

ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ КАНАВОК ТРИКУТНОЇ ФОРМИ ЧАСТКОВО РЕГУЛЯРНОГО МІКРОРЕЛЬЄФУ СФОРМОВАНОГО НА ТОРЦЕВИХ ПОВЕРХНЯХ ТІЛ ОБЕРТАННЯ

Матюю статті є визначення впливу геометричних параметрів елементів канавок частково-регулярного мікрорельєфу сформованого на торцевих поверхнях тіл обертання на їх площу. Розглянуто схему сформованого частково регулярного мікрорельєфу та виявлено, що параметри канавок такого мікрорельєфу змінюються в залежності від відстані до центра обертання поверхні при однакових технологічних режимах оброблення. При цьому зміна площі елемента частково регулярного мікрорельєфу в залежності від відстані до центра обертання торцевої поверхні тіла обертання носить нелінійний характер. Отримано аналітичні залежності для визначення площі канавок трикутної форми частково регулярного мікрорельєфу сформованого на торцевих поверхнях тіл обертання вібраційним методом. Побудовані графічні залежності площі канавок в залежності від радіуса R_k при різних значеннях кількості елементів N_{el} , амплітуди A_b , радіуса канавки ρ_k та встановлено їх ступінь впливу на площу канавки.

Ключові слова: регулярний мікрорельєф, площа, канавка, торцева поверхня, вібрація

VOLODYMYR OLEKSIYOVYCH DZYURA

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

DETERMINATION OF TRIANGULAR GROOVES AREA OF PARTIALLY REGULAR MICRORELIF FORMED ON THE ROTATION BODIES END FACES

The purpose of the article is to determine the impact of geometrical parameters of grooves elements of partially regular microrelief formed on the rotation bodies end faces on their area. The scheme of a formed partially regular microrelief has been considered and it was found that the grooves parameters of the above-mentioned microrelief vary depending on the distance to the surface rotation center at the same machining modes. In this case the element area variation of partially regular microrelief depending on the distance to the rotation center of the rotation body end face is of linear character. Some analytical dependencies to determine the triangular grooves area of partially regular microrelief formed on the rotation bodies' end faces have been obtained by vibration method. Some graphs of grooves area dependence on the radius R_k at different values of elements number N_k , amplitude A_b , radius of a groove ρ_k have been built. Their impact level on the grooves area has been determined.

Key words: regular microrelief, area, groove, bodies end faces, vibration.

Вступ . Сучасне машинобудівне виробництво постійно розширює номенклатуру виробів, в яких робочі поверхні деталей машин отримують все складнішу форму. В автомобільній промисловості все більшого поширення набувають безступінчасті варіаторні трансмісії, основними робочими елементами яких є конусні привідні елементи з які наближено можна вважати дисками. Найпоширеніше використання конусні привідні елементи конструкцій отримали у варіаторах JF011E, які використовуються на автомобілях Dodge Caliber, Nissan X-trail, Nissan Qashqai, Nissan Teana, Nissan Tiida, Mitsubishi Lancer, Mitsubishi Outlander, Mitsubishi Galant, Mitsubishi GalantASX, Peugeot 4007, Renault Scenic, Renault Megane, Renault Fluence, Renault Koleos, а також на варіаторах JF015E, які використовують на автомобілях Nissan Juke, Nissan Micra, Suzuki Swift. Формування на таких поверхнях регулярного мікрорельєфу дозволить збільшити ресурс його роботи і

зменшити витрати на експлуатацію автомобілів з таким видом трансмісії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формування на робочих поверхнях деталей машин регулярного мікрорельєфу [1] значно підвищує ресурс їх роботи за рахунок більшого опору схоплюванню як з мастилом так і без нього, більшої маслоємності поверхонь тертя, меншого періоду припрацювання або його відсутність; меншого тертя спряжених деталей, а також вищої зносостійкості [2, 3, 4, 5].

В роботах [6, 7] досліджено вплив сформованого на робочих поверхнях деталей регулярного мікрорельєфу на шорсткість поверхонь.

В роботі [8] досліджено вплив розміщення регулярних мікронерівностей трикутної форми, утворених на поверхнях торцевих поверхонь тіл обертання на коефіцієнт тертя таких поверхонь між собою як з використанням оливи L-AN-46 так і без неї. При цьому сила з якою поверхні притискалися одна до одної становила 20Н, а відносна швидкість обертання складала 0,4 м/с. Авторами встановлено, що розміщення елементів мікрорельєфу чинить значний вплив на коефіцієнт тертя. При цьому найнижчий коефіцієнт тертя було отримано при взаємодії торцевих поверхонь тіл обертання з мікрорельєфом з центральним кутом мікронерівностей 90° з орієнтацією до зовнішніх сторін торцевої поверхні.

В роботі [9] авторами запропонований імовірнісний підхід при визначенні відносної площі регулярного мікрорельєфу сформованого на плоских поверхнях за допомогою токарних верстатів з механічною коробкою подач. Авторами встановлено, що подача в токарних верстатах з механічною коробкою подач є випадковою величиною з нормальним законом розподілу. Оскільки рух подачі бере участь при формуванні регулярного мікрорельєфу, то його площа також буде випадковою величиною.

Дослідженнями проведеними Шнейдером Ю.Г та Лебединським Г.Г. [10] доведено, що для металевих деталей, які здійснюють відносний рух найкращим з точки зору періоду припрацювання, величини ресурсу, величини масляної плівки є регулярний мікрорельєф I виду з відносною площею 35 %.

Згідно з ГОСТ 24773-81 [1] відносна опорна площа F_n – це виражене у відсотках відношення площі, що займають регулярні нерівності F_k до поверхні деталі, яка оброблюється F .

Відносна площа регулярного мікрорельєфу F_n – один з найважливіших його показників, який характеризує експлуатаційні властивості поверхні на якій він сформований. Оптимальне його значення коливається в межах 30-45% в залежності від умов експлуатації спряжених поверхонь.

Отже важливість забезпечення значень відносної площі РМР на всій робочій поверхні є очевидною.

Вперше частково регулярні мікрорельєфи сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання були використані як декоративні елементи. Спосіб їх формування був запропонований Шнейдером Ю.Г. [11]. Спосіб передбачав утворення ЧРМР пружно підтиснутою кулькою по траєкторії спіраль Архімеда з формою канавки – трохоїда.

Шнейдером Ю.Г. також було проведено розрахунок відносної площі канавок сформованих на торцевій поверхні тіл обертання. Він вказує на те, що особливістю такого мікрорельєфу є закономірна зміна ступеня перекриття канавок із зміною радіуса торцевої поверхні, що визначає особливості розрахунку рядку важливих параметрів такого мікрорельєфу.

Для мікрорельєфу I виду було отримана залежність для визначення відносної площі канавок сформованих на торцевій поверхні тіла обертання:

$$F_k = \frac{200 \cdot \rho}{3 \cdot s_1 \cdot R_{cp}} \left(2 \cdot R_{cp} + \sqrt{R_{cp}^2 + e^2 \cdot i^2} \right);$$

для мікрорельєфу II виду

$$F_k = \frac{200 \cdot \rho}{3 \cdot \pi \cdot s_1 \cdot R_{cp}} \left[\pi \left(2 \cdot R_{cp} + \sqrt{R_{cp}^2 + e^2 \cdot i^2} - 6 \cdot \rho \cdot i \right) \right];$$

де ρ – радіус відбитка канавки (ширина канавки);

$R_{cp} = (R_1 + R_2)/2$ – середній радіус вібронакатаної ділянки торцевої поверхні, мм;

s_1 – поперечна подача, мм/об.

В роботі Лотоцької О.І. [12] запропоновано аналітичні залежності для визначення відносної площі частково-регулярних мікрорельєфів синусоїдального типу з відсутністю перетину регулярних нерівностей, а також запропоновано комплексна технологія формування мікрорельєфу на поверхнях циліндричних деталей поліграфічних машин.

Проаналізувавши наукові публікації встановлено, що визначенням площі канавок трикутного профілю частково регулярного мікрорельєфу, що сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання не присвячено жодної публікації.

Мета роботи. Матою статті є визначення впливу геометричних параметрів елементів канавок частково-регулярного мікрорельєфу сформованого на торцевих поверхнях тіл обертання на їх площу.

Виклад основного матеріалу статті. Формуючи ЧРМР вібраційним методом на торцевих поверхнях тіл обертання з однаковими режимами обробки (кутовою швидкістю обертання заготовки ω , амплітудою A та кількістю осциляцій i) отримуємо канавки з різним коловим кроком S_k і, відповідно, різною відносною площею F_n . Причиною цьому є те, що при обертанні заготовки з однаковою кутовою швидкістю ω , віброобкатник на різній відстані від центра обертання торцевої поверхні пройде різний шлях, а отже і значення колового кроку нерівностей S_k , який впливає на площу канавок F_n , буде різним (рис. 1). Тому слід відмітити, що мікрорельєфи, що сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання є умовно регулярними. Оскільки їх коловий крок S_k буде зменшуватись із наближенням до центра обертання такої поверхні.

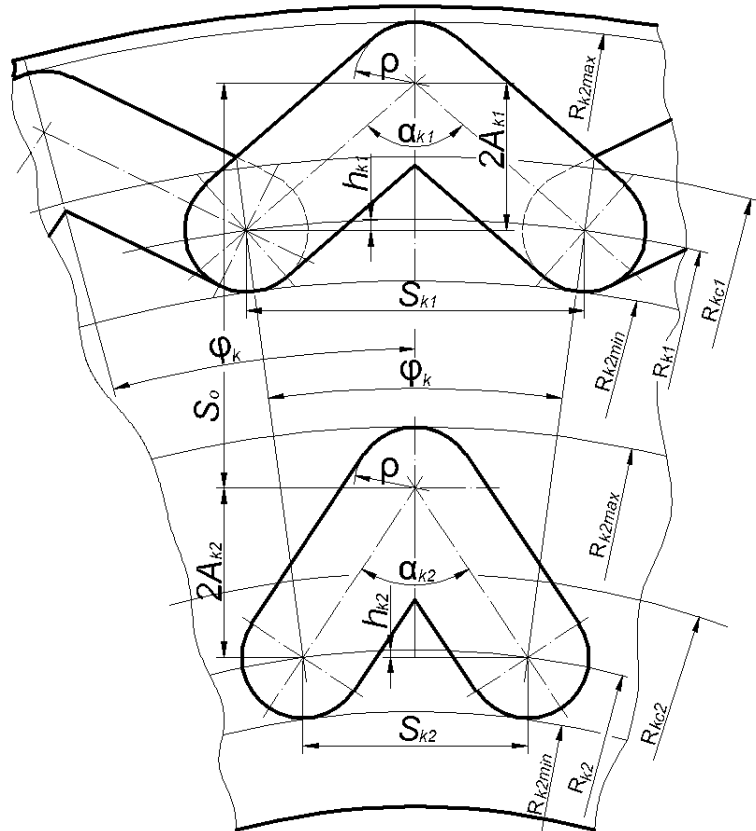


Рис. 1. Зміна параметрів елементів канавок трикутного профілю ЧРМР, що сформований на торцевій поверхні тіла обертання

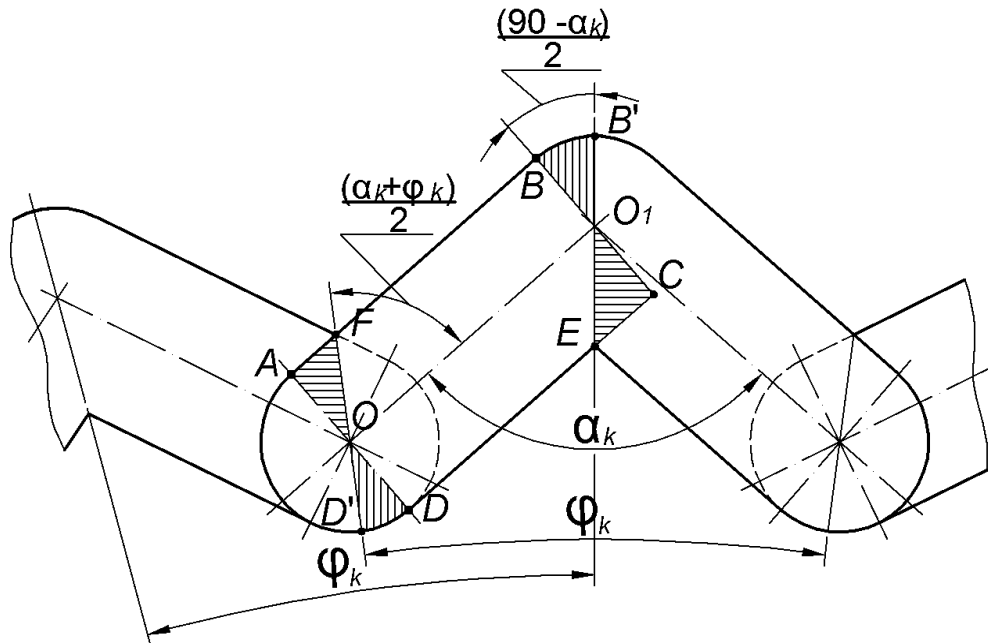


Рис. 2. Схема для визначення площі канавки трикутного профілю ЧРМР, що сформований на торцевій поверхні тіла обертання

Тому є доцільним введення поняття кутового кроку канавки – φ_k , який буде мати постійне значення на будь-якій відстані від центру обертання торцевої поверхні.

Коефіцієнт зменшення колового кроку μ_k будемо визначати із залежності.

$$\mu_k = S_{k1}/S_{k2} . \quad (1)$$

Відповідно з врахуванням кількості елементів на одному радіусі R_k при довжині кола $l = 2\pi R_k$.

Площа, яку займають елементи ЧРМР, які розміщені на торцевій поверхні визначається за формулою:

$$F_{PMP} = F_{ел} \cdot N_{ел} . \quad (2)$$

Кількість елементів розміщених на колі торцевої обертової поверхні радіусом R_k визначається за формулою:

$$N_{ел} = \frac{360^\circ}{\varphi_k} . \quad (3)$$

При вібраційному методі формування регулярного мікрорельєфу кількість його елементів за один оберт заготовки визначається кількістю осциляцій інструменту, тобто кількістю подвійних його ходів $N_{ел} = i_{ов.ходів}$.

Коловий крок елемента нерівності визначається за формулою хорди дуги кола на якому він розміщений

$$S_k = 2R_k \sin\left(\frac{\varphi_k}{2}\right) . \quad (4)$$

де φ_k – центральний кут, який відповідає одному елементу ЧРМР розміщеному на дузі кола радіусом R_k .

Звідси

$$\varphi_k = 2 \arcsin \left(\frac{S_k}{2R_k} \right). \quad (5)$$

Між амплітудою A_k елемента ЧРМР, коловим кроком S_k і кутом α_k можна записати наступні залежності:

$$A_k = \frac{S_k}{4 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_k/2)}, \quad (6)$$

Звідси

$$S_k = 4 \cdot A_k \cdot \operatorname{tg}(\alpha_k/2). \quad (7)$$

$$\alpha_k = 2 \cdot \operatorname{arctg}(S_k/4 \cdot A_k). \quad (8)$$

Між кутами α_k і φ_k існує залежність

$$2R_k \sin\left(\frac{\varphi_k}{2}\right) = 4 \cdot A_k \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right); \quad (9)$$

$$\alpha_k = 2 \cdot \operatorname{arctg}\left[\frac{2R_k \sin(\varphi_k/2)}{2 \cdot A_k}\right]. \quad (10)$$

Площа одного елемента ЧРМР дорівнює сумі площ двох прямокутників $ABCD$, без двох трикутників AOF і двох трикутників EO_1C , а також площі двох секторів BO_1B' , площі двох секторів DOD' . Запишемо ці площі формулами:

$$F_{el} = \frac{2 \cdot \rho \cdot S_k}{\cos\left(90 - \frac{\alpha_k}{2}\right)} - \frac{2 \cdot \rho^2 \cdot \operatorname{tg}\left(90 - \frac{\alpha_k + \varphi_k}{2}\right)}{2} - \frac{2 \cdot \rho^2 \cdot \operatorname{tg}\left(90 - \frac{\alpha_k}{2}\right)}{2} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 \cdot \left(90 - \frac{\alpha_k}{2}\right)}{360} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 \cdot \left(90 - \frac{\alpha_k + \varphi_k}{2}\right)}{360}. \quad (11)$$

Спростивши вираз отримаємо

$$F_{el} = \frac{2 \cdot \rho \cdot S_k}{\sin(\alpha_k/2)} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 (180 - \alpha_k - 0,5\varphi_k)}{360^\circ} - \rho^2 \left[\operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \varphi_k}{2}\right) + \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right] \quad (12)$$

а використавши формулу (7) отримаємо вираз без значення S_k

$$F_{el} = \frac{8 \cdot \rho \cdot A_k \cdot \operatorname{tg}(\alpha_k/2)}{\sin(\alpha_k/2)} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 (180 - \alpha_k - 0,5\varphi_k)}{360^\circ} - \rho^2 \left[\operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \varphi_k}{2}\right) + \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right] \quad (13)$$

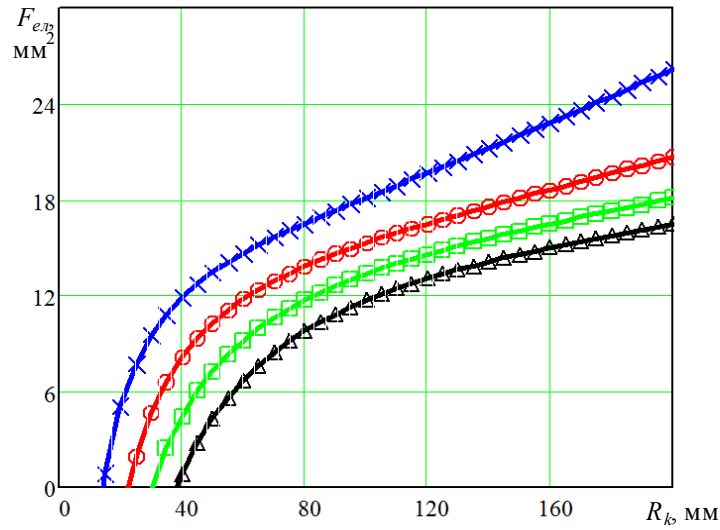


Рис. 3. Залежність площі елемента ЧРМР від радіуса R_k при різних значеннях кількості елементів N_{el} при $A_k=2\text{мм}$, $\rho_k=1\text{мм}$:
 \times – 120; \circ – 180; \square – 240; Δ – 300

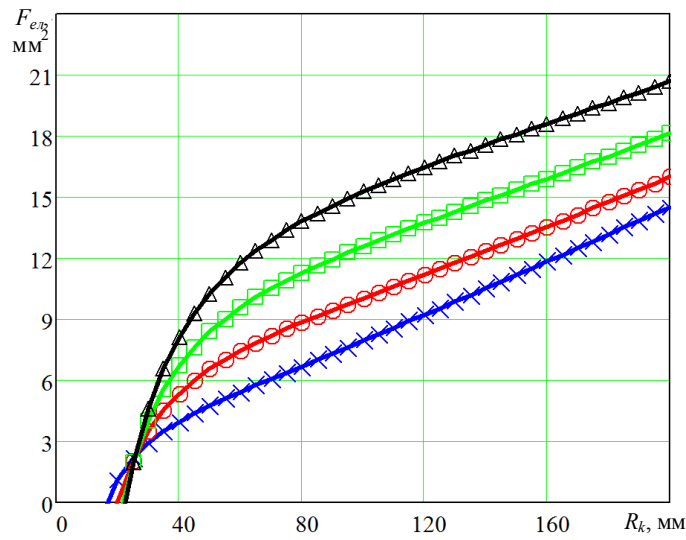


Рис. 4 Залежність площі елемента ЧРМР від радіуса R_k при різних значеннях амплітуди A_k при $N_{el}=180$, $\rho_k=1\text{мм}$:
 \times – 0,5мм; \circ – 1мм; \square – 1,5мм; Δ – 2мм

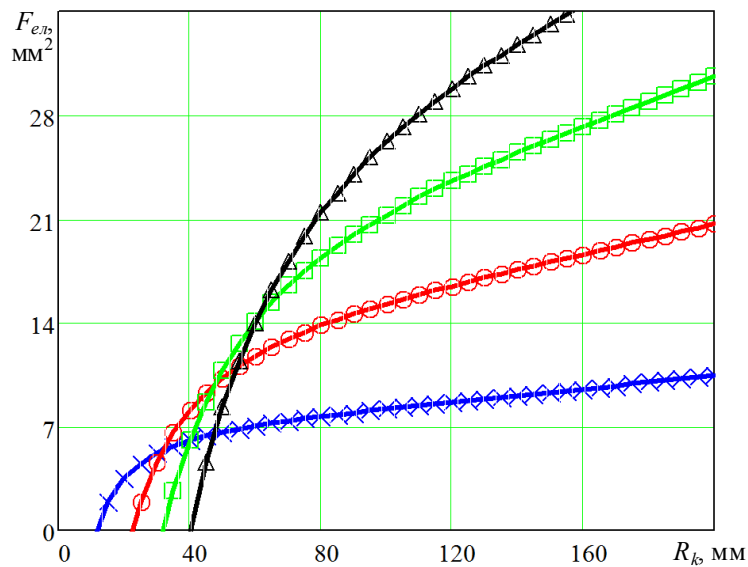


Рис. 5. Залежність площі елемента ЧРМР від радіуса R_k при різних значеннях радіуса канавки ρ_k при $N_{el}=180$, $A_k=2\text{мм}$:
 \times – 0,5мм; \circ – 1мм; \square – 1,5мм; Δ – 2мм

Виходячи із судження, що площа не може бути від'ємною, з рівняння (12) виведемо умову мінімального значення параметра S_k елемента ЧРМР

$$\frac{2 \cdot \rho \cdot S_k}{\sin(\alpha_k/2)} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 (180 - \alpha_k - 0,5\alpha_{ел})}{360^\circ} > \rho^2 \left[\operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \alpha_{ел}}{2}\right) + \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right], \quad (14)$$

звідси

$$S_k > \left[\frac{\rho \left[\operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \alpha_{ел}}{2}\right) + \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right]}{2} - \frac{\pi \cdot \rho (180 - \alpha_k - 0,5\alpha_{ел})}{360^\circ} \right] \cdot \left[\sin\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right]. \quad (15)$$

Отже площа, яку займають елементи ЧРМР, які розміщені на колі радіусом R_k визначається за формулою:

$$F_{PMP} = \frac{8 \cdot \rho \cdot A_k \cdot \operatorname{tg}(\alpha_k/2)}{\sin(\alpha_k/2)} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 (180 - \alpha_k - 0,5\varphi_k)}{360^\circ} - \rho^2 \left[\operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \varphi_k}{2}\right) + \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right] \cdot N_{ел} \quad (16)$$

Проаналізувавши графічні залежності (рис.3-5) робимо висновок про те, що при формування ЧРМР на торцевих поверхнях тіл обертання при однакових технологічних режимах оброблення, зокрема: амплітуді A_k , радіусі канавки ρ_k , кількості обертів заготовки з торцевою поверхнею, площа елементів канавок буде змінюватись із зміною відстані R_k до центра обертання торцевої поверхні. В діапазоні значень параметра R_k в межах від 40 до 160 мм значення площа елемента канавки при однакових технологічних режимах оброблення може збільшитись від 3 до 6 разів. Для забезпечення стабільних фізико-механічних властивостей робочої поверхні з ЧРМР площа елементів канавок повинна бути однаковою. Для цього доцільним є зміна параметра A_k , – амплітуди коливань віброобкатника в залежності від величини параметра R_k . Також з отриманих графічних залежностей можна зробити висновок про те, що найбільший вплив на зміну площі елемента канавки ЧРМР сформованого на торцевій поверхні тіла обертання чинить радіус канавки ρ_k (рис. 5).

Висновки

1. На основі проведених досліджень встановлено, що при формуванні частково регулярних мікрорельєфів на різній відстані від центру обертання торцевих поверхонь тіл обертання, параметри елементів мікрорельєфу змінюються, що призводить до зміни площі канавок ЧРМР від 4 до 6 разів в діапазоні значень параметра R_k в межах від 40 до 160 мм. При цьому виникає доцільність введення поняття кутового кроку канавки – φ_k , який буде мати постійне значення на будь-якій відстані від центру обертання.

2. Отримано аналітичну залежність для визначення площі елемента канавки трикутної форми ЧРМР сформованого на торцевій поверхні тіла обертання вібраційним методом в залежності від його геометричних параметрів.

3. Побудовані графічні залежність площі елемента ЧРМР від радіуса R_k його розміщення при різних значеннях кількості елементів N_k , амплітуді A_k , та радіусі канавки ρ_k . При цьому встановлено, що найбільший вплив на зміну площі елемента ЧРМР чинить радіус канавки.

4. Забезпечити однакові значення площі елементів канавок частково-регулярного мікрорельєфу, а відповідно і стабільні значення відносної площі регулярного мікрорельєфу при його формуванні на торцевих поверхнях тіл обертання, можна шляхом зміни амплітуди коливань віброобкатника у діапазоні значень визначених

за допомогою формули (13).

Література

1. ГОСТ 24773-81 Поверхности с регулярным микрорельефом. Классификация, параметры и характеристики. Введ. 1982–07–01. – М. : Изд.-во стандартов, 1988. – 14 с.
2. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. – 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / Ю.Г. Шнейдер. – Л. : Машиностроение, 1982. – 248 с.
3. Киричок П. О. Дослідження впливу параметрів микрорельєфу на якість обробки деталі та експлуатаційні характеристики поліграфічного обладнання / П. О. Киричок, А. В. Несхозієвський // Технологічні комплекси / Вид-во Луцьк. нац. технол. ун-ту. – 2007. – № 3–4. – С. 74–80.
4. Чирков Г.В. Технология получения высококачественных поверхностей отверстий в деталях автомобильных двигателей и других механизмов / Г.В. Чирков // Двигателестроение. - 2001. - №3. - С. 14-15.
5. Попандопуло К.Х. Формирование качественных показателей поверхностного слоя, гильз цилиндров двигателя ЗМЗ-53, при его раскатывании методом осциллирующих переменных давлений / К.Х. Попандопуло, В.В. Усов, А.С. Личковаха // Технологии и средства повышения надежности машин в АПК. - Черноград, 2006. - Вып. 2. -С. 52-58.
6. Зайдес С.А., Нгуен Ван Хинь. Влияние параметров осциллирующего выглаживания на шероховатость упрочненных поверхностей // Вестник ИрГТУ. 2017. № 4. С. 22–29.
7. Кусий Я.М.. Дослідження впливу режимів вібраційно-відцентрового зміцнення на геометричні параметри якості поверхні довгомірних циліндричних деталей / Я.М. Кусий, В.Г. Топільницький // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів : Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Вип. 43. 2009. – Вип. 43. – С. 44-51.
8. Slawomir Wos, Waldemar Koszela, Pawel Pawlus Comparing tribological effects of various chevron-based surface textures under lubricated unidirectional sliding . Tribology International 146 (2020) 106205 <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106205>
9. Кривий П.Д., Тимошенко Н.М., Дзюра В.О., Кашуба Н.П. Імовірнісний підхід при визначенні відносної площі віброобробчування плоских поверхонь. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11–12 грудн. 2013.) / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2013. – С.104.
10. Шнейдер Ю.Г. Исследование влияния маслоёмкости рабочих поверхностей гильз цилиндров автомобильных двигателей на их прирабатываемость / Ю.Г. Шнейдер, Г.Г. Лебединский // Упрочняюще-калибрующие и формообразующие методы обработки деталей. - Ростов-на-Дону, 1970. - С.92-93.
11. Спосіб декоративної обробки плоских поверхонь та поверхонь обертання описаний в А.с. №191382.
12. Лотоцька О. І. Теоретичні розрахунки опорної площі на циліндричних поверхнях деталей поліграфічного обладнання / О. І. Лотоцька // Технологія і техніка друкарства / ВПІ НТУУ «КПІ». – 2011. – № 2. – С. 66–72.

Рецензія/Peer review : 30.03.2020

Надрукована/Printed : (заповнює редакція)

Рецензент: д.т.н., доц. (проф. каф. технології машинобудування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Васильків В.В.)