаті експериментального дослідження ПГХ визначена теоретична та експериментальна залежність величини приросту діаметра та сили деформації від осьової пружної деформації. Також представлені математичні моделі отримані в результаті експериментального дослідження залежності приросту діаметра від величини прикладеної сили та осьового пружного переміщення.

Список літератури

1. Підгаєцький М.М., Щербина К.К., Мажара В.А., Дяченко Т.В. Динамічний аналіз традиційної кінцевої ланки хонінгувальної головки *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2019. Вип.49. С.194-200.
2. Підгаєцький М. М., Щербина К. К. Динамічний аналіз традиційних систем регулювання радіального розміру в процесі хонінгування отворів. *Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки*. 2014. №3 (213). С.134-138.
3. Куликов С.И., Ризванов Ф.Ф., Романчук В.А., Ковалевский С.В. Прогресивные методы хонингования. М.: Машиностроение, 1983. 334 с.
4. Фрагин И. Е. Новое хонингование. М.: Машиностроение, 1980. 95 с.
5. Подгаецкий М.М., Щербина К.К. Особенности обработки прецизионных отверстий упруго-винтовым хонем. *Вестник Пермского Национального Исследовательского Политехнического Университета «Машиностроение, материаловедение»*. 2013. Т.15, №2. С. 30-39.
6. Підгаєцький М.М., Щербина К.К. Дослідження повздовжньої сталості пружно-гвинтового хону. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології машинобудування*. 2018. №6 (1282). С.8-12.

References

1. Pidhaietskyi, M.M., Shcherbyna, K.K., Mazhara, V.A. & Diachenko, T.V. (2019). Dynamichniy analiz tradytsiinoi kintsevoi lanky khoninhuvalnoi holovky [Dynamic Analysis of the Traditional Tail End of the Honing Head]. *Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue.49*, 194-200. [in Ukrainian].
2. Pidhaietskyi, M.M. & Shcherbyna, K.K. (2015). Dynamichniy analiz tradytsiinykh system rehulivannia radialnoho rozmiru v protsesi khoninhuvannia otvoriv [The dynamic analysis of traditional schemes of systems of regulation of the radial size in the course of a honing of openings]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu : Tekhnichni nauky – Bulletin of the Khmelnytskyi National University: Technical Sciences*, 3 (213), 134-138. [in Ukrainian].
3. Kulikov, S.I., Rizvanov, F.F., Romanchuk, V.A., & Kovalevsky, S.V. (1983) *Progresivnyye metody khoningovaniya [Progressive honing methods]*. Moskow : Mashinostroenie [in Russian].
4. Fragin, I.E. (1980). *Novoye khoningovaniye [New honing]*. Moskow: Mashinostroenie [in Russian].
5. Podgayetskiy, M.M. & Shcherbina, K.K. (2013). Osobennosti obrabotki pretsizionnykh otverstiy uprugovintovym khonom [Peculiarities of processing precision holes with an elastic-helical hone] . *Vestnik Permskogo Natsionalnogo Issledovatel'skogo Politekhnicheskogo Universiteta «Mashinostroyeniye. materialovedeniye» – Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University "Mechanical engineering, materials science"*, Vol. 15, 2, 30-39. [in Russian].
6. Pidhaietskyi, M.M. & Shcherbina, K.K. (2018). Doslidzhennia povzdovzhnoi stalosti pruzhno-hvyntovoho khonu [Study of longitudinal stability of helical hone] . *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Tekhnologii mashynobuduvannia – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Technologies of mechanical engineering*, 6 (1282), 8-12 [in Ukrainian].

Kyryl Shcherbyna, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mykhailo Pidhaietskyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vitalii Mazhara**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andrii Hrechka** Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Tetiyna Dyachenko

Kropyvnytskyi engineering College of Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Experimental Study of Deformation of Helix Honing Tool

One of the important issues in the development of agricultural engineering is to increase the efficiency of finishing processes of machining the surfaces of controlling parts of the hydraulic machines equipment and the fuel system of internal combustion engines. High accuracy and quality of parts influence the performance of functional indicators and the consistency of their performance. One of the processes of finishing machining is honing of precision holes.

The factor that impacts the accuracy and quality of the machined hole is the ability to influence the process of formation of macrogeometry and microgeometry due to the flexibility of the process. The quality of the micro-relief is influenced by the kinematics of the formation of a grid of traces. The formation of macrogeometry, in turn, is influenced by the principle of formation of geometric production lines, taking into account copying of existing deviations and the transfer of wear of diamond-abrasive bars. To level the impact of existing deviations of the machined hole it is necessary to carry out a flexible control of the process of adjusting the radial size. To ensure the flexibility of the process of honing holes, a helix honing tool is proposed, which eliminates the shortcomings of the existing diamond-abrasive tool by using elastic deformations to increase the radial size and placement of diamond-abrasive bars at an angle of 45°. To study the process of adjusting the radial size of the helix honing tool, the calculated scheme of elastic deformation of the geometric axis and a mathematical model describing the deformation process are presented. An experimental setup of the deformation of the helix honing tool in the axial direction is also given.

As a result of the experimental study of the helix honing tool, the theoretical and experimental dependence of the magnitude of the increase in diameter and the force of deformation on the axial elastic deformation is determined. There are also mathematical models obtained as a result of the experimental study of the dependence of the diameter increase on the magnitude of the applied force and axial elastic displacement.

helical hone, elastic deformed cover, solid model, deformation of geometric axis, elastic deformations

Одержано (Received) 17.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 24.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022