

НАУКОВІ ЗАСАДИ МЕТОДІВ ВІБРОДІАГНОСТИКИ ЛОКАЛЬНИХ ПОВЕРХНЕВИХ ПОШКОДЖЕНЬ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН

Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України

Анотація.

В роботі представлені результати розрахункових та експериментальних досліджень впливу параметрів локальних поверхневих пошкоджень (розмірів та положення) конструктивних елементів машин на характеристики їх коливань. Сформульовані підходи до розробки методів вібродіагностики таких пошкоджень.

Ключові слова: конструктивний елемент, коливання, локальне поверхнєве пошкодження, вібродіагностика.

При експлуатації машин під впливом робочого середовища, а також дії широкого спектру термосилових навантажень в конструктивних елементах виникають локальні поверхневі пошкодження. Характерним прикладом таких об'єктів є робочі лопатки турбомашин. Внаслідок попадання в проточну частину сторонніх предметів в пері лопаток виникають корозійні та ерозійні язви і забоїни, а під дією циклічнозмінних навантажень - тріщини втоми. Такі пошкодження обумовлюють зміну пружних та інерційних характеристик лопаток з можливим їх подальшим руйнуванням.

Своєчасне виявлення наявності локальних поверхневих пошкоджень в елементах конструкцій є актуальною науково-технічною задачею з точки зору забезпечення функціональної роботоздатності як таких елементів, так і машини в цілому.

Одними з найбільш ефективних методів встановлення наявності пошкоджень, що розглядаються, є вібродіагностичні, які ґрунтуються на взаємозв'язку параметрів пошкоджень (розмірів та положення по довжині об'єкту дослідження) з характеристиками коливань.

Метою даної роботи є викладення результатів проведених в Інституті проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України під керівництвом авторів комплексних аналітичних, розрахункових та експериментальних досліджень зі встановлення закономірностей коливань стержнів постійного поперечного перерізу прямокутної та круглої форми, а також натурних лопаток з локальними поверхневими пошкодженнями та розробки наукових засад методів їх вібродіагностики.

Для вирішення сформульованої науково-технічної задачі було вибрано два типи пошкоджень – відкрита та дихаюча тріщини, які інтегрально описують можливі поверхневі пошкодження елементів конструкцій. Відкрита тріщина, яка виникає внаслідок попадання сторонніх предметів або під впливом навколишнього середовища, та характеризується берегами, що не закриваються в процесі деформування об'єкту дослідження, представляється у вигляді прямокутного пазу постійної ширини. Коливальна система в даному випадку залишається лінійною. Берега ж дихаючої тріщини, виникнення якої спричинено дією циклічнозмінних навантажень, по чергово закриваються та відкриваються, що обумовлює нелінійність системи.

Розрахункові дослідження проводились з використанням розроблених трьохмірних скінченноелементних (СЕ) моделей стержнів та лопаток з вибраними типами пошкоджень. СЕ сітка в цілому приймалась рівномірною, але, як правило, ущільнювалась в околі пошкодження. Для взаємного непроникнення берегів дихаючої тріщини використані контактні елементи.

Випробування об'єктів дослідження проводилось з використанням експериментальної бази Інституту.

Основні результати виконаних розрахунково-експериментальних досліджень полягають в наступному.

Відкрита тріщина. За результатами проведених досліджень встановлені закономірності

впливу параметрів такого локального поверхневого пошкодження (глибини, ширини та положення по довжині) на формування модальних характеристик (частот та форм) згинних коливань об'єктів дослідження. Представлені залежності зміни власних частот перших чотирьох форм згинних коливань стержня постійного прямокутного поперечного перерізу з різними граничними умовами від місця розташування пошкодження по довжині стержня та геометричних характеристик пошкодження (глибини та ширини). Їх аналіз дозволяє зробити такі висновки:

- для консольного стержня та з вільними кінцями встановлено виникнення такого явища, коли незалежно від форми коливань існує положення пошкодження по довжині стержня, так звана «точка переходу», при якому власні частоти пошкодженого і непошкодженого стержнів однакові. В разі зміщення пошкодження до защемлення, спостерігається зменшення власних частот коливань стержня в порівнянні з його непошкодженим станом, і тим інтенсивніше, чим більша глибина пошкодження та його наближення до защемлення. При наближенні пошкодження до вільних кінців стержня його власні частоти стають дещо вищими, ніж для непошкодженого;

- для стержнів з вільними і жорстко закріпленими кінцями характерною особливістю залежностей зміни їх власних частот коливань від положення пошкодження по довжині є їх симетрія відносно середини стержня;

- для стержня з жорстко закріпленими кінцями існують такі положення пошкодження по довжині, коли власні частоти пошкодженого і непошкодженого стержнів практично збігаються. Однак, на відміну від граничних умов, які характеризуються вільними кінцями стержня або одним жорстко закріпленим, для них відсутнє явище наявності «точки переходу», а при розташуванні пошкодження посередині стержня характерний тільки локальний екстремум. Максимальна за абсолютною величиною зміна власної частоти коливань має місце, якщо пошкодження розташовано поблизу жорстко закріплених кінців;

Результати виконаних розрахунків добре узгоджуються з даними, наведеними в інших відомих роботах, і проведеними експериментальними випробуваннями стержнів та натурної лопатки турбомашини.

Дихаюча тріщина. Наявність такої тріщини обумовлює виникнення нелінійних супер- і субгармонічних резонансів, спектр коливань яких складається з кратних гармонік, які відповідають частоті збудження відповідного резонансу та основній резонансній частоті коливань стержня.

Описано розроблені методики аналітичного та розрахункового визначення вібродіагностичних показників наявності дихаючої тріщини в консольному стержні прямокутного та круглого поперечного перерізу при силовому та кінематичному збудженні супер- та субгармонічного резонансів. Як вібродіагностичний показник наявності тріщини запропоновано використовувати відношення амплітуд домінуючих гармонік: $\bar{A}_{2/1} = A_2/A_1$ при супергармонічному та $\bar{A}_{1/2} = A_1/A_2$ при субгармонічному резонансах, де A_1 , A_2 – амплітуди коливань першої та другої гармонік при відповідному резонансі.

За результатами досліджень закономірності залежності запропонованих вібродіагностичних показників від місцеположення тріщини та відносних її розмірів, а також особливостей збудження коливань. По-перше, показано, що зі збільшенням глибини тріщини та її наближенням до защемлення консольного стержня значення вібродіагностичного показника зростає незалежно від типу резонансу. По-друге, він обернено пропорційний декременту коливань стержня і при його великих значеннях збудження нелінійних резонансів практично унеможливується. По-третє, характер залежності вібродіагностичного показника від місця прикладання змушувальної сили визначається положенням тріщини.

Таким чином, встановлені закономірності зміни модальних характеристик та спектру амплітуд коливань стержневих елементів при наявності локальних поверхневих пошкоджень можуть бути використані при розробці методів їх вібродіагностики як необхідної умови забезпечення функціональної роботоздатності елементів конструкцій машин.

Зінковський Анатолій Павлович — доктор технічних наук, професор, заступник директора Інституту проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України з наукової роботи, e-mail: zinkovskii@ipp.kiev.ua, 01014, Україна, м. Київ, вул. Тимірязєвська, 2.

Матвеев Валентин Володимирович — академік НАН України, головний науковий співробітник Інституту проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України, e-mail: vvm1929@gmail.com, 01014, Україна, м. Київ, вул. Тимірязєвська, 2.

**SCIENTIFIC FUNDAMENTALS OF METHODS OF VIBRODIAGNOSIS OF LOCAL SURFACE
DAMAGE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF MACHINES**

Abstract. The paper presents the results of computational and experimental studies of the influence of the parameters of local surface damage (size and position) of structural elements of machines on the characteristics of their oscillations. The approaches to development of methods of vibrodiagnostics of such damages are formulated.

Key words: structural element, oscillations, local surface damage, vibrodiagnostics.

Zinkovskiy Anatolii Pavlovych - Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director of the G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, e-mail: zinkovskii@ipp.kiev.ua, 01014, Ukraine, Kyiv, Timiryazevs'ka str. 2..

Matveev Valentyin Volodymyrovych - Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Chief Research Fellow of the G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, e-mail: vvm1929@gmail.com, 01014, Ukraine, Kyiv, Timiryazevs'ka str. 2.