

that is being processed is installed on the technological device, which is placed on the basis of a parallel structure mechanism. Parameters of a machine with a parallel structure mechanism: a , b - distance between the supports of the stationary carrier system and the executive body, respectively; L_{max} is the maximum length of the kinematic links; l_{min} is the minimum length of the kinematic links; l_i is the current length of the kinematic links; l is the magnitude of the transverse movement; φ is the angle of inclination of the executive body; h_i is the current position of the executive body of the mechanism of the parallel structure in height. The assessment of motor capabilities is determined by the displacement index, which is the ratio of the actual displacement value l to the theoretically possible one (taken equal to the maximum rod length L_{max}).

From the above dependencies it is seen that the influence of the motor capabilities of the rods on the relative displacement provides an increase in the displacement index in the indicator section from 0.45 to 0.65, then the section that is affected by the slope of the displacement line, with a decrease in which the displacement in the area of 0.8 up to 1 movement decreases again, this is due to the complex geometry of the service area of the working space of the machine with a parallel structure mechanism. On the effect of the ratio of the sizes of the movable to the fixed platform on the relative displacement, we have that with an increase in the indicator, the initial indicator of the relative displacement also increases, with a value of the exponent n starting from 0.6 its value decreases in all cases. The influence of the ratio of the maximum displacement of the rods to the size of the fixed platform, on the relative displacement has the opposite of the previous character. With an increase in the indicator m , the relative displacement indicator increases, with a further increase in the indicator m , it can be seen that significantly decreases the displacement indicator and with a value less than 0.6.

parallel structure mechanism, machine tool, hexapod

Одержано (Received) 04.07.2020

Прорецензовано (Reviewed) 06.08.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.787.4

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).129-135](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).129-135)

В.О. Дзюра, доц., канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

e-mail: volodymyrdzyura@gmail.com

Класифікація частково регулярних мікрорельєфів, сформованих на торцевих поверхнях тіл обертання

В статті проведено аналіз відомих класифікацій регулярних мікрорельєфів по наукових публікаціях та нормативних документах. Проаналізовані параметри за якими класифікують регулярні мікрорельєфи і їх характеристики. Встановлено відсутність інформації про класифікацію частково регулярних мікрорельєфів, що сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання як нового класу мікрорельєфів. Запропонована класифікація розкриває множину варіантів реалізації частково регулярних мікрорельєфів, що сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання та їх характеристики.

частково регулярний мікрорельєф, канавка, профіль, класифікація, параметр, ознака

В.О. Дзюра, доц., канд. техн. наук

Тернопольский государственный технический университет имени Ивана Пулюя, г. Тернополь, Украина

Классификация частично регулярных микрорельеф, сформированных на торцевых поверхности тел вращения

В статье проведен анализ известных классификаций регулярных микрорельефов по научным публикациям и нормативным документам. Проанализированы параметры по которым классифицируют регулярные микрорельефы и их характеристики. Установлено отсутствие информации о классификации частично регулярных микрорельефов, сформированных на торцевых поверхностях тел вращения как нового класса микрорельефов. Предложенная классификация раскрывает множество вариантов реализации частично регулярных микрорельефов, сформированных на торцевых поверхностях тел вращения и их характеристики.

частично регулярный микрорельєф, канавка, профіль, класифікація, параметр, признак

Постановка проблеми. У сучасних машинах та інструментальному технологічному оснащенні існує цілий ряд деталей, які свої функціональні призначення виконують торцевими плоскими або конічними поверхнями. До таких деталей відносяться: конічні диски варіаторів автоматичних трансмісій автомобілів та зернозбиральних комбайнів, деталі торцевих конічних і осьових підшипників [1], гребені турбокомпресорів магістральних газопроводів [2], вирубні і витяжні пуансони штампів, матриці і пуансони пресформ, клапани газорозподільчих механізмів двигунів внутрішнього згорання та інші.

До робочих поверхонь таких деталей ставляться підвищені вимоги до їх зносостійкості, що у кінцевому рахунку забезпечує підвищення їх роботоздатності і довговічності.

Одним із перспективних і ефективних методів покращення фізико-механічних властивостей робочих поверхонь вищезгаданих деталей є метод поверхневого пластичного деформування вібраційним обкочуванням, який забезпечує формування регулярних мікрорельєфів із зміцненням цих поверхонь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фундаментальні дослідження в напрямку класифікації регулярних мікрорельєфів (РМ), визначення параметрів і встановлення їх впливу на якісні показники функціональних поверхонь деталей машин здійснено науковою школою під керівництвом Ю.Г. Шнейдера [3, 4] і регламентовано діючим стандартом ГОСТ 24773-81.

В роботі [4] вперше подана класифікація способів утворення заглиблень на поверхнях деталей машин і приладів. За цією класифікацією ці заглиблення поділяють на два види: дискретні і неперервні. До дискретного виду віднесені заглиблення утворені такими способами: свердлінням за розміткою або в кондукторі; вихрове точіння; вихрове фрезерування; вібродинамічне обкочування і травлення через трафарет. До неперервного виду утворення заглиблень на поверхнях деталей машин віднесено наступні способи: проточування кільцевих і гвинтових канавок; проточування канавок складної форми за копіром; фрезерування канавок складної форми за копіром або з використанням верстатів з ЧПК; накатування профільним роликком; вібраційне обкочування; травлення після вібраційного обкочування.

Більш детальну класифікацію регулярних мікрорельєфів (РМ) сформованих вібраційним обкочуванням і її особливості запропоновано Шнейдером Ю.Г. [4]. Відповідно до [4] РМ поділяють на:

- класи – з елементами увігнутої форми і елементами випуклої форми;
- групи – із системами канавок і повністю нові мікрорельєфи;
- види – з канавками, які дотикаються, не дотикаються, перетинаються, сітчасті, синусоїдальні;
- типи – чотирикутні, шестикутні.

Діючий стандарт [5] регламентує класифікацію РМ дещо узагальнену, щодо повністю регулярних мікрорельєфів (ПРМ) і більш детальну відносно частково регулярних мікрорельєфів (ЧРМ). Згідно з ГОСТ 24773-81 ЧРМ поділяються на дві групи з: дискретними регулярними мікронерівностями (ДРМ) і неперервними регулярними мікронерівностями (НРМ). До ДРМ відносять регулярні мікронерівності границя яких являє собою замкнуту лінію. До НРМ віднесено регулярно розміщені мікронерівності границя яких являють собою дві незамкнуті лінії.

Окремої уваги заслуговує аналіз дослідження процесів формування РМ здійснений київською науковою школою під керівництвом Киричика П.О. [5–7]. Особливістю цих досліджень є те, що для забезпечення підвищення експлуатаційних властивостей робочих поверхонь деталей машин вперше було реалізовано поєднання дії різних фізико-технічних чинників. Формування РМР здійснювалось при одночасній взаємодії таких факторів: поверхнева пластична деформація і одночасне зміцнення; лазерне опромінювання зони деформування і комбінований вплив прозорих

деформуючих елементів та тепловий імпульсний удар; комплексна оздоблювально-зміцнююча обробка. Для реалізації запропонованих технологічних процесів утворення РМР, враховуючи наявність різноманітного існуючого технологічно-інструментального оснащення, вперше запропонована класифікація пристроїв та деформуючих елементів. В основу цієї класифікації покладено технологічне забезпечення утворення РМР на робочих поверхнях деталей машин і їх експлуатаційні властивості.

Існуючі НРН на циліндричних і частково на плоских поверхнях досить повно і детально досліджені і роботах [3, 4, 5, 8]. В результаті встановлені параметри і характеристики ПРМ і ЧРМ.

Що стосується класифікації ЧРМ, що сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання (ТПТО) і кінематики їх формування, то на даний час у науковій літературі ця проблема практично не висвітлена.

Тому запропоновані дослідження усувають цю прогалину і дозволяють створити класифікацію ЧРМ, які сформовані на ТПТО і обґрунтувати параметри таких мікрорельєфів, що в кінцевому результаті є основою для створення технологічних процесів формування ЧРМ на ТПТО.

Постановка завдання. Метою статті є здійснення класифікації частково регулярних мікрорельєфів, які сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання.

Виклад основного матеріалу. При класифікації ЧРМ на ТПТО прийняті такі допущення.

1. Відношення частоти осциляцій деформуючого елемента і частоти обертання заготовки – величина постійна.

2. Сторони канавки (елемента поверхні з ЧРМ) V-подібного вигляду еквідистантно розміщені від осьової лінії регулярної мікронерівності приймаємо як прямі лінії.

3. Кутовий крок ЧРМ на ТПТО величина постійна.

Класифікація ЧРМ на ТПТО побудована у вигляді ієрархічної системи: клас – ознаки класифікації – підознака – характеристики цих підознак, яка структуризована на основі кінематики технологічного процесу формування ЧРМ.

Ознаками класифікації запропоновано прийняти: способи формування ЧРМ; форму осьової лінії НРМ; взаємне розташування суміжних канавок; взаємне розміщення осьових ліній НРМ; форми канавок.

Кожна із цих ознак поділяється на певні підознаки, які складаються із відповідних характеристик, що виражаються елементами режиму вібраційного обкочування, розмірними параметрами елементів канавок, їх взаємним розміщенням.

Слід також відзначити, що запропонована класифікація містить підхід загальноприйнятої класифікації РМ згідно [3], зокрема за формою та видами канавок. (рис. 1).

Окрім цього ця класифікація дозволяє згенерувати велику кількість видів ЧРМ, що формуються на ТПТО як вібраційним та і ротаційним методами. Кожна із запропонованих класифікаційних ознак чинить суттєвий вплив на геометричні параметри сформованого ЧРМ і, відповідно, на експлуатаційні властивості поверхні, на якій він сформований.

Необхідно відзначити, що внаслідок певних особливостей кінематики формування ЧРМ для ТПТО, окрім параметрів регламентованих в ГОСТ 24773-81 запропоновані параметри, які враховують саме ці особливості технологічного процесу формування ЧРМ на ТПТО.

Такими особливостями кінематики технологічного процесу формування ЧРМ на ТПТО є формування осьових ліній неперервних регулярних мікронерівностей у вигляді концентричних кіл, Архімедової та золотої спіралей. Тому одним із головний ознак класифікації ЧРМ сформованих на ТПТО будуть рівняння цих ліній.

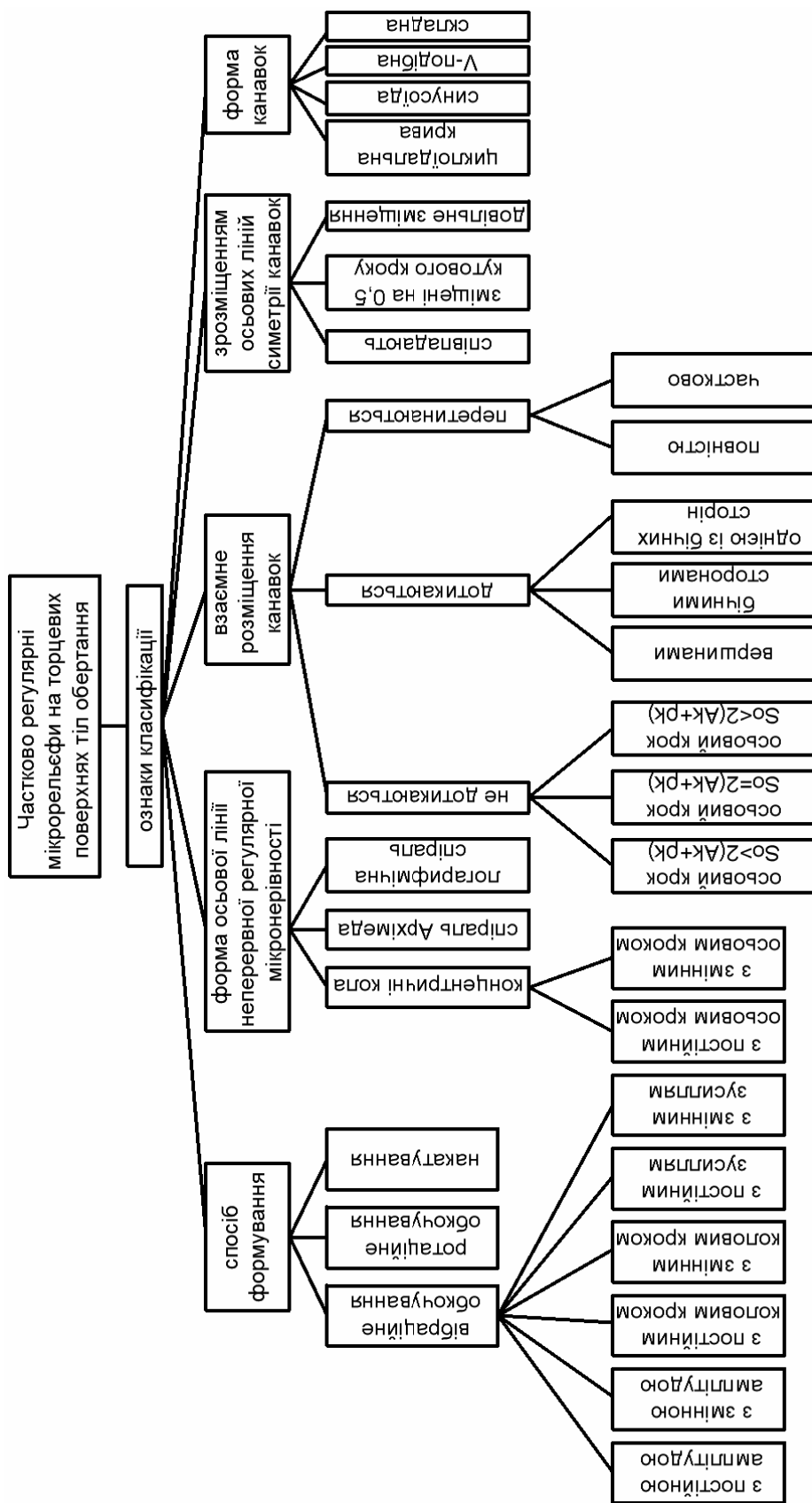


Рисунок 1 – Класифікація частково регулярних мікрорельєфів, сформованих на торцевих поверхнях тіл обертання
 Джерело: розроблено автором на підставі особисто

Враховуючи особливості кінематики формування ЧРМ на ТПТО, які полягають в одночасному здійсненні відповідних погоджених рухів: обертового ТПТО, зворотно-поступального (осциляційного) і радіального деформуючого елемента на різних відстанях від центра ТПТО, при однакових за величиною кутових кроках будуть різними колові кроки НРМ (рис. 2). У випадку, коли осьові лінії НРМ являють собою концентричні кола із різними радіусами, то такий параметр, як признак класифікації, осьовий крок S_o нерівностей може бути як постійним так і змінним.

Для осьових ліній НРМ у вигляді спіралей: логарифмічної чи Архімеда величини осьових кроків S_o будуть змінними або постійними відповідно.

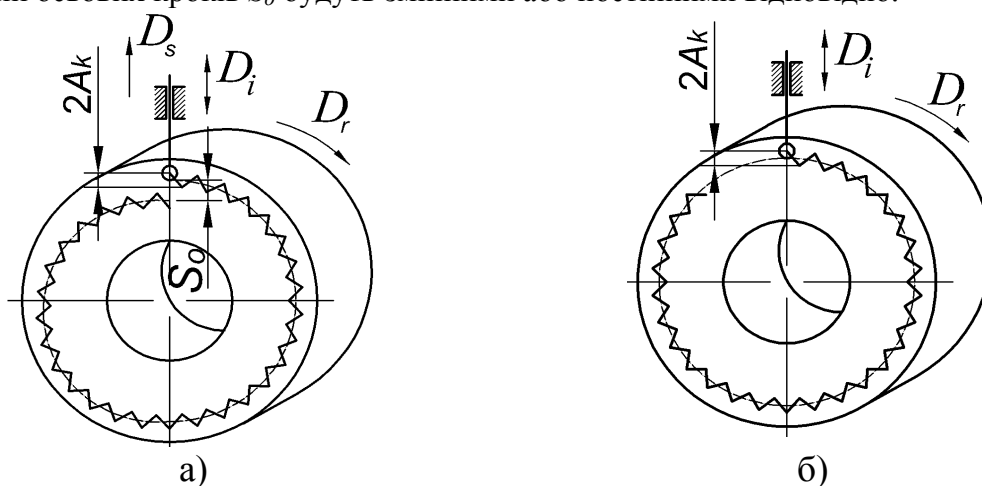


Рисунок 2 – Технологічні схеми формування ЧРМ на ТПТО із осьовими лініями неперервних регулярних мікронерівностей у вигляді: а) спіралі Архімеда; б) концентричного кола
Джерело: розроблено автором за підставі [3]

На основі вищеподаного, ЧРМ сформовані на ТПТО запропоновано додатково класифікувати за характером як дискретної зміни радіусів колових кроків осьових ліній НРМ при концентричних колах так і при постійній зміні радіусів осьових ліній НРМ, виконаних у вигляді золотої спіралі та спіралі Архімеда.

Окрім цього необхідно враховувати характер зміни величини кутових кроків ЧРМ.

Додаткова класифікація ЧРМ сформованих на ТПТО, за характером зміни радіусів концентричних кіл r_i і осьового кроку S_{oi} проілюстровано на рис. 3.

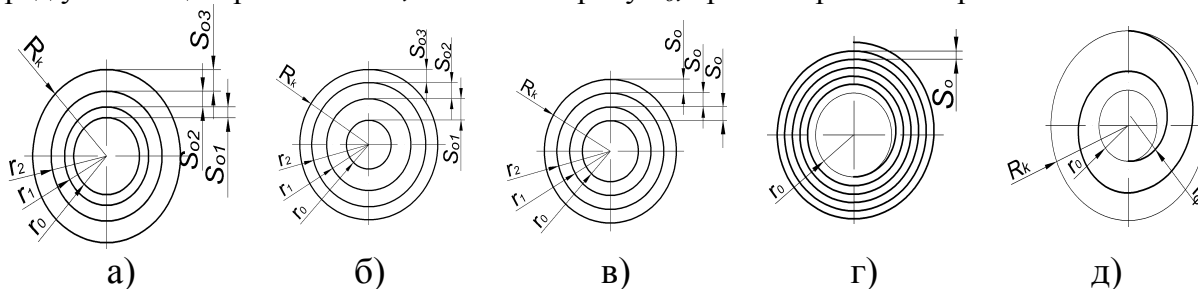


Рисунок 3 – Класифікація ЧРМ сформованих на ТПТО за характером дискретної і неперервної зміни радіусів r колових і спіральних осьових ліній НРМ і осьових кроків S_o
Джерело: розроблено автором особисто

У випадку виконання осьових ліній НРМ у вигляді концентричних кіл з дискретним змінним і зростаючим від центра ТПТО до периферії радіусом r_i і дискретно зростаючим осьовим кроком S_{oi} мікронерівностей (рис. 3.а), ознакою класифікації є умова $S_{o1} = r_1 - r_2 < S_{o2} = r_2 - r_1 < S_{o3} = R_k - r_2$

де S_{o1}, S_{o2}, S_{o3} – відповідно дискретно зростаючі осьові кроки, мм;
 r_1, r_2 – біжучі значення радіусів осьових ліній НРМ, мм;

r_o і R_k – відповідно найменше і кінцеве значення радіусів осьових ліній НРМ, які встановлюються на основі аналізу конструкції поверхні деталі, якій потрібно формувати ЧРМ.

У випадку виконання осьових ліній НРМ у вигляді концентричних кіл з дискретним змінним і зростаючим від центра ТПТО до периферії осьовим кроком S_o , (рис. 3.б) ознакою класифікації є умова: $S_{o1} = r_1 - r_2 > S_{o2} = r_2 - r_1 > S_{o3} = R_k - r_2$.

У випадку виконання осьових ліній НРМ у вигляді концентричних кіл з дискретним змінним і зростаючим від центра ТПТО до периферії радіусом r і постійним за величиною осьовим кроком $S_o = \text{const}$, (рис. 3.в) ознакою класифікації є умова: $S_o = r_1 - r_0 = r_2 - r_1 = R_k - r_2 = \text{const}$.

Для ЧРМ сформованих на ТПТО коли осьова лінія НРМ виконана у вигляді спіралі Архімеда з постійним осьовим кроком (рис.3.г) $S_o = \text{const}$ ознака класифікації набуде вигляду:

$$r_\phi = \frac{S_o \cdot \phi \cdot \pi}{180^\circ}; \quad \phi_o = \frac{r_o \cdot 180^\circ}{\pi \cdot S_o} \text{ (град)}; \quad \phi_k = \frac{r_k \cdot 180^\circ}{\pi \cdot S_o} \text{ (град)}; \quad z_{S_o} = \frac{(R_k - r_k) \cdot 180^\circ}{\pi \cdot S_o}.$$

де r_ϕ – біжуче значення радіуса осьової лінії НРМ виконаної у вигляді Архімедової спіралі;

z_{S_o} – кількість осьових кроків.

У випадку виконання осьових ліній НРМ у вигляді «золотої» спіралі Архімеда (рис.2.д) ознака класифікації матиме вигляд:

$$r = \frac{a \cdot \phi \cdot e^{0,3} \cdot \pi}{180^\circ}; \quad \phi_o = \frac{r_o \cdot 180^\circ}{0,3 \cdot a \cdot \pi} \text{ (град)}; \quad \phi_k = \frac{R_k \cdot 180^\circ}{0,3 \cdot a \cdot \pi} \text{ (град)}.$$

де a – постійна константа.

Висновки:

1. В результаті аналізу літературних джерел встановлено відсутність наукових досліджень і практичних реалізацій в області класифікації формування ЧРМР на ТПТО, що значно знижує якісні показники деталей машин з функціональними торцевими поверхнями.

2. Вперше запропонована класифікація ЧРМ сформованих на ТПТО, здійснена на основі особливостей кінематики технологічного процесу формування ЧРМ, яка може бути основою для створення математичних моделей ЧРМР і визначення відносної площі віброобкочування.

3. Вперше отримані аналітичні залежності для визначення параметра класифікації ЧРМ сформованого на ТПТО за характером зміни радіусів осьових ліній НРМ і їх осьових кроків.

Список літератури

1. Воронков Б. Д. Подшипники сухого трения. 2-е изд., перераб. и доп. Л.; Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. 224 с.
2. Устройство и эксплуатация газотурбинных установок : учебное пособие / под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. Тюмень : ТюмГНГУ, 2015. 434 с.
3. Шнейдер Ю. Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства. Л.: Машиностроение, 1972. 241 с.
4. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Машиностроение, 1982. 248 с.
5. Киричок П.О. Технологічне забезпечення якості та експлуатаційних властивостей виробів при оздоблювально-зміцнюючій обробці: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.02.08. Київ, 1995. 32 с.
6. Киричок П.О., Несхозівський А.В. Дослідження впливу параметрів микрорельєфу на якість обробки деталі експлуатаційні характеристики поліграфічного обладнання. *Технологічні комплекси*. 2007. № 3–4. С. 74–80.

7. Киричок П. О., Попов І. В. Класифікація пристроїв для оздоблювально-зміцнюючої обробки деталей поліграфічного обладнання. *Технологія і техніка друкарства : зб. наук. праць*. 2011. Вип. 2(32). С. 181–185.
8. Табенкин А.Н., Тарасов С.Б., Стаканов С.Н. Шероховатость, волнистость, профиль. *Международный опыт / под ред. канд. техн. наук Н.А. Табачниковой*. СПб.: Изд-во Политехн, ун-та, 2007. 136 с.

References

1. Voronkov, B.D. (1979). *Dry friction bearings*. (2nd ed.). Leningrad: Mashinostroenie [in Russian].
2. Zemenkova, Yu.D (Eds.). (2015). *The device and operation of gas turbines*. Tjumen' : TjumGNGU [in Russian].
3. Schneider, Yu. G. (1972). *Obrazovanie reguljarnyh mikrorel'efov na detaljah i ih jekspluatacionnye svoystva*. [Formation of regular microreliefs on details and their operational properties]. Leningrad: Mashinostroenie [in Russian].
4. Schneider, Yu.G. (1982). *Operational properties of details with a regular microrelief*. (2nd ed.). Leningrad: Mashinostroenie [in Russian].
5. Kuruchok, P.O. (1995). Tekhnologichne zabezpechennia yakosti ta ekspluatatsijnykh vlastyvostrych vyrobiv pry ozdobljuval'no-zmitsniuiuchij obrobtisi [Technological assurance of quality and operational properties of products at finishing and strengthening processing]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" [in Ukrainian].
6. Kuruchok, P.O. & Neskhozievsky, A.B. (2007). Doslidzhennia vplyvu parametriv mikrorel'iefu na yakist' obrobky detalii ekspluatatsijni kharakterystyky polihrafichnoho obladnannia [Investigation of the influence of microrelief parameters on the quality of detail processing and operational characteristics of printing equipment]. *Tekhnologichni komplekxy – Technological complexes, Vol.3–4*, 74–80. [in Ukrainian].
7. Kyrychok, P.O. & Popov, I.V. (2011). Klyasyfikatsiia prystroiv dlia ozdobljuval'no-zmitsniuiuchoi obrobky detalii polihrafichnoho obladnannia [Classification of devices for finishing and strengthening processing of details of printing equipment]. *Tekhnologhiia i tekhnika drukarstva : zb. nauk. prats' – Technology and printing technology: a collection of scientific papers, Vol. 2 (32)*, 181–185. [in Ukrainian].
8. Tabenkin, A.N., Tarasov, S.B. & Stakanov, S.N. (2007). *Roughness, undulation, profile. International experience*. N.A. Tabachnikovo (Ed.). SPb.: Izd-vo Politehn, un-ta [in Russian].

Volodymyr Dzyura, Assoc. Prof., PhD tech sci.

Ternopil Ivan Puluji National Technical University, Ternopil, Ukraine

Classification of Partially Regular Microreliefs Formed on the End Surfaces of Rotary Bodies

The aim of the article is to classify partially regular microreliefs that are formed on the end surfaces of rotating bodies.

The article analyzes the known classifications of regular microreliefs in scientific publications and regulations. The parameters by which regular microreliefs are classified and their characteristics are analyzed. The lack of information on the classification of partially regular microreliefs formed on the end surfaces of rotating bodies as a new class of microreliefs has been established. The proposed classification reveals a set of options for the implementation of partially regular microreliefs formed on the end surfaces of bodies of rotation and their characteristics.

For the first time the classification of partially regular microreliefs that are formed on the end surfaces of rotating bodies is offered, carried out on the basis of features of kinematics of technological process. It can be a basis for creation of their mathematical models and definition of the relative area of vibro-rolling.

Signs of classification are proposed to take: methods of forming a partially regular microrelief; the shape of the centerline of continuous regular micro-irregularities; mutual arrangement of adjacent grooves; mutual placement of axial lines of continuous regular micro-inequalities; groove shapes.

Each of these features is divided into certain sub-features, which consist of the corresponding characteristics, which are expressed by the elements of the mode of vibration rolling, the dimensional parameters of the elements of the grooves, their mutual placement.

For the first time, analytical dependences were obtained to determine the parameter of partially regular microreliefs classification formed on the end surfaces of rotating bodies by the nature of the change in the radii of the axial lines and their axial steps.

partially regular microrelief, groove, profile, classification, parameter, feature

Одержано (Received) 23.07.2020

Прорецензовано (Reviewed) 10.08.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020