Графічні залежності показують нам характер зміни навантаження з плином часу і дозволяють вибирати, на яких етапах деформування прикладена сила має мінімальне значення. Як можна судити з таблиці 1, силові параметри є більш оптимальними при 10 % деформації, що є логічним, при цьому найменшого значення вона досягає на остаточному етапі кування при 10 % деформації, а саме 163,4 кДж.

Таблиця 1 – Енергосилові параметри протягування

Параметри	Максимальне значення сили, МН	Час обтиску, с	Робота деформування, кДж
lпод/lзовн=0,15, Ɛ=10%	4,785	0,99	176,2
lпод/lзовн =0,15, Ɛ=10%	4,552	1,003	163,4
lпод/lзовн =0,15, Ɛ=20%	5,785	1,13	275,8
lпод/lзовн =0,15, Ɛ=20%	5,380	1,101	216,3

Висновок. Дослідження силових параметрів деформування є важливим етапом дослідження кування корпусів запірної арматури, оскільки дозволяє економити як затрати матеріалу, прикладеної сили, так і трудові витрати.

Список посилань

1. Alves, L.M., Martins, P.A.F.: *Flexible forming tool concept for producing crankshafts*. J. Mater. Process. Technol. 211(3), 467–474 (2011).

2. Chval, Z., Cechura, M.: *Optimization of power transmission on mechanical forging presses*. Proc. Eng. 69, 890–896 (2014)

3. Qform UK. URL: https://www.qform3d.com/ (accessed January 21, 2025).

УДК 621.79

Бойко А.В., аспірант
0500605013a@gmail.com
Єрошенко А.М., канд. техн. наук
Національний університет «Чернігівська політехніка», yeroshenkoam@gmail.com

ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ГІДРОСТАТИЧНИХ ПІДШИПНИКІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ТОЧНІСТЬ ОБЕРТАННЯ ШПИНДЕЛЯ

Сучасний розвиток машинобудівного виробництва обумовлює постійне зростання вимог до точності верстатів, зокрема шпиндельних вузлів як однієї з основних формоутворюючих ланок верстата. Одним із найбільш ефективних засобів вирішення проблеми підвищення точності обробки на верстатах є застосування регульованих у процесі експлуатації гідростатичних підшипників в якості опор прецизійних шпиндельних вузлів, які поряд з високою жорсткістю та демпфуючою здатністю дозволяють ефективно керувати вихідними параметрами точності обертання шпинделя. [1].

Точність обертання шпинделя на гідростатичних опорах залежить від низки параметрів, нижче наведено ключові параметри, що мають найбільший вплив на точність обертання:

1. Жорсткість гідростатичних опор

Висока жорсткість опор забезпечує мінімальні зміщення шпинделя під навантаженням, що критично для точності обертання. Жорсткість залежить від конструктивних параметрів, а також від в'язкості мастила та тиску подачі. Збільшення тиску

мастила та в'язкості сприяє підвищенню жорсткості опор, що позитивно впливає на точність обертання шпинделя [2].

2. Коаксіальність ротора

Відхилення від ідеальної коаксіальності між шпинделем та опорами призводить до нерівномірного розподілу навантаження та зниження точності обертання. Результати досліджень показують, що биття шпинделя більш чутливе до похибки співвісності ротора та зазору масляної плівки. [3].

3. Балансування шпинделя

Нерівномірний розподіл маси або дисбаланс шпинделя може викликати вібрації, що знижують точність обертання. Високоточне балансування мінімізує ці ефекти. Одне з поширених рішень це використання систем балансування (контролерів, системи регуляції тиску мастила і зазорів, і програмного забезпечення) які дозволяють зменшити дисбаланс, зберігаючи при цьому високу жорсткість [4].

4. Демпфування вібрацій

Здатність підшипників поглинати вібрації важлива для збереження точності обертання, особливо при змінних навантаженнях. Гідростатичні підшипники, завдяки властивостям мастила, мають високі демпфувальні характеристики, що сприяє зменшенню амплітуди вібрацій та підвищенню стабільності обертання шпинделя [5].

5. Стійкість і адаптивність до температурних дколивань

Зміни температури можуть викликати теплові деформації компонентів шпинделя, що призводить до зміни зазорів у підшипниках і, як наслідок, до зниження точності обертання. Контроль температури та використання матеріалів з низьким коефіцієнтом теплового розширення допомагають мінімізувати ці ефекти [6,7].

6. Знос та деформація матеріалів

З часом матеріали підшипника і робочі поверхні можуть зношуватися або зазнавати деформацій, що змінює зазори між частинами і впливає на точність. Тому важливо мати матеріали з високою зносостійкістю і тривалим терміном служби, а також регулярно проводити технічне обслуговування шпиндельного вузла [8].

Список посилань

1. Федориненко Д. Ю. Точність шпиндельних вузлів на регульованих гідростатичних опорах / Д. Ю. Федориненко, С. В. Бойко, С. П. Сапон// Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2013. – № 3(69). – С. 145–149.

2. Pham V.-H., Nguyen M.-T., & Bui T.-A. (2020). Oil pressure and viscosity influence on stiffness of the hydrostatic spindle bearing of a medium-sized circular grinding machine. International Journal of Modern Physics B, 34(27), 2040156. https://worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0217979220401566

3. Fang C., Huo D., & Huang X. (2021). A comprehensive analysis of factors affecting the accuracy of the precision hydrostatic spindle with mid-thrust bearing layout. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 114, 949–967. https://doi.org/10.1007/s00170-021-06839-4

4. IRT3000. (2023). First-class surface finish with hydrostatic motor grinding spindle bearings. Retrieved from https://www.irt3000.hr/en/news/2023062821351457/first_class_surface_finish_with_hydrostatic_motor_grinding_spindle_bearings/

5. Chen D., & Fan J., Zhang F. (2012). Dynamic and static characteristics of a hydrostatic spindle for machine tools. Journal of Manufacturing Systems, 31(1), 26–33. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2010.11.006

6. Su, H., Lu, L., Liang, Y., Zhang, Q., & Sun, Y. (2014). Thermal analysis of the hydrostatic spindle system by the finite volume element method. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 71, 1949–1959. https://doi.org/10.1007/s00170-014-5627-8SpringerLink

7. Chen, D., Zhou, S., Dong, L., & Fan, J. (2015). Performance evaluation and comparative analysis of hydrostatic spindle affected by the oil film slip. Journal of Manufacturing Processes, 20, 128–136. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.09.002

8. Zhao C., Liu Y., & Wang J. (2024). Comparative Wear and Friction Analysis of Sliding Surface Materials for Large-Scale Hydrostatic Bearings. Advanced Engineering Materials. https://doi.org/10.1002/adem.202401733

УДК 681.6-023.5

Катріч С.Г., аспірант
Дмитрієв Д.О., докт .техн. наук, професор
Кузмічов М.Ф., аспірант
Херсонський національний технічний університет

АДИТИВНЕ ВИРОБНИЦТВО. ПЕРЕВАГИ, НЕДОЛІКИ, ПЕРСПЕКТИВИ

Адитивне виробництво (3D-друк) – це технологія створення деталей шляхом послідовного нашарування матеріалу за даними цифрової моделі. Вона дозволяє виготовляти дуже складні геометричні форми, які неможливо або дуже важко отримати традиційними методами. Адитивні технології широко застосовуються в авіа- та автомобілебудуванні, медицині і стоматології для швидкого виготовлення легких, міцних і точних деталей та прототипів. Наприклад, за допомогою адитивних технологій створюють складні металеві деталі з внутрішніми каналами охолодження та ізольованою структурою, що підвищує їх механічні властивості.

Адитивне виробництво має низку суттєвих переваг, що визначають його зростаючу популярність у багатьох галузях. Однією з ключових переваг є можливість виготовлення виробів складної геометрії без необхідності створення спеціальної оснастки. Це дозволяє реалізовувати конструктивні рішення, які неможливо або економічно недоцільно реалізувати традиційними методами, зокрема інтегрування внутрішніх порожнин, решітчастих структур і легких, але міцних форм. Ще однією важливою перевагою є високий рівень персоналізації продукції — можливість швидко і точно виготовляти індивідуалізовані деталі, зокрема в медицині (імпланти, ортопедичні елементи), унікальні компоненти для машинобудування, авіації тощо [1 с. 9].

Важливо зазначити суттєву економію матеріалів завдяки тому, що адитивні технології працюють за принципом нашарування, тобто формування виробу виключно в необхідних об’ємах без надлишків та утворення великої кількості відходів. Це позитивно впливає і на економічні показники, і на екологічну стійкість виробництва. Крім того, АМ скорочує час на виготовлення прототипів, пришвидшуючи інноваційний цикл: перехід від CAD-моделі до готового об’єкта може зайняти години або дні замість тижнів чи місяців, як це притаманно класичному підходу [5].

Проте, поряд із перевагами, існують і обмеження, які поки не дозволяють повноцінно витіснити традиційне виробництво. Одним із головних недоліків є відносно низька продуктивність: друк великих об'єктів або серійне виготовлення деталей потребує багато часу, що унеможливлює ефективне масштабування на масове виробництво. Також слід враховувати обмеженість у виборі матеріалів: не всі метали, сплави або полімери можуть бути використані в адитивних процесах, а сумісні матеріали часто потребують спеціальної підготовки або є дорогими.

Іншим важливим недоліком є якість поверхні та точність деталей. Через пошарову природу формування виникає висока шорсткість, дефекти зчеплення шарів, а також відхилення від допусків, що вимагає механічної пост-обробки. Обладнання для промислового 3D-друку, особливо металевого залишається дорогим як у придбанні, так і в обслуговуванні. Також слід згадати про ризики, пов’язані з інтелектуальною власністю, можливість нелегального копіювання та відтворення виробів без відповідного контролю може створити проблеми правового характеру [2 с. 35].