

УДК 621.822.57

ЛІНІЙНИЙ АНАЛІЗ ЯВИЩА САМОЗБУДЖЕННЯ ОСЬОВИХ КОЛИВАНЬ В ШПИНДЕЛЯХ НА КОНІЧНИХ ПІДВІСКАХ, ПРОФІЛЬОВАНИХ ПОЗДОВЖНІМИ КАНАВКАМИ

Канд. фіз.-мат. наук, доц. Степанчук В. І.,
канд. техн. наук, доц. Федотов В. О.

В процесі конструювання шпинделів на конічних підвісках за традиційною схемою (рис. 1) доводиться стикатись з явищем самозбудження осьових коливань. Такі коливання проявляють себе у вигляді низькочастотних вібрацій з амплітудою, яка може сягати кількох міліметрів.

Коливання можуть виникати під час зміни тиску нагнітання, параметрів профілювання підвісок та ін. Ясна річ, нормальна робота надпрецизійних шпиндельних вузлів несумісна з небезпекою виникнення коливань.

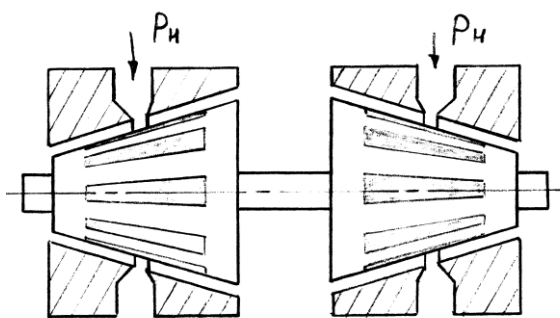


Рис. 1

Слід зазначити, що такого роду коливання можуть виникнути і в шпинделях інших конструктивних схем. Наприклад, такі коливання траплялися на етапах експериментальної проробки прототипів шліфувальних та свердлильних шпинделів комбінованої схеми, яка містить конічні та плоскі підвіски [1—3]. Хоча вказані шпинделі, які свого часу були запущені у серію, зарекомендували себе надійною роботою, на ранніх етапах розробки довелося прикласти певні зусилля для того, щоб позбутись цього негативного явища.

Самозбудження осьових коливань не пов'язане з обертанням вала і не має нічого спільного із явищем «напівшвидкісного вихору» [4].

Так чи інакше, шпинделі, які містять конічні підвіски інколи бувають схильні до самозбудження осьових коливань. Немає повної ясності в умовах їх виникнення, і це стає на заваді конкретним рекомендаціям їх усунення.

Створений лінійний динамічний аналіз конічних підвісок [5] може стати основою для подальшого дослідження цього негативного явища та визначенню впливу різноманітних конструктивних та експлуатаційних факторів на умови виникнення самовільних коливань підвішеної маси (рис.1). Саме цьому і присвячена пропонована стаття.

В лінійному наближенні (малій амплітуді коливань) динаміка осьових рухів системи з розподіленими параметрами, якою є газовий мастильний шар, може бути подана як динаміка осцилятора з одним ступенем волі.

Цей осцилятор, однак, виявляється вельми специфічним через те, що сили жорсткості та лінійно-в'язкого опору стають залежними від швидкості зміни товщини мастильного шару і, отже, від частоти власних коливань. Крім того, такий осцилятор може, в принципі, мати від'ємний лінійно-в'язкий опір.

Скориставшись результатами роботи [5], можна відразу записати диференціальне рівняння осьових збурень у безрозмірному вигляді

$$\ddot{\varepsilon}_Z + 2D_{FZ}^* \dot{\varepsilon}_Z + 2G_{FZ}^* \varepsilon_Z = 0, \quad (1)$$

де

$$\dot{\varepsilon}_Z = \frac{de_Z}{dt}; \quad D_{FZ}^* = \frac{D_{FZ} h_0}{\pi p_a R_0^2 T_0}; \quad G_{FZ}^* = \frac{G_{FZ} h_0}{\pi p_a R_0^2}, \quad (2)$$

G_{FZ} , D_{FZ} — коефіцієнти жорсткості та демпфування, h_0 — номінальна товщина шару мастила, $\varepsilon_Z = e_Z/h_0$ — безрозмірне зміщення, e_Z — осьове зміщення шпинделя, p_a — атмосферний тиск, R_0 — максимальний радіус опори-підвіски, $\tau = t/T_0$ — безрозмірний час, T_0 — масштаб часу (характерний період), який в свою чергу визначається співвідношенням

$$T_0 = \sqrt{mh_0 / (\pi p_a R_0^2)}. \quad (3)$$

Головним параметром, який визначає ступінь нестационарності процесу є

$$\bar{A} = 12\mu R_0^2 / (p_a h_0^2 T_0), \quad (4)$$

де μ — динамічна в'язкість газу.

Розв'язок рівняння (1) шукаємо у вигляді

$$\varepsilon_Z(\tau) = \varepsilon_0 \exp(-\beta_Z \tau) \cos(\nu_Z \tau), \quad (5)$$

що не суперечить рівнянню (1), тоді

$$D_{FZ}^* = \beta_Z, \quad 2G_{FZ}^* = \nu_Z^2 + \beta_Z^2. \quad (6)$$

Макро- та мікрогеометрія кожної опори-підвіски характеризується такими параметрами [5, 6]: кутом конусності α , відносною довжиною $\lambda = L/(2R_0)$ (L — довжина кожної підвіски), відносними координатами початку та кінця профільованої зони ξ_{01} , ξ_{12} , відносною координатою ξ_1 місця подачі стиснутого повітря, відносною глибиною канавки $\gamma = \delta/h_0$ (δ — глибина канавки, яка вважається постійною всією протяжністю). Канавки рівномірно звужуються, так що параметр відносної довжини λ залишається також сталим впродовж канавки. Тиск подачі газу визначається безрозмірним параметром $P_i = p_i / p_a$, де p_n — абсолютний тиск стиснутого повітря.

Повна процедура розв'язання задачі про малі коливання детально описана в [5] і тому докладно описувати її тут недоцільно.

Із попередніх публікацій відомо, що коли коефіцієнт β_Z стає від'ємним, то це означає нестійкість і, отже, можливість самозбудження коливань [7]. Однак, автори не виявили випадків, коли коефіцієнт β_Z ставав би від'ємним. Натомість, при певному значенні параметра Γ частота ν_Z ставала нульовою для деяких сукупностей параметрів геометрії кінчної опори.

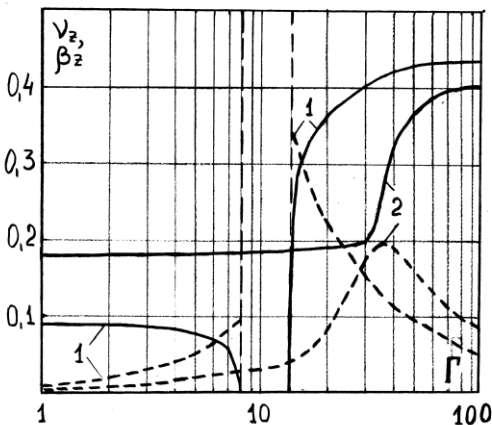


Рис. 2

На рисунку 2 показані типові залежності ν_Z та β_Z (штрихова лінія) від Γ . Для кривих 1 — $\gamma = 0,3$,

для кривих 2 — $\gamma = 1,5$. Для першого випадку (неглибокі канавки) в межах $8 \leq \Gamma \leq 13$ розв'язок (5) стає непридатним, саме тут і може розвинутиись нестійкість та самозбудження коливань. Зауважимо, що в практично реалізованих авторами конструкціях шпинделів пара-

метр Γ був у межах 10 ... 40. Для кривих рис. 2 решта параметрів мають такі значення: $P_H = 5$; $\alpha = 4^\circ$; $\lambda = 2$; $\xi_{01} = 0,15$; $\xi_1 = 0,5$; $\xi_{12} = 0,85$; $ж = 0,25$ [1, 3, 6].

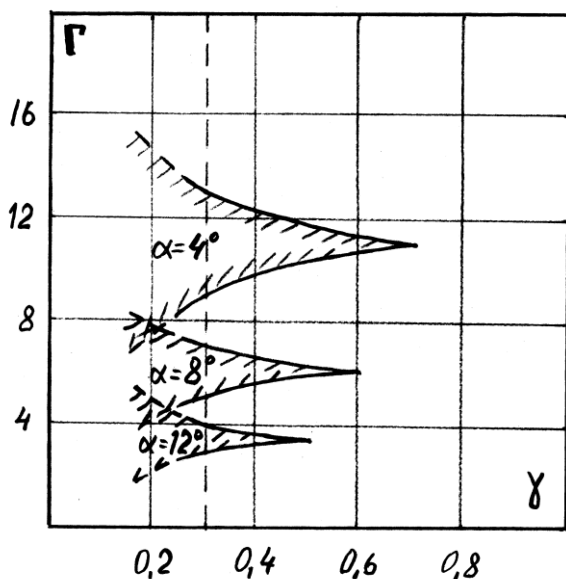


Рис. 3

го шару, глибину, границі, конфігурацію канавок а також кут конусності α . Рисунок 3 ілюструє це положення, де області самозбудження осьових коливань заштриховані. Параметри P_H , α , ξ , та $ж$ такі ж самі, як на рис. 2.

Інформація про області нестійкості стає особливо важливою, коли канавки виконують у вигляді лисок [8], що технологічно найвигідніше. Це дозволяє надавати практичні рекомендації для виготовлення та налагодження конічних опор-підвісок для шліфувальних та свердлильних шпинделів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Электрошпиндель ДАЦ-34-31. Рекламный проспект / ВПИ, Винница. — 1985.
2. Электрошпиндель ДАЦ-36-57. Рекламный проспект / ВПИ, Винница. — 1985.
3. Пневмошпиндель на газостатических подшипниках АРЦ-16. Рекламный проспект / ВПИ, Винница. — 1985.
4. Опоры скольжения с газовой смазкой / Под ред. С. А. Шейнберга. — М.: Машиностроение, 1979. — 336 с.
5. Степанчук В. І. Лінійний динамічний аналіз газостатичних конічних підвісок, профільованих поздовжніми канавками // Вісник ВПІ. — 1995. — № 4. — С. 45—51.
6. Степанчук В. І., Федотов В. О. Лінійний статичний аналіз газостатичних конічних підвісок, профільованих поздовжніми канавками // Вісник ВПІ. — 1994. — № 3. — С. 57—61.
7. Пинегин С. В., Табачников Ю. Б., Сипенков И. Е. Статические и динамические характеристики газостатических опор. — М.: Наука, 1982. — 265 с.
8. Федотов В. А., Шевчук А. И. Расчет газостатических подшипников с продольными канавками в виде выкружек и лысок // Вестник машиностроения. — 1985. — № 2. — С. 21—23.

Кафедра будівельної механіки та будівельних конструкцій