

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ КАЛІБРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ УНІВЕРСАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Рассмотрены основные подходы к повышению эффективности управления процессом механической обработки с использованием станков с параллельной кинематикой. Предложен комплексный подход к проведению калибровки станка, который основан на определении действительных размеров станка на основании множества результатов контрольных измерений и построении общей картины ошибок в каждой точке рабочего пространства станка в зависимости от направления перемещения приводов.

In the article the basic statements of efficiency increasing of tooling process with the usage of tools with a parallel kinematics as a part of machine tool complex are formulated on the basis of offered complex way of machine-tool calibration, that is aimed to distinguish the real machine tool sizes. the usage of universal complex of computer modelling considerably allows to increase the quality of tool process organization, the system of strategy choice is organized too.

Вступ

Сучасний розвиток механообробки характеризується широким використанням прогресивних технологій на основі розробки і впровадження багатокоординатного, високопродуктивного, високої вартості обладнання з ЧПК. Проте функціональні можливості такого обладнання, як правило, не використовуються повною мірою, що знижує ефективність їх застосування. Причиною цього є недоліки конструкторського, технологічного та функціонального характеру, які виявляються на етапах проектування, що значно стримує їхній подальший розвиток. У статті розглядається актуальна задача проведення калібрування технологічного обладнання за допомогою універсального комплексу комп'ютерного моделювання Matlab/Stateflow та Matlab/Simulink з метою розширення функціональних можливостей верстатних комплексів.

Основна частина

Аналізуючи вихідні результати моніторингу, можна дійти до висновку про необхідність виконання додаткових робіт, зокрема проведення періодичної перевірки обладнання, а саме калібрування. У верстатів традиційних схемних рішень задаються і вимірюються порівняно прості графічні об'єкти — лінії, площини, циліндри, які відповідають простим рухам. Верстати паралельної кінематики мають складні елементарні рухи, контролювати які складно. Елементарні рухи змінюються під впливом експлуатаційних факторів температури, деформації тощо, тому з метою суттєвого підвищення якості обробки запропоновано періодичний контроль точності верстата із визначенням його реальної геометрії [1]. Верстат спроектовано по-новому, а не традиційно, тому при проектуванні верстата приділялося багато уваги можливості пристосувати його до технологічних вимог з метою максимізувати продуктивність.

Концепція верстата підпорядкована модулярності, безвідмовності та взаємозамінності окремих компонент, а також нескладному обслуговуванню [2—3]. Найбільш характерною властивістю верстата є паралельність (рисунк 1). При цьому паралельний механізм додає верстату високий коефіцієнт співвідношення жорсткості та динаміки. Модифікація жорсткості консолей і вибір відповідних шпindelних блоків надає можливість змінювати співвідношення жорсткості та динаміки у широкому діапазоні. Відповідно проводити їх оптимізацію для одиничних екстремумів технології обробки, а саме від високodinamічної обробки легкооброблювальних матеріалів при високих швидкостях обробки до важкооброблювальних матеріалів. Відомо, що властивостями традиційного верстата є жорсткість 70 Н/мм, динаміка 0,7 г, власна частота до 50 Гц, тоді як надбані механічні властивості серійної версії верстата паралельної кінематики були одночасно подвоєні. Тому у верстатів паралельної кінематики завжди необхідно вирішувати досить серйозну проблему, яка полягає у тому, що точність кінцевого встановлення координат інструмента надається знанням про дійсні розміри їх механізму. При цьому, якщо у розігнутій кінематиці за допомогою лазерного вимірювання можливо компенсувати більшість виробничих похибок, то у верстата паралельної кінематики це досить складно, тому що дійсні розміри верстата є основою нелінійної кінематичної трансформації у системі керування.

Запропоновано методику проведення калібрування верстата, що полягає у визначенні дійсних розмірів верстата з визначеною множини контрольних вимірювань. Принципи калібрування ілюструється на прикладі двохкоординатного верстата паралельної кінематики. Використовується оснащення у вигляді високоточної пластини з циліндрами для проведення калібрування. У кожній позиції виміряно точні координати положення шпindеля.

ординатного верстата паралельної кінематики. Використовується оснащення у вигляді високоточної пластини з циліндрами для проведення калібрування. У кожній позиції виміряно точні координати положення шпинделя. За спеціальною методикою проведено обчислення та уточнено фактичну геометрію кінематичних ланцюгів верстата. За допомогою системи ЧПК шпиндель послідовно виводився в усі 100 позицій (рисунок 2). При цьому визначалося відхилення осі шпинделя від осі контрольного валка для кожної точки [1]. З метою врахування асиметрії приводів і напрямних запропоновано спеціальний алгоритм переходу від отвору до отвору по спіралі всередину і назовні. Згідно схеми вимірюються відхилення по осі X та Y для кожної позиції. Робочий простір верстата має відхилення від ідеального, і його можна уявити як скалярне поле похибок. У такому полі, якщо обрати якусь точку з координатами (x, y) , функція поля похибок може бути записана як $r = xi + yj$. У параметричному вигляді радіус-вектор має вигляд $r = x(t)i + y(t)j$. Розглянемо поле похибок верстата з погляду градієнта скалярного поля похибок. Для цього визначимо, що p – одиничний вектор, а $L(r)$ – скалярне поле похибок. Якщо припустити, що радіус-вектор r якась зразкова довжина, то внесення його у поле спотворених координат дасть похибку.

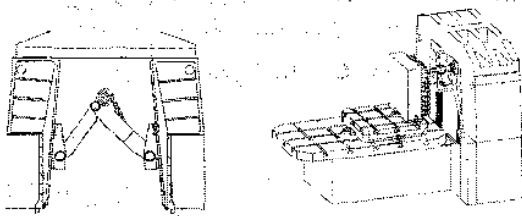


Рисунок 1 — Конструктивне рішення верстата з механізмом паралельної кінематики типу «біглайд».

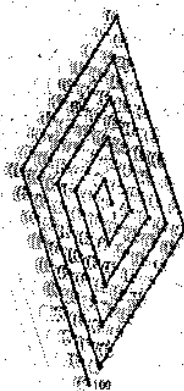


Рисунок 2 — Спеціальний алгоритм здійснення калібрування — траєкторії переходу по спіралі всередину і назовні.

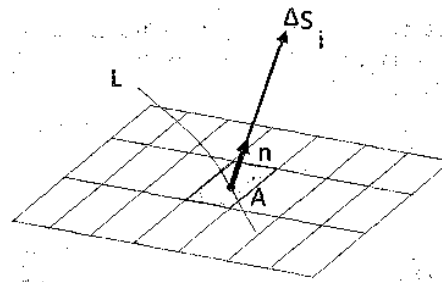


Рисунок 3. Визначення градієнту поля похибок верстата.

Цим визначається інваріантне визначення градієнта, який не залежить від обраної системи координат. Звідки є наступний висновок, чим швидше зростає L , тим більше модуль градієнта, тобто $|gradL|$. У тих точках, де

L має максимум або мінімум, $gradL = 0$. Розглянемо невеличку площину у просторі відносно системи верстата. Нехай цю площину Q обмежено замкненою кривою D , тоді вектор нормалі n є одиничним вектором, напрямком якого перпендикулярний до Q та обирається таким чином, що відносно кінця вектора n обхід контуру D відбувається проти годинникової стрілки. Сторона площини, оберненої до кінцівки вектора, вважатиметься за позитивну. Тобто кожній просторово-орієнтованій площині Q є можливість поставити у відповідність вектор S , який має напрямок $-n$, та модуль, що дорівнює площі ΔS . Якщо обрати декартову систему координат і розглянути проекцію Q на площину XY , то відповідна площа $S = Sn$.

Звідси існує можливість побудувати поверхневий інтеграл похибок, поверхня Q розбивається на n елементарних площин Q_i з площею ΔS_i . Позначимо це розбиття через B_n . Ступінь розбиття $\Delta(B_n)$ буде найбільшим числом ланцюга $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$, де d_1 – найбільший діаметр площини, отже верхня грань відстані між площинами Q_i тоді

$$S_{B_n} = \sum_{i=1}^n L(\vec{A}_i) \Delta S_i.$$

Звідси потік скалярного поля:

$$I = \iint_Q L \cdot ds = \lim_{\Delta(B_n) \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n L(\vec{A}_i) \Delta S_i.$$

У випадку, коли на межі кожної елементарної площини обирається точка A_i і через неї будується нормальний вектор n та вектор $\vec{\Delta S}_i = \Delta S_i n$, напрямком якого n , то

$$S_{B_n} = \sum_{i=1}^n V(\vec{A}_i) \Delta S_i,$$

або скалярний потік векторного поля:

$$I = \iint_Q V \cdot dS = \lim_{\Delta(B_n) \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n V(\tilde{A}_i) \Delta S_i$$

Якщо вищеозначені процеси розглядати як задану функцію $L(A)$, або при заданому векторному полі $V(A)$, то будемо мати

$$S_{B_n} = \sum_{i=1}^n V(\tilde{A}_i) \times \Delta S_i$$

або векторний потік поля:

$$I = \iint_Q V \times dS = \lim_{\Delta(B_n) \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n V(\tilde{A}_i) \times \Delta S_i$$

З наведеного видно, що абсолютна величина функції похибки залежить від напрямку руху і точність визначення положення робочого органа у робочому просторі верстата залежна від вибору дискретності лінійних переміщень. Сутність запропонованої методики полягає в одночасному вирішенні цих двох задач. Розглянемо переміщення виміррювальної головки в двох циклах переміщення. При заданому русі з точки X_1 у точку X_2 верстат, користуючись своєю відліковою системою відпрацює якусь уявну відстань $L(U)$ (рисунок 4). Окрім того, ця відстань буде неоднозначно розташована у робочому просторі верстата, тобто для координати X_1 це буде

$$X_1 + \Delta X_{11} \uparrow \leq X_1 \leq X_1 + \Delta X_{11} \downarrow,$$

а для координати X_2 це

$$X_2 + \Delta X_{21} \uparrow \leq X_2 \leq X_2 + \Delta X_{21} \downarrow.$$

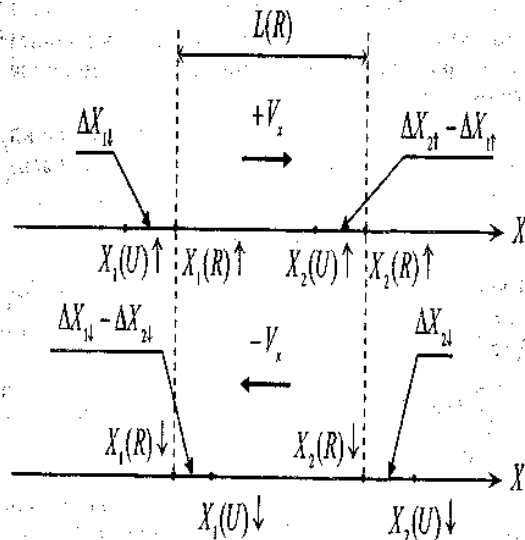


Рис. 4. Вимірювання похибки положення при переміщенні у протилежних напрямках.

Зважаючи на те, що реальний розмір $L(R)$ реалізовано у вигляді зразкової міри довжини, встановленої на столі верстата, ми можемо зв'язати уявні координати $X_1(R)$ та $X_2(R)$ тільки шляхом утримання постійного напрямку руху. При русі праворуч відлік координати

$$X_1(U) \uparrow + \Delta X_{11} \uparrow \leq X_1 \leq X_1(U) \uparrow + \Delta X_{11} \downarrow$$

і похибка визначення положення складає $X_1 + \Delta X_{11} \uparrow$. Кінцева координата руху буде

$$X_2(U) \uparrow + \Delta X_{21} \uparrow - \Delta X_{11} \uparrow,$$

а похибка прив'язки буде становити $\Delta X_{21} \uparrow - \Delta X_{11} \uparrow$.

При русі ліворуч прив'язка здійснюється за координатою $X_2(U)$, і система відліку дає зсув розміру $L(R)$ в зворотному напрямку на величину $\Delta X_{21} \downarrow$, що призводить до уявного подвоєння площі елементарної ділянки. Отже при зміні напрямку руху на протилежний, первинна прив'язка до координати X_2 дає похибку координати $L(R)$ на

$\Delta X_{11} \uparrow$ (рисунок 5). Аналогічно обробляються результати вимірів при переміщенні виміррювальної головки по довжк вертикальної осі V . Функція вимірюного градієнта похибки у проекціях на координатні осі може бути визначена як $n_{xi} = L_{B_i} - L_i$ і $n_{yj} = L_{B_j} - L_j$ (проекції на осі X та V відповідно).

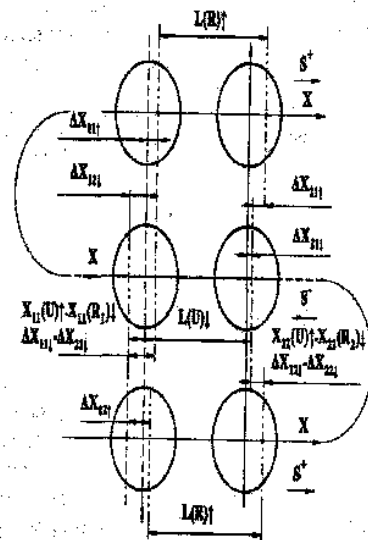


Рис. 5. Схеми визначення проекції похибки на вісь X при переміщенні виміррювальної головки заданою траєкторією.

Якщо прийняти припущення, що на визначеній відстані L_z зберігається лінійна залежність величини нормального вектора n , то відповідно відстань L переміщення вимірювальної головки у межах робочого простору верстата може бути визначена для осі X як

$$\frac{n_x}{L_z} i = i \text{grad} L_x$$

$$L(X) = L(1 + \text{grad} L_x)$$

а для осі Y як

$$\frac{n_y}{L_z} j = j \text{grad} L_y$$

$$L(Y) = L(1 + \text{grad} L_y)$$

Під час дослідної апробації розробленої методики отримані графіки залежностей функцій градієнтів похибки у проекціях на координатні осі X та Y робочого простору верстата за допомогою універсального комплексу комп'ютерного моделювання Matlab/Stateflow та Matlab/Simulink, які представлено на рисунках 6—8. Встановлено умови обробки, які забезпечують вимоги по зношенню інструменту, точності обробки, характеристикам якості поверхні, продуктивності.

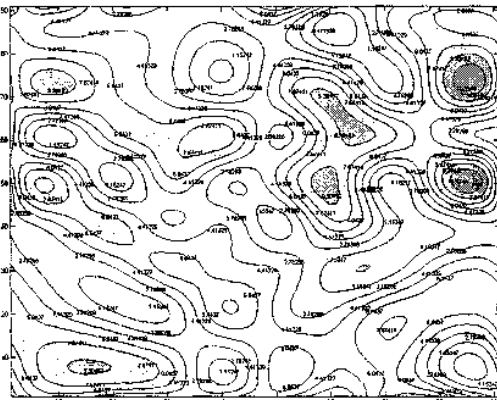


Рисунок 6 — Ізолінії градієнта функції похибки.

Продуктивність обробки корпусної деталі з кількістю отворів в межах 8—12 підвищує ефективність обробки на 15—20%, а при більшій кількості отворів складає 25—32%. Компенсація похибки шляхом калібрування знижує загальний рівень похибок від 2 до 10 разів.

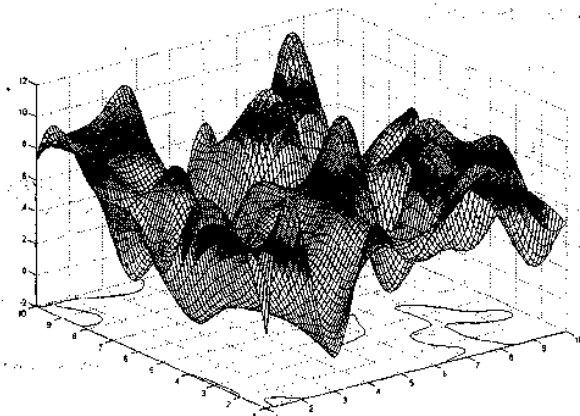


Рисунок 7 — Просторовий графік функції похибок.

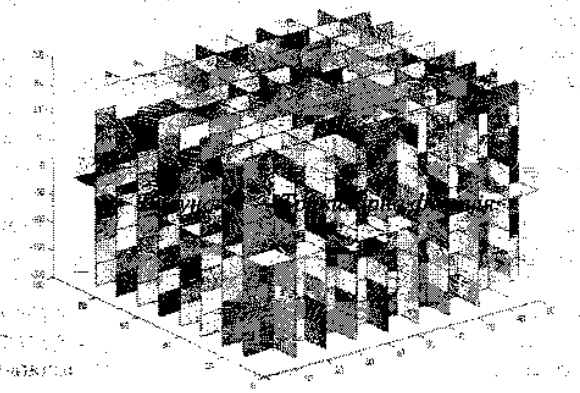


Рисунок 8 — Тривимірна функція.

Висновки

Сформульовано основні підходи та положення щодо підвищення керування ефективністю процесу механічної обробки з використанням верстатів з паралельною кінематикою.

Запропоновано комплексний підхід до проведення калібрування верстата, що базується на визначенні дійсних розмірів верстата на основі множини контрольних вимірювань та побудові загальної картини похибок у кожній точці робочого простору верстата, в залежності від напрямку переміщення приводів за допомогою універсального комплексу комп'ютерного моделювання Matlab/

Stateflow та Matlab/Simulink для розширення функціональних можливостей верстатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Веселовська, Н.Р. Подійно-орієнтований графо-аналітичний опис елементів гнучких інтегрованих виробничих систем / Н.Р. Веселовська // «Вібрації в техніці та технологіях». — 2010. — № 1 (57). — С. 43—53.

2. Крижанівський, В.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою / В.А. Крижанівський, Ю.М. Кузнецов, І.А. Валявський, Р.А. Складаров. — Кіровоград, 2004. — 449 с.

3. Кузнецов, Ю.Н. Теория технических систем / Ю. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, И.В. Луцня. — Севастополь: СевНТУ, 2010. — 254 с.

Надійшла 29.08.11

[Faint, mostly illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]

[Faint, mostly illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]