

адитивного виробництва. Необхідно виготовити комплект ливарних моделей для отримання заготовки деталі «Рамка», методом лиття в землю. Для створення 3D моделі використано програмний продукт SOLIDWORKS, модель створена з урахуванням усадки під час лиття, припусків на механічну обробку, а також враховано усадку пластикової моделі після друку



а) б) в)  
Рис. 1 –Випробування а) майстер-модель б) відливок в) готова деталь

Матеріалом для моделі обрано пластик CoPET, це зносостійкий поліетилентерефталат модифікований гліколем для поліпшення температурних і фізико-механічних властивостей. Перевагами CoPET при 3D друку є: низька усадка як у PLA, але на відміну від PLA більш гнучкий і ударостійкий, більш термостійкий, більш тривалий термін життя. Жорсткість майже як у ABS, але на відміну від ABS менша усадка, більш висока спеченість шарів.

Використання технології адитивного виробництва для створення майстер-моделі, показало свою ефективність, вдалось значно скоротити час на підготовку лиття заготовок малих партій. Матеріал CoPET виявився достатньо зносостійким для багаторазового використання моделі, шорсткість поверхні моделі забезпечила безперешкодне виймання з формувальної суміші.

#### Список посилань

1. Ahn D, Kim H, Lee S (2007) Fabrication direction optimization to minimize post-machining in layered manufacturing. Int. J. Machine Tools Manuf 47:593–606;
2. Дослідження якості поверхні при виготовленні моделей на 3D-принтері / Е. Я. Чонка, О. Г. Новаковський, В. В. Серов // Процеси механічної обробки, верстати та інструмент: збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – С. 201-202.

УДК 621.923

Денисюк В.Ю., канд. техн. наук, доцент  
Луцький національний технічний університет, v.denysiuk@lntu.edu.ua

### МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ТОРЦІВ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ ЗАСОБАМИ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ

Сучасні тенденції у створенні засобів активного контролю полягають у автоматичному управлінні верстатами, що передбачають автоматичне управління за допомогою команд, які формуються цими засобами. Останнім часом широке поширення у засобах активного контролю отримав електронний принцип вимірювання [1]. Це забезпечує високу швидкодію, можливість перетворення сигналу в необхідну та зручну форму, добре розвинута елементна база для створення приладів, а також наявність стандартизованих вторинних засобів проміжних перетворень та отримання відліку, сигналів та команд у необхідній формі.

Торцеві поверхні роликотідшипників є базовими на подальших операціях механічного оброблення доріжок кочення та в значній мірі визначають клас точності роликотідшипника й ряд його експлуатаційних властивостей [2]. Тому забезпечення точності та якості обробки торцевих поверхонь кілець роликотідшипників при шліфуванні є одним з найважливіших і важких завдань при їх виготовленні. Завдання підвищення точності даних деталей необхідно вирішувати комплексно, тобто забезпечувати високу точність не тільки при чистовому, але і при чорновому шліфуванні відразу обох торців кілець роликотідшипників.

Основною умовою забезпечення точності при шліфуванні є сталість припуску на чистову операцію і рівномірне знімання металу з обох торців кілець. Процес обробки кілець на торцешліфувальних верстатах вимагає високого забезпечення підтримки ріжучої поверхні базового (нижнього або лівого) круга в площині, по якій деталі надходять в зону шліфування і базової площини при виході із зони обробки. Зміщення ріжучих поверхонь кругів вгору або вниз від базової площини призводить до появи невиправного браку. Підтримка ріжучих поверхонь кругів у базових площинах столиків верстата перед входом у зону обробки і при виході з неї вимагає від вимірювальних систем високої надійності видачі підналагоджувальних імпульсів для управління процесом шліфування, компенсуючого зносу кругів і вимірювання висоти кілець із заданою точністю.

Основною задачею є підналагодження положення кругів в процесі оброблення деталей для здійснення розмірних зворотних зв'язків на шліфувальних верстатах. Метою підналагодження є компенсація зносу ріжучих поверхонь шліфувальних кругів.

Відомо, що зношення шліфувальних кругів веде до збільшення розмірів деталей, то підналагодження найчастіше ведеться в одну сторону. Величина підналагоджувального імпульсу повинна бути пропорційна величині, викликаній швидкістю зносу кругів. Вимірювальна система встановлює граничну межу розміру деталі, і при виході контрольованого параметра за цю межу видається команда виконавчому механізму на переміщення круга на величину імпульсу пропорційного зміні розміру.

Залежно від методу формування імпульсу на підналагодження розрізняють наступні види підналагоджень: а) підналагодження за поточним значенням розміру; б) підналагодження за середнім значенням вибірки; в) підналагодження за медіаною; г) підналагодження за результатами декількох вимірювань поспіль.

У всіх вищенаведених системах імпульс на підналагодження виробляється при появі однієї або декількох підряд активних деталей, тобто деталей, розмір яких виходить за налагоджувальну межу. Похибка обробки деталей визначається залежністю:

$$\delta = A + 6\sigma + B + E, \quad (1)$$

де  $A$  – величина підналагоджувального імпульсу;

$\sigma$  – гранична величина розсіювання розміру;

$B$  – інтервал, у межах якого ймовірність підналагодження змінюється в межах від 0 до 1;

$E$  – випадкова похибка самого вимірювального приладу.

Параметр  $B$  визначається зі співвідношення:

$$B = 6U^{0,75} \cdot U^{0,25}, \quad (2)$$

де  $U$  – величина зношення шліфувального круга, яка припадає на одну деталь.

З виразу (2) випливає, що для зменшення похибки під налагодження слід зменшувати величину підналагоджувального імпульсу  $A$ . За дискретною схемою вимірювання величина підналагоджувального імпульсу повинна бути не менше, ніж величина ( $U_{max}$ ). В іншому випадку система не зможе компенсувати функціональні похибки обробки, які змінюються у часі. У разі рівномірного зносу круга ідеальним підналагодженням є таке, при якому після обробки кожної деталі виконавчий орган верстата переміщається на величину  $A = U$ . При цьому повністю компенсуються функціональні похибки. Однак такий процес неможливий,

тому що значення параметра  $U$  змінюється.

Тому, розробляючи вимірювальні системи, необхідно, щоб підналагоджувальні імпульси малої величини вироблялися безперервно, протягом усього часу поки розмір деталей лежить в межах допуску. Сигнал на припинення підналагодження повинен надходити в систему тоді, коли розмір деталі вийде за нижню налагоджувальну межу. В цьому випадку підналагодження повинно припинитися, а функціональна зміна положення ріжучої кромки шліфувального круга призводить до поступового збільшення розміру деталей. Як тільки розміри деталей стануть більше, ніж нижня налагоджувальна межа, підналагодження включається знову.

Через зношення круга його різальна кромка опускається вниз, і відповідно збільшується розмір кілець. Прийемо, що круги зношуються рівномірно, тоді

$$U_1 = k_1 \cdot t; \quad U_2 = k_2 \cdot t, \quad (3)$$

де  $U_1$  – зношення розмірного круга;

$U_2$  – зношення базового круга;

$k_1$  і  $k_2$  – швидкості зношення розмірного і базового кругів.

Процес зміни положення базового круга залежить від:  $A_1$  – величини імпульсу підналагодження розмірного круга;  $A_2$  – величини імпульсу підналагодження базового круга;  $n_1$  – числа імпульсів підналагодження розмірного круга за цикл ( $n_1 + n_2$ ) імпульсів;  $n_2$  – числа імпульсів підналагодження базового круга за цикл ( $n_1 + n_2$ ) імпульсів;  $t_i$  – час одного імпульсу.

Розглянуті чинники та похибки, що впливають на точність формування торцевих поверхонь кілець підшипників дозволили визначити величину підналагоджувального імпульсу для компенсації зношення шліфувальних кругів. Розроблена система управління процесом шліфування підвищила точність вимірювання висоти кілець підшипників і дозволила з високою точністю управляти технологічним процесом при торцешліфуванні, компенсуючи при цьому похибки, що виникають внаслідок нерівномірного зношення різальних поверхонь шліфувальних кругів.

#### Список посилань

1. Денисюк В. Ю. Метрологічне забезпечення точності приладів активного контролю в процесі обробки. / Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С., Новосад Б. І. // «Перспективні технології та прилади»: зб. статей. – 2020. – Вип. 16. – С. 38-47.

2. Денисюк В.Ю. Технологічне забезпечення точності деталей підшипників засобами активного контролю. / Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Лапченко Ю.С. //«Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів»: зб. наук. праць VI Міжнар. наук.-техн. конф. м. Луцьк, 2-4 черв.2020 р. – Луцьк, 2020. – С. 148-149.

УДК 621.798

**Залета О.М., канд. техн. наук, доцент**

Луцький національний технічний університет, [olga\\_zaleta@ukr.net](mailto:olga_zaleta@ukr.net)

### ПРОБЛЕМИ УЗГОДЖЕННЯ РОБОТИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

В умовах сформованих економічних відносин справедливо висувуються вимоги виробників продукції до максимальної ефективності використання відповідного технологічному процесу технологічного обладнання. До такого обладнання відносяться агрегатно-модульні технологічні машини (ТМ), а також потокові та автоматичні лінії, скомпоновані з них. В основу агрегатно-модульного принципу покладено можливість на основі стандартних, нормалізованих чи уніфікованих вузлів – функціональних модулів