

Т.І. Четвержук, Р.Г. Редько, Р.М. Полінкевич, О.М. Залета, Б.П. Валецький

Луцький національний технічний університет

ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКУ НЕСУЧИХ ЧАСТИН МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З УРАХУВАННЯМ НАВАНТАЖЕНЬ

Проведено комплексний аналіз недоліків існуючих методик розрахунків несучих частин металорізальних верстатів з урахуванням різного роду навантажень. Запропоновано шляхи покращення кінцево-елементних методів їх розрахунків з метою більш детального врахування впливу деформацій окремих конструктивних елементів та деталей на точність всього верстату.

Ключові слова: металорізальний верстат, проектування, кінцево-елементна модель, навантаження, точність, жорсткість, динамічні характеристики.

Т.И. Четвержук, Р.Г. Редько, Р.Н. Полинкевич, , О.М. Залета, Б.П. Валецький

ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА НЕСУЩИХ ЧАСТЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С УЧЕТОМ НАГРУЗОК

Проведен комплексный анализ недостатков существующих методик расчетов несущих частей металлорежущих станков с учетом разного рода нагрузок. Предложены пути улучшения конечно-элементных методов их расчетов с целью более детального учета влияния деформаций отдельных конструктивных элементов и деталей на точность всего станка.

Ключевые слова: металлорежущий станок, проектирование, конечно-элементная модель, нагружение, точность, жесткость, динамические характеристики.

T. Chetverzhuk, R. Red'ko, R. Polinkevich, O. Zaleta, B. Valetskyi

PROBLEMS AND TASKS OF DESIGN AND CALCULATION OF LOADING PARTS OF METALLORISING MACHINES TAKING INTO ACCOUNT LOADS

The complex analysis shortcomings of the existing methods of calculations bearing parts of metal-cutting machines taking into account various kinds of loadings is carried out. Ways to improve the finite element methods of their calculations in order to take into account in more detail the impact of deformation of individual structural elements and parts on the accuracy of the whole machine.

Keywords: machine-cutting tool, design, finite element model, load, accuracy, rigidity, dynamic characteristics.

Постановка проблеми. Одним з перспективних напрямків для впровадження обґрунтованих методик проектування є конструювання несучих частин металорізальних верстатів. В даний час при проектуванні корпусних деталей металорізальних верстатів переважно використовуються розрахункові схеми, в яких реальні конструкції металорізальних верстатів представлені у вигляді найпростіших балкових і пластинчастих моделей, а також загальні емпіричні рекомендації, отримані на основі експериментальних досліджень існуючих корпусних деталей. Такий підхід не дозволяє точно обґрунтувати доцільність застосування тієї чи іншої конструкції корпусної деталі і значно ускладнює оцінку нових конструкцій несучих частин, по яким відсутні експериментальні дані.

Разом з тим, останнім часом значно розвинулися методи розрахунку точності верстатів, а також застосування математичного моделювання напружено-деформованого стану. Перш за все, методу скінченних елементів, який дає можливість розробки і впровадження нових, більш точних і ефективних методик розрахунку і оптимізації конструкцій верстатів. Основною задачею розрахунку несучих частин металорізальних верстатів є оцінка впливу на точність обробки їх зміщень, що виникають під дією навантажень різної природи. Даний вплив чисельно характеризується відносними зміщеннями інструменту та заготовки за нормаллю до оброблюваної поверхні, зумовленими деформаціями корпусних деталей.

Таким чином, дослідження, спрямовані на розробку науково-обґрунтованих методик розрахунку і проектування несучих частин металорізальних верстатів, є актуальною науковою задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [1] проведена класифікація даних навантажень за ступенем можливості отримання їх точного чисельного значення. Ця класифікація представлена нижче. Статичні силові навантаження, що діють на систему, можна вважати відомими. Динамічні навантаження умовно поділяють на дві групи [2]:

1) Навантаження, параметри яких можуть бути обчислені в залежності від параметрів верстата, оброблюваної деталі та режимів обробки (навантаження від сил інерції у верстатах, з вузлами, які здійснюють зворотно-поступальні рухи, від обертання неврівноважених деталей та інструменту тощо).

2) Навантаження, параметри яких обчислити практично неможливо (навантаження від ударів у зазорах елементів приводу, при врзанні та виходах зубів інструмента тощо).

Теплові навантаження також залежить від багатьох невизначених чинників (тертя у рухомих з'єднаннях, умов теплопередачі та інших.).

Кінематичні збурення, які виникають в станині (фундаменті) визначаються властивостями ґрунту, інтенсивністю роботи сусіднього обладнання та можуть характеризуватись лише деякими усередненими параметрами. Похибки виготовлення елементів верстата, які можна розглядати як кінематичні збурення (наприклад, відхилення форми напрямних), зазвичай відомі лише за рівнем (у максимальних відхиленнях).

Виклад основного матеріалу. В даний час для розрахунку деформацій несучих частин металорізальних верстатів застосовують аналітичні методи та метод кінцевих елементів.

При використанні аналітичних методів [3] конструкція, яка розраховується, представляється у вигляді сукупності балок або пластин. При введенні певних припущень для кожного з цих елементів можна отримати рішення аналітичними методами. Для уточнення аналітичного рішення в розрахункову схему вводяться коефіцієнти, які отримують емпіричним шляхом. Дані коефіцієнти використовуються, наприклад, для визначення величин згинальних та крутильних жорсткостей балок, що входять до складу розрахункової схеми.

Перевагою аналітичних методів є їх відносна простота, а також те, що аналітичні формули, які використовуються, наочно показують вплив того чи іншого розрахункового параметра конструкції на її зміщення, наявність можливості швидко порівняти різні варіанти конструкції. Разом з тим, аналітичні методи мають значні недоліки – при їх використанні не можна врахувати реальну геометричну форму корпусних деталей, місцеві деформації окремих конструктивних елементів. Аналітичні рішення для деталей складної форми мають значну похибку і вимагають корекції за допомогою емпіричних коефіцієнтів, які, в свою чергу використовуються лише для обмеженого набору конструкцій, аналогічних тим, для яких є експериментальні дані.

Зазначені недоліки суттєво обмежують можливості застосування аналітичних методів та призводять до необхідності використання методу кінцевих елементів.

При використанні методу кінцевих елементів [4] конструкція, яка розраховується, представляється у вигляді сукупності простих геометричних об'єктів – кінцевих елементів, для кожного з яких заздалегідь визначений вид функціональної залежності розподілу зміщень у цьому елементі від зміщень у його вузлах. Вузли забезпечують з'єднання елементів між собою, їх зміщення визначають напружено-деформований стан всієї конструкції.

Для кожного кінцевого елемента виходячи з його форми, властивостей матеріалу, товщини (для пластинчастих елементів) можна задати наступну залежність між зміщеннями та силами у вузлах:

$$F = [K]u + [D]u' + [M]u'' \quad (1)$$

де: F – вектор, що визначає значення сил у вузлах кінцевого елемента; u , u' і u'' – вектори, що визначають, відповідно, значення зміщень у вузлах кінцевого елемента, а також його перша та друга похідні по часу; $[K]$, $[D]$ та $[M]$ – відповідно, матриці жорсткості, демпфування та мас кінцевого елемента.

У випадку статичної задачі всі компоненти векторів u' та u'' є нульовими тому рівняння (1) зводиться до наступного:

$$F = [K]u \quad (2)$$

Прирівнюючи до нуля суму сил, що діють на кожен з вузлів кінцевоелементної моделі і виразивши дані сили через зміщення вузлів відповідно (1) і (2), можна отримати систему рівнянь, що містить як невідомі зміщення вузлів і знайти їх значення шляхом розв'язання цієї системи.

В даний час для кінцевоелементних розрахунків деталей пружної системи металорізальних верстатів [5] в основному використовуються два типи кінцевоелементних моделей:

- 1) з пластинчастих елементів.
- 2) зі стрижневих елементів та жорстких тіл.

Кінцево елементні моделі з пластинчастих елементів застосовують для статичних розрахунків корпусних деталей складної форми з урахуванням впливу окремих конструктивних елементів – стінок, ребер жорсткості та інших. Дані моделі застосовуються для порівняння різних конфігурацій корпусних деталей та вибору найбільш раціональної.

Кінцево елементні моделі зі стрижневих елементів і жорстких тіл застосовують як при статичних (рис. 1), так і при динамічних навантаженнях. При цьому з'єднання окремих елементів моделюються між собою пружинами. Ці моделі використовуються для раціонального розподілу мас і жорсткостей між елементами несучої системи, а також для порівняння різних їх компонок. Розглядаються різні схеми базування шпindel'ної бабки. Розрахунок проводиться для кількох варіантів конструкції з метою визначення найкращого варіанту.

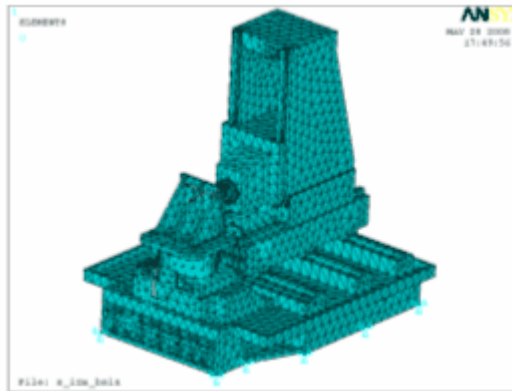


Рис. 1. Статичний розрахунок несучої системи верстата

Для оптимізації товщин стінок базових частин верстатів зазвичай використовуються кінцевоелементні моделі із пластинчастих елементів. Станина сприймається як прямокутна пластина з поперечними ребрами жорсткості. Ребра жорсткості утворюють коміркову структуру з прямокутними отворами. Здійснюється підбір оптимальних значень товщин стінок станини з метою мінімізації її маси при обмеженнях на її силові зміщення. При визначенні теплових деформацій корпусні деталі верстата розглядають як бруси чи коробки з тонкими стінками. Спочатку визначають температуру деталей шляхом розгляду теплового балансу при роботі верстата, при цьому для розрахунку потужності тепловиділення в механізмах і системах верстата, а також для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі різних поверхонь використовуються емпіричні формули. Потім визначають теплові деформації корпусних деталей. Розрахунок теплових деформацій несучої системи верстата та показників його точності з урахуванням теплових зв'язків між його елементами також проводять із застосуванням методу кінцевих елементів (рис 2.).

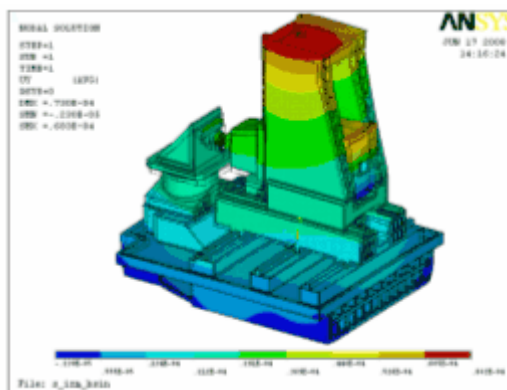


Рис. 2. Тепло-деформаційний розрахунок несучої системи верстата.

Аналіз багатьох робіт показує, що в останній час при кінцевоелементних розрахунках несучих систем металорізальних верстатів використовуються, як правило, спрощені моделі, що не враховують місцевих деформацій окремих конструктивних елементів несучих частин і взаємний вплив один на одного деформацій окремих корпусних деталей. Використовують спрощені схеми закріплення та навантаження корпусних деталей. Як остаточні результати кінцевоелементного розрахунку розглядаються розрахункові зміщення окремих точок пружної системи. Не оцінюються відхилення розмірів і форми оброблюваних деталей, обумовлені деформаціями несучих частин

верстата. Завдяки експериментальним дослідженням, встановлено, що в загальному балансі зміщень шпинделя в радіальному напрямі на шпindelну бабки припадає не менше 30%, а в осьовому напрямі 60-70%, що підтверджує актуальність досліджень власної жорсткості корпусних деталей металорізальних верстатів. З огляду на те, що в даній роботі проводиться розрахунок не тільки окремих несучих частин, а й складальних одиниць, що містять кілька корпусних деталей, при аналізі раніше проведених досліджень значну увагу приділялося методом врахування в розрахункових схемах податливості стиків несучих систем [6] і експериментальним дослідженням у цій галузі.

З'єднання, які використовуються у корпусних деталях, можна розділити на дві групи – рухомі і нерухомі. Рухомі з'єднання використовуються для встановлення на корпусні деталі рухомих вузлів – супортів, шпindelних вузлів і т. п. Конструктивно дані з'єднання реалізуються, як правило, за допомогою напрямних або підшипників. Нерухомі з'єднання використовуються, як правило, для з'єднання окремих корпусних деталей між собою і зазвичай конструктивно реалізуються за допомогою затягнутих стиків. Затягування стиків здійснюється, як правило, за допомогою гвинтових з'єднань. Моделювання затягнутих стиків з огляду на те, що їх податливість співставна зі власною податливістю корпусних деталей призводить до визначення взаємного впливу власних деформацій корпусних деталей та контактних деформацій у затягнутих стиках і відповідно, виникає необхідність їх одночасного врахування під час побудови розрахункової схеми.

Отже вказані недоліки використовуваних методик розрахунку призводять до необхідності уточнення кінцевоелементних розрахунків несучих частин металорізальних верстатів з метою більш детального врахування деформацій окремих конструктивних елементів несучих частин.

Висновки. В даний час для розрахунку силових і теплових зміщень несучих частин верстатів, як правило, застосовуються або аналітичні методи, при використанні яких корпусні деталі розглядаються як рами або балки, або методом кінцевих елементів з використанням спрощених балкових і пластинчастих моделей, які не враховують місцевих деформацій окремих конструктивних елементів корпусних деталей. Форма несучих частин металорізальних верстатів визначається, в основному, виходячи з критеріїв жорсткості, на основі рекомендацій, розроблених для різних типів корпусних деталей на основі досвіду їх експлуатації. Існуючий підхід до конструювання несучих частин металорізальних верстатів не забезпечує досить точну оцінку жорсткості корпусних деталей, не дає можливості визначити оптимальну форму корпусних деталей з метою мінімізації впливу їх деформацій на точність обробки.

Отже можна сформулювати такі вимоги до методик проектування та розрахунку несучих частин металорізальних верстатів з урахуванням навантажень: Забезпечити вплив місцевих деформацій всіх конструктивних елементів, що істотно впливають на зміщення базових поверхонь (грані напрямних, поверхні опор шпинделя). Забезпечити близькі до реальної конструкції схеми закріплення та навантаження. При розрахунку конструкції, що складається з кількох деталей, враховувати реальні умови контакту між ними.

Список використаних джерел:

1. Ito Y. Modular design for machine tool. / Y. Ito – McGraw-Hill, New-York, 2008. – 504 p.
2. Чуприна В. М. Динамічні розрахунки верстатів та їх вузлів за методом кінцевих елементів в САПР. / В.М. Чуприна // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів: ЧДТУ, 2013. – №2(65). – С.81-91
3. Четвержук Т. І. Методика визначення точнісної надійності вузлів верстата / О. Ф. Гордєєв, Т. І. Четвержук // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади», – Луцьк, 2014 – Вип. 1 – С. 21-27.
4. Дубенець В. Г. Основи методу скінченних елементів. Навчальний посібник. / В.Г.Дубенець– Чернігів, ЧДТУ, 2007. – 345 с.
5. Струтинський В.Б.. Математичне моделювання пружної системи верстата для визначення точності обробки / В.Б. Струтинський, О.В. Колот, В.М. Чуприна // Вісник Херсонського національного технічного університету. – №1(56). -2016. – С.179-191.
6. Четвержук Т. І. Характеристики і моделювання стиків несучої системи верстата / О. Ф. Гордєєв, Р. М. Полінкевич, Т. І. Четвержук, Р. П. Голодюк // Науковий журнал «Технологічні комплекси». – Луцьк, 2014. – Вип. №1(9) – С. 174-179.