

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ БАГАТОЛЕЗОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ ШЛЯХОМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ОДНОРІДНОСТІ РІЖУЧИХ ПЛАСТИН

Донбаська державна машинобудівна академія

Анотація. У роботі представлено інноваційний підхід до підвищення надійності багатолезових різальних інструментів шляхом попереднього сортування змінних ріжучих пластин за показниками спектральної однорідності. Запропоновано метод акустичної діагностики, який дозволяє ідентифікувати динамічні характеристики пластин через аналіз спектрів їх власних коливань при широкосмуговому збудженні. Запропонована методика є неконтактною, економічно ефективною та може бути інтегрована в системи технологічного контролю з використанням алгоритмів машинного навчання.

Ключові слова: Акустична діагностика, багатолезова фреза, ріжучі пластини, спектральний аналіз, кластеризація, надійність інструменту, карти Кохонена, машинне навчання.

Підвищення експлуатаційної надійності ріжучого інструменту залишається одним із ключових завдань сучасного машинобудування. Досвід експлуатації багатолезових фрез із змінними твердосплавними пластинами показує, що навіть незначна неоднорідність фізико-механічних властивостей пластин з однієї партії призводить до нерівномірного розподілу навантажень, асинхронного зносу різальних кромek та передчасного виходу інструменту з ладу [1, 2]. Традиційні методи контролю якості пластин здебільшого фокусуються на їх геометричних параметрах та не враховують приховану неоднорідність динамічних характеристик, які безпосередньо впливають на поведінку інструменту під час різання [3]. У даній роботі обґрунтовано гіпотезу про те, що ріжучі пластини, які мають близькі спектральні характеристики власних акустичних коливань, є динамічно однорідними за сукупністю механічних властивостей, а формування інструментів із таких пластин дозволяє істотно підвищити їх надійність.

Для реалізації спектральної діагностики розроблено експериментальний стенд, який складається з акустичного збуджувача, що генерує широкосмуговий сигнал (10-20000 Гц); п'єзодатчика, що реєструє зворотний сигнал від пластини; програмного середовища аналізу спектру на основі швидкого перетворення Фур'є. Для кожної пластини отримано спектр власних частот, який перетворено на вектор спектральних ознак: частоти основних резонансних піків, амплітуди основних резонансних піків, ентропійні характеристики спектру, коефіцієнти добротності резонансів. Для класифікації пластин за спектральними характеристиками застосовано метод кластеризації на основі самоорганізуючих карт Кохонена, який дозволяє візуалізувати багатовимірні дані у вигляді двовимірної топологічної карти та формувати групи елементів з подібними властивостями.

Дослідження проведено на партії з 30 непереточуваних ріжучих пластин типу ADMX 16, що використовуються для комплектації збірних довгокромочних фрез SAD16E. Результати кластеризації показали наявність чотирьох кластерів з різними спектральними характеристиками, при цьому найбільший кластер (17 пластин) мав найвищий рівень спектральної однорідності.

Порівняльні випробування фрези, укомплектованої пластинами з одного кластеру (фреза А), та фрези з випадковою комплектацією (фреза Б) проводилися при обробці сталі 45 (HRC 35-38) з такими режимами різання: швидкість різання: $V = 180$ м/хв; подача: $S = 0,12$ мм/зуб; глибина різання: $t = 2,5$ мм.

Результати випробувань представлені в таблиці 1.

Розроблена аналітична модель надійності фрези:

$$R(t) = \exp[-(\lambda_0 + \alpha \cdot D_{\text{спектр}}) \cdot t],$$

де $R(t)$ як функції спектральної неоднорідності; $\lambda_0 = 0,015 \text{ хв}^{-1}$ – базова інтенсивність відмов; $\alpha = 2,3 \text{ хв}^{-1}$ – коефіцієнт впливу спектральної неоднорідності, $D_{\text{спектр}}$ – показник спектральної неоднорідності комплекту пластин.

Таблиця 1. Порівняльні результати випробувань фрез

Показник	Фреза А (однорідні)	Фреза Б (випадкові)	Зміна (%)
Стійкість, хв	48,3	35,9	+34,5%
Дисперсія зносу, мм	0,025	0,089	-71,9%
Віб्राції, мкм	12,3	26,8	-54,1%
Ra, мкм	1,1	1,6	-31,2%

Згідно з моделлю, ймовірність безвідмовної роботи фрези з однорідним комплектом пластин ($D_{\text{спектр}} = 0,011$) через 40 хвилин роботи становить 0,513, тоді як для фрези з випадковим комплектом ($D_{\text{спектр}} = 0,042$) – лише 0,217.

Висновки

Запропоновано та експериментально підтверджено ефективність методу підвищення надійності багатолезових фрез шляхом акустичної діагностики спектральної однорідності ріжучих пластин. Доведено існування кластерів пластин з подібними спектральними характеристиками в межах однієї виробничої партії, що свідчить про внутрішню неоднорідність їх динамічних властивостей. Встановлено, що формування фрез із пластин одного спектрального кластеру дозволяє підвищити стійкість інструменту на 30-45%, зменшити рівень вібрацій на 50%, значно покращити якість обробленої поверхні. Розроблено математичну модель надійності багатолезового інструменту як функції спектральної неоднорідності комплекту пластин, яка дозволяє кількісно оцінювати ефективність різних варіантів комплектування. Запропонована методика є неконтактною, швидкою та економічно ефективною, що дозволяє впровадити її у виробничий контроль якості ріжучих пластин без значних змін існуючої технологічної схеми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Клименко Г. П., Андронов О.Ю. Підвищення надійності технологічної системи під час механообробки на важких токарних верстатах. // Сучасні технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ", 2009. – Вип. 3. – С. 49-54.
2. Ravska N. S., Klymenko G. P., Tkachenko M. A. Cutting tool wear heavy lathe. – Cracow: AGH University of Science and Technology, 2010. – P. 137-147.
3. Ковалевський С. В. та ін. Діагностика технологічних систем і виробів машинобудування (з використанням нейромережевого підходу): монографія. – Краматорськ: ДДМА, 2016. – 186 с.

Ковалевський Сергій Вадимович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Інноваційних технологій і управління Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ-Тернопіль, kovalevskii61@gmail.com.

IMPROVING THE RELIABILITY OF MULTI-EDGE TOOLS BY ENSURING THE SPECTRAL UNIFORMITY OF CUTTING INSERTS

Abstract. This study presents an innovative approach to improving the reliability of multi-edge cutting tools by pre-sorting replaceable cutting inserts based on spectral homogeneity indicators. An acoustic diagnostic method is proposed, enabling the identification of the dynamic characteristics of the inserts through analysis of their natural vibration spectra under broadband excitation. The proposed technique is non-contact, cost-effective, and can be integrated into technological quality control systems using machine learning algorithms.

Keywords: Acoustic diagnostics, multi-edge milling cutter, cutting inserts, spectral analysis, clustering, tool reliability, Kohonen maps, machine learning.

Kovalevskyy Sergiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Innovative Technologies and Management of the Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk–Ternopil, kovalevskii61@gmail.com.