

Диха О.В.,  
Вичавка А.А.,  
Дитинюк В.О.

Хмельницький національний університет,  
м. Хмельницький, Україна  
E-mail: tribosenator@gmail.com

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗНОСУ І ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ МАСТИЛЬНИХ КАНАВОК КРУГЛОГО ПРОФІЛЮ

УДК 621.891

Запропонована наближена розрахункова залежність зносу від шляху тертя для оцінки зносу напрямної ковзання з мастильними канавками круглого профілю на стадії проектування. Алгоритм розрахунку передбачає вибір оптимальних параметрів мастильного профілю за критерієм зносостійкості при заданих режимах експлуатації напрямної. Розглянутий спосіб формування мастильних канавок фасонного змінного профілю шляхом поверхнево-пластичного втискання в оброблювану поверхню пуансона.

**Ключові слова:** напрямна ковзання, маслоутримувальний профіль, розрахунок зносу, шлях тертя, поверхнево - пластична деформація

### Вступ

З метою подовження терміну служби деталей машин при терті і зношуванні на їх поверхнюносять різні маслоутримувальні мікро- і макрорельєфи. Чим краще утримується мастильний матеріал між контактуючими деталями, тим менше вони зношуються. Створені при обробці канавки на поверхні виконують функцію резервуарів для утримання і розподілу масла. За допомогою теоретичних досліджень, лабораторних і експлуатаційних випробувань визначається який тип, форма і глибина профілю канавок є найприйнятнішими.

Геометричні, конструктивні і технологічні особливості маслоутримуючих рельєфів розглядалися в роботах Ю.Г. Шнейдера [1], Л.Г. Одінцева [2] та інших авторів [3 - 7]. Отримані при цьому канавки виконують функцію змащувальних кишень, що сприяють утриманню і розподілу масла в зоні тертя і, у такий спосіб, підвищенню зносостійкості сполучення в цілому. Маслоутримувальні канавки, як правило, змінюють геометрію поверхні матеріалів і, відповідно, несучу площу контакту при взаємодії з іншими поверхнями. Форма і розміри канавок визначаються технологією їх отримання.

Серед параметрів регулярних профілів має значення напрямок ліній профілю щодо напрямку відносного ковзання, відносна площа поверхні (відношення площі, зайнятої канавками, до загальної площі), глибина і форма змащувальних канавок. Результати досліджень зносостійкості поверхонь з регулярним рельєфом [1 - 5] вказують, що кращі результати дають поперечні відносно напрямку переміщення канавки, оскільки в цьому випадку забезпечуються більш сприятливі умови для мащення, і в цілому поверхня має більшу несучу здатність в порівнянні з поздовжніми канавками. Що стосується відносної площі поверхні, то тут оптимальними вважаються випадки, коли площа змащувальних канавок складає 40 - 50 % від загальної площі поверхні. Для надійного утримування масла, забезпечення перетікання його з канавки в зону контакту поверхонь, видалення забруднень найкращі результати дають канавки круглої форми.

В даній роботі досліджується вплив геометрії маслоутримувальних канавок круглого профілю на контактні параметри в плоских напрямних ковзання, а також можливість їх врахування при зношуванні.

### Постановка задачі та основні рівняння

Розрахункова схема для канавок круглої форми наведена на рис. 1.

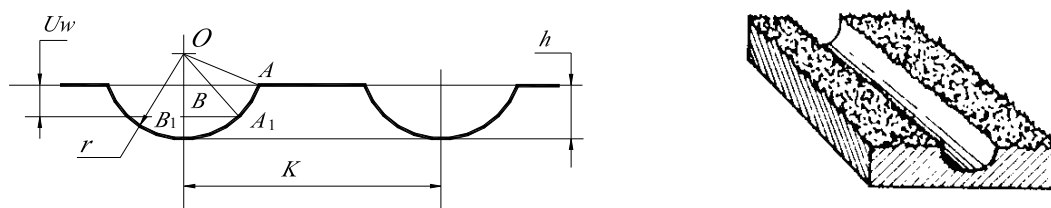


Рис. 1 – Розрахункова схема і вигляд канавок круглої форми

Для визначення несучої здатності профілю з круглими канавками на рівні зносу  $u_w$  визначимо довжину однієї канавки на цьому рівні  $2A_1B_1$ :

$$2A_1B_1 = 2\sqrt{R^2 - (r - h + u_w)^2} = 2\sqrt{(h - u_w)(2r - h + u_w)}. \quad (1)$$

Тоді після перетворень отримаємо:

$$2A_1B_1 = 2(2r - h + u_w)^{\frac{1}{2}}(h - u_w)^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Несуча довжина профілю визначиться як різниця між базовою довжиною  $l$  та загальною довжиною всіх канавок в межах базової довжини, що, в свою чергу, лорівнює довжині олії канавки  $2A_1B_1$ , помноженої на кількість канавок  $n = l/k$ .

Отже для круглого профілю маслоутримуючих канавок несуча довжина  $l_p$  на рівні  $u_w$  буде дорівнювати:

$$l_p = l \left[ 1 - \frac{2}{k} (2r - h + u_w)^{\frac{1}{2}} (h - u_w)^{\frac{1}{2}} \right]. \quad (3)$$

Величина контактної тиску визначиться як відношення зовнішнього навантаження  $Q$  до розмірів площі контакту  $A_h$ :

$$\sigma = \frac{Q}{A_h},$$

де  $A_h$  – площа зрізу профілю при перетині площиною на відстані  $u_w$ .

Площа контакту при зносі контактуючих тіл на величину  $u_w$  дорівнює:

$$A_h = l_p(u_w)b,$$

де  $b$  – ширина контакту поверхонь.

Отже залежність для визначення контактної тиску можна представити у вигляді:

$$\sigma = \left[ \frac{1}{1 - \frac{2}{k} (2r - h + u_w)^{\frac{1}{2}} (h - u_w)^{\frac{1}{2}}} \right] \sigma_0. \quad (4)$$

Прийmemo модель зношування напрямної ковзання у вигляді безрозмірних комплексів: контактної тиску і швидкості ковзання.

$$\frac{du_w}{ds} = c_w \left( \frac{f\sigma}{HB} \right) \left( \frac{Vb}{v} \right), \quad (5)$$

де  $u_w$  – нормальний лінійний знос напрямної;

$S$  – шлях тертя;

$f$  – коефіцієнт тертя в парі повзун-напрямна;

$\sigma$  – нормальний контактний тиск;

$HB$  – твердість матеріалу напрямної;

$V$  – швидкість ковзання;

$b$  – номінальна ширина напрямної;

$v$  – кінематична в'язкість оливи;

$c_w$  – коефіцієнт зносостійкості.

В даному випадку приймаємо лінійну залежність інтенсивності зношування від контактної тиску характерну для типового зношування напрямних абразивними частинками у вигляді окалини, абразиву, залишків обробки.

Нормальний контактний тиск між повзуном і напрямною на площі контакту з урахуванням мастильних канавок буде дорівнювати:

$$\sigma = \left( \frac{Q}{bl} \right) \left( \frac{k}{k - 2a(s)} \right), \quad (6)$$

де  $Q$  – навантаження на напрямній;

$b$  – номінальна ширина напрямної;

$l$  – довжина контакту повзуна і напрямної;

$k$  – крок мастильних канавок;

$a(s)$  – напівширина мастильної канавки на поверхні напрямної.

Величину зносу напрямної можна вимірювати по зменшенню ширини мастильних канавок на поверхні напрямної.

Величину зносу в залежності від напівширини мастильної канавки знайдемо з виразу (1) (при цьому приймаємо, що величина  $u_w$  значно менша за величину  $h$ ):

$$u_w(s) = \frac{1}{2(h-r)} (a^2(s) + h^2 - 2rh). \quad (7)$$

Продиференціюємо останню геометричну залежність по шляху тертя  $s$ :

$$\frac{du_w}{ds} = -\frac{a}{r-h} \frac{da}{ds}. \quad (8)$$

Знак «мінус» у виразі означає, що ширина трикутної мастильної канавки в процесі зношування зменшується.

Прирівнюючи (5) та (8) отримаємо:

$$\sigma \left( \frac{c_w f V b}{HB \cdot v} \right) = -\frac{a}{r-h} \frac{da}{ds}. \quad (9)$$

Підставимо в ліву частину рівняння (9) вираз для контактної тиску (6):

$$\left( \frac{Q}{bl} \right) \left( \frac{k}{k - 2a(s)} \right) \left( \frac{c_w f V b}{HB \cdot v} \right) = -\frac{a}{r-h} \frac{da}{ds}. \quad (10)$$

Перетворимо (10) до вигляду:

$$\left( \frac{Q c_w k f V}{l HB v} \right) ds = \frac{a}{r-h} (2a - k) da. \quad (11)$$

Це звичайне диференціальне рівняння з розділюючимися змінними.

Інтегруючи диференціальне рівняння (11) отримаємо:

$$\frac{Q c_w k f V (r-h)}{l HB v} s = \frac{2}{3} a^3(s) - \frac{1}{2} a^2(s) k + C. \quad (12)$$

Постійну інтегрування  $C$  знайдемо з умови  $a(s=0) = a_0$  (початкова напівширина мастильної канавки).

Тоді отримаємо:

$$C = -\frac{2}{3}a_0^3 + \frac{1}{2}a_0^2k. \quad (13)$$

З урахуванням  $a_0 = \sqrt{h(2r-h)}$  та  $a = \sqrt{h(2r-h) - 2u_w(r-h)}$  після підстановок у (12), перетворень та нехтуючи відносно малими величинами отримаємо наближену формулу для розрахунку величини лінійного зносу у напрямній ковзання  $u_w$  від шляху тертя  $s$ :

$$u_w = \left[ \frac{Q c_w k f V}{l HB v} \frac{1}{k - \frac{2}{3}h^{3/2} \frac{1}{\sqrt{r-h}}} \right] s \quad (14)$$

### Приклад розрахунку зносу напрямної ковзання

Розрахуємо знос напрямної ковзання за розробленою методикою за наступних вихідних даних.

1. Геометричні розміри напрямної:  $l = 500$  мм;  $b = 50$  мм;
2. Швидкість ковзання:  $V = 20$  мм/с;
3. Кінематична в'язкість оливи Індустріальне И-30:  $\nu = 40$  мм<sup>2</sup>/с;
4. Коефіцієнт тертя в парі повзун-напрямна:  $f = 0,1$ ;
5. Робоче навантаження  $Q = 500$  Н;
6. Максимальна глибин мастильної канавки  $h = 0,5$  мм, крок канавок  $k = 10$  мм, радіус профілю канавки  $r = 1,5$  мм.
7. Твердість матеріалу напрямної HB=400 МПа.

Параметр зносостійкості  $C_w$  в парі чавун-чавун можна прийняти за довідниковими даними

$$C_w = 2 \cdot 10^{-8}.$$

Результати чисельного розрахунку лінійного зносу напрямної ковзання наведені в табл. 1.

Таблиця 1

### Результати розрахунку зносу підшипника в залежності від шляху тертя

Шлях тертя, $s$ , мм	$10^9$	$10^{10}$	$10^{11}$
Лінійний знос, $u_w$ , мкм	2,56	25,6	256

Отримана розрахункова залежність дозволяє проводити оцінку зносу напрямної ковзання з маслоутримувальними канавками круглого профілю на стадії проектування. Алгоритм розрахунку передбачає вибір оптимальних геометричних параметрів мастильного профілю за критерієм зносостійкості при заданих режимах експлуатації і конструктивних параметрах напрямної.

Недоліком мастильних канавок однакової глибини по всій ширині напрямної є не врахування нерівномірного розподілу навантажень на напрямній та можливість витoku масла через бокові грані напрямної. Більш доцільним є застосування мастильних канавок змінного профілю: максимального в центрі напрямної із зниженням до мінімуму поблизу граней напрямної. У цьому випадку форма профілю канавки буде представляти собою тіло подвійної кривизни. Розглянемо далі можливу технологію отримання такого профілю круглої форми шляхом поверхнево - пластичного деформування фасонним інструментом.

### Створення маслоутримувального круглого профілю змінної глибини.

Пропонується спосіб формування маслоутримувальних канавок на поверхні ковзання напрямних пристроїв зворотно-поступального руху металорізальних верстатів, кривошипних і гідравлічних пресів та іншого технологічного обладнання.

Широко використовують напрямні пристрої з плоскою поверхнею ковзання [8], яка в процесі зворотно-поступального руху спареної деталі піддається мащенню. Щоб поліпшити умови мащення і підвищити зносостійкість напрямної на поверхні ковзання перпендикулярно напрямку руху спарених деталей формують прямі маслоутримувальні канавки глибиною 0,5 ... 0,7 мм і шириною 1 ... 1,5 мм з виходом формуючого інструменту за кромки поверхні ковзання. Недолік наскрізних канавок однакової глибини полягає в тому, що за умови центрального навантаження при віддаленні від центра напрямної мастильний клин руйнується і відбувається витікання мастила через відкриті торці канавки за межі зони тертя. За рахунок цього ефективність мащення контактних поверхонь тертя значно погіршується.

Також для формування регулярного профілю застосовують поверхнево-пластичну деформацію [9]. Але пристрій призначений для утворення зигзагоподібного профілю канавок сталої глибини, має складну будову з використанням гідроприводу і унеможливає формування канавки, глибина якої змінюється з урахуванням оптимальних умов мащення.

Нами в роботі [10] запропонований спосіб формування маслоутримувальної канавки змінної глибини пластичною деформацією оброблюваної поверхні за допомогою індентора у вигляді кульки, що обертається по круговій траєкторії радіусом  $R$ , який визначає довжину  $l$  і максимальну глибину  $h$  канавки. Для формування канавки заданих параметрів  $l$  і  $h$  потрібний радіус  $R$  обертання індентора тим більший, чим більша ширина і менша ширина канавки. Так, наприклад, для формування канавки радіусом обертання індентора  $R = 100$  мм і максимальною глибиною  $h = 0,5$  мм довжина канавки  $l = 2\sqrt{2Rh} = 20$  мм, а для формування канавки довжиною  $l = 40$  мм такої ж глибини потрібний радіус обертання індентора  $R = 400$  мм [10]. Формування канавок змінної глибини шляхом обертового руху індентора радіусом більше 100 мм вимагає складного пристрою і практично не можливо здійснити на універсальному металооброблюваному обладнанні.

В даній роботі вирішується завдання спрощення механізму і розширення технологічних можливостей формування фасонного маслоутримувального профілю гідродинамічного мащення канавками змінних геометричних параметрів. Поставлена задача вирішується тим, що формування канавки здійснюється пуансоном, робоча поверхня якого заокруглена радіусом  $r = b^2/8h$  і описана радіусом  $R = l^2/8h$ , де  $l$  – довжина канавки,  $h$  – максимальна глибина канавки згідно креслення.

Формування канавки маслоутримувального макропрофілю на плоскій поверхні напрямної відбувається за рахунок поверхневої пластичної деформації в холодному стані і здійснюється за допомогою штампа на механічному або гідравлічному пресі (не показано). Напрямна 1 (рис. 1) ставиться на опорну плиту 2 між фіксуєчими планками 3, здійснюється робочий хід повзуна преса і пуансон 4 силою  $P$  втискається в поверхню напрямної 1.

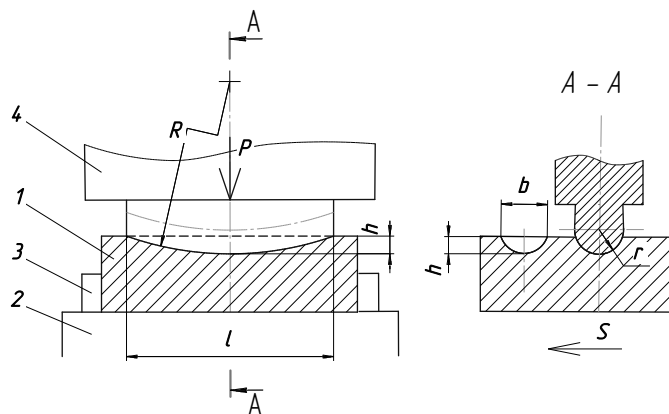


Рис. 1 – Формування маслоутримувальної канавки змінних розмірів

За умови, що робоча поверхня пуансона 4 заокруглена радіусом  $r = b^2/8h$  і описана радіусом  $R = l^2/8h$  на поверхні напрямної 1 формується канавка довжиною  $l$ , шириною  $b$  і глибиною  $h$ .

Перед наступним робочим ходом повзуна преса напрямна 1 просовується між фіксуєчими планками 3 на крок подачі  $S = b + (3...5)$  мм і формується наступна канавка. Таким чином на робочій поверхні напрямної розмірами  $L \times B$  отримують фасонний маслоутримувальний макропрофіль (рис. 2), на якому містяться канавки довжиною  $l$  і шириною  $b$ , кількість яких вздовж довжини профілю  $n = L/S$  округлюють до меншого цілого числа.

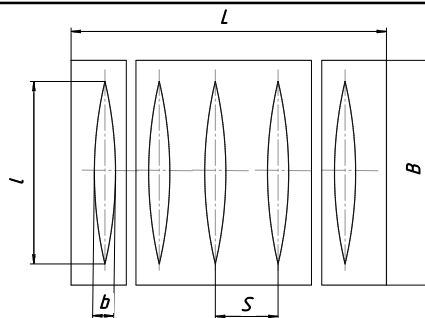


Рис. 2 – Фасонний маслоотримувальний профіль

Отже запропонований спосіб формування мастильних канавок змінної глибини не потребує складних кінематичних рухів і відповідного технологічного устаткування для реалізації таких рухів.

### Висновки

1. Отримана розрахункова залежність зносу від шляху тертя, яка дозволяє проводити оцінку зносу напрямної ковзання з маслоотримувальними канавками круглого профілю на стадії проектування. Алгоритм розрахунку передбачає вибір оптимальних геометричних параметрів мастильного профілю за критерієм зносостійкості при заданих режимах експлуатації і конструктивних параметрах напрямної.

2. Запропонований спосіб формування маслоотримувального макропрофілю шляхом утворення канавок поверхневою пластичною деформацією і глибина канавки змінюється від найбільшого значення в центрі оброблюваної поверхні до нуля, а фасонний профіль канавки формується шляхом втискання в оброблювану поверхню пуансона.

### Література

1. Шнейдер Ю. Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю.Г. Шнейдер. – М.: Машиностроение, 1982. – 248 с.
2. Одинцов Л. Г. Финишная обработка деталей алмазным выплаживанием и вибровыглаживанием / Л. Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.
3. Дыха А. В. Повышение несущей способности подшипника скольжения с маслоудерживающими канавками / А. В. Дыха, О. П. Бабак // Проблемы трибологии. – 1997. – № 1. – С. 25-27.
4. Витенберг Ю. Р. Зубообрабатывающие станки и инструменты в приборостроении / Ю. Р. Витенберг, Н. П. Соболев. – М.: Машиностроение, 1969. – 284 с.: ил.
5. Рыжов Э. В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Э. В. Рыжов. – К.: Наук. думка, 1984. – 271 с.
6. Дыха О. В. Утворення мастилорозподільного профілю на багатогранній поверхні / О. В. Дыха // Машинознавство. – 1999. – № 8 (26). – С. 42-44.
7. Дыха А. В. Аналитическое определение площади и объема маслоудерживающего профиля переменной глубины / О. В. Дыха // Проблемы трибологии. – 2000. – № 1. – С. 55-58.
8. Станочные приспособления: Справочник. Том 1 / Под ред. Б.Н. Вардашкина, А. А. Шатилова – М.: Машиностроение, 1984. 592 с.
9. Пат. 81025 Україна. Пристрій для обробки плоских поверхонь / Кривий П. Д., Кашуба Н. П., Сенік А. А., Кривінський П.П. Опубл. 25.06.2013 Бюл. №12
10. Пат. 110847 Україна. Пристрій для формування маслоотримувальної канавки змінної глибини. Опубл. 25.10.2016 Бюл. №20.

Поступила в редакцію 10.05.2017

Dykha O.V., Vychavka A.A., Dytynuk V.O. **Definition of wear and the technology of processing oil grooves round profil.**

Proposed to approximate the calculated dependence of wear and tear from the way of friction to assess the wear of slide guide with lubrication grooves a round profile at the design stage. The algorithm for calculating the account provides for the choice of optimal parameters of lubricating profile according to the criterion of wear resistance under given operating conditions of the guide. The method of forming shaped oil grooves of variable profile by surface plastic imprint in the surface of the punch.

**Key words:** guide slide, oil profile, calculation of wear, the path of friction, surface-plastic deformation.

### References

1. Shnejder Y. G. EHkspluatacionnye svojstva detalej s reguljarnym mikrorel'efom . YU. G. SHnejder. M.: Mashinostroenie, 1982. 248 p.
2. Odincov L. G. Finishnaya obrabotka detalej almaznym vyglazhivaniem i vibrovyglazhivaniem . L. G. Odincov. M.: Mashinostroenie, 1981. 160 p.
3. Dyha A. V. Povyshenie nesushchej sposobnosti podshipnika skol'zheniya s maslounderzhivayushchimi kanavkami . A. V. Dyha, O. P. Babak. Problemi tribologii. 1997. No 1. P. 25–27.
4. Vitenberg YU. R. Zuboobrabatyvayushchie stanki i instrumenty v priborostroenii . Y. R. Vitenberg, N. P. Sobolev. M.: Mashinostroenie, 1969. 284 p.
5. Ryzhov E. V. Tekhnologicheskie metody povysheniya iznosostojkosti detalej mashin . EH. V. Ryzhov. K.: Nauk. dumka, 1984. 271 p.
6. Diha O. V. Utvorenniya mastilorozpodil'nogo profilyu na bagatogrannij poverhni . O. V. Diha .. Mashinoznavstvo. 1999. No 8 (26). P. 42–44.
7. Dyha A. V. Analiticheskoe oprededenie ploschadi i ob"ema maslounderzhivayushchego profilya perezmennoj glubiny . O. V. Diha .. Problemi tribologii. 2000. No 1. P. 55–58.
8. Stanochnye prispobleniya: Spravochnik. Tom 1 . Pod red. B. N. Vardashkina, A. A. SHatilova – M.: Mashinostroenie, 1984. 592 p.
9. Pat. 81025 Ukraïna. Pristriy dlya obrobki ploskih poverhon' . Krivij P. D., Kashuba N. P., Senik A. A., Krivins'kij P.P. Opubl. 25.06.2013 Byul. No12
10. Pat. 110847 Ukraïna. Pristriy dlya formuvannya masloutrimoval'noï kanavki zminnoï glibini. Opubl. 25.10. 2016 Byul. No20.