

УДК 621.914

П.П. Мельничук, д.т.н., проф.
В.Б. Крижанівський, к.ф.-м.н., доц.
П.В. Кур'ята, ст. викл.

Житомирський державний технологічний університет

ЗАДАЧА РЕКОНСТРУКЦІЇ В ДОСЛІДЖЕННІ УТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ПРИ ТОРЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Пропонується підхід до створення системної моделі формування поверхневого шару при чистовому торцевому фрезеруванні. Підхід ґрунтується на сучасних засобах системології, зокрема реконструкції складної системи за її підсистемами. Перспективність запропонованого підходу підтверджується експериментальними даними.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Метою чистового торцевого фрезерування є отримання деталей заданих розмірів і поверхонь з потрібними якісними характеристиками. Досягнення цього супроводжується цілим рядом складних, з точки зору моделювання, фізичних процесів, що протікають одночасно і характеризуються високою інтенсивністю та взаємовпливом. Кожне фізичних явище в рамках традиційної фізики має свій математичне описання і розглядається окремо.

Сучасні дослідження процесів механообробки показують, що фізичні явища в процесі різання (пружна та пластична деформації, залишкові напруги, виникнення супутніх гальванічних елементів, фазові перетворення, хімічні явища тощо) та способи їх взаємодії не вкладаються в єдину добре обґрунтовану та узгоджену детерміністичну теоретичну модель. Часто це приводить до серйозних непорозумінь між цілими науковими школами. 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. Тому їх взаємозв'язок розглядають як «чорну скриню». Але практична важливість технологічних задач забезпечення потрібної якості поверхневого шару стимулює зусилля у цьому напрямку багатьох авторів [1], [2], [3].

Слід відзначити ще одну рису, яка добре помітна в дослідженні процесів утворення поверхневого шару: намагання детальніше вивчити окремо ту чи іншу сторону процесу. Для цього доводиться

абстрагуватись від цілого ряду інших явищ. В результаті маємо цілу низку досить ґрунтовних досліджень окремих процесів (розподіл температур, залишкових напруг, формування шорсткості тощо). Але їх використання для моделювання реальних технологічних процесів в цілому є досить обмеженим.

Об'єктивними для дослідника залишаються тільки експериментальні дані. В даному контексті зауважимо, що вони мають принципово дискретний характер. Їх інтерпретація в більшості випадків у вигляді неперервних кривих або функцій, які є розв'язками крайових задач математичної фізики, це вже справа дослідника. Здебільшого в результаті отримуємо формули у вигляді показникових (степеневих) виразів, які часто повністю позбавлені фізичного сенсу, або крайові задачі, які не можна розв'язати аналітично. Як результат, для розв'язання крайових задач доводиться використовувати скінченно елементний аналіз [4].

Альтернативою такому підходу є підхід, який ґрунтується на сучасних досягненнях дискретної математики. З цієї точки зору отримані результати вимірювань інтерпретуються як прояв деякої алгебраїчної структури на дискретній множині. В теоретичному плані це ядро сучасної системології.

Аналіз досліджень і публікацій, на які спираються автори. Дана робота присвячена застосуванню засобів системології [5] до побудови системної моделі шароутворення. Мета створення такої системної моделі – це симбіотично доповнити творчий потенціал дослідника можливостями комп'ютера разом з програмним пакетом відповідних інструментальних засобів.

Однією з важливих складових побудови системної моделі є структурування системи. Для цього проводять реконструкцію складної системи за її підсистемами. Задача реконструкції полягає у визначенні наборів підсистем, які підходять для реконструкції заданої системи з певною точністю, причому реконструкція повинна використовувати лише ту інформацію, яка міститься у цих підсистемах.

Для перевірки запропонованого підходу використані дані експерименту з роботи [6].

Однією з концептуальних пасток є те, що властивості усієї системи в цілому можна автоматично отримати за знаннями про відповідні властивості, які пов'язані з підсистемами. Якщо припущення про можливість реконструкції всієї системи за визначеними її підсистемами не підтвердилося, то будь-які висновки, що отримані з підсистем, відносно всієї системи можуть бути некоректними та такими, що вводять в оману.

Власне інформація про можливість реконструкції неявно міститься в даних про систему в цілому. Але явне отримання реконструкції вимагає аналізу цих даних. Для великих систем, які мають практичне значення, аналіз реконструюємості без допомоги обчислювальної техніки отримати фактично неможливо. Це типова ситуація при аналізі задач системного характеру взагалі й задачі формування поверхневого шару зокрема.

В загальних рисах побудова системної моделі полягає в наступному. Накопичений фактичний матеріал структурується у вигляді системи об'єкта, яка абстрактно має наступний вигляд:

$$O = \left\{ \{ (a_i, A_i) \mid i \in N_n \}, \{ (b_j, B_j) \mid j \in N_m \} \right\},$$

де $N_n = \{1, 2, \dots, n\}$, $N_m = \{1, 2, \dots, m\}$, a_i , A_i позначають властивість та множину її проявів, b_j , B_j – база та множина її елементів.

В даному конкретному випадку дослідження поверхневого шару базовою буде група, тобто вибірка деталей, над якими проведено дослідження.

У подальшому процес абстрагування продовжується, і в результаті створюються абстракції більш високого епістемологічного рівня, які містять канали спостереження (чіткі та нечіткі), канали конкретизації/абстрагування тощо. Ієрархія епістемологічних рівнів утворює каркас таксономії складних систем і є фактично спеціальною мовою для описання складних системних задач. Уявляється, що така ієрархія необхідна для створення будь-яких системних моделей.

Формулювання цілі статті. Якість поверхні оцінюється за показниками, які природним чином можна розділити на дві групи:

- геометричні показники;
- показники фізико-механічного стану.

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

В нашій роботі зосередимо увагу на геометричних характеристиках поверхні. Іншими словами, за результатами роботи [6] побудуємо реконструкцію процесу формування мікрогеометрії поверхні при чистовому торцевому фрезеруванні високоміцного чавуну. Для цього розглянемо цей процес як систему з поведінкою, що визначена на даних, які отримані спостереженням за чотирма змінними, які характеризують процес фрезерування. Метою є з'ясування взаємовпливу подачі та коефіцієнта концентрації напруг.

Спостережені значення являють собою:

$v = \{2, 37; 3, 71; 4, 67\}$, швидкість різання, м/с,

$S = \{0, 1; 0, 2; 0, 3\}$, подача, мм/об,

$R_a = \{A, B\}$, шорсткість,

$\alpha_R = \{0, 3; 0, 4; 0, 5; 0, 7\}$, коефіцієнт концентрації напруг,

де A – позначає шорсткість, яка не перевищує 1,5 мкм; B – шорсткість, яка перевищує 1,5 мкм.

Для визначення на цих даних системи з поведінкою можна використати ймовірнісну методологію без пам'яті. З 72 можливих станів змінних насправді спостерігалось тільки 9. Оскільки в дослідах ці стани спостерігалися з однаковими частотами, то в подальшому варто розрізняти лише спостережене та неспостережене значення. Отримуємо функцію поведінки f (табл. 1), яка приймає значення 1 для спостережених станів змінних і 0 – у протилежному випадку. Згідно зі спостереженнями в роботі [6] – протилежному, коефіцієнт концентрації напруг α_R несуттєво залежить від подачі на оберт S . Для підтвердження цієї ідеї з'ясуємо реконструктивні властивості узагальненої функції поведінки f . Нас буде цікавити лише реконструктивні гіпотези без втрати інформації. У цьому випадку змінні виявляються дуже обмеженими (спостерігається лише 9 з 72 можливих варіантів). Однак легко бачити, що проєкції f , що відповідають будь-якій парі змінних, необмежені, тобто будь-який стан на цій парі змінних має ймовірність, що дорівнює 1. Отже ці змінні попарно незалежні, узагальнена функція поведінки не може бути реконструйована тільки за двовимірними проєкціями.

Щоб визначити, чи може f бути реконструйована за будь-якими іншими проєкціями, варто розглянути реконструктивні гіпотези, які ґрунтуються на C -структурах. За допомогою RC -процедури ми отримуємо шість реконструктивних гіпотез. Незміщені реконструкції обчислюються за допомогою можливого варіанта процедури з'єднання. Діаграми цієї процедури, а також відповідні графи зображені на рисунках 1–6.

Кожна реконструктивна гіпотеза наведена на рисунку під відповідним номером. Незміщені реконструкції за кожною з гіпотез наведені у таблиці 1 (рядки, які відповідають наборам значень змінних, що не реконструюються за жодною гіпотезою, опущені). Як видно з таблиці 1, гіпотеза 6 точно реконструює f . Усі інші гіпотези дають некоректні стани узагальненої системи. Отже маємо лише одну вдалу реконструктивну гіпотезу.

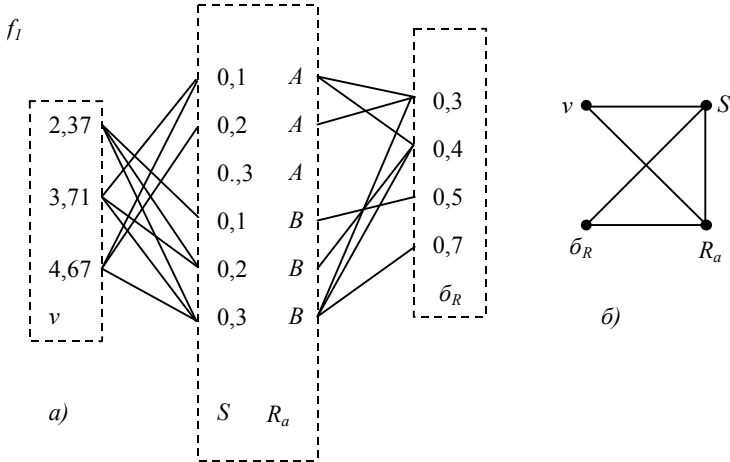


Рис. 1. Реконструктивна гіпотеза f_1 :
а) діаграма з'єднання; б) граф

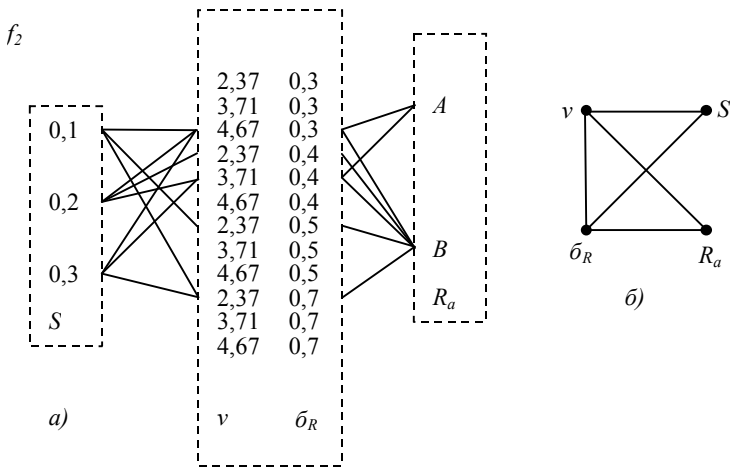


Рис. 2. Реконструктивна гіпотеза f_2 :
а) діаграма з'єднання; б) граф

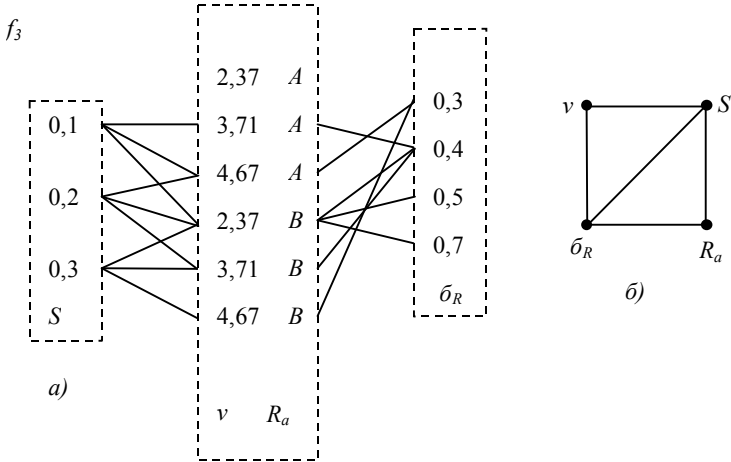


Рис. 3. Реконструктивна гіпотеза f_3 :
а) діаграма з'єднання; б) граф

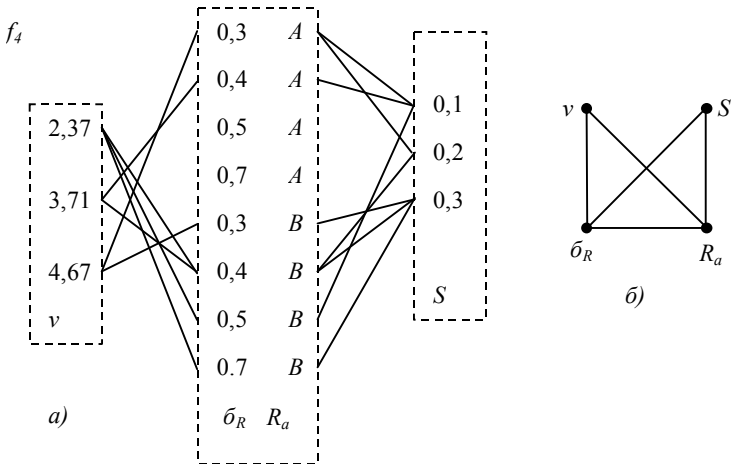


Рис. 4. Реконструктивна гіпотеза f_4 :
а) діаграма з'єднання; б) граф

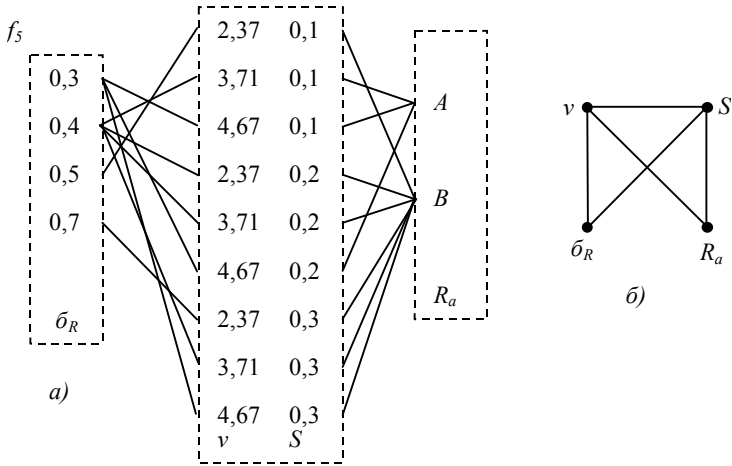


Рис. 5. Реконструктивна гіпотеза f_5 : а) діаграма з'єднання; б) граф

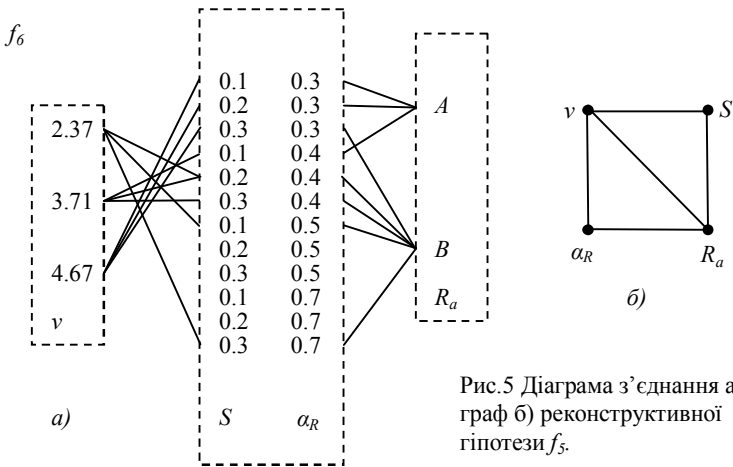


Рис. 5 Діаграма з'єднання а) та граф б) реконструктивної гіпотези f_5 .

Рис. 6. Реконструктивна гіпотеза f_6 : а) діаграма з'єднання; б) граф

Таблиця 1

Функція поведінки f та її реконструкції f_1-f_6

v	S	R_a	a_R	f	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

2,37	0,1	B	0,4	0	0	0	1	0	1	0	
		B	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1
		B	0,7	0	0	0	1	0	0	0	0
	0,2	B	0,4	1	1	1	1	1	1	1	1
		B	0,5	0	0	0	1	0	0	0	0
		B	0,7	0	0	0	1	0	0	0	0
	0,3	B	0,3	0	1	0	0	0	0	0	0
		B	0,4	0	1	0	1	1	0	0	0
		B	0,5	0	0	0	1	0	0	0	0
3,71	0,1	A	0,3	0	1	0	0	1	0	0	
		A	0,4	1	1	1	1	1	1	1	
		B	0,4	0	0	1	0	0	0	0	
	0,2	A	0,4	0	0	1	0	0	0	0	
		B	0,4	1	1	1	1	1	1	1	
	0,3	A	0,4	0	0	1	0	0	0	0	
		B	0,3	0	1	0	0	0	0	0	
		B	0,4	1	1	1	1	1	1	1	
	B	0,7	0	1	0	0	0	0	0		

Закінчення табл. 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4,67	0,1	A	0,3	1	1	1	1	1	1	1
		A	0,4	0	1	0	0	0	0	0
		A	0,5	0	0	0	0	0	0	0
	B	0,3	0	0	1	0	0	0	0	0
	0,2	A	0,3	1	1	1	1	1	1	1
		B	0,3	0	0	1	0	0	0	0
	0,3	A	0,3	0	0	1	0	0	0	0
		B	0,3	1	1	1	1	1	1	1
		B	0,4	0	1	0	0	0	0	0
B	0,7	0	1	0	0	0	0	0		

Розглядаючи реконструктивну гіпотезу f_6 , бачимо, що на її графі (рис. 6, б) відсутнє ребро $\{\alpha_R, S\}$. Це підтверджує припущення про несуттєвість взаємовпливу між коефіцієнтом концентрації напруг α_R та подачею S .

Висновок. У даній роботі розглянуто можливість побудови системної моделі процесу шароутворення. Проведено аналіз реконструюємості процесу утворення мікрогеометрії поверхневого шару при чистовому торцевому фрезеруванні. Висновки реконструкції цілком збігаються з даними експерименту. Результати роботи є

підґрунтям для створення каркасу таксономії системної моделі шароутворення при чистовому торцевому фрезеруванні.

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. ... докт. тех. наук, – Київ, 2002. – 36 с.
4. Mackerle J. Finite-element analysis and simulation of machining: a bibliography (1976-1996) // Journal of Materials Processing Technology 86 (1999). Pp. 17–44.
5. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
6. Громовий О.А. Чистова обробка високоміцного чавуну торцевою фрезою з регульованою схемою різання // Вісник ЖІТІ. – 2001. – № 19 / Технічні науки. – С.45–48.

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

Наукові інтереси:

– технологія машинобудування.

КРИЖАНІВСЬКИЙ В'ячеслав Борисович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, докторант кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем.

Наукові інтереси:

– технологія машинобудування;

– математичне моделювання та обчислювальні методи в наукових дослідженнях.

КУР'ЯТА Петро Володимирович – старший викладач кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:
– обробка металів.

Подано 12.09.2005