

УДК 621.914

П.П. Мельничук, д.т.н., проф.
В.Ю. Лоєв, к.т.н., доц.,
В.Б. Крижанівський, к.ф.-м.н., доц.
Житомирський державний технологічний університет

ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ПЛОСКОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ТОРЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Пропонується комп'ютерна модель формування поверхневого шару при чистовому торцевому фрезеруванні. Пропонована модель є однією з складових частин загальної моделі процесу формування оброблюваної поверхні. Модель дає змогу візуалізації поверхні, обрахунку показників якості за шорсткістю та фактичною площею контакту.

Постановка проблеми в загальному вигляді. За останні роки українськими вченими досягнуті значні успіхи у розробці технологічних процесів та інструментального забезпечення фінішної обробки плоских поверхонь деталей машин і механізмів торцевим фрезеруванням. Загальною рисою є використання для формоутворюючих елементів інструменту надтвердих матеріалів, створених під керівництвом д.т.н., проф., акад. НАН України Новікова М.В., а також комбінованих та комплексних схем обробки. Визначені оптимальні режими роботи технологічної системи при виготовленні деталей з різноманітних матеріалів. Чітко сформульовані вимоги до обладнання, на якому здійснюється обробка. Достатньо повно досліджені процеси зношування інструменту, а також стан поверхневого шару матеріалу з точки зору утворення певного рівня геометричних похибок і його фізико-хімічних характеристик.

Впровадження у виробництво отриманих результатів теоретичних і експериментальних досліджень на ряді машинобудівних підприємств дало можливість досягнення стабільних показників шорсткості плоских поверхонь в межах Ra 0,8...1,25 мкм і залишкових стискуючих напружень в заданих межах. Одночасно збільшилась продуктивність праці у порівнянні з шліфуванням в 2...3 рази. Крім того підвищена екологічна безпека виробництва.

В той же час існує нагальна проблема подальшого удосконалення процесу обробки з суттєвим підвищенням продуктивності праці, з отриманням високих технічних властивостей поверхонь в напрямках зменшення інтенсивності зношування, підвищення фізичної і хімічної стійкості, зменшення шорсткості тощо. В свою чергу це вимагає подальшого детального вивчення впливу окремих факторів процесу обробки з визначенням найбільш вагомих з них.

В даній роботі зосереджено увагу на геометричних характеристиках оброблюваної поверхні і частково розглянуті перспективи формування заданих фізико-хімічних властивостей поверхні, що планується як продовження цієї роботи.

В більшості наукових досліджень кількість технологічних параметрів, вплив яких на геометрію поверхні визначається, є невеликою. Збільшення кількості параметрів надзвичайно ускладнює теоретичні залежності, а для експериментів веде до необхідності великої кількості вимірювань. Тому використання засобів візуального комп'ютерного моделювання, які дозволяють легко та зручно обробити великі масиви інформації, набуває особливої актуальності.

Розвиток засобів обчислювальної техніки і прикладної математики зробило можливим розглядати і моделювати технологічні явища не тільки з відомим математичним описом, але й процеси взагалі без задовільних математичних моделей або з математичними моделями, безпосереднє використання яких є проблематичним.

Комп'ютерні експерименти дозволяють отримувати потрібні результати без необхідності проведення вартісних натурних експериментів та вимірювань.

Системний підхід до аналізу формування шорсткості передбачає:

- побудову та аналіз інформаційної моделі;
- визначення корельованості між параметрами моделі;
- визначення головних (визначальних) параметрів.

Мета створення такої системної моделі – це симбіотично доповнити творчий потенціал дослідника можливостями комп'ютера разом з програмним пакетом відповідних інструментальних засобів.

Аналіз досліджень і публікацій, на які спираються автори. Визначенню універсальної системи параметрів якості поверхневого шару виробів присвячена велика кількість робіт [див. бібліографію до 1]. Серед робіт описового характеру слід відзначити [2]. Питання, які безпосередньо пов'язані з формуванням плоских поверхонь торцевими фрезами, ґрунтовно висвітлено в [3]. Дані дослідження свідчать, що фізичні явища в процесі різання (пружна та пластична деформації, залишкові напруги,

виникнення супутніх гальванічних ефектів, фазові перетворення, хімічні явища тощо) та способи їх взаємодії не вкладаються в єдину добре обґрунтовану та узгоджену детерміністичну теоретичну модель. До кінця не з'ясовано реальний фізичний зміст механізмів, через які керовані технологічні чинники (подача, швидкість, товщина шару, який зрізається тощо) впливають на геометричні та фізичні характеристики поверхневого шару [4, 5]. Тому їх взаємозв'язок розглядають як «чорну скриню». Але практична важливість технологічних задач забезпечення потрібної якості поверхневого шару вимагає пошуку нових підходів до даної проблеми. Зокрема, використовуються нейронні мережі, які здатні накопичувати дані експериментів і на їх основі прогнозувати параметри шорсткості [6].

Важливим також є питання використання інструментів з НТМ [7], що істотно впливає на характер явищ в процесі формування поверхні.

Основний зміст. Якість поверхні оцінюється за показниками, які природним чином можна розділити на дві групи:

- геометричні показники;
- показники фізико-хімічного стану.

На такі ж групи можна розділити і напрямки вивчення процесу утворення поверхневого шару.

В даній роботі зосередимо увагу на геометричних характеристиках поверхні і на перспективах формування заданих фізико-хімічних властивостей. Для диференціації впливу на ці характеристики та властивості необхідно розробляти відповідний інструментарій.

Як правило, взаємозв'язок і взаємовплив параметрів визначається між невеликими числом параметрів, оскільки збільшення кількості параметрів ускладнює теоретичні залежності, а для експериментів веде до необхідності великої кількості вимірювань.

На наш погляд перш за все слід розглянути математичну модель системи формоутворення плоскої поверхні. Особливе місце у цій системі займає верстат з закріпленням на ньому інструментом.

Відомо, що система формоутворення металорізального верстата має наступну дуже важливу особливість. В ній два послідовних вузла ланцюга мають при відносному переміщенні не більше однієї степені вільності. Це означає, що вузол може тільки повертатися відносно осі, яка зафіксована у сусідньому вузлі, або рухатись поступально вздовж зафіксованої осі, або бути відносно нерухомим.

Згідно з основами теоретичної механіки при розгляді заданих конструкцією рухів вузлів верстата слід представляти систему формоутворення як сукупність твердих тіл, кожне з яких може бути замінено при аналізі механічних параметрів системою координат. Декартову систему координат (O, X, Y, Z) зв'язують з технологічними або конструктивними базами вузла. Прослідкувати фізичну природу зв'язків між рухами вузлів верстата і типом інструменту можливо через рівняння оброблюваної поверхні.

Похибка положення будь-якої точки оброблюваної поверхні, заданої радіусом-вектором r_0 , в загальному вигляді представляє собою варіацію її функції формоутворення, рівняння якої має вигляд:

$$\begin{aligned} r_0 &= A_{0,e} \cdot r_e, \\ f_j(q_1, \dots, q_{n+m}) &= 0; \quad j = 1, 2, \dots, L, \end{aligned} \quad (1)$$

де $A_{0,e}$ – матриця перетворення:

$$A_{0,e} = \prod_{i=1}^e A_{i-1,i}^{j_i} \quad (2)$$

тобто $A_{0,e}$ як множник перед r_e представляє перетворення всієї системи формоутворення в цілому.

Функція формоутворення верстата дає можливість представити рівняння оброблюваної поверхні в уніфікованому виді.

Такий вид рівнянь тісно пов'язаний з технологічним процесом обробки поверхні на верстаті і надає можливість прослідкувати фізичну природу зв'язків між рухами вузлів верстата і типом ріжучого інструменту з одного боку і поверхнею, що отримуємо – з другого боку.

Рівняння (1) представляє собою рівняння оброблюваної поверхні лише тоді, коли воно налічує в правій частині дві незалежні змінні. Звичайно їх значно більше двох і тоді на них накладаються зв'язки різноманітного виду.

В разі, коли система налічує n – зв'язків (ланок), що здійснюють рух формоутворення, то завжди загальна кількість ланок l більше або дорівнює n . Модель ріжучого інструменту налічує $m \leq 2$ незалежних змінних (для точкового інструменту $m = 0$, для лезового $m = 1$ і $m = 2$ для поверхневого інструменту).

Таким чином рівняння (1) можливо записати у вигляді:

$$r_0 = r_0(q_1, q_2, \dots, q_{n+m}), \quad (3)$$

де q_1, q_2, \dots, q_{n+m} – змінні.

Для отримання рівняння конкретної оброблюваної поверхні необхідно приєднати до рівняння (3) L зв'язків, які в загальному вигляді можуть бути записані у вигляді системи зв'язків:

$$r_0 = \begin{pmatrix} x - y \sin \Theta \\ y \cos \Theta \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}; \frac{\partial r_0}{\partial x} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \frac{\partial r_0}{\partial y} = \begin{pmatrix} -\sin \Theta \\ \cos \Theta \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \frac{\partial r_0}{\partial \Theta} = \begin{pmatrix} -y \cos \Theta \\ y \sin \Theta \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$\frac{\partial r_0}{\partial x} \cdot \frac{\partial r_0}{\partial y} \cdot \frac{\partial r_0}{\partial \Theta} \equiv 0.$$

Як видно, функція формоутворення (9) має два прихованих зв'язка, так що з чотирьох змінних лише дві незалежні.

Певну похибку у створення плоскої поверхні на вертикально-фрезерному верстаті вносить осьове биття шпинделя, а також торцеве биття фрези, установлені на шпинделі. Крім цього має бути враховане відхилення від теоретичної плоскої поверхні, яка утворюється в результаті обробки, через пружні деформації опор шпинделя і всієї системи в цілому.

Баланс точності системи формоутворення проведемо розглядаючи реальну систему, всі ланки якої мають похибки положення або переміщення відносно сусідньої ланки.

Вектор похибки положення кожної точки

$$\Delta \bar{r}_0 = \sum_{i=0}^e A_{0,i} E_i A_{i,e} \bar{r}_e,$$

$$\sum_{i=1}^{n+m} \frac{\partial f_j}{\partial q_i} \delta q_i = \delta_j, \quad j = 1, 2, \dots, L,$$

де E_i – матриця похибки положення i -го вузла системи формоутворення

$$E = \begin{pmatrix} 0 & -\gamma & \beta & \delta x \\ \gamma & 0 & -\alpha & \delta y \\ -\beta & \alpha & 0 & \delta z \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

де $\delta x, \delta y, \delta z, \alpha, \beta, \gamma$ – елементи, що разом узагальнюють похибку положення твердого тіла;

δq_i – похибка узагальненої координати q_i ;

δj – варіації зв'язків (малі величини).

$$\Delta \bar{r}_0 = \sum_{i=0}^l \sum_{j=1}^6 (A_{0,i} E_i^j A_{i,e} \cdot \bar{r}_e) \delta q_i^j,$$

де δq_i^j – похибка положення i -го вузла по j -ї узагальненій координаті ($j = 1, 6$).

Як правило зацікавленість викликає не тільки векторний баланс, а й його проекція на нормаль до поверхні. В скалярному вигляді:

$$\Delta_{норм} (\Delta \bar{r}_0 \cdot \bar{n}) = \sum_{i=0}^l \sum_{j=1}^6 [(A_{0,i} E_i^j A_{i,e} \cdot \bar{r}_e) \bar{n}] \delta q_i^j = \sum_{k=1}^{6l+6} a_k \delta q_k$$

де \bar{n} – одиничний вектор (орт) нормалі до поверхні в точці, заданої радіусом-вектором r_0 :

$$\bar{n} = \frac{\frac{\partial r_0}{\partial U} \times \frac{\partial r_0}{\partial V}}{\left| \frac{\partial r_0}{\partial U} \times \frac{\partial r_0}{\partial V} \right|}.$$

Створений програмний додаток безпосередньо відображає процес формування плоскої поверхні торцевим фрезеруванням з врахуванням биття. Складові програмного додатку наступні:

1. Побудова траєкторій окремих точок ріжучої кромки ножа фрези для моделювання її заокругленої форми в різні моменти часу з невеликим кроком.

2. Перерахунок координат отриманих точок в зв'язку з нахилом осі шпинделя та неперіодичними коливаннями ріжучої кромки.

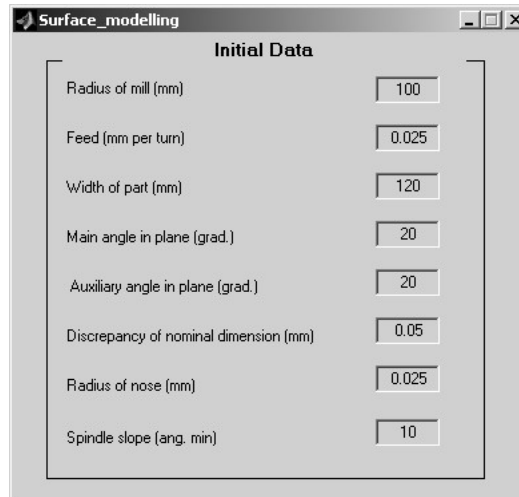
3. Побудова поверхні по отриманим точкам. Між розрахованими точками поверхня апроксимується лінійно.

4. Для визначення площі реального контакту з поверхнею будується лінія рівня tp . Обраховується площа поверхні, яка нею обмежується.

В чисельному вигляді додаток визначає параметри шорсткості поверхні Ra та Rz . Також передбачена можливість визначення площі змодельованої тривимірної моделі поверхні.

Комп'ютерна модель дозволяє вести розрахунок шорсткості поверхні з різною формою заточки інструмента з врахуванням неперіодичних зміщень ріжучої кромки в зв'язку з неточністю рухів технологічної системи в цілому.

Необхідні вихідні дані формуються в спеціальній екранній формі (Рис. 2).



Initial Data	
Radius of mill (mm)	100
Feed (mm per turn)	0.025
Width of part (mm)	120
Main angle in plane (grad.)	20
Auxiliary angle in plane (grad.)	20
Discrepancy of nominal dimension (mm)	0.05
Radius of nose (mm)	0.025
Spindle slope (ang. min)	10

Рис. 2. Екранна форма для введення початкових даних

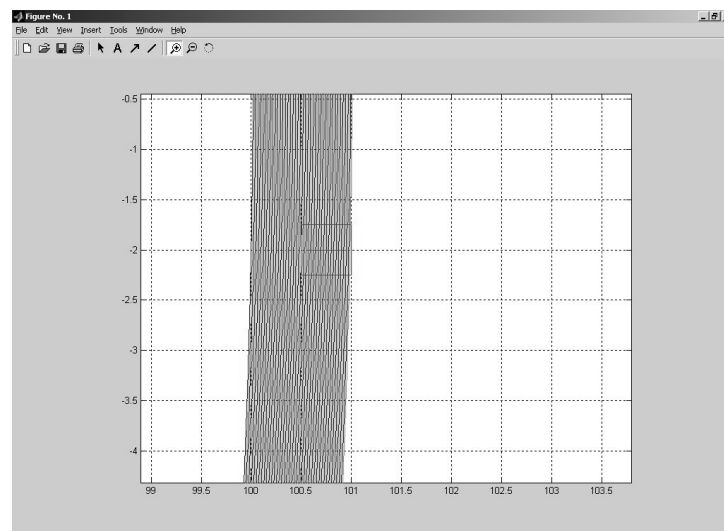


Рис. 3. Траєкторія ножа фрези та проекція ділянки на площину XOY

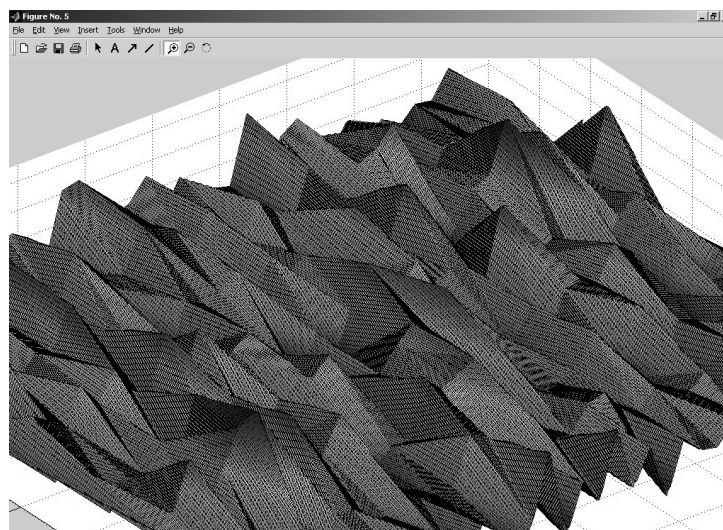


Рис. 4. Тривимірна модель ділянки поверхні

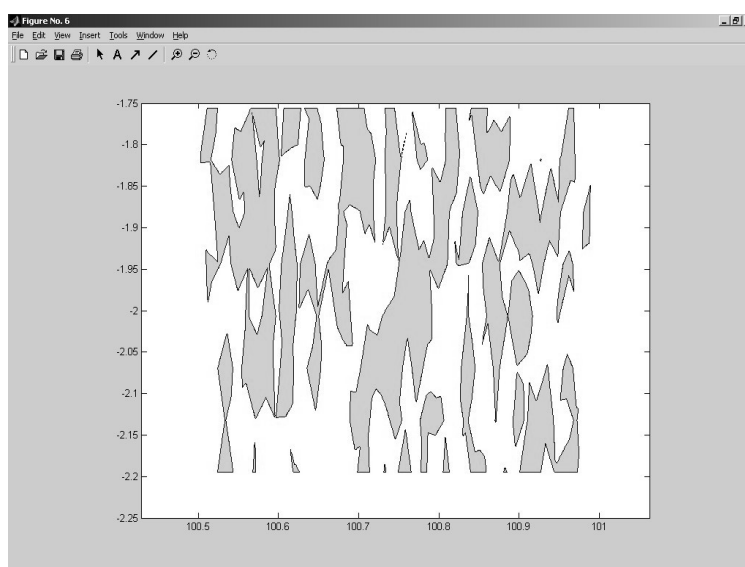


Рис. 5. Ділянки, обмежені лінією рівня $t_p = 50\%$

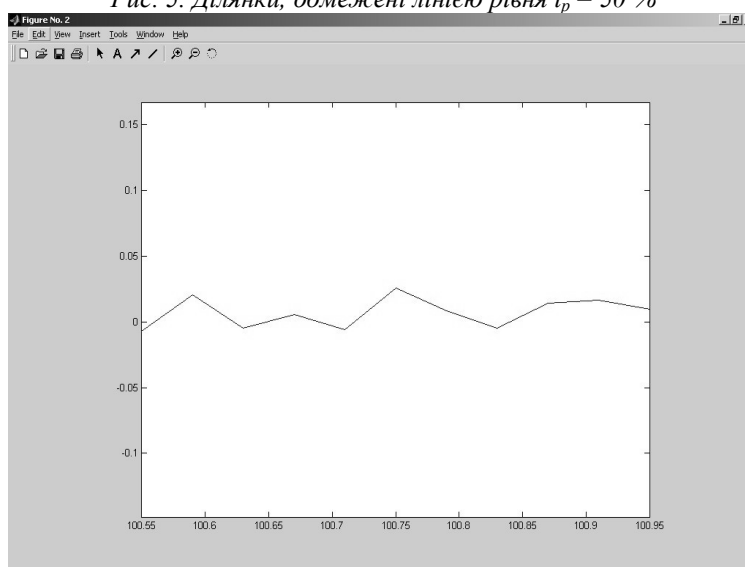


Рис. 6. Профіль поверхні на заданому відрізку

В результаті роботи відбувається візуалізація траєкторія руху ножа фрези (рис. 3) та проєкція на площину XOY фрагменту поверхні, яка моделюється. В окремому вікні виводиться тривимірна модель поверхні (рис. 4).

Контактні навантаження, працездатність поверхні розраховується, виходячи з фактичною площі контакту. Даній проблемі приділяється значна увага в [1]. Але використання запропонованих формул є проблематичним на практиці. Комп'ютерна модель дозволяє безпосередньо побудувати площу контакту, виходячи з припущення, що фактичною площею контакту слід вважати площу, обмежену лініями рівня $t_p = 50\%$ (рис. 5).

Існує також можливість отримати і профіль поверхні (рис. 6).

Перспективи забезпечення заданих фізико-хімічних властивостей. Загальна концепція керування якістю, як переведення системи з одного стану в інший, є досить перспективною при розгляді розподілених систем керування, тобто систем стан яких описується рівняннями в частинних похідних. Розглянемо досить загальну постановку задачі. Система, стан якої описується функцією $Q(x, t)$, де x – аргумент евклідового простору і t – час, повинна бути переведена з деякого початкового стану $Q(x, 0) = Q_0(x)$ в заданий кінцевий стан $Q(x, T) = Q_T(x)$ (або, наприклад, в деякий окіл останнього), причому час перехідного процесу T може бути фіксованим або вільним. Рух системи обумовлюється відомим законом. Досить часто цей закон може бути представлений в формі деякого диференційного рівняння в частинних похідних з заданими крайовими умовами. Для переведення системи з одного стану в бажаний необхідно мати певний спосіб активного впливу на рух системи. Такий вплив $\omega(x, t)$, який прийнято називати «керуванням», входить у рівняння, що описують систему. Додатковою особливістю є те, що, як правило, існують деякі обмеження на стан $Q(x, t)$ і керування $\omega(x, t)$. Наприклад, норми даних функцій в деяких просторах не повинні перевищувати величин, що наперед задані. Стан і керування, що задовольняють зазначеним обмеженням, називають припустимими. Задача в цілому полягає у відшуванні припустимого керування, під дією якого відбудеться також припустимий перехід з $Q_0(x)$ в $Q_T(x)$.

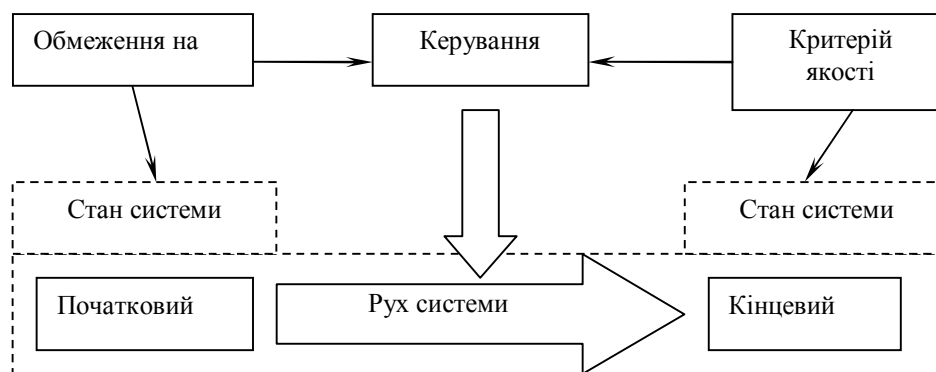
В даному випадку можливі три ситуації:

1. Не існує жодного припустимого керування при якому можливий і припустимий перехід. Система некерована. В даному випадку важливим є питання з'ясування причин некерованості та можливостей розширення резервів системи з метою зробити її керованою.

2. Існує лише одне припустиме керування, що забезпечує перехід з $Q_0(x)$ в $Q_T(x)$. Система керована. В даному випадку виникає задача синтезу даного переходу.

3. Існує більше одного припустимого керування. Будь-яке з керувань забезпечує бажаний і припустимий перехід з $Q_0(x)$ в $Q_T(x)$. Тут природно обрати серед усіх таких керувань одне – найкраще. Для цієї мети формулюється критерій якості керування системою – функціонал керування і стану системи. Екстремум даного функціоналу досягається саме на найкращому з $\omega(x, t)$. Отже, система керована і маємо задачу оптимального керування системою з розподіленими параметрами.

Розглянута постановка є досить загальною. Вона одразу узагальнює велике число практичних задач.



Звичайно, що виділення (розгляд) певних особливостей в будь-якому з блоків схеми може привести до зміни змістовної постановки задачі в цілому, аж до формування самостійних відгалужень і навіть нових напрямків.

В контексті даної роботи в блоці керування існує особливість, яка полягає в тому, що керування в даній системі є переміщенням локалізованого джерела впливу (леза інструменту).

У дослідженнях часто виникає необхідність точно виявляти особливості температурних полів та полів напружень, які утворюються рухомими джерелами. Ці особливості мають вирішальний вплив на остаточну якість виробу. Зазначені поля повинні підтримуватись у визначених рамках впродовж всього процесу, а в кінці обов'язково повинні мати властивості які відповідають наперед заданим.

Фактично задача полягає в тому, щоб серед усіх припустимих законів руху джерел знайти той, при якому система припустимим чином перейде з деякого початкового стану в заданий кінцевий (або його окіл), так щоб часові, матеріальні, енергетичні затрати або значення деякого іншого критерію якості досягли екстремуму.

Нехай D – множина припустимих керуючих впливів деякої розподіленої системи. Рухоме керування розподіленого об'єкта, який розглядається, характеризується функцією $v(x, t)$, $x \in D$, $t \geq t_0$, яка представляється у вигляді

$$v(x) = y(x, t)\mu(x, t),$$

де $y(x, t)$ – інтенсивність рухомого керування, а $\mu(x, t)$ – міра, що характеризує просторово-часову локалізацію, причому

$$\mu(x, t) \geq 0, \int_D \mu(x, t) dx = 1, t \geq t_0.$$

Частковим випадком такого рухомого керування є зосереджене в точці рухоме керування, причому координати точки залежать від часу. Цьому частковому випадку відповідає сингулярна міра

$$\mu(x, t) = \delta(x - s(t)), \quad x \in D,$$

$$s(t) \in D, t \geq t_0.$$

Рухоме керування в цьому випадку має вигляд

$$v(x, t) = y(x, t)\delta(x - s(t)). \quad (11)$$

Природно, що якщо маємо r локалізованих рухомих керувань з відповідними інтенсивностями і програмами руху $s(t)$, то маємо r функцій виду (11).

Слід зазначити, що розширення поняття керування на випадок рухомого джерела впливу приводить до наступних узагальнень:

- критерій якості може бути заданим також і на функції $s(t)$;
- виникають обмеження на шлях, швидкість та прискорення джерела;
- потужність джерела постійна чи змінна;
- швидкість руху мала, середня чи велика.

Теоретичне або алгоритмічне рішення задачі синтезу, побудова аналіз структурних схем, способи зняття інформації про систему з розподіленими параметрами з рухомими джерелами, створення управляючих пристроїв, питання стійкості, запізнювання тощо.

З іншого боку, змістовна постановка задачі управління якістю поверхні включає в себе формування заданого температурного поля за рахунок керованих параметрів різання. Отже, для формування заданого температурного поля необхідно вміти розв'язувати задачу, яка полягає у відшуканні початкового розподілу температури на основі інформації про розподіл в певний момент T . Фактично це є змістовною постановкою оберненої задачі теплопровідності, яка відноситься до некоректних задач математичної фізики.

Висновки: 1. Запропонована комп'ютерна модель формування геометричних характеристик оброблюваної поверхні є важливим етапом в теоретичному та практичному вивченні процесів, які відбуваються при формуванні поверхневого шару під час чистового торцевого фрезерування. Аналіз геометричних характеристик поверхні і впливу на них параметрів процесу дозволяє науково обґрунтувати нові режими обробки, конструкцію інструменту тощо. Розраховані на основі даного підходу геометричні характеристики поверхні мають значно менші розбіжності з експериментальними результатами, ніж існуючі емпіричні залежності. Розроблені програмні засоби для моделювання геометрії поверхні будуть покладені в основу більш складної моделі, яка повинна враховувати механічні, теплофізичні, жорсткісні, зношувальні явища, які виникають при обробці плоских поверхонь торцевими фрезами.

2. Перехід до задач рухомого керування фізико-хімічними властивостями поверхні, яка утворюється при обробці лезовим інструментом, приводить до нетривіальних теоретичних узагальнень. Успішний розв'язок відповідних задач знаходиться в прямій залежності від розробки відповідних математичних методів. Але оскільки дані задачі приводять до серйозних, а іноді і принципових аналітичних труднощів необхідно, вочевидь, підключати усі сучасні засоби досліджень: теорію, обчислювальні методи, комп'ютерні та натурні експерименти тощо. Зазначена тема являє собою самостійний, новий і

актуальний напрямок загальної науки про керування якістю обробки лезовим інструментом, оснащеним НТМ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Суслов А.Г.* Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
2. *Смелянский В.М., Блюментейн В.Ю.* Механика свободного резания. Феноменологическая теория формирования поверхностного слоя деталей // Вопросы механики и физики процессов резания и холодного пластического деформирования: Сб. науч. трудов ин-та сверхтв. мат-лов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – Киев, 2002. – С. 149–158.
3. *Мельничук П.П.* Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь: Автореф. дис...д.т.н. – Київ, 2002. – 36 с.
4. *Schwach D.W., Guo Y.B.* Feasibility of producing optimal surface integrity by process design in hard turning// Materials Science and Engineering A 395 (2005). – Pp. 116–123.
5. *Outeiro J.C., Dias A.M., Lebrun J.L. and Astakhov V.P.* Machining residual stresses in aisi 316l steel and their correlation with the cutting parameters – Machining Science And Technology. – Vol. 6. – № 2. – 2002. – Pp. 251–270.
6. *Chang-Xue (Jack) Feng, Xianfeng Wang,* Development of Empirical Models for Surface Roughness Prediction in Finish Turning//International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – Vol. 20. – № 5 / September 15. – 2002.
7. *Инструменты из сверхтвердых материалов // Под ред. Н.В. Новикова. – 2005.*

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – доктор технічних наук, завідувач кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем, ректор Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

— технологія машинобудування.

ЛОЄВ Володимир Юхимович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

— технологія машинобудування.

КРИЖАНІВСЬКИЙ Вячеслав Борисович — кандидат фізико-математичних наук, докторант кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

— комп'ютерне моделювання;

— технологія машинобудування.

Подано 10.05.07

УДК 621.914

Прогнозирование качества плоской поверхности при торцевом фрезеровании /П.П.Мельничук, В.Е.Лоев, В.Б.Крыжановский // Вісник ЖДТУ. – 2007. - № / Технічні науки. С. : библиогр.: 7 назв.

Предлагается компьютерная модель формирования поверхностного слоя при чистовом торцевом фрезеровании. Предлагаемая модель есть одной из составляющих общей модели процесса формирования обрабатываемой поверхности. Модель дает возможность визуализации поверхности, вычисления показателей качества по шероховатости и физической площади контакта.

УДК 621.914

The forecasting of quality flat surface machined by face mill /P.P.Melnychuk, V.E.Loiev, V.B.Kryzhanivskyy // Вісник ЖДТУ. – 2007. - № / Технічні науки. P. : refs.: 7 titles.

Computer aided model of surface layer formation during face finishing mill is proposed. This model is a component of general model of surface formation process. The model allows to visualize the machined surface and calculate of quality coefficients concerning to roughness and real contact area.