

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СПАДКОВОСТІ НА ЯКІСТЬ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ

В роботі проведений аналіз взаємозв'язків геометричної форми, хвилястості та шорсткості поверхневого шару та їх вплив на технологічні режими операцій оброблення. Проведені дослідження, які встановлюють механізм та структурну схему технологічної спадковості параметрів поверхневого шару. Встановлені початкові раціональні мікрогеометричні параметри стану поверхневого шару для досягнення необхідних параметрів функціональних поверхонь кілець роликопідшипників.

Ключові слова: шорсткість, хвилястість, макровідхилення, технологічна спадковість.

A.A. TKACHUK, S.A. MOROZ, A.Y. RESHETYLO

Lutsk National Technical University

IMPACT OF TECHNOLOGICAL HEREDITY QUALITY SURFACE FUNCTIONAL RINGS ROLLER

Abstract – The aim of the publication is to establish relationships past operations and conversions process manufacturing cycle for the formation of quality work surfaces roller rings.

The paper analyzed the relationships of geometric shapes, waviness and roughness of the surface layer and its influence on technological modes of processing operations. These empirical formula for determining the parameters microgeometry work surfaces roller rings, including roughness and height of the waves. During the experiments scheduling changes microprofile surface during finishing smoothing treatment regimes. Past studies that establish the mechanism and structural scheme of heredity parameters of the surface layer.

Installation initial rational microgeometry parameters of the surface layer, including roughness parameters to achieve the required functional surfaces roller rings.

Keywords: roughness, waviness, macro deviation, technological heredity.

Вступ

Безперервне зростання вимог до якості при постійному ускладненні конструкцій та умов експлуатації роликопідшипників диктує необхідність постійного вдосконалення апарату визначення та опису трансформації властивостей роликопідшипникових виробів в процесі їх виготовлення. Експлуатаційні характеристики роликопідшипників залежать від фізико-механічних властивостей матеріалу, стану поверхневого шару, а також від параметрів мікротопографії поверхні, точності лінійних та кутових розмірів деталей [1, 2].

Вивчення шляхів досягнення необхідної якості поверхні з метою стабілізації експлуатаційних властивостей зазвичай обмежуються розглядом методів та умов виконання операції, яка завершує технологічний процес обробки деталі. Таким чином, не враховується вплив результатів попередніх операцій і переходів технологічного циклу на формування якості робочих поверхонь кілець роликопідшипників.

Експериментальна частина

Під час аналізу взаємозв'язків геометричної форми, хвилястості та шорсткості поверхневого шару припускають, що вихідні нерівності поверхні деталі (макровідхилення, хвилястість, шорсткість) призводять до утворення нерівномірної глибини різання і, як наслідок, до зміни сил різання та вимушених коливань ріжучого інструменту відносно заготовки [3]. Природно, що ці коливання будуть здійснювати вплив на утворення мікрорельєфу поверхні під час операцій фінішного оброблення [4, 5].

Для механічного оброблення, таке твердження, описується наступними рівняннями:

1) Оброблення лезовим інструментом:

$$\left(\varphi \geq \arcsin \frac{S}{2r} \text{ та } \varphi_1 \leq \arcsin \frac{S}{2r} \right);$$

$$Rz = 2(1 - \cos \varphi_1) + \sin \varphi_1 \left[S \cos \varphi_1 - \sqrt{S \sin \varphi_1 (2r - S \sin \varphi_1)} \right] +$$

$$+ \frac{C_{py} S_{py}^Y v_{py}^Z}{j_{ВПД}} \left[HB_{\max}^n t_{py}^X - HB_{\min}^n (1 - Rz_{вух})^X \right] + \frac{\rho \left(1 - \frac{\tau_{zc}}{\sqrt{2\tau_{zc}^2 + \sigma_T^2}} \right)}{\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi} + \frac{2r}{S}} + Rz_{инст} \quad ; \quad (1)$$

$$Wz = \frac{C_{py} S_{py}^Y v_{py}^Z}{j_{ВПД}} \left[HB_{\max}^n t_{py}^X - HB_{\min}^n (t - Wz_{вух} - Rz_{вух})^X \right] + 2C_0 \left\{ 1 + \cos \left[(C - 1) \frac{180}{C} \right] \right\}; \quad (2)$$

де φ та φ_1 – головний та допоміжний кути ріжучого інструменту відповідно; r – радіус при вершині ріжучої частини інструменту; S – подача; $C_{py}, Y_{py}, Z_{py}, X_{py}$ – коефіцієнти; v – швидкість різання; t –

глибина різання; $Rz_{вих}$ – вихідна середня висота профілю шорсткості; HB_{max} та HB_{min} – коливання твердості заготовки; $j_{ВПД}$ – жорсткість технологічної системи; ρ – радіус округлення ріжучої кромки інструменту; τ_{zc} та σ_m – межа стійкості зсуву та межа текучості оброблюваного матеріалу; $Rz_{інст}$ – середня висота нерівностей профілю шорсткості вершини ріжучого інструменту; $Wz_{вих}$ – вихідна висота хвиль; C_0 – амплітуда головного коливання вздовж осі Y .

$$C_0 = \frac{C_{py} S_{py}^Y v_{py}^Z \left[HB_{max}^n t_{py}^X - HB_{min}^n (t - Wz_{вих} - Rz_{вих})^X \right]}{2 j_{ВПД}} \quad (3)$$

C – замітник раціонального дробу.

2) Оброблення алмазно-абразивним інструментом:

$$Rz = 10^3 \xi \left(N \frac{B}{S_{noz}} - 1 \right) \left\{ t - \frac{P_y}{j_{ВПД}} - \frac{P_y}{S_{noz}} \frac{[E_2(1 - \mu_1^2) + E_2(1 - \mu_2^2)]}{\pi E_1 E_2} \cdot \ln \frac{4 \pi E_1 E_2 \left(\frac{D}{2} + \frac{d}{2} \right)}{\frac{P_y}{S_{noz}} [E_1(1 - \mu_2^2) + E_2(1 - \mu_1^2)]} + \frac{l^2 \left(1 \pm \frac{v_d}{v_{кр}} \right)}{4D} \right\} + \quad (4)$$

$$+ \left(1 - \frac{\tau_{zc}}{\sqrt{\tau_{zc}^2 + \sigma_T^2}} \right) \left[2S + r \left(1 - \frac{\tau_{zc}}{\sqrt{\tau_{zc}^2 + \sigma_T^2}} \right) \right]$$

$$Wz = \frac{\Delta P_y [E_2(1 - \mu_1^2) + E_1(1 - \mu_2^2)]}{\pi B E_1 E_2} \cdot \ln \frac{2 \pi B E_1 E_2 (D + d)}{\Delta P_y [E_2(1 - \mu_1^2) + E_1(1 - \mu_2^2)]} + \frac{\Delta P_y}{j_{ВПД}} + \quad (5)$$

$$+ A_{кр} \left\{ 1 - \cos \left[13,2 \frac{v_D}{f_1} \sqrt{\frac{1}{A_{кр}} \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right)} \right] \right\}$$

де ξ – коефіцієнт, що залежить від концентрації абразивних зерен (див. табл. 1); N – число проходів; B – ширина шліфувального круга; S_{noz} – поздовжня подача; P_y – нормальна складова сили різання; E_1, μ_1 та E_2, μ_2 – модуль пружності та коефіцієнт Пуассона зв'язки круга та заготовки відповідно; D та d – діаметр шліфувального круга та деталі відповідно; v_d – швидкість деталі, м/хв; $v_{кр}$ – швидкість круга, м/с; l – середній крок між зернами інструменту; «+» – для зовнішнього шліфування; «-» – для внутрішнього шліфування; ΔP_y – різниця нормальних сил, що діють на ріжуче зерно; $A_{кр}$ та f_1 – амплітуда та частота биття шліфувального круга відповідно.

Таблиця 1

Концентрація абразивних зерен

Концентрація зерен, %	50	100	150	200	250	300
ξ	0,96	0,9	0,86	0,82	0,78	0,75

3) Зміцнювально-вигладжувальне оброблення поверхневим пластичним деформуванням:

$$Rz = \frac{S^2}{2R} + Rz_{вих} \left\{ 1 - 3 \left[\frac{1200 P (1 + f^2)^{0,3}}{\pi R H \mu_{вих} (h_{прон} - h_{пруж})} \right] \right\}^{0,05} \quad (6)$$

$$Wz = Wz_{вих} - \left(\frac{9P Ra_{вих}^2}{\pi R H \mu_{вих}} \right)^{1/4} + 1,4 (1 + f^2) \Delta p^{0,5} \left[\frac{4 j_{ВПД}}{\pi R H \mu_{вих} (h_{прон} - h_{пруж})} \right]^{0,5} + \quad (7)$$

$$+ h_{прон} - R \left[1 - \frac{f \left(\sqrt{\frac{h_{прон}}{2} + 1} \right)}{\sqrt{\left(\frac{h_{прон}}{8R} + 1 \right) \cdot (1 + f^2)}} \right]$$

де R – профільний радіус індентора; f – коефіцієнт тертя-ковзання; P – прикладене зусилля вигладжування; $h_{прон}$ – величина проникнення індентора в заготовку;

$$h_{\text{прон}} = \left\{ Rz_{\text{вих}} \left[\frac{\pi R (\pi P HB_{\text{вих}})^{0,5}}{2} - \frac{2P(1+f^2)^{0,5}}{\pi R HB_{\text{вих}}} \right] \right\}; \quad (8)$$

$h_{\text{пруж}}$ – пружне відновлення;

$$h_{\text{пруж}} = \frac{11(\pi HB_{\text{пруж}})^{0,5}}{32E}; \quad (9)$$

ΔP – биття поверхні індентора.

На підставі аналізу рівнянь оброблення лезовим, алмазно-абразивним та вигладжувальним інструментом очевидно, що при лезовому обробленні формування шорсткості залежить від вихідної шорсткості $Rz_{\text{вих}}$ та коливань вихідної твердості поверхневого шару HB_{max} , HB_{min} . Хвилястість залежить від її початкової величини, від $Rz_{\text{вих}}$, та зміни поверхневої мікротвердості. Початкові макровідхилення мають часткову спадковість при наступному обробленні й залежать від початкових фізико-механічних параметрів поверхневого шару, а саме твердості та глибини залягання залишкових напружень: $(H\mu_0, h\mu, \sigma_0, h\sigma_0)$. Формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару під час лезового оброблення значною мірою залежить від їх початкового стану.

Теоретична залежність, яка характеризує ступінь зміцнення має вигляд:

$$u = \frac{m}{0,6H\mu_{\text{вих}}} \left(\frac{4}{\pi} \right)^{n/2} \left[\rho \arccos \left(\frac{\tau_{3c}}{\sqrt{\tau_{3c}^2 + \sigma_T^2}} \right) + h_3 \right] 2r \arccos \left(1 - \frac{Rz}{r} \right), \quad (10)$$

де m та n – коефіцієнти (табл. 2); $H\mu_{\text{вих}}$ – вихідна поверхнева мікротвердість; h_3 – знос задньої поверхні індентора.

Таблиця 2

Залежність коефіцієнтів від марки оброблюваного матеріалу

Оброблювана сталь	20	45	45X	18ХН3А	34ХН	3Х13	ШХ15
m	44	56	63	135	75	61	40
n	2,32	2,32	2,32	2,31	2,29	2,31	2,26

Попередні ступінь та глибина зміцнення мають безпосередній вплив на поверхневі залишкові напруження, які виникають в результаті оброблення функціональних поверхонь. Початкові нерівності викликають коливання силового та температурного впливів на різних ділянках оброблюваної поверхні, отже й нерівномірності структури і формування поверхневих залишкових напружень. Оскільки попереднє лезове оброблення виконується з великою подачею і глибиною різання та, як правило, вищою швидкістю різання, ніж у випадку зміцнювального оброблення, то під час ППД характерне утворення високих ступенів зміцнення і значних глибин зміцненого шару. Відповідно, при кожному наступному обробленні, в залежності від глибини різання, силові та температурні показники спричиняють безпосередній вплив на зміцнення поверхні. Очевидно, що це буде викликати зміну картини перебігу процесу ППД.

На практиці важливе не тільки встановлення спадковості того чи іншого параметра від попередньої технологічної операції до наступної, але й взаємозв'язок цих параметрів та їх подальша еволюція в ході технологічного циклу виготовлення кілець роликотідшипників [1, 3].

Природно, що встановлення коефіцієнтів спадковості і трансформації властивостей має зміст тільки у випадку коли виявлена спадкова природа явища. Технологічна спадковість параметрів якості поверхневого шару під час лезового оброблення схематично показано на рис. 1 а.

У разі абразивного однопрохідного оброблення картина технологічної спадковості якості поверхневого шару аналогічна лезовому обробленню. Процес шліфування виконується за декілька проходів, зазвичай з подальшим виходжуванням, тому вихідна шорсткість поверхні буде мати безпосередній вплив на подальше її формування, формула (4).

Початкові нерівності поверхневого шару в процесі шліфування можуть викликати більш суттєвий вплив на фізико-механічні властивості поверхневого шару. Це пояснюється тим, що вихідні нерівності величиною 0,01 мм (тобто в межах шорсткості $Rz=10$ мкм) викликають значне коливання фактичної глибини шліфування при її значеннях 0,01...0,02 мм, відповідно й різницю температурного та силового впливу на сусідні ділянки оброблюваної поверхні. Параметри хвилястості та макровідхилення частково успадковуються від їх вихідної величини. Окрім того, утворення макровідхилень буде залежати від вихідних фізико-механічних параметрів поверхневого шару, так само як і для випадку лезового оброблення. Особлива технологічна спадковість проявляється під час плосковершинного абразивного оброблення, полірування, суперфінішу коли припуск на оброблення знаходиться в межах вихідної висоти нерівностей шорсткості. Загальна схема технологічної спадковості параметрів якості поверхневого шару при алмазно-абразивному обробленні показана на рис. 1 б.

Під час зміцнювально-вигладжувального оброблення поверхневим пластичним деформуванням картина технологічної спадковості параметрів якості поверхневого шару буде значно відрізнятися від лезового та алмазно-абразивного оброблення. У зв'язку з тим, що оброблення відбувається не за рахунок зрізання поверхневого шару, а за рахунок пластичних деформацій, то навіть незначна зміна прикладеного зусилля внаслідок наявності вихідних нерівностей буде викликати значні зміни робочого тиску. Це особливо актуально для жорстких схем вигладжування.

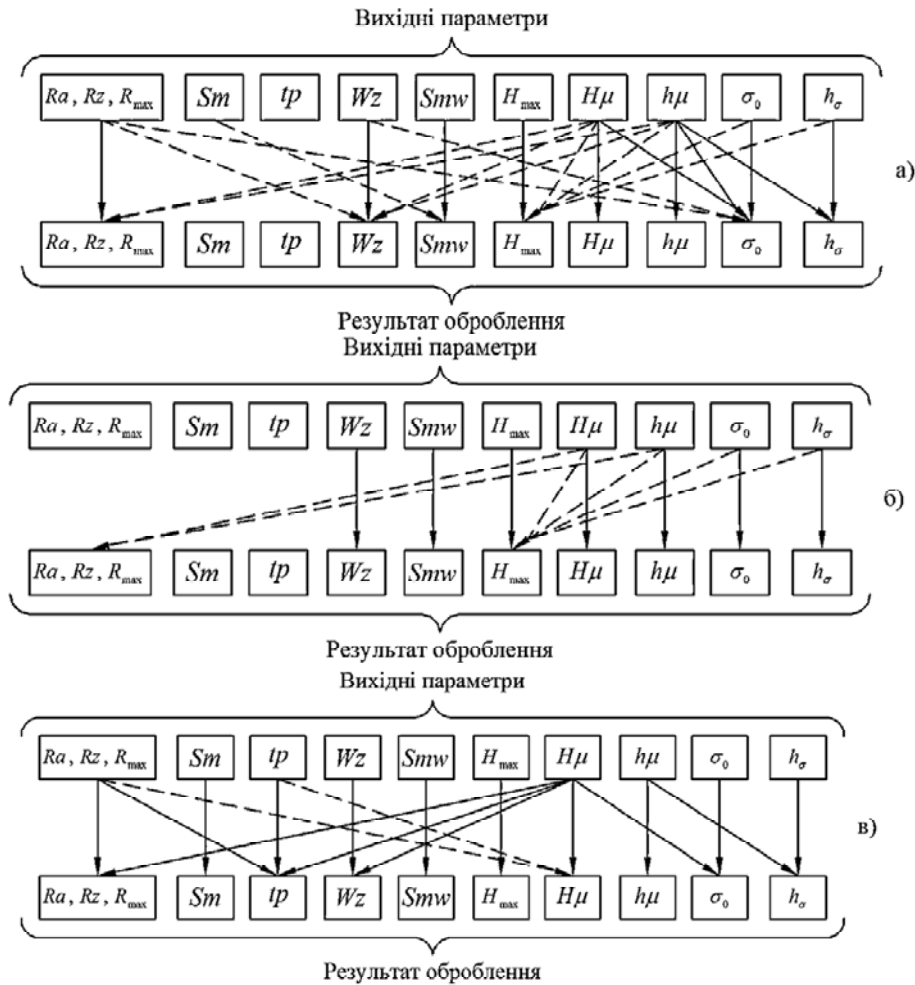


Рис. 1. Прояви технологічної спадковості параметрів якості поверхневого шару: — — основна спадковість; --- вторинна спадковість; а) лезове оброблення; б) алмазно-абразивне оброблення; в) зміцнювально-вигладжувальне оброблення

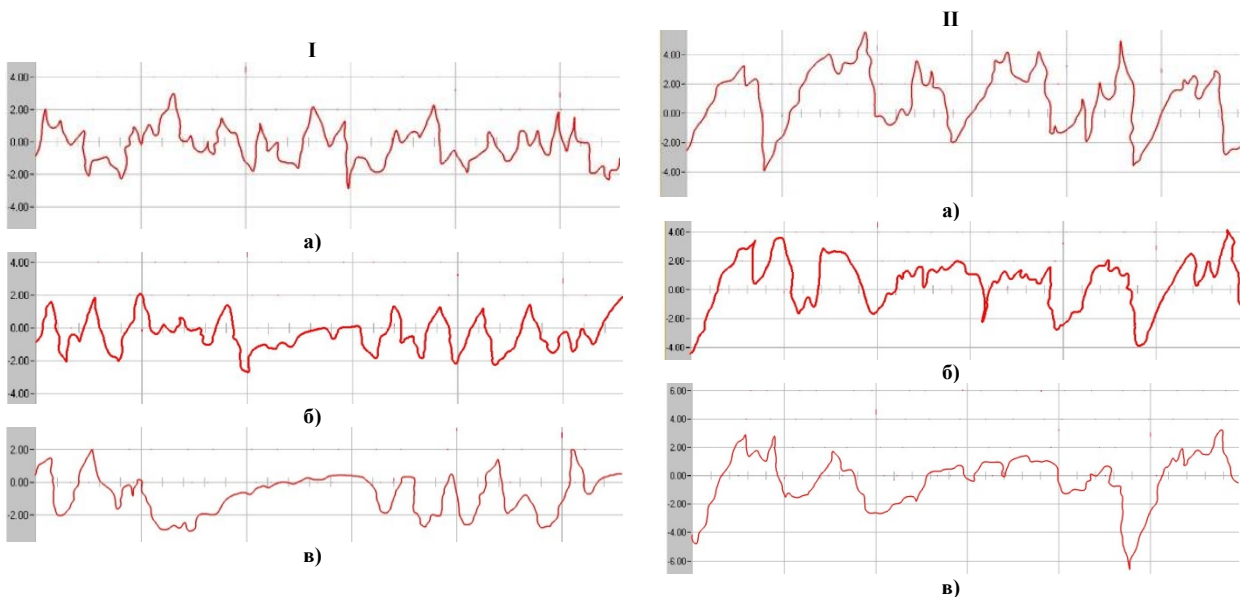


Рис. 2. Зміна мікропрофілю поверхні під час зміцнювально-вигладжувальних режимів оброблення: I— $Ra = 1,0 \text{ мкм}$; II— $Ra = 2,0 \text{ мкм}$; а) $P = 10 \text{ Н}$;б) $P = 50 \text{ Н}$;в) $P = 150 \text{ Н}$

Зміну вихідної шорсткості під час статичного втискання індентора показано на рис. 2. Аналіз рисунка дає право стверджувати, що при однаковій робочій силі, формоутворення шорсткості регламентується її вихідною величиною. Це стосується як висотних (Ra, Rz, R_{\max}), так і крокових (Sm) та опорних (tp) параметрів.

При зміцнювально-вигладжувальному обробленні параметром tp можна керувати за рахунок режимів оброблення з урахуванням вихідного значення шорсткості. При цьому для збільшення tp при однакових режимах ППД необхідно мати високе значення вихідної висоти параметрів шорсткості (Ra, Rz, R_{\max}). Окрім того, утворена шорсткість буде залежати від вихідного значення поверхневої мікротвердості $H\mu_{вих}$. Варто відмітити, що такий механізм технологічної спадковості справедливий тільки для невеликих робочих зусиль, тобто оздоблювальні режими поверхневого пластичного деформування. В ході оброблення на зміцнювальних режимах за рахунок пластичного деформування відбувається повне переформування вихідної шорсткості (рис. 3).

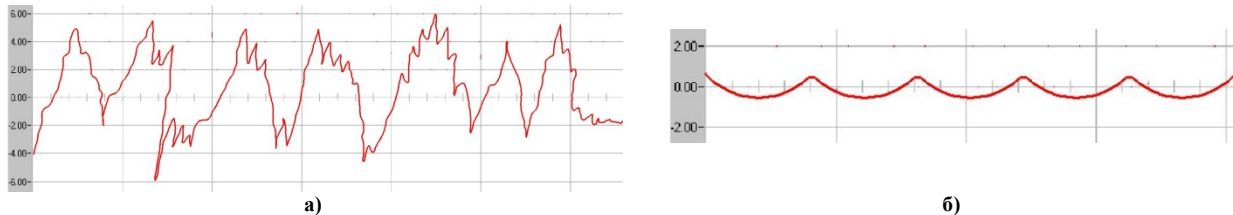


Рис. 3. Зміна мікропрофілю поверхні під час зміцнювальних режимів оброблення: а) вихідний мікропрофіль; б) сформований мікропрофіль;

Хвилястість під час ППД значною мірою залежить від її вихідної величини, вихідної шорсткості та мікротвердості поверхні, формули (6), (7). Макровідхилення практично не змінюють свою форму і копіюються, тобто в повній мірі проявляється явище технологічної спадковості.

Фізико-механічні властивості поверхневого шару залежать від їх вихідного стану та вихідних нерівностей оброблюваної поверхні.

Залежність, яка характеризує ступінь зміцнення при ППД має вигляд:

$$u = \frac{m}{0,6H_{вих}} \left(\frac{4}{\pi} \right)^{n/2} \left[\frac{\pi}{R} \left(\frac{h_{нл}}{Ra_{вих}} \right)^2 h_{прон} \left(1 - \frac{\arccos \frac{S - a_{нл}}{a_{нл}}}{180^\circ} \right) \right]^{\left(\frac{n}{2} - 1 \right)}, \quad (11)$$

де $h_{нл}$ – величина пластичного проникнення індентора в поверхню,

$$h_{нл} = \frac{a_{нл}^2}{2R}, \quad (12)$$

де $a_{нл}$ – радіус пластичного відбитка.

$$a_{нл} = \left(\frac{P}{\pi H \mu_{вих}} \right)^{0,5}. \quad (13)$$

Висновки

В ході оброблення на оздоблювальних режимах по вершинах нерівностей ступінь зміцнення буде більшим ніж у впадинах. Це стосується макровідхилень, хвилястості та шорсткості. Під час оброблення на зміцнювальних режимах поверхнева мікротвердість на всіх ділянках вирівнюється.

Схематично технологічна спадковість параметрів якості поверхневого шару деталей представлена на рис. 1 в. Аналіз показує, що з усіх методів механічного оброблення технологічна спадковість має найяскравіший прояв при ППД на викінчувальних режимах.

Описаний механізм та представлена структурна схема технологічної спадковості параметрів поверхневого шару підтверджено результатами експериментальних досліджень, які показали, що під час проектування технологічного процесу доцільно дотримуватись наступного правила: кожне наступне оброблення зменшує вихідні параметри шорсткості в 2...6 разів, однак не змінює їх порядок та форму. Наприклад, для виготовлення зовнішньої функціональної поверхні роликотидшипника з параметрами шорсткості $Ra = 0,05...0,08$ мкм, а заготовку виготовлено штампуванням, то необхідно передбачити наступні технологічні операції:

Точіння: чорнове – $Ra = 40...60$ мкм; чистове – $Ra = 2,9...3,0$ мкм;

Шліфування: чорнове – $Ra = 0,6...1,0$ мкм; чистове – $Ra = 0,16...0,2$ мкм;

Суперфініш: – $Ra = 0,05...0,08$ мкм .

Представлені дані розкривають механізм технологічної спадковості, а також вплив попередніх методів оброблення на формування якості поверхневого шару.

Література

1. Ящерицин П.И. Технологическая и эксплуатационная наследственность и её влияние на долговечность машин / П.И. Ящерицин, Ю.В. Скорыпин. – Минск : Наука и техника, 1978. – 119 с.
2. Спришевский А.И. Подшипники качения : [справочное пособие] / Спришевский Александр Иванович. – М. : Машиностроение, 1968. – 631 с.
3. Прилуцкий В.А. Технологические методы снижения волнистости поверхностей / Прилуцкий Ванцетти Александрович – М. : Машиностроение, 1978. – 136 с.
4. Заблоцкий В.Ю. Про вплив технологічної спадковості на експлуатаційні характеристики кілець роликотішипників / В.Ю. Заблоцкий // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"). – Вип. 15 (грудень, 2004). – Луцьк, 2004. – С. 91–100.
5. Мороз С.А., Дослідження мікрогеометричних параметрів поверхні деталі після зміцнювально-вигладжувального оброблення / С.А. Мороз, В.В. Пташенчук // Вісник Хмельницького національного університету серія: Технічні науки. – Вип. № 2 (199). – Хмельницький, 2013. – С. 62–65.

References

1. Yashheritsin P.I. Tekhnologicheskaya i ehkspluatatsionnaya nasledstvennost' i eyo vliyanie na dolgovechnost' mashin. Minsk, Nauka i tekhnika, 1978, 119p.
2. Sprishevskij A.I. Podshipniki kacheniya. Spravochnoe posobie. Moskva, Mashinostroenie, 1968, 631p.
3. Prilutskij V.A. Tekhnologicheskije metody snizheniya volnistosti poverkhnostej. Moskva, Mashinostroenie, 1978, 136 p.
4. Zablotskiy V.Yu. Pro vplyv tekhnolohichnoi spadkovosti na ehkspluatatsiini kharakterystyky kilets rolykopidshypanykiv, Naukovi notatky: Mizhvuzivskiyi zbirnyk (za napriamom "Inzhenerna mekhanika"), Issue 15, Lutsk, 2004, pp. 91-100.
5. Moroz S.A., Ptashenchuk V.V. Doslidzhennia mikroheometrychnykh parametriv poverkhni detali pislia zmitsniuvalno-vyhladzhuvalnoho obrobлення, Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu seriia: Tekhnichni nauky, Khmelnytskyi, 2013, Issue 2 (199), pp. 62-65.

Рецензія/Peer review : 19.1.2014 р. Надрукована/Printed :7.2.2014 р.
Рецензент: д.т.н., професор кафедри приладобудування Марчук В.І.