

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ І ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧИХ СИСТЕМ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ

Застосування для ряду адаптивних систем як вхідного сигналу рівня вібрацій, що виникають при різанні, вимагає розвитку методів аналітичного визначення стійкості та амплітуд автоколиваний верстатів при різанні, а також забезпечення динамічної та статичної точності токарного верстата на стадії його проектування.

Проблема коливаний верстатів тісно пов'язана з питаннями автоматизації виробництва, впровадженням верстатів з числовим програмним управлінням і автоматизованих систем управління виробничими процесами.

Значний внесок в дослідження коливаний металорізальних токарних верстатів внесли вітчизняні учені, зокрема Ковальов В.Д., Кузнецов Ю.М., Решетов Д.Н., Струтинський В.Б., Луців І.В., Мельничук П.П. та багато інших вчених. Вагомий внесок у вирішення актуальних проблем процесів токарного оброблення зробили вітчизняні вчені Равська Н.С., Клименко С.А., Грицай І.Є., Залога В.О., Грабченко А.І., Пермяков О.А., Внуков Ю.М. й інші.

Для пояснення виникнення автоколиваний застосовують модель Ван-дер-Поля, використовуючи аналогію між спадаючою характеристикою тертя в моделі і спадаючою характеристикою різання. Розглянутий механізм вторинного збудження вібрацій, пов'язаний із співпадінням змінного через вібрації припуску із самими вібраціями за частотою і фазою. Верстат розглядається як система з декількома ступенями вільності. Розглянутий вплив на вібрації окремих механізмів: зміни сил тертя на різець через зміну швидкості відносних коливаний ріжучого інструменту і заготовки та зміни сили різання, яка виникає унаслідок зміни робочих кутів різця при вібраціях. При розгляді вібрацій показаний вплив пластичних деформацій і теплових явищ на сили тертя при різанні [5].

Відмінним методом є експериментально зміряні коливаний вузлів верстата і сили різання при вібраціях, досліджений вплив параметрів верстата і схем обробки на частоту і інтенсивність коливаний, торкнеться питання про розсіяння енергії при вібраціях.

Частково вирішується задача стійкості руху в спрощеній системі [3]. Токарний верстат розглядається як коливальна система з декількома ступенями вільності. Стійкість в системі з двома ступенями вільності та координатним зв'язком без врахування затухання розглядається в загальному вигляді. Для виникнення коливаний в такій системі рух ріжучого інструменту щодо оброблюваної заготовки обов'язково повинен описуватися неоднозначною траєкторією, наприклад еліпсом. Як основна рекомендація по боротьбі з вібраціями запропоновано відповідним чином зорієнтувати осі жорсткості верстата. Розглянуто і вторинне збурення як особливий вид стійкості руху в системі, на яку впливають сили, які описуються функцією з аргументом із запізненням. Цікаво це тим, що вона є однією з перших спроб оцінити багатогранний вплив пружної системи верстата на, його стійкість при різанні. Недоліком її є вузький і спрощений підхід до такого складного явища, як вібрації в певних станах. Розрахунки мають частковий характер, їхній збіг з експериментом в основному лише якісний. Експериментально одержана величина спізнення для деяких режимів різання і матеріалів. Використовування функцій з аргументом, що спізнюється, незручне в розрахунках, тому що виконується спрощення і в результаті одержується диференціальне рівняння першого порядку, яке пов'язує силу різання, її першу похідну за часом і відносний зсув ріжучого інструменту і оброблюваної заготовки. Таке представлення сили різання дозволяє пояснити явище нестійкості навіть у тому випадку, коли пружна система має один ступінь свободи за рахунок динамічної неоднозначності сили різання. Автоколиваний можуть виникати у тому випадку, якщо траєкторія ріжучого інструменту щодо оброблюваної заготовки є однозначною кривою, в окремому випадку, прямою, що спостерігається в системі з одним ступенем вільності.

При аналізі коливаний токарних верстатів використовується апарат випадкових функцій, але випадковими вважаються в основному лише збурення, а пружні системи верстатів описуються детермінованими рівняннями, оскільки визначення коефіцієнтів цих рівнянь ґрунтується на детермінованих методах, прийнятих в розрахунках деталей машин. Найбільше застосування апарат випадкових функцій одержав при розрахунку віброізоляції машин.

Перспективним методом є застосування до динамічного розрахунку верстатів теорії оптимальних процесів, яка вже використовується при рішенні деяких задач машинознавства [3]. У верстатах токарної групи з обертальним головним рухом це зроблено при вдосконаленні конструкції і технології виготовлення шпинделів і шпиндельних бабок. При складанні та написанні програм для верстатів з числовим програмним управлінням став можливим аналіз багатьох параметрів процесу різання і вибір оптимальних режимів різання з урахуванням різних обмежень, зокрема з урахуванням обмеження по вібростійкості. Норми на вібростійкість стали невід'ємною частиною технічних умов верстата.

Важливим напрямом є розроблення методів розрахунків верстатів на стійкість і коливаний на стадії проектування. Ці розрахунки становлять інтерес для конструкторських бюро верстатобудівних заводів. Вони сприяють пришвидшенню проектування, підвищенню його якості та зменшенню витрат на виготовлення різних варіантів верстатів. Виконані за допомогою сучасних CAD/CAM/CAE пакетів розрахунки є частиною системи автоматизації конструкторських робіт. Роботи в цій області ведуться у напрямі розробки і спрощення розрахункових схем верстатів та уточнення динамічних характеристик процесу різання.

В даний час накопичено досвід раціонального конструювання елементів несучих систем токарних верстатів. Подальші кроки в цьому напрямку пов'язані з використанням при розрахунках несучих систем токарних верстатів [4] методу кінцевих елементів в поєднанні з багатофакторною оптимізацією.

У роботі [1] використано підхід до параметричної оптимізації несучої системи токарного верстату на основі узагальненого критерію, що враховує загальну масу корпусних деталей верстата і складові відносного переміщення інструменту і заготовки під дією сил різання. При реалізації такого підходу встановлені вагові коефіцієнти всіх вказаних показників. Проте ці коефіцієнти апріорно невідомі і можуть змінюватися залежно від тенденцій розвитку конструкцій верстатів. Крім того, при суперечливих показниках якості застосування узагальненого критерію не виключає покращення одного з показників за рахунок інших.

При рішенні задачі багатокритеріальної оптимізації спочатку виділяють безліч так званих ефективних варіантів (множина Парето), а потім відповідно до якої-небудь системи переваг вибирають з них один. Для виділення безлічі ефективних варіантів можна застосувати, наприклад, лінійний пошук. Проте для рівномірного зондування всього простору керованих параметрів при ЛП пошуку потрібно розрахувати параметри якості в порівняно великому числі точок цього простору (наприклад, при семи-дев'яти варіюваних параметрах), що вимагає значних витрат машинного часу.

В цьому випадку доцільніше використовувати метод направленої пошуку (наприклад, методи «найшвидшого спуску» при міні-максному підході до вибору цільової функції). Ще більшу економію часу пошуку може дати використання теорії чутливості, що дозволяє оцінювати напрям і швидкість зміни показників якості конструкції при зміщенні вектору V варіюваних параметрів щодо його номінального значення (відповідного базовому варіанту верстата).

Підводячи підсумки, слід відмітити, що вищевказані методи розрахунків і дослідження несучих систем токарних верстатів та актуальні задачі динаміки, які направлені на їх удосконалення є першочерговими для швидкого отримання практичних результатів, відповідно це не виключає необхідності проведення таких важливих робіт, як поглиблене вивчення процесів різання і тертя, демпфування і т.п.

Література:

1. Chetverzhuk T., Zabolotnyi O., Sychuk V., Polinkevych R., Tkachuk A.: A Method of Body Parts Force Displacements Calculation of Metal-Cutting Machine Tools Using CAD and CAE Technologies. *Annals of Emerging Technologies in Computing (AETiC)*, Vol. 3, No. 4, pp. 37-47. International Association of Educators and Researchers (IAER). (2019). <https://doi.org/10.33166/AETiC.2019.04.004>.
2. Chigbogu G. O., Sam N. O. Time Domain Chatter Stability Comparison of Turning and Milling Processes // *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*. – 2012. – Т. 3, № 11. – С. 25-30.
3. Гагалюк А.В., Духнич Ю.П., Дерлиця К.А. Дослідження навантажувальної здатності несучої системи токарного верстата аналітичним методом. / Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конференції молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27-28 листопада 2019.) – Тернопіль: ТНТУ, 2019. С. 59 – 60.
4. Ковальов В. Д., Антоненко Я. С., Виганяло Б. Ю. Натурні випробування крутної жорсткості станин важких токарних верстатів. *Вісник НТУ «ХПІ». Технологія в машинобудуванні*. Харків, 2017. 26 (1248). С. 94-98.
5. Четвержук Т.І., Редько Р.Г., Полінкевич Р.М., Залета О.М., Валецький Б.П. (2022). Проблеми та задачі проектування та розрахунку несучих частин металорізальних верстатів з урахуванням навантажень. *Наукові нотатки*, (73), С. 101-104.