

ЩЕРБИНА КИРИЛ

Центральноукраїнський національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0002-1665-7686>
e-mail: kir2912s@ukr.net

МАЖАРА ВІТАЛІЙ

Центральноукраїнський національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0001-7451-3798>
e-mail: majara@ukr.net

ТОРЧІЛОВ ДАНИЛО

Центральноукраїнський національний технічний університет
<https://orcid.org/0009-0007-6224-1618>
e-mail: dtorch99@gmail.com

ЗАЙКА СЕРГІЙ

Центральноукраїнський національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0001-7444-9706>
e-mail: borodavichus@gmail.com

МАСЛЯНИКОВ ВІТАЛІЙ

Центральноукраїнський національний технічний університет
<https://orcid.org/0009-0001-1052-2481>
e-mail: maslenikovvitaliu@gmail.com

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ КУЛЬКОВО-КЛИНОВОГО ХОНУ В ЗОНІ МАЛИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Покращення функціональних показників машин, механізмів та обладнання, яке набуло значного розповсюдження в сучасному машинобудуванні можливе за рахунок удосконалення операцій фінішної обробки. Одним з головних показників, котрий забезпечить підвищення функціонування гідравлічних машин та паливної системи двигунів внутрішнього згорання є якість виготовлення деталей їх керуючої апаратури. Показниками якості в даному випадку виступають шорсткість поверхні та наявність макронерівностей. Забезпечення обумовлених показників якості в процесі обробки отворів на фінішних етапах залежить від хонінгування отворів. Впливати на отримання обумовлених показників якості можливо за рахунок гнучкості процесу хонінгування отворів.

Гнучкість процесу хонінгування отворів полягає у можливості варіювання показників обробки в залежності від наявних геометричних відхилень. Одним із головних недоліків існуючого процесу хонінгування отворів є конструкція традиційних хонінгувальних головок, які базуються на основі розтискного клину, за рахунок котрого здійснюється регулювання радіального розміру та створення питомого тиску на поверхню, що оброблюється. Також необхідно враховувати той фактор, що процес регулювання радіального розміру відбувається в зоні малих переміщень, що передбачає функціонування обумовленого розтискного клину традиційної хонінгувальної головки в межах переходу від статичного до кінетичного тертя. В статті запропонована конструкція хонінгувальної головки, котра передбачає перехід від тертя ковзання до тертя кочення із забезпеченням умов самогальмування розтискного клину для утворення питомого тиску на поверхню, що оброблюється.

В результаті проведених досліджень наведено порівняння функціонування традиційної хонінгувальної головки та кульково-клинового хону в умовах динаміки. Отримані перехідні та логарифмічно-частотні характеристики свідчать про зменшення впливу дії сил тертя на процес регулювання радіального розміру в процесі обробки. Обумовлені зміни стали можливі за рахунок переходу від тертя ковзання до тертя кочення

Ключові слова: хонінгувальна головка, клинова кінематична пара, система регулювання радіального розміру, кульково-клиновий хон, перехідна характеристика, зона малих переміщень.

SHCHERBYNA KYRYL, MAZHARA VITALII, TORCHILOV DANYLO, ZAIKA SERHII, MASLIANIKOV VITALII
Central Ukrainian National Technical University

DYNAMIC ANALYSIS OF A BALL-WEDGE DRIVE IN THE ZONE OF SMALL DISPLACEMENTS

Improvement of the functional indicators of machines, mechanisms and equipment, which has become widespread in modern mechanical engineering, is possible due to the improvement of finishing operations. One of the main indicators that will ensure the improvement of the functioning of hydraulic machines and the fuel system of internal combustion engines is the quality of manufacturing parts of their control equipment. Quality indicators in this case are surface roughness and the presence of macro irregularities. Ensuring the stipulated quality indicators in the process of hole processing at the finishing stages depends on hole honing. It is possible to influence the obtaining of stipulated quality indicators due to the flexibility of the hole honing process.

The flexibility of the hole honing process lies in the possibility of varying the processing parameters depending on the existing geometric deviations. One of the main disadvantages of the existing hole honing process is the design of traditional honing heads, which are based on a press wedge, due to which the radial size is adjusted and the specific pressure is created on the surface being processed. It is also necessary to take into account the fact that the process of adjusting the radial size takes place in the zone of small movements, which involves the operation of the conditioned wedge of the traditional honing head within the transition from static to kinetic friction. The article proposes the design of the honing head, which provides for the transition from sliding friction to rolling friction with the provision of conditions for self-braking of the pressing wedge for the formation of specific pressure on the surface being processed.

As a result of the conducted research, a comparison of the functioning of the traditional honing head and ball-wedge honing in dynamic conditions is given. The resulting transient and logarithmic-frequency characteristics indicate a reduction in the effect of friction forces on the process of adjusting the radial size during processing. Conditioned changes became possible due to the transition from sliding friction to rolling friction

Keywords: honing head, wedge kinematic pair, radial size control system, ball-wedge honing, transition characteristic, zone of small movements.

Постановка проблеми

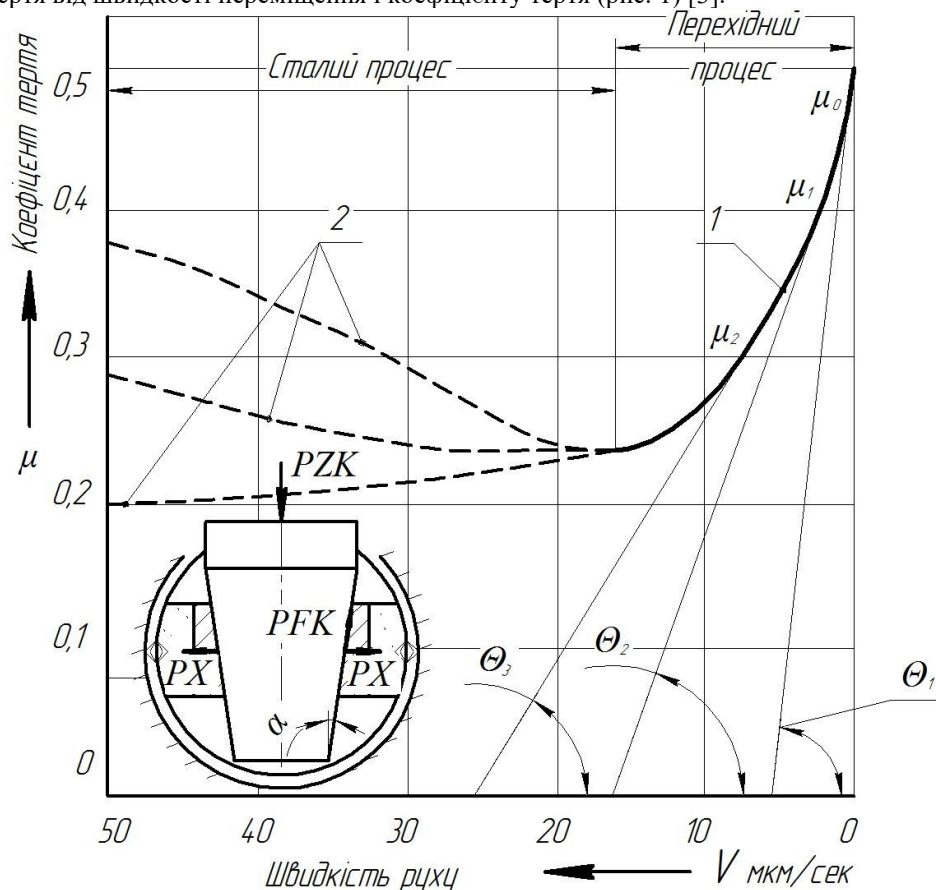
Постійно зростаючі вимоги до функціональних показників деталей керуючої апаратури гідравлічних машин, паливної системи двигунів та безпосередньо до двигунів внутрішнього згорання передбачає підвищення вимог стосовно якості та точності виготовлення [1, 2]. Особлива увага приділяється операціям фінішної обробки, серед яких операція хонінгування отворів. Забезпечення сучасних вимог стосовно якості та точності можливе за рахунок гнучкості процесу хонінгування отворів. Безпосередньо сама гнучкість передбачає можливість впливу на основні показники під час процесу обробки. Відповідно, розширення показників гнучкості процесу хонінгування отворів є актуальним науковим завданням.

Аналіз досліджень та публікацій

На підставі ряду робіт можливо припустити, що вузли хонінгувальної головки, котрі виконують регулювання радіального розміру здійснюють точні малі переміщення з низькими швидкостями взаємодіючих контактуючих поверхонь [3, 4]. Наявність точних малих переміщень передбачає дію сил статичного та кінетичного тертя, що може призвести до виникнення розбіжностей в процесі функціонування елементів хонінгувальної головки та виникнення скачко-подібного руху з періодичними стрибками та зупинками.

В свою чергу, аналіз конструкцій хонінгувальних головок [5, 6] показав, що у більшості з них механізм, котрий відповідає за регулювання радіального розміру є клиновою парою, що в залежності від конструктивних особливостей може одночасно взаємодіяти з одним або декількома алмазно-абразивними брусками [7, 8].

Для дослідження взаємодії клинової кінематичної пари необхідно розглянути графік залежності зміни сили тертя від швидкості переміщення і коефіцієнту тертя (рис. 1) [3].



μ_0, μ_1, μ_2 – коефіцієнт тертя відносно зміни швидкості; $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ – кут нахилу дотичної до вісі; PZK – осьова сила прикладена до клина; PFK – сила тертя клинової кінематичної пари; PX – радіальна сила; α – кут підйому клина; 1 – крива зміни коефіцієнтів тертя в залежності від швидкості переміщення; 2 – крива роботи в умовах сталого режиму

Рис. 1. Графік залежності $\mu=f(t)$ та схема дії сил в клиновій ланці

Приведений графік залежності передбачає дослідження взаємодії клинової кінематичної пари з алмазно-абразивним брусом в умовах перехідного процесу, тобто дослідження їх динамічних властивостей. В свою чергу, клинова кінематична пара та алмазно-абразивний брусок будуть утворювати кінцеву ланку

хонінгувальної головки та будуть характеризуватися наступним рівнянням передавальної функції в динаміці [3, 4].

$$W = \frac{s_k}{PZK} = \frac{1}{tg\alpha(m_k v^2 + \mu_k p)}. \quad (1)$$

- де PZK – осьова сила прикладена до клина;
- m_k – маса рухомих частин клинкової кінематичної пари;
- s_k – радіальне переміщення брусків;
- α – кут підйому клина;
- p – контактний тиск в зоні різання;
- μ_k – коефіцієнт тертя клинкової кінематичної пари.

Проведені дослідження [3, 4] вказують на те, що обумовлена кінцева ланка хонінгувальної головки буде характеризуватися аперіодичним законом в умовах перехідного процесу, що свідчить про наявність інерційності в процесі регулювання радіального розміру.

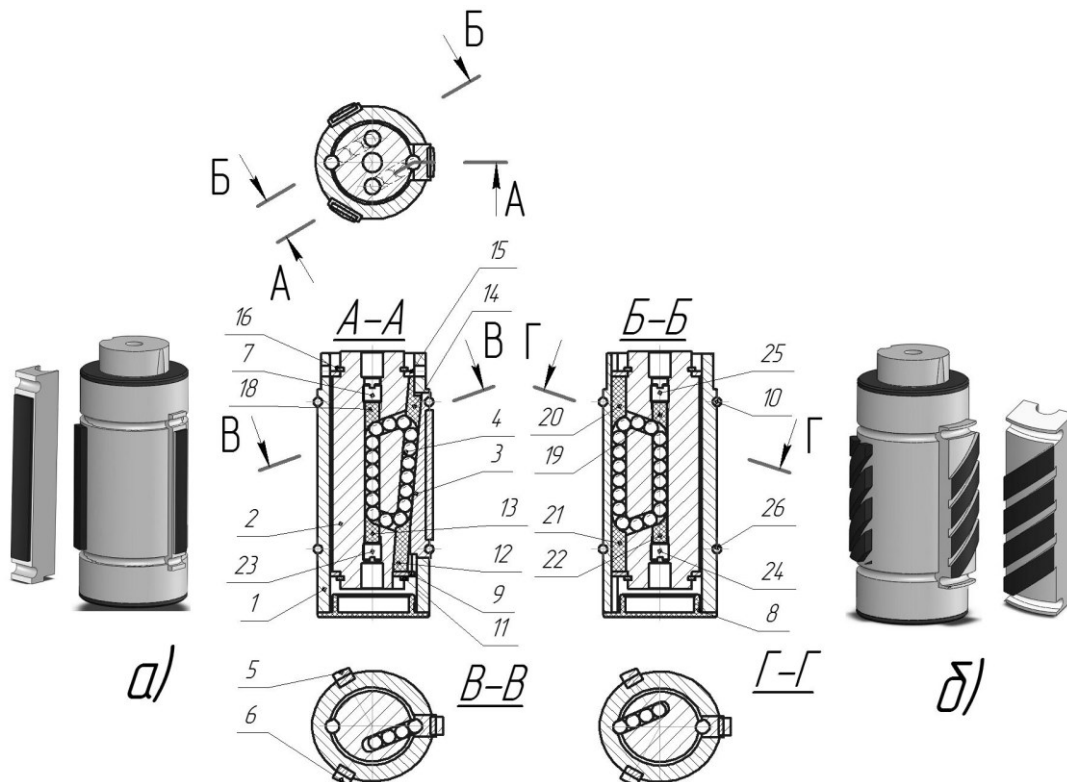
Формулювання цілей статті

Метою роботи є покращення функціональних показників хонінгувальної головки за рахунок зменшення впливу інерційності, котра викликана переходом дії сили від статичного до кінетичного тертя.

Виклад основного матеріалу

Для усунення обумовленого недоліку, виявленого в кінцевій ланці хонінгувальної головки запропоновано перехід від тертя ковзання до тертя кочення. Даний перехід можливо здійснити при допомозі кульково-клинового хону [9–11].

Кулько-клиновий хон (рис. 1) конструктивно складається із таких елементів: корпусу 1 з розміщеними на ньому рівномірно по колу алмазно-абразивними брусками у кількості трьох штук. Два алмазно-абразивних бруска 5,6 закріплені нерухомо у глухих пазах прямокутної форми, які виконані на зовнішній циліндричній поверхні. Третій алмазно-абразивний брусок 3 виконаний рухомим і взаємодіє з розтискним клином 2 співвісним з віссю корпусу 1 [9–11]. Модуль осьового стискування визначається за виразом:



1 – корпус; 2 – розтискний клин; 3 – рухомий алмазно-абразивний брусок; 4, 19 – потік кульок; 5, 6 – нерухомий алмазно-абразивний брусок; 7, 23, 24, 25 – фіксуючий гвинт; 8 – кришка нижня; 9, 15 – кільце ущільнюоче; 10, 26 – пружина кільцева; 11, 16 – кільце стопорне; 12, 13, 21, 22 – опора нижня; 14, 18, 19, 20 – опора верхня;

Рис. 2. Кульково-клиновий хон: а) з прямим розміщенням брусків; б) з гвинтовим розміщенням брусків

При цьому розтискний клин 2 виконаний з похилою по відношенню до вісі поверхнею, яка взаємодіє з відповідною поверхнею рухомого алмазно-абразивного бруска 3 і опорною поверхнею паралельною до вісі через потік кульок, які утворюють кульково-клинову передачу.

Для забезпечення постійного контакту та попереднього навантаження між рухомим алмазно-абразивним бруском та розтискним клином застосовуються кільцеві пружини 10, 26, які розміщуються в кільцевих канавках, що виконані на зовнішній циліндричній поверхні корпусу.

Кришку 8 використовують для запобігання потрапляння бруду між рухомими елементами хону.

Кульково-клиновий хон працює наступним чином: розтискний клин переміщується в осьовому напрямку, що призводить до переміщення потоку кульок, тим самим змушуючи переміщуватися рухомий алмазно-абразивний брусок перпендикулярно до вісі. Сукупність обумовлених дій призводить до збільшення величини радіального розміру.

Для визначення перехідної характеристики кульково-клинового хону необхідно визначити для почату рівняння рівноваги в статичі:

$$P_{XK} = \frac{P_{ZK}}{\operatorname{tg}\alpha(\alpha + \phi_{np}) + \operatorname{arctg}\frac{d}{D}\operatorname{tg}\alpha} \quad (2)$$

де ϕ_{np} – кут тертя між потоком кульок та клинвою парою;

На підставі отриманого рівняння рівноваги (2) перетворимо його згідно методики [3, 11] в рівняння передавальної функції в динаміці:

$$W = \frac{s_k}{P_{ZK}} = \frac{-1}{\operatorname{tg}\alpha\left(m_k p^2 + \frac{\operatorname{tg}\phi_{np}}{\operatorname{arctg}\frac{d}{D}}\operatorname{tg}\alpha\right)} \quad (3)$$

де D – діаметр кульок;

Враховуючи, той факт, що значення вихідної величини не може бути від’ємним, помножимо праву частину рівняння 3 на мінус одиницю.

За рівням передавальної функції клинвої кінематичної пари побудуємо перехідну характеристику (рис. 3) та логарифмічні характеристики (рис. 4) клинвої кінематичної пари.

Перехідна функція кульково-клинної кінематичної пари досягає свого сталого значення не відразу, а по аперіодичному закону. Тим самим, ланка відображає інерційність процесу, що досліджується і тому її інколи називають інерційною. Перехідна характеристика клинної кінематичної пари (рис. 3) вказує на нелінійність вихідної дії, а саме зміну величини контактного тиску алмазно-абразивних брусків $s_k = f(t)$, що обумовлено наявністю інерційності та не співпадіння з вхідною дією $P_{ZK} = f(t)$. Утворене розузгодження вхідної P_{ZK} та вихідної дії s_k призводить до утворення скачко-подібного руху, що погіршує точність регулювання її радіального розміру. Причиною обумовленого явища є наявність статичного та кінетичного тертя з нелінійною характеристикою в зоні малих переміщень.

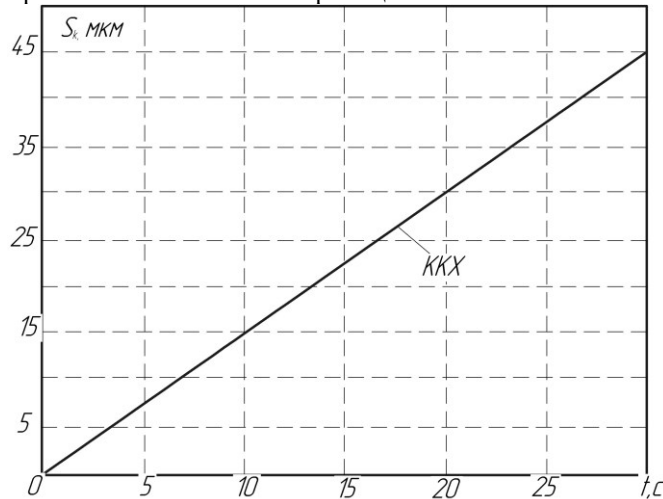
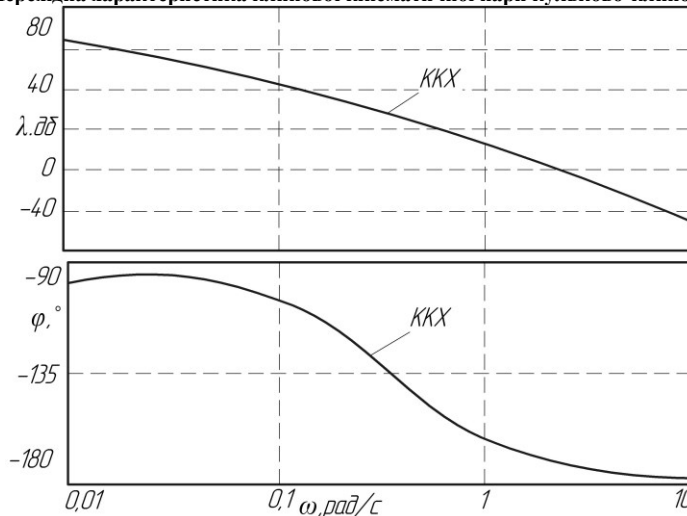


Рис. 3. Перехідна характеристика клинної кінематичної пари кульково-клинового хону



1 – амплітудно-частотна характеристика; 2 – фазова – частотна характеристика
Рис. 4. Логарифмічно частотні характеристики клинної кінематичної пари кульково-клинового хону в умовах перехідного режиму

Логарифмічно амплітудно-частотна характеристика є ломаною, яка утворена двома асимптотами, котрі спряжені на частоті злomu $\omega_n=1/T$. Отримані логарифмічні частотні характеристики (рис.4) свідчать про сталість процесу функціонування та достатньо високий запас амплітуди та фази. Також, логарифмічно частотні характеристики свідчать про наявність інерційності в клиновій кінематичній парі.

Висновки

В результаті аналізу визначено, що передавальна функція клинкової кінематичної пари кульково-клинного хону в динаміці відповідає характеристичному рівнянню аперіодичної ланки другого порядку.

Побудована перехідна характеристика кульково-клинкової кінематичної пари за якою було визначено, що вхідний і вихідний сигнал має не значне розузгодження, що призводить до неточного переміщення в зворотному напрямку у порівнянні з повною відсутністю його у клиновій парі.

Література

1. Lawrence K.D., Ramamoorthy B. Multi-surface topography targeted plateau honing for the processing of cylinder liner surfaces of automotive engines. *Appl. Surf. Sci.* 2016, 365, 19-30.
2. Demirci I., Mezghani S., Yousfi M., El Mansori M. Impact of superficial surface texture anisotropy in helical slide and plateau honing on ring-pack performance. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol.* 2015, 230, 1030-1037.
3. Pidgaetskyi M.M., Shcherbyna K.K., Mazhara V.A., Dyachenko T.V. Dynamic analysis of the traditional final link of the honing head. All-state interdepartmental scientific and technical collection. Design, production and operation of agricultural machines. Kirovohrad: KNTU, 2019. Issue 49. P. 194-200.
4. Pidgaetskyi M.M., Shcherbyna K.K. Dynamic analysis of traditional radial size control systems in the process of honing holes. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University: Technical Sciences.* Khmelnytskyi: KhNU. 2014. No. 3 (213). P. 134-138
5. Deshpande A.K., Bhole H.A., Choudhari L.A. Analysis of Super-Finishing Honing Operation with Old and New Plateau Honing Machine Concept. *Int. J. Eng. Res. Gen. Sci.* 2015, 3, 812-818.
6. Paswan S.K., Bedi T.S., Singh A.K. Modeling and simulation of surface roughness in magnetorheological fluid based honing process. *Wear* 2017, 376-377, 1207-1221.
7. Arantes L.J., Fernandes K.A., Schramm C.R., Silveira Leal J.E., Piratelli-Filho A., Franco S.D., Arencibia R.V. The roughness characterization in cylinders obtained by conventional and flexible honing processes. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017, 93, 635-649.
8. <https://www.gehring-group.com/en-ww/tnts-series> дата звернення 05.02.2024
9. Pidgaetskyi M.M., Shcherbina K.K. Utility model patent No. 105089 Ball-wedge hammer. No. u2015 06333; statement 06/26/2015; published 10.03.2016, *Bull. No. 5.* 2 p.
10. Shcherbyna K.K., Pidgaetskyi M.M., Grechka A.I., Torchilov D.R., Dyachenko T.V. Utility model patent No. 154198 Honing head with variable geometry. No. u 2023 02189; statement 05/09/2023; published 19.10.2023, *Bul. No. 42.* 4 p.
11. Shcherbina K.K., Sharikova A.O. Parametric synthesis of ball and wedge hone. International scientific and technical conference of young scientists and students "Actual tasks of modern technologies". Abstracts of reports. Ternopil: TNTU named after Ivan Pulyu, 2015.