

Д. Ю. Федориненко, д.т.н., доцент
С. В. Бойко, к.т.н., доцент
С. П. Сапон, к.т.н.

Чернігівський національний технологічний університет

АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У ВИСОКОШВИДКІСНИХ ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОРАХ

Постійне підвищення точності та продуктивності процесів механічної обробки обумовлює відповідне зростання характеристик точності, швидкохідності шпиндельних вузлів верстатів. Похибки, викликані тепловими деформаціями, становлять 40...70% від загальної похибки обробки [1, 2]. Особливої ваги це питання набуває для умов прецизійної високошвидкісної обробки з використанням автоматизованого обладнання, що працює за наперед розробленою керуючою програмою (верстати-автомати та напівавтомати, верстати з ЧПК, багатоцільові верстати). Основним чинником, що обмежує використання гідростатичних опор (ГСО) для високошвидкісної обробки є їх температурні деформації, які істотно впливають на якість механічної обробки. В першому наближенні оцінку впливу температурних деформацій опорних поверхонь шпинделя та гідростатичної втулки на точність шпиндельного вузла можна здійснити використовуючи будь-яку САЕ-систему, яка має можливість здійснення відповідних розрахунків. В даній роботі застосовано модуль інженерного аналізу SolidWorks Simulation, інтегрований в середовище твердотілого моделювання SolidWorks Premium 2012. У якості об'єкта моделювання використано 3D модель 4-х карманної радіальної ГСО шпиндельного вузла [3].

Враховуючи випадковий характер теплових зміщень спряжених поверхонь ГСО визначали їх статистичні характеристики: математичне сподівання та дисперсію величини зміщення радіальної координати профілю опорних поверхонь підшипника. Аналіз величини та діапазон відхилення температурних зміщень оцінювали за математичним сподіванням $m(\overline{\Delta r})$ та дисперсією $\sigma^2(\overline{\Delta r})$ питомої величини зміщення радіальної координати профілю опорних поверхонь (рисунок 1), які є безрозмірними величинами і характеризують частку температурних зміщень опорних поверхонь у величині радіального статичного зазору ГСО:

$$m(\overline{\Delta r}) = \frac{m(\Delta r_T^{BT}) + m(\Delta r_T^{III})}{\delta_0},$$

$$\sigma^2(\overline{\Delta r}) = \frac{\sigma^2(\Delta r_T^{BT}) + \sigma^2(\Delta r_T^{III}) + 2 \text{cov}(\Delta r_T^{BT}, \Delta r_T^{III})}{\delta_0^2}$$

де $m(\Delta r_T^{BT})$, $\sigma^2(\Delta r_T^{BT})$, $m(\Delta r_T^{III})$, $\sigma^2(\Delta r_T^{III})$ – математичні сподівання та дисперсії величини зміщення радіальної координати профілю опорних поверхонь гідростатичної втулки та шпинделя відповідно при певній усталеній температурі; δ_0 – радіальний статичний зазор в опорі; $\text{cov}(\Delta r_T^{BT}, \Delta r_T^{III})$ – коваріація величин зміщення радіальної координати профілю опорних поверхонь гідростатичної втулки та шпинделя при певній усталеній температурі.

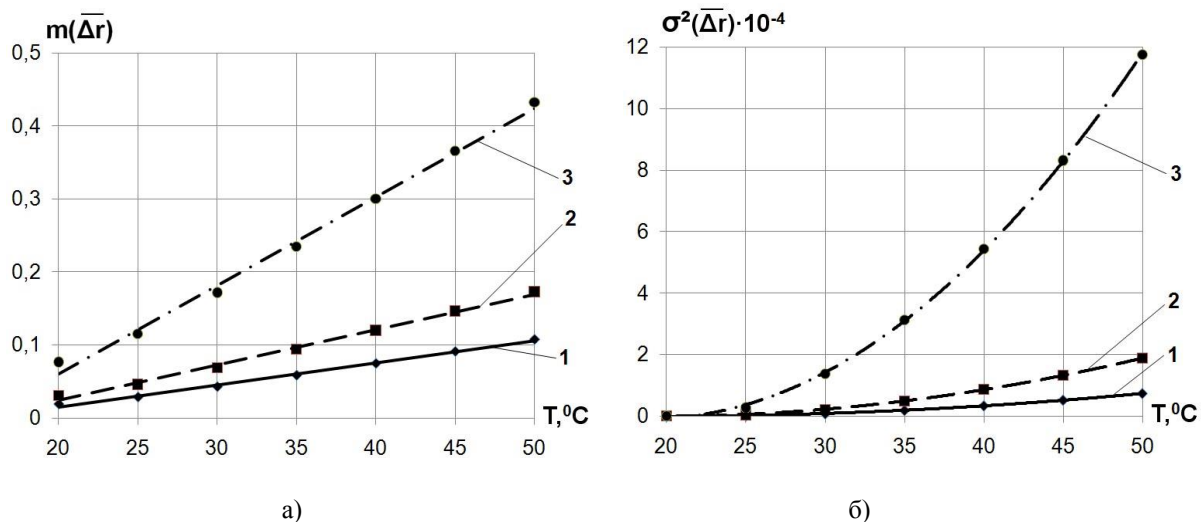


Рисунок 1 – Математичне сподівання $m(\overline{\Delta r})$ а) та дисперсія $\sigma^2(\overline{\Delta r})$ б) питомої величини зміщення радіальної координати профілю опорних поверхонь ГСО залежно від температури при різних величинах радіального статичного зазору δ_0 : 1 – $\delta_0=40$ мкм, 2 – $\delta_0=25$ мкм, 3 – $\delta_0=10$ мкм

З наведених на рисунку 1 залежностей видно, що зі зменшенням величини статичного радіального зазору δ_0 вплив температурних зміщень опорних поверхонь ГСО при підвищенні температури проявляється значніше. Питома частка температурних зміщень у величині радіального зазору (при $\delta_0=10$ мкм) без урахування похибок форми опорних поверхонь складає понад 40%. Враховуючи, що відхилення форми циліндричних поверхонь, що відповідають високій відносній геометричній точності можуть складати до 12% від допуску розміру, сумарно частка температурних деформацій з відхиленнями форми опорних поверхонь може перевищувати 50% величини радіального статичного зазору, що безумовно впливатиме як на робочі процеси у ГСО, так і точність шпиндельного вузла у цілому.

В результаті інженерного аналізу в SolidWorks Simulation було отримано епюри розподілу температури, тиску та швидкості рідини у характерних перерізах опори. Встановлено, що рух рідини у зоні перемичок характеризується значним підвищенням її швидкості, спостерігається процес турбулізації і перемішування шарів рідини. В результаті тертя між шарами рідини і опорними поверхнями підшипника температура рідини значно збільшується (на 25 °C при $\delta_0=40$ мкм). Суттєвий вплив на температуру робочої рідини чинить швидкість обертання шпинделя. Так, збільшення частоти обертання шпинделя у діапазоні від 3600 до 10000 об/хв призводить до підвищення температури рідини на виході з підшипника (у зоні дренажних канавок) до 60 – 65 °C. Запропоновані шляхи зменшення температурних деформацій спряжених поверхонь опори.

Література

1. Проников А.С. Проектирование станков и станочных систем / Проников А.С., Аверьянов О.И. – М.: Машиностроение, 1994. – 444с.
2. Zhu Rui, Dai Shijie, Zhu Yonglu, Wu Xinye, Guo Yinbiao. Thermal error analysis and error prediction modeling on a machine tool. Proceedings of the 2008 IEEE IEEM. 2056-2060.
3. Струтинський В.Б. Статистична динаміка шпиндельних вузлів на гідростатичних опорах: монографія / В.Б. Струтинський, Д.Ю. Федориненко. – Ніжин: ТОВ „Видавництво „Аспект-Поліграф”, 2011. – 464 с.