

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ВІДМОВ ПРОРІЗНИХ ФРЕЗ

Аналіз працездатності прорізних фрез вказує на те, що їх відмови, обумовлені руйнуваннями різного роду, в ряді випадків значно перевищують відмови, спричинені затупленням різальних кромки. Це призводить до зменшення ресурсу роботи інструменту, та в свою чергу, викликає зростання собівартості продукції. Досвід експлуатації прорізних фрез свідчить, що головними причинами поломки фрез виявляються згинні коливання внаслідок низької поперечної жорсткості та надмірні напруження в площині диску від дії нераціональних режимів та умов різання.

Задача про вимушені згинні коливання прорізної фрези була вирішена шляхом розкладання за власними формами коливань на основі визначення спектра власних частот і форм коливань фрези. Фреза розглядалася як кільцева пластина, яка жорстко закріплена по внутрішньому діаметру. Кінематичним збудженням згинних коливань вважалася періодична взаємодія фрези та заготовки під час обробки, яка полягає в періодичному згинанні фрези в процесі обертання. Збуджуючою силою виступала рівнодійна окружної та радіальної сил різання. Миттєві значення сил різання визначалися за допомогою програми імітаційного моделювання процесу обробки дисковими фрезами. В якості критерію динамічної стійкості прорізних фрез використовувалося максимальне значення градієнту наростання амплітуди вимушених коливань фрези Cr_{ij}

$$Cr_{ij} = \frac{C_j p_j^2}{\omega_i^2 - p_i^2} \quad (1)$$

де C_j – амплітуда j -ї гармоніки збуджуючої сили, p_j – її кругова частота, ω_i – власна форма коливань фрези.

В результаті комп'ютерного моделювання динамічного стану прорізних фрез різних типорозмірів (діаметром 63, 80, 100 мм, товщиною від 0,3 до 6 мм) при різних значеннях режимів та умов різання було встановлено, що динамічна стійкість прорізних фрез залежить від відношення R_B/B , яке пов'язане з їх згинною жорсткістю.

$$R_B = \frac{D - d_\phi}{2}, \quad (2)$$

де D – діаметр фрези, d_ϕ – діаметр затискних фланців, B – товщина фрези.

При значенні $R_B/B \ll 20$ фрези мають високу динамічну стійкість і тому, згинні коливання в цьому випадку не визначають їх працездатність. У зв'язку з цим виникла задача дослідження напружено-деформованого стану диску фрез від дії сил різання.

Напружено-деформований стан диску тонкої прорізної фрези від одночасної дії окружної та радіальної сил різання визначений в попередніх роботах. Формули для розрахунку напружень від окружної сили різання в довільній точці диску фрези з полярними координатами (ρ ; θ) мають наступний вигляд:

$$\sigma_\theta = \frac{P}{2\pi} \frac{-\sin 2\theta + 3\rho \sin \theta - \rho^3 \sin \theta}{1 - 2\rho \cos \theta + \rho^2} + \frac{6}{1+\chi} \rho \sin \theta + \frac{\chi-1}{1+\chi} \frac{1}{\rho} \sin \theta + \frac{\sin 2\theta + \rho \sin \theta}{1 - 2\rho \cos \theta + \rho^2}, \quad (3)$$

$$\sigma_\rho = \frac{P}{2\pi} \frac{2}{1+\chi} \frac{1}{\rho} \sin \theta - \frac{-\sin 2\theta + 3\rho \sin \theta - \rho^3 \sin \theta}{1 - 2\rho \cos \theta + \rho^2} + \frac{2}{1+\chi} \rho \sin \theta - \frac{1}{\rho} \sin \theta + \frac{-\sin 2\theta + 3\rho \sin \theta}{1 - 2\rho \cos \theta + \rho^2}, \quad (4)$$

$$\tau_{\rho\theta} = \frac{P}{2\pi} \frac{1}{1+\chi} \frac{1}{\rho} \cos \theta + \frac{\cos 2\theta - 3\rho \cos \theta + 3\rho^2 - \rho^3 \cos \theta}{1 - 2\rho \cos \theta + \rho^2} - \frac{2+\chi}{1+\chi} \rho \cos \theta - \frac{\cos 2\theta - \rho \cos \theta}{1 - 2\rho \cos \theta + \rho^2} - \frac{1}{\rho^2}, \quad (5)$$

де

P – значення окружної сили різання, Н;

χ – безрозмірний коефіцієнт, для тонкої пластинки $\chi = \frac{3-\nu}{1+\nu}$;

ν – коефіцієнт Пуассона, для сталі $\nu = 0,3$.

Напружено-деформований стан від радіальної сили різання в довільній точці диску фрези описується формулами:

$$\sigma_r = \frac{P}{\pi} \frac{1}{1+\chi} \frac{\cos\theta}{\rho} + \frac{R - \rho \cos\theta}{R^2 - 2R\rho \cos\theta + \rho^2} - \frac{1}{2R} - \frac{2\rho \cos\theta}{1+\chi R^2} - \frac{P}{2\pi} \frac{\rho}{R^2 - 2R\rho \cos\theta + \rho^2} - \frac{2\rho \cos\theta}{1+\chi R^2} - \frac{R}{\rho} \frac{R \cos\theta - \rho}{R^2 - 2R\rho \cos\theta + \rho^2} - R \frac{R^2 \cos 2\theta - 2R\rho \cos\theta + \rho^2}{R^2 - 2R\rho \cos\theta + \rho^2} \quad (6)$$

$$\sigma_\theta = \frac{P}{\pi} \frac{1}{1+\chi} \frac{\cos\theta}{\rho} + \frac{R - \rho \cos\theta}{R^2 - 2R\rho \cos\theta + \rho^2} - \frac{1}{2R} - \frac{2\rho \cos\theta}{1+\chi R^2} + \frac{P}{2\pi} \frac{\rho}{R^2 - 2R\rho \cos\theta + \rho^2} - \frac{2\rho \cos\theta}{1+\chi R^2} - \frac{R}{\rho} \frac{R \cos\theta - \rho}{R^2 - 2R\rho \cos\theta + \rho^2} - R \frac{R^2 \cos 2\theta - 2R\rho \cos\theta + \rho^2}{R^2 - 2R\rho \cos\theta + \rho^2} \quad (7)$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{P}{2\pi} \sin\theta \frac{2}{1+\chi} \frac{1}{\rho} + \rho \frac{R^2 - \rho^2}{R^2 - 2R\rho \cos\theta + \rho^2} - \frac{2\rho}{1+\chi R^2} - \frac{R^2}{\rho} \frac{1}{R^2 - 2R\rho \cos\theta + \rho^2} - 2R^2 \frac{R \cos\theta - \rho}{R^2 - 2R\rho \cos\theta + \rho^2} \quad (8)$$

де P – значення радіальної сили різання, Н.

Щоб оцінити напружений стан фрези в зоні стружкових канавок необхідно врахувати концентрацію напружень, адже саме в цій зоні місцеві напруження будуть різко зростати, що може стати причиною руйнування диску фрези. Для розрахунку коефіцієнтів концентрації використовувався електронний довідник КоКон (SCAD Soft), який ґрунтується на теоретичних розрахунках та численному аналізі. Оцінка міцнісної надійності диску прорізних фрез здійснювалася за допомогою критерію Мора (п'ята теорія міцності).

З метою визначення напруженого стану диску фрези від дії окружної та радіальної сил різання була розроблена спеціальна програма розрахунку напружень в середовищі MatLab на основі максимальних значень сил різання, отриманих за допомогою модуля розрахунку сил різання пакету прикладних програм імітаційної моделі процесу обробки дисковими фрезами. Вхідними даними для програми розрахунку напружень є: значення окружної та радіальної сил різання, зовнішній діаметр та діаметр затискних фланців фрези, її товщина, діаметр стружкових канавок, допоміжний кут в плані, коефіцієнт концентрації напружень, максимально допустиме напруження, коефіцієнт тертя.

В результаті обчислювального експерименту був досліджений вплив на напружено-деформований стан диску прорізних фрез режимів різання, радіального биття та затуплення зубців. Було встановлено, що при одночасному впливі радіального биття та затуплення зубців при раціональних значеннях режимів різання в зоні стружкових канавок прорізних фрез виникають напруження, що за значенням перевищують допустимі і в результаті цього диск фрези може втрачати працездатність внаслідок руйнування.

БАЛИЦЬКА Наталя Олександрівна – старший викладач кафедри технологій машинобудування Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- теорія проектування дискових фрез;
- процеси фрезерування;
- підвищення працездатності різальних інструментів.