

О.В. Братко, асист.

Черкаський державний технологічний університет

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ЯВИЩ ПРИ ТОЧІННІ ПОКРИТТІВ
ІНСТРУМЕНТОМ ІЗ КИБОРИТУ***(Представлено к.т.н. Л.Г. Полонським)*

Представлено результати досліджень вібраційних явищ у технологічній системі при точінні газотермічних покриттів на основі самофлюсуючих порошкових матеріалів. Як різальний інструмент використовувалися різці з кибориту. Визначено графічні залежності параметрів вібраційного поля технологічної системи від режимів різання.

Відносна доступність, економічність та технологічні можливості метода нанесення термомеханічних покриттів обумовили широке його використання в сучасному машинобудуванні. Актуальним є використання термомеханічних покриттів й у ремонтному виробництві сучасної України та країн СНД. Для більшості підприємств доцільно відновлювати зношені деталі, так як вартість відновлених робіт на 35–55 % нижча за вартість нової деталі. Метод відновлення деталей міг би бути ще більш привабливим, з економічної точки зору, якби не деякі особливості побудови та проблеми механічної обробки зносостійких покриттів [1, 2]. Гетерогенна структура покриттів, нестабільність їх фізико-механічних властивостей та недостатня адгезійна міцність (30...50 МПа) суттєво знижують довговічність деталей з покриттями. В процесі напилення та механічної обробки формуються різноманітні дефекти структури покриття:

- макродефекти (пори, неоднорідність, включення інших частинок);
- дефекти субструктури (вакансії дислокацій, смуги ковзання тощо).

Переміщення субструктурних дефектів у напрямку макродефектів, їх накопичення до критичної щільності є джерелом формування зародків мікротріщин. Саме мікротріщини обмежують довговічність деталей з покриттями. Макродефекти формуються на етапі напилення, а тому їх зменшення регламентується методами напилення. Щодо субструктурних дефектів, то зменшення їх щільності повинно забезпечуватися на етапі механічної обробки.

Найбільш розповсюдженим методом обробки зносостійких покриттів є алмазне шліфування. Воно забезпечує необхідні параметри якості поверхневого шару покриття, але має низьку продуктивність. Альтернативою алмазному шліфуванню є чистове точіння інструментом з ПНТМ. Цей метод обробки є продуктивнішим, але значно збільшує силове навантаження на покриття. Суттєве покращення якості чистового точіння було досягнуто при використанні ультразвукового різання звичайних та деяких важкооброблюваних матеріалів [3, 4]. При точінні, на відміну від шліфування, нескладно реалізувати схему вібраційного різання. Проте аналіз науково-технічної літератури виявив, що такі технології при різанні покриттів практично не розроблялись. А вплив ультразвукових коливань на фізико-механічні властивості покриття взагалі не вивчався. Тому метою роботи є дослідження вібраційних явищ в технологічній системі при звичайному різанні покриттів, з'ясування характеру залежності параметрів вібраційного поля від режимних факторів обробки та визначення амплітудно-частотних характеристик для вибору зовнішнього вібратора. В установці з дослідження вібраційних явищ при точінні інструментом з ПНТМ (рис. 1) для реєстрації параметрів вібраційного поля технологічної системи сигнали з трьох датчиків 4 подаються на підсилювач 2. Датчики-акселерометри типу 4369 фірми "Briel & Kjaer" (Данія) з діапазоном вимірювання частот до 39 кГц встановлюються на різець 1 у трьох взаємоперпендикулярних площинах. Підсилені сигнали надходять на двохпроменевий напівпровідниковий осцилограф 5 (модель С1-55). Паралельно сигнали з підсилювача подаються на комп'ютер 3, де оцифровуються і записуються у вигляді файла.

Для проведення дослідів на циліндричні зразки було нанесено газотермічне самофлюсуюче порошкове покриття ПГ-12Н-01 системи Ni–Cr–B–Si (хімічний склад: Ni – основа, Cr \approx 11 %; Si = 1,6 %; B = 2,1 %; Fe = 1,25 %, C = 0,45 %. Твердість HRC₃ – 35–62, поруватість – 5–12 %). Як різальний матеріал використовувався киборит (ПНТМ на основі кубічного нітриду бору). Досвід використання свідчить, що киборит добре зарекомендував себе при обробці зносостійких покриттів [5], має достатню в'язкість і добре працює в умовах ударних динамічних навантажень, володіє високою стійкістю до появи тріщин. Геометричні параметри різця: передній кут $\gamma = -10^\circ$, задній кут $\alpha = 10^\circ$, головний кут в плані $\varphi = 50^\circ$.

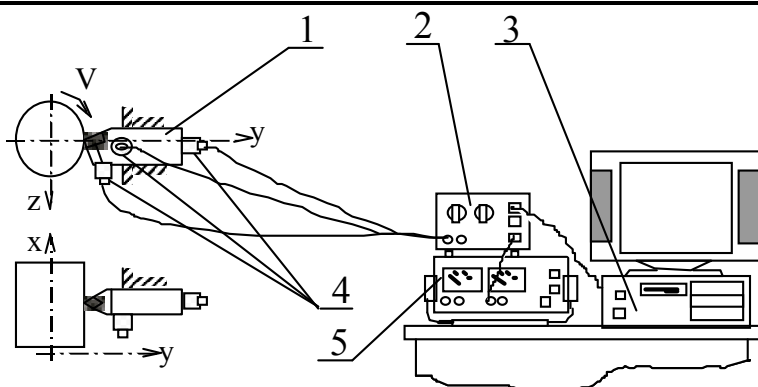


Рис. 1. Схема установки

Для проведення досліджень було прийнято експеримент другого порядку з композиційним тривірневим симетричним планом типу В [6]. Ядро плану являє собою повний факторний експеримент 2^N , а до точок ядра додаються точки, що визначені за правилом зіркового плеча, та нульові точки. Дослідження передбачили проведення активного експеримента з трьома факторами, кожен з яких змінювався у певному діапазоні:

- X_1 – глибина різання $t = 0,025 \dots 0,010$ мм;
- X_2 – повздовжня подача $S = 0,05 \dots 0,15$ мм/об.;
- X_3 – швидкість різання $V = 30,0 \dots 47,2$ м/хв.

Як вихідні параметри були визначені:

- Y_1 – частота коливань системи f , Гц;
- Y_2 – амплітуда коливань A_x , мкм;
- Y_3 – амплітуда коливань A_y , мкм;
- Y_4 – амплітуда коливань A_z , мкм.

Результати дослідів та розрахункові дані представлені в таблиці 1. Вони є вхідними даними для визначення коефіцієнтів регресії рівнянь, що описують досліджувані процеси. Загальна формула для запису регресійних рівнянь другого порядку [6] має вигляд:

$$F_i = k_0 + k_{11}X_1^2 + k_{22}X_2^2 + k_{33}X_3^2 + k_1X_1 + k_2X_2 + k_3X_3 + k_{12}X_1X_2 + k_{13}X_1X_3 + k_{23}X_2X_3, \quad (1)$$

де k_{ij} – коефіцієнти регресії рівнянь другого порядку;

X_i – фактори експеримента, вхідні параметри;

F_i – досліджувана функція, вхідний параметр.

Таблиця 1

Матриця планування дослідів та їх результати

№ з/п	Фактори			Числа f , Гц	Амплітуда коливань, мкм		
	X_1	X_2	X_3		A_x	A_y	A_z
1	-1	-1	-1	3332,07	2,36	0,96	3,15
2	1	-1	-1	2663,87	1,34	1,88	7,89
3	-1	1	-1	3291,31	1,98	0,99	5,17
4	1	1	-1	2687,03	1,32	2,22	12,59
5	-1	-1	1	3288,93	1,98	0,99	3,23
6	1	-1	1	3258,00	3,82	1,76	5,27
7	-1	1	1	3367,89	3,36	1,88	5,55
8	1	1	1	3294,97	4,83	2,95	11,6
9	-1	0	0	2696,21	0,99	1,48	5,82
10	1	0	0	2679,72	1,33	1,86	7,79
11	0	-1	0	2676,16	1,00	1,49	5,86
12	0	1	0	2653,26	1,02	2,27	11,92
13	0	0	-1	2787,34	0,92	1,72	8,1
14	0	0	1	2715,69	1,62	2,17	8,54

Після визначення коефіцієнтів регресії k_{ij} , перевірки їх значимості та адекватності математичної моделі, згідно з методикою, наведеною в [6], регресійні рівняння з нормованими змінними набудуть такого вигляду:

$$F = 2488,1 + 194,7X_1^2 + 176,5X_2^2 + 263,3X_3^2 - 138,2X_1 + 7,54X_2 + 116,3X_3 + 2,74X_1X_2 + 146,08X_1X_3 + 16,69X_2X_3 \quad (2)$$

$$A_x = 0.42 + 0.74X_1^2 + 0.59X_2^2 + 0.85X_3^2 + 0.2X_1 + 0.2X_2 + 0.77X_3 + 0.62X_1X_2 + 0.35X_2X_3 \quad (3)$$

$$A_y = 1.9 + 0.23X_1^2 + 0.44X_1 + 0.32X_2 + 0.2X_3 + 0.08X_1X_2 + 0.21X_2X_3 \quad (4)$$

$$A_z = 8.63 - 1.83X_1^2 + 0.26X_2^2 - 0.31X_3^2 + 0.22X_1 + 2.14X_2 - 0.27X_3 + 0.84X_1X_2 - 0.51X_1X_3 + 0.24X_2X_3 \quad (5)$$

Для переходу від рівнянь з нормованими змінними до звичайних рівнянь з дійсними значеннями використовувалась така формула:

$$X_i = \frac{2 \cdot X_i^* - X_{iB}^* - X_{iH}^*}{X_{iB}^* - X_{iH}^*}, \quad (6)$$

де X_i – нормоване значення змінної;

X_i^* – дійсне значення змінної;

X_{iB}^*, X_{iH}^* – верхня та нижня межі діапазону дійсного значення змінної.

Згідно з отриманими регресивними рівняннями (2–5) представлені графічні залежності амплітуд (A_x, A_y, A_z) і частоти f коливань технологічної системи від режимів різання (рис. 2–5). Аналіз отриманих графіків свідчить, що вплив режимних факторів та рівень вібраційного поля технологічної системи мають неоднозначний характер.

Так амплітуда A_x має нелінійну залежність від режимів різання. Область мінімальних значень A_x відповідає мінімальній швидкості різання $V = 30 \dots 35$ м/хв. і при подачі $S = 0,075 \dots 0,125$ мм/об. За таких значень V і S амплітуда A_x практично не залежить від глибини різання t . В цілому при мінімальній глибині різання $t = 0,025 \dots 0,040$ мм швидкість різання V і подача S незначно впливають на величину A_x і лише при максимальних значеннях t чітко просліджується значний вплив швидкості різання V на значення A_x . При цьому подача S так само мало впливає на A_x .

На графіках амплітуд коливань A_y і A_z відмічаються практично лінійні залежності амплітуд від режимів різання. Для амплітуди A_y характерна дуже мала її залежність від режимів обробки при їх мінімальних значеннях. З інтенсифікацією режимів різання зростає і їх вплив на величину A_y . Ця закономірність чітко підтверджується при максимальних значеннях V, S і t .

Що стосується амплітуди A_z , то вона практично не змінюється при зміні швидкості різання за будь-яких значень S і t . І лише при максимальній глибині різання відмічається незначне зменшення A_z в області максимальної швидкості різання. Збільшення подачі S і глибини t має стабільний вплив на зростання A_z , причому, чим більше значення має один з режимних факторів, тим значніший вплив іншого на швидкість зростання амплітуди A_z .

Частота коливань f технологічної системи має стабільний нелінійний характер. Причому, залежність f від кожного окремо взятого режимного фактора в межах його зміни має форму параболі. Область мінімальних частот ($f \approx 2400$ Гц) припадає на такі значення режимів різання: $t = 0,055 \dots 0,075$ мм; $S = 0,08 \dots 0,13$ мм/об.; $V = 35 \dots 38$ м/хв. Максимальна частота ($f \approx 3200$ Гц) відповідає максимальним значенням режимів різання і особливо їх крайнім значенням при мінімальній глибині різання.

Підсумовуючи результати експериментальних досліджень, можна зробити такі висновки:

- фізико-механічні властивості термомеханічних покриттів та їх гетерогенна структура повинні враховуватись при розробці технології напилення та подальшої механічної обробки;
- напружено-деформований стан покриттів та низька адгезійна міцність створюють умови дефектоутворення і руйнування при нестабільних значеннях термосилового навантаження при різанні. Тому продуктивність і якість обробки обмежуються;
- вплив режимів різання на амплітуди A_x, A_y, A_z та частоту f автоколивань є неоднозначним. Спостерігається загальна закономірність їх підвищення при інтенсифікації різання, що обумовлюється проявом втрати жорсткості окремих елементів технологічної системи;
- підвищення ефективності механічної обробки покриттів доцільно здійснювати не за рахунок традиційних методів (оптимізація режимів різання, характеристики різального інструменту тощо), а шляхом застосування вібраційного різання і компенсації тим самим хаотичних автоколивань, створення керованого процесу різання з заданою амплітудно-частотною характеристикою.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс: Пер. с нем. – М.: Машиностроение, 1966. – 432 с.
2. Рижов Э.В., Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. – К.: Наук. думка, 1994. – 180 с.
3. Кумабе Д. Вибрационное резание: Пер. с япон. С.А. Масленникова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.

4. *Марков А.И.* Ультразвуковое резание труднообрабатываемых материалов. – М.: Машиностроение, 1968. – 365 с.
5. *Клименко С.А., Муковоз Ю.А., Полонский Л.Г.* Режущие инструменты из ПСТМ на основе нитрида бора. – К.: Знание, 1994. – 35 с.
6. *Налимов В.В.* Статистические методы описания химических и металлургических процессов. – М.: Металлургиздат, 1963. – 350 с.

БРАТКО Олександр Вікторович – асистент кафедри комп'ютеризованого проектування металорізальних верстатів та систем Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– механічна обробка захисних покриттів;

– ультразвукова розмірна обробка важкооброблюваних матеріалів.

Тел. роб.: (0472) 42-31-06

Тел. дом.: (0472) 42-14-56

Подано 11.12.2001

Рис. 5. Залежність частоти коливань f технологічної системи від режимів різання при точінні зносостійкого покриття ПГ-12Н-01 кіборитовим інструментом

Рис. 4. Залежність амплітуди коливань A_z технологічної системи від режимів різання при точінні зносостійкого покриття ПГ-12Н-01 кіборитовим інструментом

Рис. 3. Залежність амплітуди коливань A_y технологічної системи від режимів різання при точінні зносостійкого покриття ПГ-12Н-01 кіборитовим інструментом

Рис. 2. Залежність амплітуди коливань A_x технологічної системи від режимів різання при точінні зносостійкого покриття ПГ-12Н-01 кіборитовим інструментом