

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ
ПРОСТОРОВО-СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ КІНЦЕВИМИ
СФЕРИЧНИМИ ФРЕЗАМИ
НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПУ**

У статті розглянуто метод дослідження вібрацій при фрезеруванні просторово-складних поверхонь сферичними кінцевими фрезами на фрезерних верстатах з ЧПУ.

Вступ. Вібрації завжди супроводжують процес різання й негативно впливають на якість обробленої поверхні [1, 2]. Джерелами вібрацій при фрезеруванні на верстатах з ЧПУ, як правило, є: биття шпинделя верстата, погрішності самого інструмента і його закріплення, погрішності механізмів подач і нерівномірність відпрацювання кадрів при переміщенні по криволінійних траєкторіях, нерівномірність припуску, переривчастість процесу різання.

Особливий інтерес представляють дослідження вібрацій при фрезеруванні просторово-складних поверхонь сферичними кінцевими фрезами. У цьому випадку, фреза переміщується по складній просторовій траєкторії й умови різання змінюються практично в кожній точці траєкторії. Залежно від точки контакту сферичної частини фрези з обробленою поверхнею та від радіуса кривизни оброблюваної поверхні, будуть мінятися як фактична швидкість різання, так і фактична глибина різання. Ці зміни призводять до зміни рівня вібрацій уздовж траєкторії переміщення фрези й, відповідно, до різної шорсткості обробленої поверхні. Особливо це важливо враховувати при чистовій обробці, коли формується остаточна форма деталі.

На практиці дуже складно при запису сигналу відокремити вібрації, обумовлені процесом різання від вібрацій, створюваних іншими елементами технологічної системи [3]. При кінцевому сферичному фрезеруванні саме процес різання, у силу своєї переривчастості й нерівномірності, створює вібрації, які можуть привести до автоколивального процесу. Спроби імітації процесу об'ємного фрезерування шляхом прямолінійного переміщення фрези

уздовж однієї з осей координат, не дають достовірних результатів, які можна поширити на процес об'ємної обробки [4, 5].

При дослідженні вібрацій, як правило, записують загальний вібраційний сигнал, а потім, із загального спектра видаляють спектри сигналів, створювані іншими елементами технологічної системи. Цей метод досить трудомісткий і не завжди приводить до достовірних результатів.

Мета роботи. Розробити метод дослідження вібрацій при фрезеруванні просторово складних поверхонь сферичними кінцевими фрезами на фрезерних верстатах з ЧПУ, що дозволить вивчити характер зміни вібрацій уздовж всієї траєкторії переміщення інструмента й визначити їхній вплив на якість обробленої поверхні.

Результати проведених досліджень. Дослідження вібрацій вироблялися на гравірувально- фрезерному верстаті з ЧПУ із системою управління Mach3Mill. Оброблялася деталь зі сплаву Д16Т двозубою кінцевою сферичною фрезою зі швидкорізальної сталі діаметром 6,5 мм. Виконувалася обробка внутрішньої циліндричної поверхні радіусом 8,8 мм, що імітувала півсферу. Обробка велася на наступних режимах різання, що відповідають чистовій обробці: частота обертання шпинделя – 10000 хв.⁻¹, поздовжня подача – 100 мм/хв., глибина різання – 0,3 мм, поперечна подача – 0,5 мм. Обробка велася при переміщенні фрези в площині XZ попутним фрезеруванням.

Виміри вироблялися за допомогою п'єзоакселерометра ДН-4, що по черзі кріпився до деталі паралельно осям X, Y і Z. Запис сигналу виконувався через АЦП на комп'ютер за допомогою програми LGraph2.

Загальний вид сигналу по осях X, Y і Z представлений на рисунку 1. Час обробки склав 16,08 с. По осях X і Z сигнал представлений спільно зі спектром усього сигналу, а по осі Y з гистограмою розподілу амплітуд. Представлені дані показують, що частота основної гармоніки сигналів становить: для осі X – $f_x = 13621$ Гц, для осі Y – $f_y = 13990$ Гц і для осі Z – $f_z = 11151$ Гц. З наведених записів вібросигналів видно, що амплітуда коливань зменшується до нижньої точки півсфери, а ближче до моменту вривання й закінчення обробки вона збільшується. Запис сигналу в такому виді важкий для подальшої обробки й аналізу, тому що тут відбиті сумарні вібрації всіх елементів технологічної системи. Для зручності подальшої обробки отриманих сигналів був збільшений масштаб тимчасової координати.

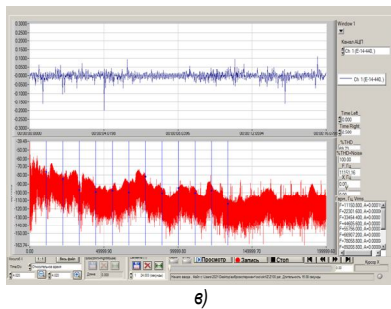
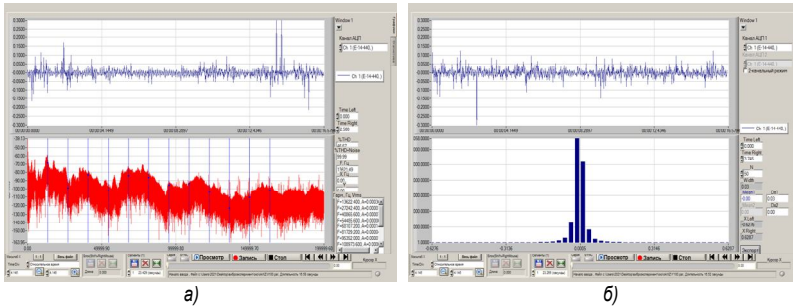


Рис. 1. Загальний вигляд віброцигалів:
а) по осі X; б) по осі Y; в) по осі Z

Збільшення масштабу по осі часу дозволило одержати запис сигналу в такому вигляді, що можна було виділити вібрації при роботі одного зуба, починаючи з моменту врізання обраного зуба й до початку врізання наступного.

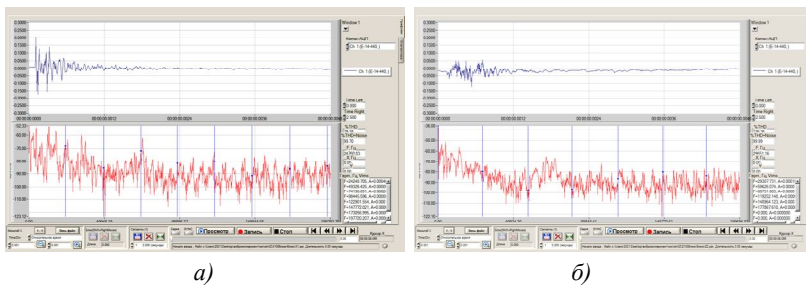


Рис. 2. Запис віброцигалів та їхніх спектрів при роботі одного зуба сферичної фрези в початковий момент часу: а) по осі X; б) по осі Z

На рисунку 2 представлено вібросигнали та їхні спектри при першому врізанні зуба фрези в оброблюваний матеріал по осях X і Z. Вібрації в напрямку осі Y діють по дотичній до сферичної поверхні й мало впливають на шорсткість тому, цей сигнал у даній роботі не розглядається. Запис сигналів, представлених на рисунку 2, дозволяє виключити вібрації від інших елементів технологічної системи й перешкоди, викликані сторонніми джерелами вібрацій. При записі будь-якого виділеного блоку із загального сигналу, він зберігається як окремих сигнал, починаючи з нуля по тимчасовій шкалі.

Таблиця 1

Зміни максимальної й мінімальної амплітуд вібраційного сигналу й частоти основної гармоніки уздовж траєкторії обробки

t, с	Вісь X			Вісь Z		
	A _{max} , в	A _{min} , в	F, Гц	A _{max} , в	A _{min} , в	F, Гц
0	0,2028	-0,1697	24760	0,0628	-0,1182	29672
2	0,2177	-0,2293	20240	0,2213	-0,1734	13766
4	0,1129	-0,1158	12222	0,2887	-0,1227	13359
6	0,0244	-0,0493	13866	0,0416	-0,0432	14417
8	0,005	-0,0509	4257	0,0142	-0,026	32442
10	0,0654	-0,0743	16967	0,0591	-0,0604	8191
12	0,0952	-0,1132	16657	0,0372	-0,0940	11846
14	0,2567	-0,2299	10337	0,1214	-0,1247	16859
16	0,047	-0,0383	26187	0,1267	-0,0716	16772

Аналогічним образом були виділені кілька блоків по осях X і Z уздовж усього шляху різання через рівні проміжки часу, що дорівнювали двом секундам. При аналізі обраних блоків вібросигналів роботи одного зуба були виділені максимальні й мінімальні значення амплітуд вібрацій, а так само частоти вібрацій основної гармоніки. Результати отриманих даних представлено в таблиці 1. Одиниці виміру амплітуд дані у вольтах, а частота вібрацій у герцах.

Дані таблиці 1 для наочності краще представити в графічному вигляді.

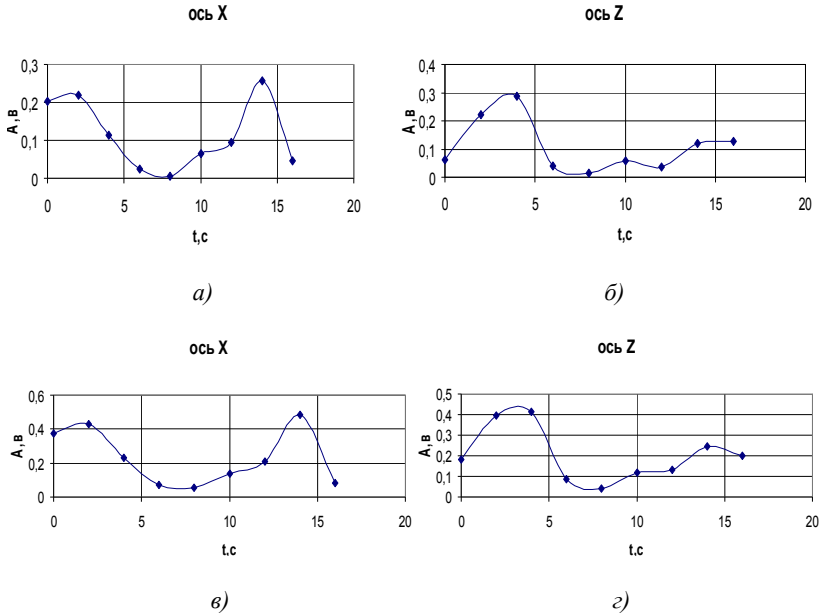


Рис. 3. Зміна максимальної амплітуди уздовж шляху різання по осях X і Z (а, б) і зміна суми абсолютних значень амплітуд (в, г)

На рисунку 3 показані зміни максимальної амплітуди по осях X і Z. Із графіків видно, що максимальна амплітуда сигналу по осі X (рис. 3, а) спочатку росте при переміщенні фрези протягом перших двох секунд роботи. Потім амплітуда убуває до нижньої точки півсфери. При подальшому переміщенні фрези знову відбувається ріст амплітуди до точки траєкторії, що відповідає 45° положення фрези щодо центральної осі півсфери, з наступним убуванням амплітуди до виходу фрези із зони різання.

Зміна максимальної амплітуди по осі Z (рис. 3, б) також відбувається з первісним ростом значень за перші чотири секунди роботи. При подальшому переміщенні фрези амплітуда зменшується до нижньої точки півсфери й далі її ріст незначний до закінчення обробки.

Графік зміни максимальної амплітуди по осі Y у даній роботі не наведений, але характер її змін і величина близькі до даних по осі X. Графіки мінімальних значень амплітуд наведено у таблиці 1; вони мають схожий вигляд, що відповідає рисунку 3, а та б.

На рисунку 3, в та з представлено графіки зміни суми абсолютних значень амплітуд по осях X і Z. Із графіків видно, що характер зміни амплітуд, однаковий.

Максимальна й мінімальна амплітуди вібрацій при роботі одного зуба фрези є основним чинником, що впливає на шорсткість обробленої поверхні. Нерівномірність амплітуди уздовж шляху різання призводить до неоднорідної шорсткості обробленої поверхні. Знаючи характер зміни амплітуди й вивчивши вплив режимів різання на її величину, можна домогтися її сталості при мінімальних абсолютних значеннях і, тим самим, досягти оптимальної шорсткості. Це питання вимагає подальшого дослідження.

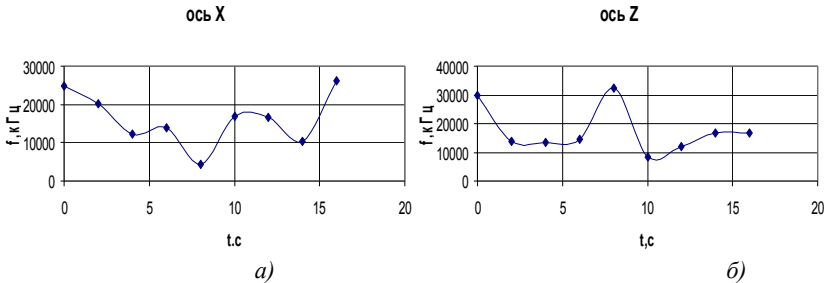


Рис. 4. Зміна частоти основної гармоніки вібраційного сигналу при різанні одним зубом фрези уздовж шляху різання по осях X і Z

Аналіз зміни частот основної гармоніки сигналів (рис. 4) показує, що частота вібрацій уздовж траєкторії обробки є величиною не постійною й, крім того, по осях X і Z перебувають у протифазі. Там, де по осі X іде зменшення частоти основної гармоніки, по осі Z відбувається збільшення. І навпаки.

Така зміна амплітуди й частоти вібрацій уздовж шляху різання зв'язані, вочевидь, з неоднаковою жорсткістю верстата по осях X, Y і Z і зі зміною умов різання. При переміщенні фрези уздовж траєкторії обробки змінюється величина й напрямок сили різання. Так твердість верстата по осі X з $\frac{1}{4}_x = 44,87$ кгс/мм, по осі Y – $\frac{1}{4}_y = 61,7$ кгс/мм і по осі

Z – $\frac{1}{4}_z = 30,4$ кгс/мм. П'єзоакселерометр вимірює прискорення, з яким коливається деталь і видає його значення у вольтях. Відповідно можна сказати, що сила різання буде змінюватися аналогічно зміні амплітуди вібрацій. На жаль, немає залежності величини прискорення від величини амплітуди сигналу. Відомо тільки, що вона не лінійна. Тому,

установити конкретну зміну сили різання уздовж шляху різання, не є можливим.

Якщо розглянути загальний вид вібросигналів наведених на рисунку 1, то можна виділити окремі ділянки траєкторії, де амплітуда робить стрибки й перевищує середнє максимальне значення в 2–3 рази. На рисунку 5 представлено запис такого стрибка амплітуди по осі X. Аналогічний вид мають стрибки амплітуд по осях Y і Z. Можна припустити, що в цих місцях були якісь неоднорідності металу, які призвели до різкого збільшення амплітуди.

На всіх трьох записах вібросигналів стрибки амплітуд розташовані в різних місцях траєкторії. Це пов'язане з тим, що запис сигналу здійснювався окремо для кожної осі по окремій траєкторії. Якщо використовувати датчик з одночасним записом сигналів по всіх трьох траєкторіях, то можна зробити більш однозначний висновок.

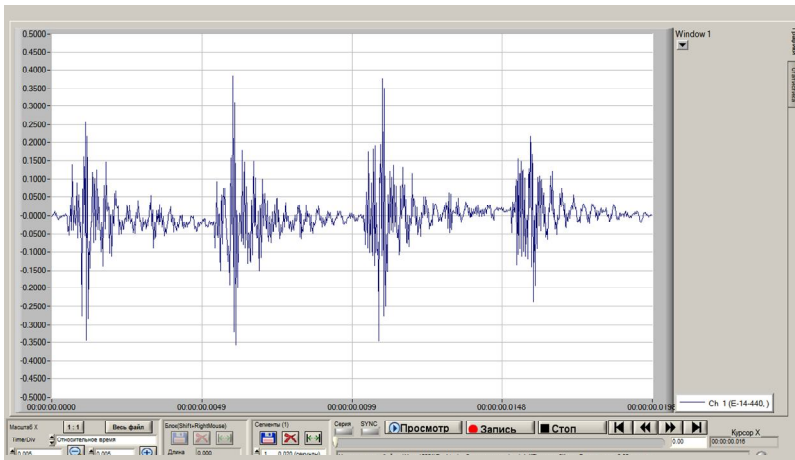


Рис. 5. Блок із записом вібросигналу при стрибку амплітуди по осі X

Висновки. Розглянутий метод дослідження вібрацій дозволяє зробити детальний аналіз фрезерної обробки деталей по складних просторових траєкторіях на верстатах з ЧПУ. Дослідження внутрішньої обробки півсфери сферичними кінцевими фрезами показує, що максимальна амплітуда вібрацій і частота основної гармоніки змінюються уздовж всієї траєкторії обробки. Сума

абсолютних значень максимальної й мінімальної амплітуд уздовж траєкторії обробки змінюється в 5–8 разів. Відповідно, це призводить до нерівномірної шорсткості обробленої поверхні. Використання розглянутого методу дослідження вібрацій дає можливість оптимізувати режими різання й варіанти траєкторій обробки при фрезеруванні просторово-складних поверхонь на фрезерних верстатах з ЧПУ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Каширин А.И.* Исследование вибраций при резании металлов / *А.И. Каширин.* – М.–Л. : АН СССР, 1944. – 134 с.
2. *Бобров В.Ф.* Основы теории резания металлов / *В.Ф. Бобров.* – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.
3. *Криворучко Д.В.* Идентификация режима автоколебаний в технологической системе при фрезеровании концевыми фрезами / *Д.В. Криворучко, В.А. Залого, С.С. Емельяненко* // Труды Одесского политехнического университета. – 2008. – Вып. 1 (29). – С. 73–78.
4. *Sadeghi M.H.* A solid modeler based ball-end milling process simulation / *M.H. Sadeghi, H.Haghighat, M.A. Elbestawi* // Int J Mfg Technol (2003) 22. – P. 775–785.
5. Prediction of Chatter in CNC Machining based on Dynamic Cutting Force for Ball End Milling / *R.Daud, N.K. Hasfa et al.* // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. – 2009. – Vol. II. – IMECS 2009, March 18–20, 2009, Hong Kong.

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

Наукові інтереси:

- верстати з ЧПУ;
- робототехніка.

Подано 25.05.2011