

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

Метою 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 залежно від відстані до центра обертання поверхні за однакових технологічних режимів оброблення. При цьому зміна площі елемента частково регулярного мікрорельєфу залежно 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 залежно від радіуса R_k при різних значеннях кількості елементів N_k , амплітуди A_k , 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 analysis of the known scientific works, which is devoted to the determination of the parameters of the grooves what was formed on different types of surfaces was carried out. The publications where area of a triangular profile of the groove partially regular microrelief formed on the rotation bodies' end faces were not found. The scheme of a formed partially regular microrelief has been considered and it was found that the grooves parameters of the above-mentioned micro relief 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_k , radius of a groove ρ_k have been built. Their impact level on the grooves area has been determined. It was found that the largest influence on the change of the area of a triangular profile of the groove partially regular microrelief formed on the rotation bodies' end faces has the change of the groove radius ρ_k size. The analytical dependencies between the geometrical parameters of the grooves are obtained. It allow calculating their area according to the data that are known. In order to ensure the same areas of the grooves elements of partially regular microrelief formed on the rotation bodies end faces, it is necessary to adjust the amplitude of the vibrations A_k . This will ensure stable surface properties and its long service life.

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 найскладнішу 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 застосування такі деталі 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. Використання на таких поверхнях регулярного мікрорельєфу (PMP) дозволить збільшити ресурс роботи трансмісії і зменшити витрати на експлуатацію згаданих автомобілів.

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

Дослідженнями проведеними Шнейдером Ю.Г та Лебединським Г.Г. [10] встановлено, 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 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] і передбачав утворення по траєкторії спіралі Архімеда частково регулярного мікрорельєфу (ЧРМР) за допомогою пружно підгиснутої кульки з трохідою формою канавки.

Також був проведений 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. Зокрема для мікрорельєфу I виду залежність для визначення відносної площі канавок сформованих на торцевій поверхні тіла обертання є такою:

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

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 i – кількість осциляцій віброобкатника, дв. ходів /хв.

ρ – радіус відбитка канавки (ширина канавки);

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

s_1 – поперечна подача віброобкатника, мм/об.

В роботі Лотоцької О.І. [11] запропоновано аналітичні залежності для визначення відносної площі частково-регулярних мікрорельєфів синусоїдального типу з відсутністю перетину регулярних нерівностей, а також запропонована комплексна технологія формування мікрорельєфу на поверхнях циліндричних деталей поліграфічних машин. Отримані аналітичні залежності між режимами обробки й геометричними параметрами мікрорельєфу.

Проаналізувавши відомі наукові публікації встановлено відсутність публікацій щодо визначення площі канавок трикутного профілю ЧРМР, що сформований на торцевих поверхнях тіл обертання.

Метою статті є визначення впливу геометричних параметрів елементів канавок ЧРМР сформованого на торцевих поверхнях тіл обертання на їх площу.

Виклад основного матеріалу статті. Формуючи частково-регулярні мікрорельєфи (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.

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

Коефіцієнт зменшення колового кроку μ_k визначено за формулою:

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

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:

$$N_{el} = \frac{360^\circ}{\phi_k} \tag{3}$$

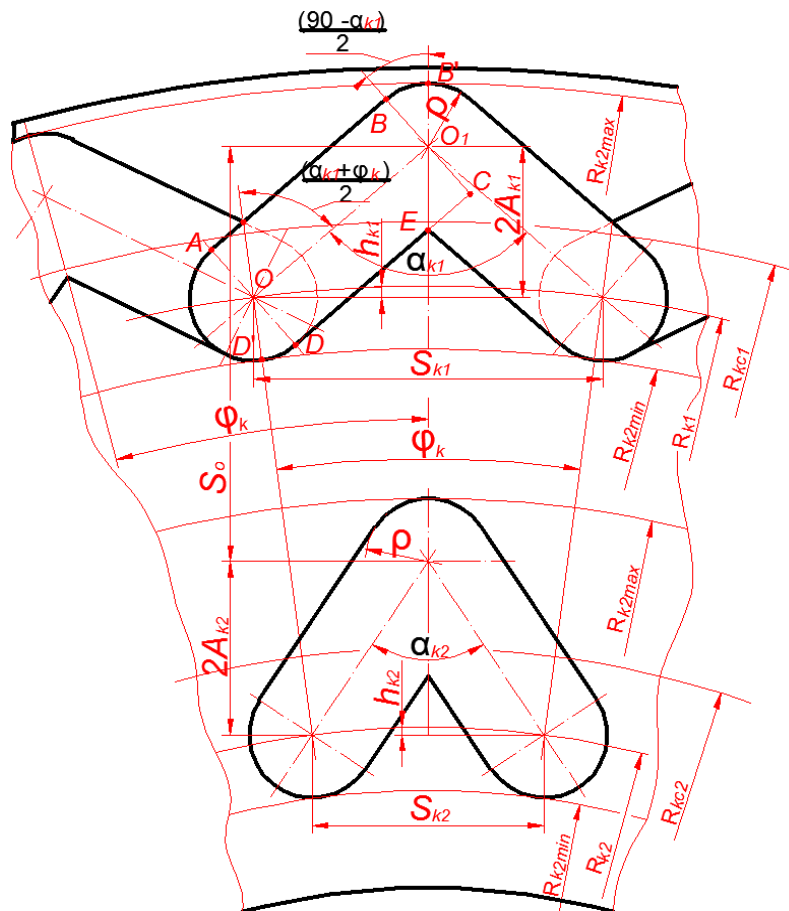


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення площі елементів канавок трикутного профілю ЧРМР, сформованого на торцевій поверхні тіла обертання

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

Коловий крок елемента нерівності дорівнює довжині хорди дуги кола, на якому він розміщений

$$S_k = 2R_k \sin\left(\frac{\phi_k}{2}\right), \tag{4}$$

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

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

Амплітуда A_k елемента ЧРМР, коловий кроком S_k і кут α_k пов'язані залежністю:

$$A_k = \frac{S_k}{4 \cdot \text{tg}(\alpha_k/2)}. \tag{6}$$

Звідси

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

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

Між кутами α_k і ϕ_k існує залежність

$$\alpha_k = 2 \cdot \arctg\left[\frac{2R_k \sin(\phi_k/2)}{2 \cdot A_k}\right]. \tag{9}$$

Площу одного елемента ЧРМР визначено за формулою 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' :

$$F_{el} = \frac{2 \cdot \rho \cdot S_k}{\cos\left(90 - \frac{\alpha_k}{2}\right)} - \frac{2 \cdot \rho^2 \cdot \operatorname{tg}\left(90 - \frac{\alpha_k + \phi_k}{2}\right)}{2} - \frac{2 \cdot \rho^2 \cdot \operatorname{tg}\left(90 - \frac{\alpha_k}{2}\right)}{2} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 \cdot \left(90 - \frac{\alpha_k}{2}\right)}{360} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 \cdot \left(90 - \frac{\alpha_k + \phi_k}{2}\right)}{360}. \quad (10)$$

Спростивши вираз отримаємо

$$F_{el} = \frac{2 \cdot \rho \cdot S_k}{\sin(\alpha_k/2)} + \frac{\pi \cdot \rho^2 (180 - \alpha_k - 0,5\phi_k)}{180^\circ} - \rho^2 \left[\operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \phi_k}{2}\right) + \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right] \quad (11)$$

а використавши формулу (7) отримаємо вираз без значення S_k

$$F_{el} = \frac{8 \cdot \rho \cdot A_k}{\cos(\alpha_k/2)} + \frac{\pi \cdot \rho^2 (180 - \alpha_k - 0,5\phi_k)}{180^\circ} - \rho^2 \left[\operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \phi_k}{2}\right) + \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right] \quad (12)$$

Так як площа не може бути від'ємною, з рівняння (11) виведемо умову мінімального значення параметра S_k елемента ЧРМР

$$\frac{2 \cdot \rho \cdot S_k}{\sin(\alpha_k/2)} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 (180 - \alpha_k - 0,5\alpha_{el})}{360^\circ} > \rho^2 \left[\operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \alpha_{el}}{2}\right) + \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right], \quad (13)$$

звідси

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

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

$$F_n = \frac{8 \cdot \rho \cdot A_k}{\cos(\alpha_k/2)} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 (180 - \alpha_k - 0,5\phi_k)}{360^\circ} - \rho^2 \left[\operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \phi_k}{2}\right) + \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right] \cdot N_{el} \quad (15)$$

Використавши формулу (12) побудовано залежність площі елемента ЧРМР від радіуса R_k для різних значень параметрів A_k , ρ_k та N_{el} .

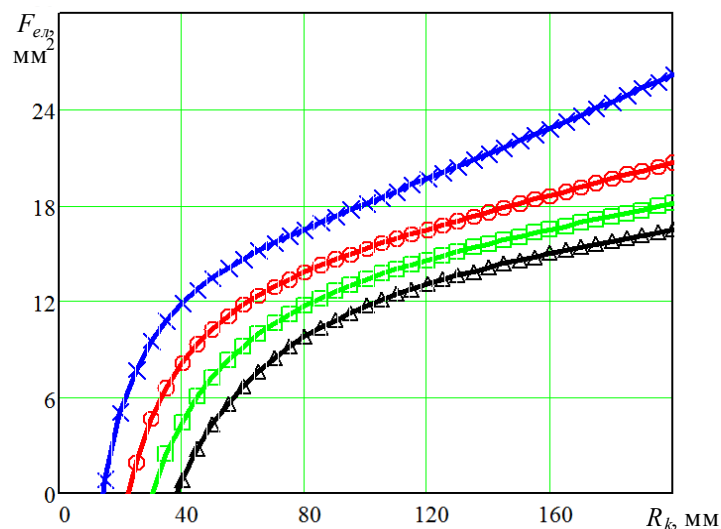


Рис. 2. Залежність площі елемента ЧРМР від радіуса R_k для $A_k=2$ мм, $\rho_k=1$ мм з різними значеннями кількості елементів N_{el} :
 \times – 120; \circ – 180; \square – 240; \blacktriangle – 300

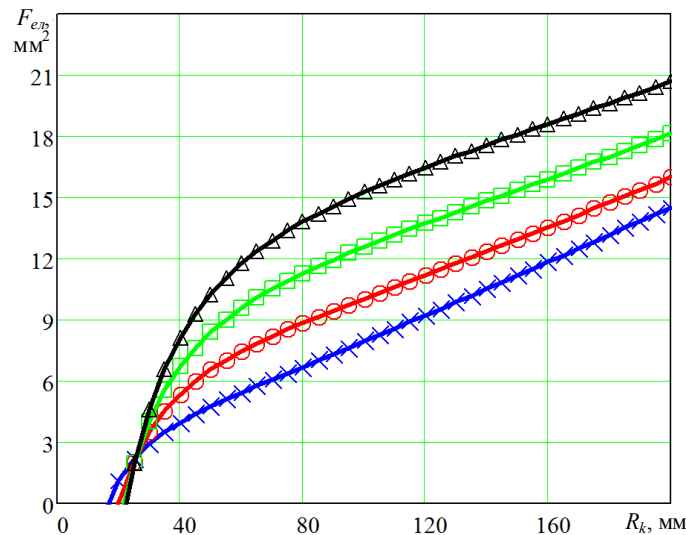


Рис. 3. Залежність площі елемента ЧРМР від радіуса R_k для $N_{el}=180$, $\rho_k=1$ мм з різними значеннями амплітуди A_k :
 \times – 0,5 мм; \circ – 1 мм; \square – 1,5 мм; \triangle – 2 мм

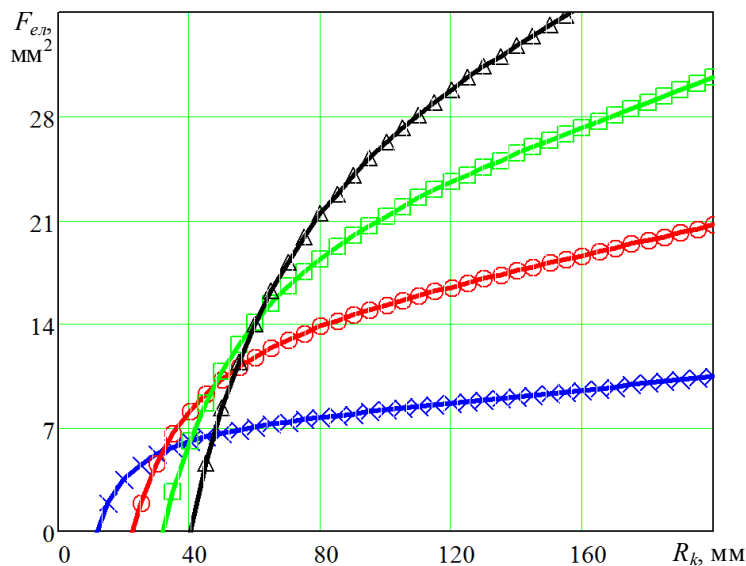


Рис. 4. Залежність площі елемента ЧРМР від радіуса R_k для $N_{el}=180$, $A_k=2$ мм з різними значеннями радіуса канавки ρ_k : \times – 0,5 мм; \circ – 1 мм; \square – 1,5 мм; \triangle – 2 мм

Проаналізувавши графічні залежності (рис. 2–4) робимо висновок про те, що при формуванні ЧРМР на торцевих поверхнях тіл обертання при однакових технологічних режимах оброблення, зокрема: амплітуді A_k , радіусі канавки ρ_k , кількості обертів заготовки, площа елементів канавок буде змінюватись зі зміною відстані R_k до центра обертання торцевої поверхні. В діапазоні значень параметра R_k в межах від 40 до 160 мм значення площі елемента канавки для однакових технологічних режимів 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 забезпечення параметра A_k – амплітуди коливань віброобкатника залежно від величини параметра R_k . Крім цього з отриманих графічних залежностей бачимо, що найбільший вплив на зміну площі елемента канавки ЧРМР, сформованого на торцевій поверхні тіла обертання, має зміна величини радіуса канавки ρ_k . (рис. 4).

Висновки

1. 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 доцільним є введення поняття кутового кроку канавки – ϕ_k , який характеризується постійним значенням на будь-якій відстані від центру обертання. 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. На основі аналізу залежностей площі елемента ЧРМР від радіуса R_k його розміщення при різних значеннях кількості елементів N_k , амплітуді A_k , та радіусі канавки ρ_k встановлено, що найбільший вплив на зміну площі елемента ЧРМР чинить радіус канавки.

2. З метою забезпечення однакових значень площі елементів канавок ЧРМР сформованого на різних діаметрах торцевої поверхні тіла обертання необхідно здійснювати регулювання амплітуди коливань A_k

віброобкатника, числове значення якої необхідно визначати із залежності (12).

Література

1. Поверхности с регулярным микрорельефом. Классификация, параметры и характеристики : ГОСТ 24773-81. – [Введ. 1982–07–01]. – М. : Изд.-во стандартов, 1988. – 14 с.
2. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю.Г. Шнейдер. – 2-е изд., перераб. и доп. – 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 / Луцьк. нац. технол. ун-т. – 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. – Зерноград, 2006. – Вып. 2. – С. 52–58.
6. Зайдес С.А. Влияние параметров осциллирующего выглаживания на шероховатость упрочненных поверхностей / С.А. Зайдес, Нгуен Ван Хинь // 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, 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), 106–205. URL: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106205>.
9. Кривий П.Д. Імовірнісний підхід при визначенні відносної площі віброобкочування плоских поверхонь / П.Д. Кривий, Н.М. Тимошенко, В.О. Дзюра, Н.П. Кашуба // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11–12 грудн. 2013.) / Мін-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. 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.

References

1. Poverhnosti s reguljarnym mikrorelefom. Klassifikaciya, parametry i harakteristiki : GOST 24773-81. – [Vved. 1982–07–01]. – M. : Izd.-vo standartov, 1988. – 14 s.
2. Shnejder Yu.G. Eksploatacionnye svojstva detalej s reguljarnym mikrorelefom / Yu.G. Shnejder. – 2-e izd., pererab. i dop. – L. : Mashinostroenie, 1982. – 248 s.
3. Kyrychok P.O. Doslidzhennia vplyvu parametriv mikroreliefu na yakist obrobky detali ta ekspluatatsiini kharakterystyky polihrafichnogo obladdannia / P.O. Kyrychok, A.V. Neskhoziiievskiy // Tekhnolohichni komplekxy / Lutsk. nats. tekhnol. un-t. – 2007. – № 3–4. – S. 74–80.
4. Chirkov G.V. Tehnologiya polucheniya vysokokachestvennyh poverhnostej otverstij v detalayah avtomobilnyh dvigatelej i drugih mehanizmov / G.V. Chirkov // Dvigatelistroenie. – 2001. – № 3. – S. 14–15.
5. Popandopulo K.H. Formirovanie kachestvennyh pokazatelej poverhnostnogo sloya, gilz cilindrov dvigatelya ZMZ-53, pri ego raskatyvanii metodom oscilliruyushih peremennyh davlenij / K.H. Popandopulo, V.V. Usov, A.S. Lichkovaha // Tehnologii i sredstva povysheniya nadezhnosti mashin v APK. – Zernograd, 2006. – Vyp. 2. – S. 52–58.
6. Zajdes S.A. Vliyanie parametrov oscilliruyushogo vyglazhivaniya na sherohovatost uprochnennyh poverhnostej / S.A. Zajdes, Nguen Van Hin // Vestnik IrGTU. – 2017. – № 4. – S. 22–29.
7. Kusyi Ya.M. Doslidzhennia vplyvu rezhymiv vibratsiino-vidtsentrovoho zmitsnennia na heometrychni parametry yakosti poverkhni dovhomirnykh tsylindrychnykh detalei / Ya.M. Kusyi, V.H. Topilnytskyi // Avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv u mashynobuduvanni ta prykladobuduvanni. – Lviv, 2009. – Vyp. 43. – S. 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), 106–205. URL: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106205>.
9. Kryvyi P.D. Imovirnisnyi pidkhid pry vyznachenni vidnosnoi ploskhi vibroobkochuvannia ploskykh poverkhon / P.D. Kryvyi, N.M. Tymoshenko, V.O. Dziura, N.P. Kashuba // Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii : zb. tez dopovidei mizhnar. nauk.-tekhn. konf. molodykh uchennykh ta studentiv, (Ternopil, 11–12 hrudn. 2013.) / Min-vo osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrainy, Tern. natsion. tekhn. un-t im. I. Puluiia [ta in]. – Ternopil : TNTU, 2013. – S. 104.
10. Shnejder Yu.G. Issledovanie vliyaniya masloyomkosti rabochih poverhnostej gilz cilindrov avtomobilnyh dvigatelej na ih prirabatyvaemost / Yu.G. Shnejder, G.G. Lebedinskiy // Uprochnyayushe-kalibrnyushie i formoobrazuyushie metody obrabotki detalej. – Rostov-na-Donu, 1970. – S. 92–93.
11. Lototska O. I. Teoretichni rozrakhunky opornoj ploskhi na tsylindrychnykh poverkhniakh detalei polihrafichnogo obladdannia / O. I. Lototska // Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva / VPI NTUU «KPI». – 2011. – № 2. – S. 66–72.

Рецензія/Peer review : 03.04.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Рецензент: д.т.н., доц. Васильків В.В.