

УДК 621.436

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДЕФЕКТУВАННЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ

Борак К.В. д.т.н. професор

Житомирський агротехнічний фаховий коледж

Боровський В.М. ст. викладач, Мовчан К.В. здобувач ВО

Поліський національний університет, м. Житомир

У статті розглянуто сучасні методи дефектування колінчастих валів, зокрема неруйнівні та цифрові технології діагностики. Проаналізовано ефективність застосування візуального, магнітного, ультразвукового та вихрострумового контролю для своєчасного виявлення пошкоджень та підвищення надійності ремонтних робіт.

Колінчастий вал є однією з найважливіших деталей кривошипно-шатунного механізму двигуна внутрішнього згоряння. Його справність безпосередньо впливає на роботу двигуна, ресурс машини та безпеку експлуатації техніки в цілому. Пошкодження, зношення або деформація колінчастого вала можуть призвести до серйозних наслідків, включаючи поломку двигуна. Тому своєчасне виявлення дефектів колінчастих валів за допомогою сучасних методів є критично важливим аспектом технічного обслуговування та ремонту.

Візуально-оптичний контроль – один із найпростіших і найстаріших методів дефектування, який передбачає візуальну оцінку поверхні колінчастого вала на наявність тріщин, задирок, вм'ятин, слідів корозії. Його перевагою є доступність і швидкість. Для підвищення точності використовують ендоскопи, лупи, мікроскопи.

Залежно від типу дефекту, для його виявлення застосовують відповідні методи дефектування, які поділяються на візуальні, вимірювальні, фізичні та неруйнівні методи контролю.

Метрологічний контроль є одним з основоположних етапів дефектування колінчастих валів і полягає у точному вимірюванні геометричних параметрів деталі для виявлення зносу, деформацій або виробничих відхилень. Такий контроль дозволяє оцінити стан шийок колінчастого вала, його вісь обертання, а також визначити, чи відповідають параметри деталі нормам та допускам, встановленим технічною документацією. Метрологічна оцінка є критично важливою як для діагностики зносу в процесі експлуатації, так і після ремонтних робіт – шліфування чи наплавлення.

Метрологічний контроль є основним і обов'язковим методом технічного діагностування колінчастих валів. Його використання забезпечує високу точність оцінки геометрії, дозволяє своєчасно виявити небезпечні деформації та попередити аварійні ситуації. Завдяки простоті реалізації та високій інформативності, цей метод зберігає актуальність навіть у контексті розвитку високотехнологічних діагностичних систем.

Магнітопорошковий метод (МПД) є одним із найефективніших неруйнівних способів виявлення поверхневих та підповерхневих дефектів у феромагнітних деталях, до яких належать і колінчасті вали. Принцип дії методу полягає у створенні магнітного поля в тілі деталі й виявленні локальних спотворень магнітного потоку, які виникають у зонах дефектів. У місцях розриву безперервності матеріалу — таких як тріщини або пори — магнітне поле спотворюється, що спричиняє витік магнітних силових ліній, до яких притягується феропорошок, утворюючи на поверхні характерний слід.

МПД особливо ефективний для діагностики шийок колінчастих валів, які зазнають найбільших навантажень і мають найвищий ризик утворення втомних тріщин. Метод дозволяє виявляти тріщини, що зароджуються на поверхні або під нею, а також виявляти дефекти, які з'являються після термічного чи механічного впливу — наприклад, після шліфування або термообробки. Це дає змогу прийняти рішення щодо подальшої експлуатації деталі або необхідності її ремонту чи заміни.

Вихорострумний контроль є високоточним неруйнівним методом дефектування, що ґрунтується на явищі індукції вихрових струмів у провідникових матеріалах. При наближенні індукційної котушки до поверхні металевих об'єктів — у цьому випадку колінчастого вала — у ньому виникають замкнуті струми, які створюють власне електромагнітне поле. Якщо в тілі деталі є тріщини, порожнини чи інші дефекти, вони змінюють характеристики вихрових струмів, що реєструється спеціальними датчиками. Метод дозволяє виявляти дефекти на глибину до 3–5 мм від поверхні, залежно від частоти струму та властивостей матеріалу.

Метод акустичної емісії (АЕ) — це інноваційний неруйнівний метод контролю, що базується на виявленні та аналізі акустичних хвиль, які виникають у матеріалі під час зародження або розвитку мікродефектів. На відміну від традиційних методів, які фіксують вже сформовані пошкодження, АЕ дозволяє виявляти активні процеси руйнування в реальному часі. При прикладенні механічного навантаження або в процесі природного функціонування деталі (наприклад, колінчастого вала в працюючому двигуні), у матеріалі можуть виникати короткочасні пружні хвилі. Ці хвилі фіксуються чутливими п'єзоелектричними датчиками, що перетворюють їх у електричні сигнали для подальшого аналізу.

Метод особливо ефективний для виявлення процесів втомного руйнування, мікротріщин, розшарувань та інших прихованих дефектів, які ще не виявляються традиційними засобами контролю. Основною перевагою АЕ є його здатність до моніторингу стану деталі під час її експлуатації або навантаження, що дозволяє виявити початок пошкодження до моменту критичного руйнування. Крім того, метод дає змогу визначити не лише наявність дефекту, але й його активність, тобто, наскільки швидко він розвивається.

Комп'ютерна томографія (КТ) і 3D-сканування є сучасними високоточними методами дефектування, що дозволяють виконувати повний просторовий аналіз складних деталей, зокрема й колінчастих валів. На відміну

від традиційних способів контролю, КТ дозволяє візуалізувати як зовнішні, так і внутрішні дефекти, створюючи тривимірну модель об'єкта на основі серії рентгенівських зображень, які потім обробляються спеціалізованим програмним забезпеченням. У результаті формується детальна карта структури матеріалу з точністю до кількох мікронів, що робить можливим виявлення мікротріщин, пустот, шлакових включень, неоднорідностей у структурі тощо.

Технологія комп'ютерної томографії особливо корисна у випадках, коли необхідно провести контроль складної деталі без її демонтажу або руйнування. Це має велике значення у виробництві високоточного обладнання, в авіаційній, автомобільній і медичній промисловості. У контексті дефектування колінчастих валів КТ дозволяє виявляти внутрішні тріщини, які не фіксуються ультразвуковими або магнітними методами, зокрема на переходах між шийками та щоками, у зонах з високою концентрацією напружень.

3D-сканування, у свою чергу, передбачає створення зовнішньої тривимірної цифрової моделі деталі за допомогою оптичних або лазерних сканерів. Цей метод дозволяє з великою точністю фіксувати геометричні параметри вала, контролювати знос, деформації, овальність шийок, конусність і співвісність. Порівняння сканованої моделі з еталонною CAD-моделлю дає змогу в автоматизованому режимі виявляти навіть мінімальні відхилення від проектних розмірів. Такий підхід надзвичайно ефективний при серійному контролі або після ремонту.

Значною перевагою КТ і 3D-сканування є можливість цифрового збереження даних для подальшого аналізу, архівування та порівняння з результатами наступних діагностик. Це дозволяє відслідковувати динаміку зносу, прогнозувати залишковий ресурс деталі, а також інтегрувати результати в системи управління технічним станом обладнання. Наприклад, підприємства, що експлуатують велику кількість однакових двигунів (флот, залізниця, великі фермерські господарства), можуть створювати цифрові бази технічного стану для кожної одиниці техніки.

У перспективі очікується подальша мініатюризація обладнання, здешевлення процесу сканування та інтеграція методів КТ і 3D-аналізу з інтелектуальними системами діагностики. Вони можуть стати основою для створення так званих «цифрових двійників» деталей, що дозволяє не лише діагностувати, а й прогнозувати зношування на основі імітацій моделювання у віртуальному середовищі.

Одна з головних тенденцій – впровадження автоматизованих і роботизованих систем дефектування. Сучасні УЗК- і ВК-комплекси з числовим програмним управлінням забезпечують високу швидкість, точність і повторюваність вимірювань без втручання людини. Застосування спеціальних маніпуляторів і сканерів з приводами дає змогу проводити контроль навіть у важкодоступних місцях або в умовах жорсткого виробничого циклу. Такий підхід вже використовується у великосерійному виробництві автомобільних і авіаційних двигунів.