

УДК 621.951.3

Р.С. Яким¹, Б.М. Гевко², І.С. Яким³Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу³

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ЦАПФ ЛАП ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ З ГЕРМЕТИЗОВАНОЮ ОПОРОЮ КОВЗАННЯ

Аналізується точність та сталість в часі механічного токарного оброблення в кінцевий розмір опор ковзання цапф лап герметизованих тришарошkových бурових доліт у єдиному процесі автоматизованого точіння. Запропоновано методіку балансування верстатного пристрою що забезпечує задані показники якості при обробленні опорних поверхонь цапфи лапи які наплавлені зносостійким сплавом типу „Stellite”. За допомогою балансуєчого пристрою CX Balancer, при точінні цапфи лапи можна досягнути мінімальних відхилень у співвідношенні між елементами опори. Функціональні можливості та технологічні показники верстама SPV 40 CNC забезпечують автоматизацію балансування верстатного пристрою для точіння цапф лап герметизованих тришарошkových бурових доліт.

Ключові слова: точність, токарне оброблення, балансування

R. Yakym, B. Hevko, I. Yakym

TECHNOLOGICAL GUARANTEE OF MECHANICAL TREATMENT QUALITY OF ARM PINS OF THREE-CONE ROCK BITS WITH SEALED BEARING

Accuracy and time constancy of the final mechanical turning of arm pin sliding bearings of sealed three-cone rock bits during the single automatic turning process are analyzed. The main stages of preparing and performance of 215.9 FS3UT275 rock bit arm pin mechanical treatment on the SPV 40 CNC machine-tool are described. The machine-tool device balancing technology which ensures preset indices in the process of turning of arm pin bearing surfaces fused with wear-proof "Stellite" alloy is offered. Block-chart of program algorithm of machine-tool device balancing and scheme of test weight adding for establishing equilibrium are shown. The accuracy level of mechanical turning of peripheral journal of rock bit arm pin plain bearing is estimated. The method of small samplings is used for statistical estimation of got test results because it can give the opportunity to watch dynamics of machining accuracy and time variation. Point-by-point diagram of diameters deviation scattering of plain bearing peripheral journal of rock bit arm pin after studied final turning into the size is constructed on the basis of experimental data. Statistical computations for estimation of machined surface diameters deviation are performed. The comparison of sample variances in average ones is performed for estimation of deviation scattering stability. Student's distribution is used for estimation of the machining process stability. Total accuracy of turning process and field adjustment and also accuracy coefficient of tuning process arranging are computed. Analyzing got data it is defined that the turning process is stable in time either relating to scattering or field adjustment. Analyzing the arm pins surfaces design parameters set up during the process of automatic machining, it is determined that the least deviations can be got in the coaxial between bearing parts with the help of CX Balancer device. Functional capabilities and technical characteristics of SPV 40 CNC machine-tool ensure automation of balancing of machine-tool device for sealed three-cone rock bit arm pin turning.

Key words accuracy, deviation, diameter, turning, balancing.

Постановка проблеми. Тришарошкові бурові долота з герметизованою опорою ковзання є одними з найскладніших виробів долотного виробництва. Особливості експлуатації таких доліт ставлять задачу перед сучасним долотобудуванням забезпечити високу точність спряжених елементів їхніх опор. В технологічному процесі виготовлення доліт однією з основних визначальних операцій є механічне оброблення елементів опор. Тому розробка й впровадження нових високоефективних підходів й технологій з метою підвищення якості таких технологічних операцій є важливою і актуальною науково-практичною задачею вітчизняного долотобудування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні підвищення якості механічного оброблення цапф лап тришарошkových бурових доліт здійснюється шляхом застосуванням високопродуктивних комп'ютеризованих оброблювальних центрів та спеціального високоєфективного інструмента. За останні роки, на базі ВАТ „Дрогобицький долотний завод”, а сьогодні на ТОВ „УніБурТех”, використовуючи світовий досвід долотобудування, здійснено важливі кроки у розробці та впровадженні нових високоефективних підходів та технологій у підвищенні якості механічного оброблення цапф лап [1 - 4]. Тим не менше, налагодження технологічних операцій механічного оброблення цапф лап сучасних герметизованих бурових доліт виявило низку проблем. В долотах з герметизованою опорою ковзання відповідальні поверхні цапфи лапи зміцнюються наплавленням зносостійких матеріалів, наприклад сплавом типу „Stellite” (рис. 1). Зокрема, у навантаженій ділянці цапфи лапи на поверхні опори периферійного підшипника ковзання виконується наплавлення у вигляді сегмента. У результаті механічному

обробленню точінням підлягають поверхні із різко відмінними фізико-механічними показниками. Це висуває комплекс вимог щодо верстатів, інструменту та устаткування. Практика оброблення таких деталей на верстаті з ЧПК моделі TV650/4 фірми „DANOBAT” (Іспанія) не давала стабільності якісних конструкторських показників. Отримували поломку інструмента (різальних твердосплавних пластин) та велику кількість браку через значні відхилення конструкторських параметрів оброблених цапф лап.

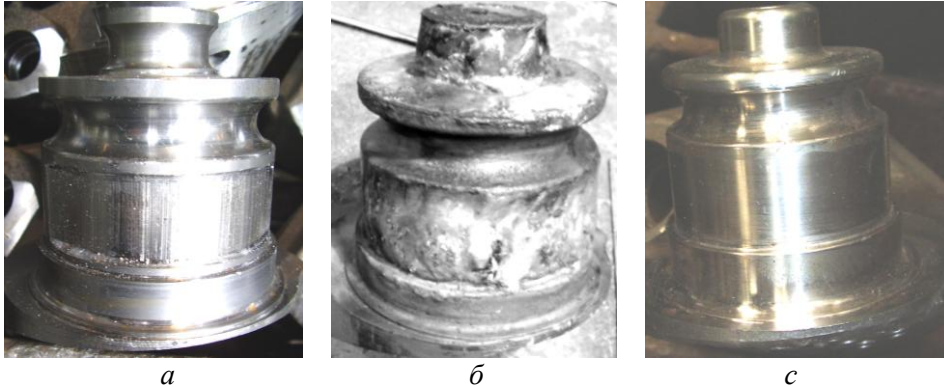


Рисунок 1 – Загальний вигляд заготовки цапфи лапи тришарошкового долота 215,9 FS3 UT275 із навантаженої сторони, на якій є ділянка периферійного підшипника що наплавляється зносостійким матеріалом:

- а – заготовка цапфи лапи підготовлена для наплавлення зносостійким матеріалом,
б – заготовка цапфи лапи після наплавлення зносостійким матеріалом,
с – заготовка цапфи лапи після кінцевого точіння.**

Аналізом встановлена недосконалість технології балансування верстатних пристроїв, через що виникали непрогнозовані вібрації заготовки при її обробленні. Тому вивчали рівень точності та стабільності токарного оброблення елементів цапф лап на верстаті SPV 40 CNC, який дозволяє автоматизувати процес балансування верстатного пристрою та здійснювати автоматизоване оброблення цапфи лапи з одного установу й з високою точністю оцінювати геометричні параметри оброблених поверхонь (рис. 2).

Мета роботи. Встановлення можливості забезпечення точності та стабільності отримання заданих конструкторських показників опор ковзання цапф лап у єдиному процесі автоматизованого точіння.

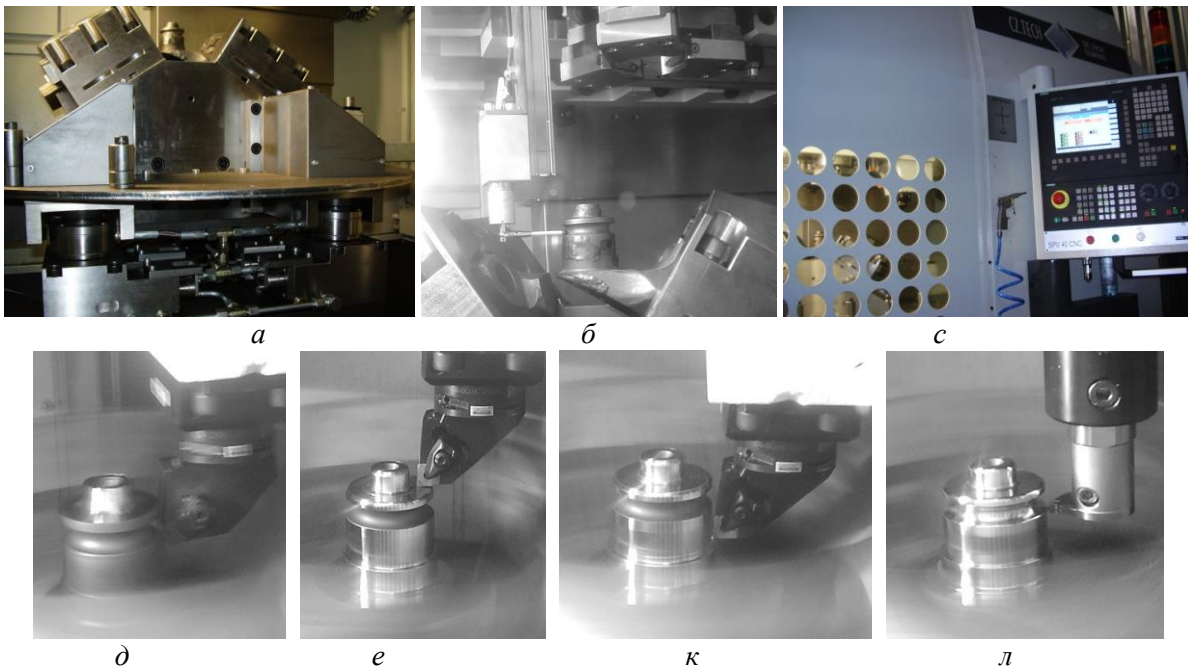


Рисунок 2 – Основні етапи підготовки та реалізації механічного оброблення цапфи лапи бурового долота 215,9 FS3 UT275 на верстаті SPV 40 CNC:

a – перший етап балансування верстатного пристрою із установленою лапою долота, *b* – встановлення нульової точки для технологічної бази та остаточне балансування пристрою, *c* – загальний вигляд інтерфейса верстата та запуск програми оброблення, *d* – перше точіння цапфи (етап різання великої опори ковзання), *e* – друге точіння цапфи (етап різання упорного торця),
k – кінцеве точіння великої опори ковзання, *l* – точіння замкової кулькової бігової доріжки

Постановка завдання (задачі). Необхідно оцінити рівень точності механічного оброблення точінням периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи бурового долота 215,9 FS3 UT275 на верстаті SPV 40 CNC із застосуванням розробленого способу балансування верстатного пристрою.

Методика досліджень. Для вирішення цієї задачі був застосований досвід, описаний в [2]. Для отримання шорсткості оброблених поверхонь $R_a 0,8$ мм (по контакту $R_a 0,63$ мм) встановили подачу $s=0,12$ мм/об і припуск на чистовий прохід калібрування 0,3 мм на сторону.

Для статистичного оцінювання отриманих результатів експерименту був використаний метод малих вибірок, оскільки він дає можливість відслідкувати динаміку зміни точності процесу оброблення і його налагодженості в часі. Об'єм вибірки становив $n = 5$ шт, кількість вибірок $m = 20$. Математична обробка статистичних даних вимірювань розмірів проводилась за допомогою програмного пакету MathCAD фірми MathSoft.

Для вивчення рівня якості оброблення цапф лап застосовано оброблювальний центр моделі SPV 40 CNC. Для налагодження якісного оброблення цапф лап апробовано методику балансування верстатного пристрою із установленою лапою. Вимірювання і аналіз балансу здійснювали за допомогою приладу для балансування моделі CX Balancer. Він дозволяє отримувати інформацію для досягнення балансу способом додавання, видалення або розподілення вантажів.

Прилад включає оптичний давач швидкості, який легко налаштувати і використовувати на зручній відстані (0,1 – 2,0 м) від обертових механізмів.

Функція балансування дуже проста і направляє користувача прямо через правильну послідовність кроків: першого запуску, запровадження пробної ваги, другий запуск, і, нарешті, рекомендація про розмір і розташування вантажів, які будуть використовуватися для корекції.

Блок-схема алгоритму програми балансування подана на рис. 3.

Розрахунок пробної ваги здійснювали при динамічному балансуванні патронів. Пробна вага повинна бути достатньо великою для значної зміни вектора дисбалансу, але в той же час вона повинна бути досить невеликою, щоб не зруйнувати патрон.

Відсутність рівноваги може бути представлене, як показано на рис. 4, *a*. Вектор V_1 показує, що початкова відсутність рівноваги патрона і V_2 – вектор, отриманий додаванням пробної ваги.

Зазвичай, зміна 20% з вектора відсутності рівноваги абсолютно відповідна. Це означає, що вектор V_2 має бути розміщений за межами круга, як показано в рис. 4, *б*.

Відомо, що ISO 1940/1 визначає допустимий залишковий дисбаланс як:

$$U_{pez} = 9549 \times G \times \frac{W}{N}, \quad [\text{г} \cdot \text{мм}], \quad (1)$$

де G – клас якості балансу,

W – вага патрона [кг],

N – максимальна кількість обертів патрона [об/хв].

Виходячи з того, що більшість промислових роторів можуть бути збалансовані, враховуючи клас якості балансування 6,3. Відтак, у формулі (1), замінюючи максимальну кількість обертів патрона N з кількістю обертів балансера N_b розраховували пробну вагу (T_w):

$$T_w = 9549 \times 6,3 \times W / N_b / R, \quad [\text{г}] \quad (2)$$

де: R – радіус установки пробної ваги, W – Вага патрона [кг],

N_b – кількість обертів для балансування [об/хв].

Для двоплощинного балансування, значення пробної ваги буде дорівнювати половині T_w в кожній площині балансування ($\frac{T_w}{2}$).

Результати дослідження. Результати вимірювань діаметрів периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи, обробленої у кінцевий розмір, подано у вигляді точкової діаграми на рис. 5.

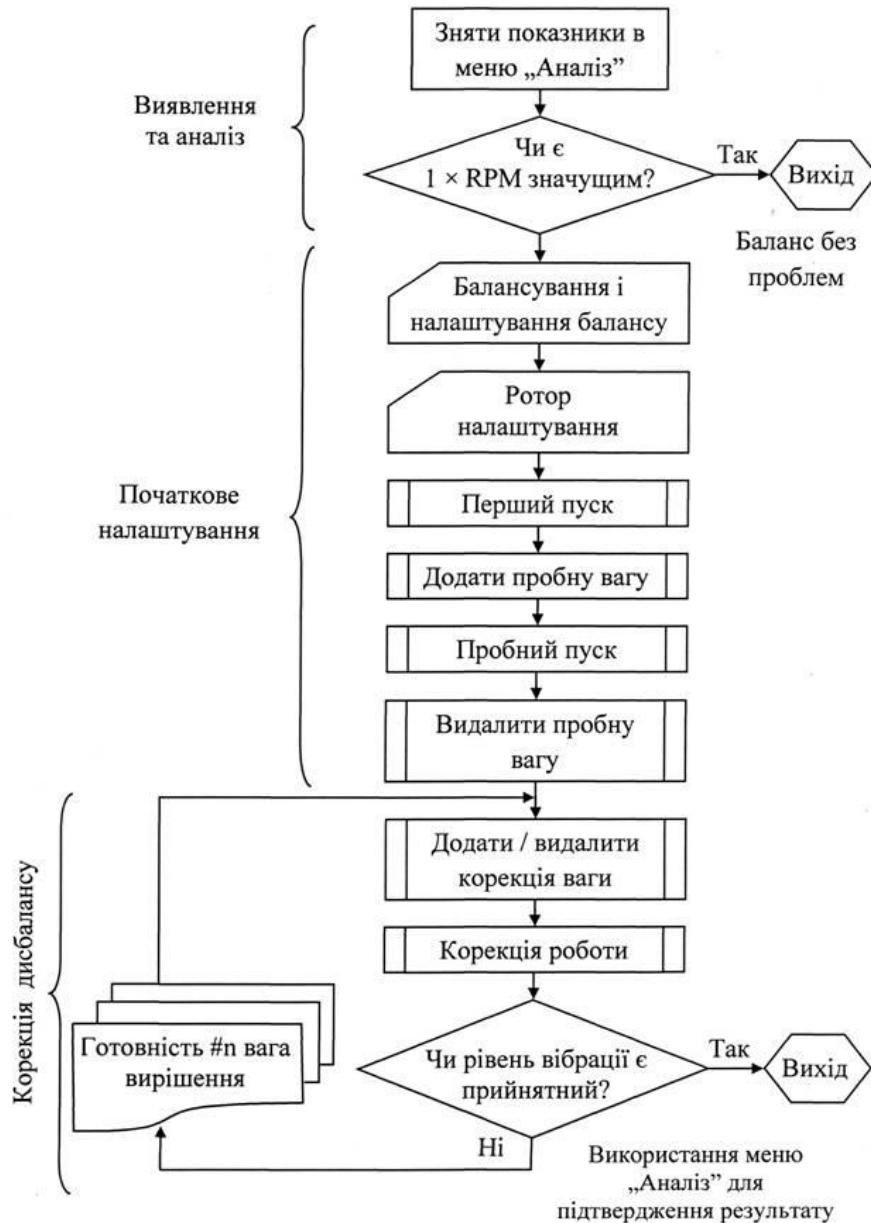


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму програми балансування верстатного пристрою

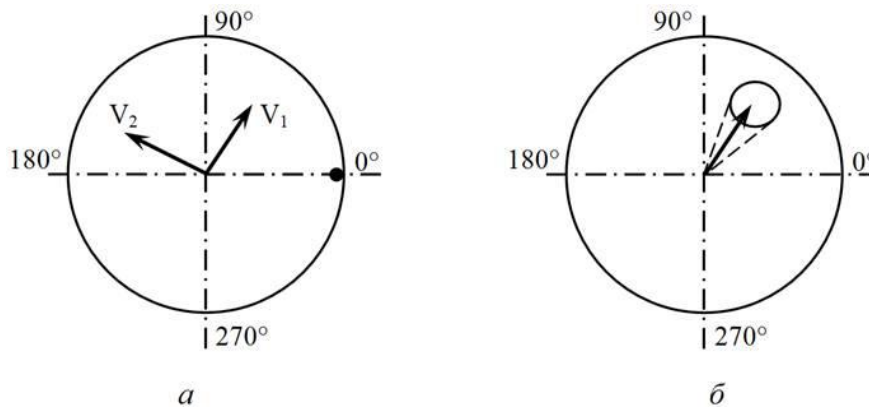


Рисунок 4 – Додавання пробної ваги для досягнення рівноваги
 а – додавання пробної ваги V_2 ,

б – виділення ділянки для планування розміщення пробної ваги V_2 .

Для кожної вибірки обчислено: середнє арифметичне \bar{X}_i , дисперсія s_i^2 , середнє квадратичне відхилення s_i (табл. 1).

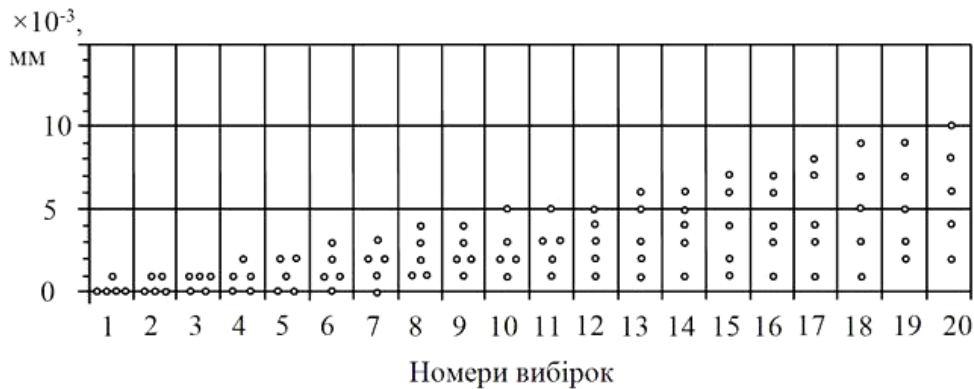


Рисунок 5 – Точкова діаграма розсіювання відхилень діаметрів периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи бурового долота 215,9 FS3 UT275 після досліджуваного кінцевого точіння в розмір $\varnothing 49,6_{-0,04}$ мм

Таблиця 1

Результати статистичних обчислень для оцінки відхилення діаметрів периферійної великої опори підшипника ковзання після точіння в кінцевий розмір

№ вибірки	\bar{X}_i	s_i^2	s_i
1	$2,0 \times 10^{-4}$	$2,00 \times 10^{-7}$	$4,472 \times 10^{-4}$
2	$4,0 \times 10^{-4}$	$3,00 \times 10^{-7}$	$5,477 \times 10^{-4}$
3	$6,0 \times 10^{-4}$	$3,00 \times 10^{-7}$	$5,477 \times 10^{-4}$
4	$8,0 \times 10^{-4}$	$7,00 \times 10^{-7}$	$8,367 \times 10^{-4}$
5	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-6}$	$1,000 \times 10^{-3}$
6	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-6}$	$1,140 \times 10^{-3}$
7	$1,6 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-6}$	$1,140 \times 10^{-3}$
8	$2,2 \times 10^{-3}$	$1,70 \times 10^{-6}$	$1,304 \times 10^{-3}$
9	$2,4 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-6}$	$1,140 \times 10^{-3}$
10	$2,6 \times 10^{-3}$	$2,30 \times 10^{-6}$	$1,517 \times 10^{-3}$
11	$2,8 \times 10^{-3}$	$2,20 \times 10^{-6}$	$1,483 \times 10^{-3}$
12	$3,0 \times 10^{-3}$	$2,50 \times 10^{-6}$	$1,581 \times 10^{-3}$

13	$3,4 \times 10^{-3}$	$4,30 \times 10^{-6}$	$2,074 \times 10^{-3}$
14	$3,8 \times 10^{-3}$	$3,70 \times 10^{-6}$	$1,924 \times 10^{-3}$
15	$4,0 \times 10^{-3}$	$6,50 \times 10^{-6}$	$2,550 \times 10^{-3}$
16	$4,2 \times 10^{-3}$	$5,70 \times 10^{-6}$	$2,387 \times 10^{-3}$
17	$4,6 \times 10^{-3}$	$8,30 \times 10^{-6}$	$2,881 \times 10^{-3}$
18	$5,0 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-5}$	$3,162 \times 10^{-3}$
19	$5,4 \times 10^{-3}$	$8,30 \times 10^{-6}$	$2,881 \times 10^{-3}$
20	$5,8 \times 10^{-3}$	$1,02 \times 10^{-5}$	$3,194 \times 10^{-3}$

Для вирішення питання про стабільність розсіювання відхилень порівнювали по черзі кожні дві суміжні вибірки і оцінювали їх розходження за допомогою критерію T_n , наприклад для вибірок № 2 і № 3:

$$T_n = \frac{s_3^2}{s_2^2}. \quad (3)$$

Перевірку чи належать вибірки до однієї і тієї ж самої сукупності здійснювали порівнянням отриманих значень критеріїв T_n із табличним значенням T , яке вибирали з [5]. У наших випадках, при $k_1 = k_2 = n - 1 = 4$ табличне значення критерію $T = 6,39$. Якщо при порівнянні справджується умова $T_n > T$, то це означає, що вибірки не належать одній і тій самій сукупності. У протилежному випадку, якщо виявляються такі дисперсії вибірок, що різко відрізняються від дисперсій решта вибірок, то вони повинні усуватися при встановленні сумарної точності процесу оброблення.

Результати обчислень критерію T_n , для оцінювання стабільності розсіювання відхилень та їх розходження подано в табл. 2. У даному випадку аналізом не виявлено різко відмінних дисперсій.

Таблиця 2

Результати порівняння вибірових дисперсій у вибірових середніх

№ порівнюваних вибірок	T_n	t	$P(t \geq t_1)$
1 – 2	1,500	0,566	0,585
2 – 3	1,000	0,516	0,625
3 – 4	2,333	0,400	0,700
4 – 5	1,429	0,307	0,765
5 – 6	1,300	0,528	0,615
6 – 7	1,000	0,248	0,828
7 – 8	1,308	0,693	0,515
8 – 9	0,765	0,231	0,837
9 – 10	1,769	0,211	0,840
10 – 11	0,957	0,189	0,855
11 – 12	1,136	0,185	0,850
12 – 13	1,720	0,307	0,765
13 – 14	0,860	0,283	0,780
14 – 15	1,757	0,125	0,904
15 – 16	0,872	0,115	0,915
16 – 17	1,456	0,214	0,839
17 – 18	1,205	0,187	0,853
18 – 19	0,830	0,187	0,853
19 – 20	1,229	0,186	0,851

Для встановлення сумарної точності процесу обчислювали спочатку оцінку точності σ_0 всієї сукупності, з якої брались вибірки згідно [5]:

$$\sigma_0 = \frac{\bar{s}}{H_n} = \frac{\sum_{i=1}^m s_i}{H_n m}, \quad (4)$$

де H_n – коефіцієнт, що вибирається відповідно до об'єму вибірки відповідно до табличних даних згідно [5],

\bar{s} – середнє квадратичне відхилення вибірок, дисперсії яких пройшли перевірку згідно критерію T_n ,

m – число вибірок, які пройшли перевірку згідно критерію T_n .

Отже, для оброблення периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи матимемо:

$$\sigma_{оп} = \frac{0,033}{0,96 \times 20} = 1,719 \times 10^{-3}. \quad (5)$$

Для оцінки стабільності настройки процесу оброблення порівнювали два суміжних середніх значень вибірок, наприклад для вибірок № 2 і № 3:

$$t = \frac{|\bar{X}_2 - \bar{X}_3|}{\sqrt{n_2 s_2^2 + n_3 s_3^2}} \sqrt{\frac{n_2 n_3 (n_2 + n_3 - 2)}{n_2 + n_3}} \quad (6)$$

Аналогічно обчисливши для всіх суміжних середніх значень вибірок і згідно таблиці ймовірностей розподілу Стьюдента $P(|t| \geq t_1)$ при $k = n_i + n_{i+1} - 2 = 8$ для кожного значення t знаходили табличне значення $P(|t| \geq t_1)$ з [5]. В табл. 2 подано результати таких обчислень.

Оцінка дисперсій у вибіркових середніх здійснюється так. Якщо поміж середніми значеннями вибірок є такі, що мають різко відмінні дисперсії та розсіювання, то вони виключаються з множини по якій обчислюють центр розподілу всієї сукупності даних вибірок.

Центр розподілу всієї сукупності встановлювали згідно відомої формули [5]:

$$\bar{X}_0 = \frac{\sum \bar{X}_i}{m}. \quad (7)$$

Оцінкою дисперсій у вибіркових середніх поданих у табл. 2 встановлено, що поміж середніми значеннями вибірок немає різко відмінних дисперсій та розсіювання. Тобто, у даному випадку всі середні значення вибірок повинні братися для оцінки центру розподілу всієї сукупності даних вибірок. Таким чином, центр розподілу всієї сукупності вибірок для периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи згідно (7):

$$\bar{X}_{оп} = \frac{0,055}{20} = 2,760 \times 10^{-3}. \quad (8)$$

Сумарна точність процесу точіння та точність налагодження

$$\mu = \frac{6\sigma_0}{\delta}, \quad (9)$$

де δ – допуск на відхилення діаметру бігової доріжки згідно креслення.

Для нашого випадку:

$$\mu = \frac{6 \times 1,719 \times 10^{-3}}{0,04} = 0,258. \quad (10)$$

Позначивши через \bar{D} – середнє арифметичне значення діаметру периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи в партії лап, а через D_c – середній розмір діаметру згідно креслення, отримали:

$$\bar{D} = 49,6 - 2,76 \times 10^{-3} = 49,597 \text{ мм},$$

$$D_c = \frac{49,6 + 49,56}{2} = 49,58 \text{ мм},$$

Коефіцієнт точності налагодження процесу точіння

$$e = \frac{\bar{D} - D_c}{\delta} = 0,425. \quad (11)$$

Оскільки умова $\mu < 1$ виконується, то точність процесів є достатньою, при цьому забезпечується також необхідна точність процесу оброблення. Процес точіння є стійким у часі, як по розсіюванню, так і по налагодженню.

Аналізом шорсткості на оброблених поверхнях цапф лап встановлено, що процес забезпечує сталість заданого значення шорсткості, яке у середньому (на 20 шт у партії) рівне $R_a 0,25$ мкм при максимумі $R_a 0,32$ мкм. Зауважимо, що конусність поверхонь периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи також має стале середнє значення 0,01 мм при максимумі 0,02 мм. Також аналізом співвідносінь між великою, малою опорами ковзання та кульковою біговою доріжкою зафіксовано стале середнє значення 0,01 мм при максимумі 0,03 мм. Зауважимо, що верстат SPV 40 CNC проти верстата TV650/4 дає високу стабільність отримання якості конструкторських параметрів цапф лап. Функціональні можливості та технологічні показники верстата SPV 40 CNC забезпечують автоматизацію балансування верстатного пристрою. Зокрема, за допомогою балансуєчого пристрою CX Balancer можна досягнути мінімальних відхилень у співвідносінь між елементами опори.

Висновки. Досліджено точність та сталість в часі механічного токарного оброблення в кінцевий розмір опор ковзання цапф лап герметизованих тришарошкових бурових доліт у єдиному процесі автоматизованого точіння. Запропоновано методику балансування верстатного пристрою, за допомогою балансуєчого пристрою CX Balancer, що забезпечує задані показники якості при обробленні опорних поверхонь цапфи лапи наплавлених зносостійким сплавом типу „Stellite”. Аналізом шорсткості на оброблених поверхнях цапф лап встановлено, що процес забезпечує сталість заданого значення шорсткості, яке у середньому (на 20 шт у партії) рівне $R_a 0,25$ мкм при максимумі $R_a 0,32$ мкм. Встановлено, що конусність поверхонь периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи також має стале середнє значення 0,01 мм при максимумі 0,02 мм. Також аналізом співвідносінь між великою, малою опорами ковзання та кульковою біговою доріжкою зафіксовано стале середнє значення 0,01 мм при максимумі 0,03 мм.

Верстат SPV 40 CNC проти верстата TV650/4 дає вищу стабільність отримання якості конструкторських параметрів цапф лап. Функціональні можливості та технологічні показники верстата SPV 40 CNC забезпечують автоматизацію балансування верстатного пристрою. Функціональні можливості та технологічні показники верстата SPV 40 CNC забезпечують автоматизацію балансування верстатного пристрою для точіння цапфи лапи.

Список використаної літератури

1. Торгашов А. А. Разработка научно-технических основ обеспечения качества изготовления шарошечных долот повышенной работоспособности: диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени д.т.н. 08.00.20. / Александр Владимирович Торгашов. – Самара 1998. – 74 с.
2. Яким Р. С. Науково-практичні основи технології виготовлення тришарошкових бурових доліт та підвищення їх якості і ефективності: монографія / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, І.С.Яким. – Івано-Франківськ: Видання ІФНТУНГ, 2011. – 384 с.
3. Яким Р. С. Технологічне забезпечення якості механічного оброблення цапф лап тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Вісник Севастопольського національного технічного університету: Машинобудування та транспорт: зб. наукових праць – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2012. – Вип. 129. – С. 278 – 283.
4. Яким Р. С. Підвищення якісних показників тришарошкових бурових доліт з герметизованими опорами ковзання, вдосконаленням технології їх створення / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. – № 2 (47). – С. 30 – 41.
5. Солонин И.С. Математическая статистика в технологи машиностроения. / Солонин И. С. – М.: Машиностроение, 1972. – 215 с.

Стаття надійшла до редакції 29.03.2016.