

УДК 620.178.15

ДИНАМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВС

А.А. Писанец, доцент, к.т.н., Донецкая академия автомобильного транспорта

Аннотация. Рассмотрены результаты решения задачи определения кинематических характеристик структурно-неоднородного материала поршневого пальца при тарированном ударном воздействии. Сравнительный анализ полученных амплитудно-временных характеристик позволяет сделать вывод о качестве боковой поверхности детали.

Ключевые слова: поршневой палец, двигателя внутреннего сгорания, микротрещины, ударное воздействие, виброакустическое диагностирование.

ДИНАМІЧНА ДІАГНОСТИКА СТРУКТУРНО - НЕОДНОРІДНИХ ДЕТАЛЕЙ ДВЗ

О.О. Писанець, доцент, к.т.н, Донецька академія автомобільного транспорту

Анотація. Розглянуто результати розв'язку задачі про визначення кінематичних характеристик структурно-неоднорідного матеріалу поршневого пальця при тарованому ударному навантаженні. Порівняльний аналіз отриманих амплітудно-часових характеристик дозволяє зробити висновок про якість бічної поверхні деталі.

Ключові слова: поршневий палець, двигуни внутрішнього згорання, мікротріщини, ударний вплив, віброакустичне діагностування.

DYNAMIC DIAGNOSIS OF STRUCTURAL - INHOMOGENEOUS PARTS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

A. Pisanets, Associate Professor, Candidate of Technical Science,
Donetsk Academy of Motor Transport

Abstract. In the article results of problem solution of kinematic characteristics definition of a structurally-non-uniform material of a piston finger are considered. The comparative analysis of the received peak-time characteristics allows to draw a conclusion about a lateral surface quality of a detail.

Key words: piston pin, internal combustion engine, micro-cracks, impact force, vibroacoustic diagnostics.

Введение

Оценка качества структурно-неоднородных деталей автомобилей тесно связана с решением задач нелинейной акустики структурно-неоднородных сред, связанного с изучением сред неоднородной микроструктуры и разработкой высокочувствительных методов неразрушающего контроля. В частности, структурно-неоднородный по толщине материал поршневого пальца (ПП) двигателя

внутреннего сгорания из-за присутствия в нем таких структурных особенностей, как микротрещины и трещиноподобные дефекты, межзеренные границы и контакты, приобретает ярко выраженные нелинейные акустические свойства.

Анализ публикаций

Несмотря на актуальность, проблема правильного снятия акустических характеристик

таких деталей при возбуждении в них волновых полей, их цифровой обработки и сравнения полученных данных с эталонными исследована сравнительно мало [1]. В работах [2] предложены методы анализа стационарных и нестационарных сигналов во временной, частотной, частотно-временной и масштабно-временной областях, адаптированные к применению для решения задач диагностики наличия трещин в деталях автомобилей. Среди рассмотренных диагностических признаков особое внимание целесообразно уделить безразмерным параметрам виброакустических сигналов – так называемым «безразмерным амплитудным дискриминантам» [4].

Цель и постановка задачи

Целью работы является рассмотрение численного и экспериментального определения поля перемещений, скоростей и ускорений ПП с учетом его неоднородности по толщине с последующей обработкой акустических сигналов для диагностики качества боковой поверхности детали. В качестве источника волнового поля с известными амплитудно-временной и амплитудно-частотной характеристиками принято тарированное ударное воздействие. При выборе параметров установки ударного нагружения рассматривались следующие условия: 1) энергия воздействия должна быть достаточной, для того чтобы волновое поле достигло границ области, представляющей информационный интерес с требуемыми для регистрации измерительными средствами характеристиками; 2) спектр воздействия должен быть достаточно широкополосным с равновесным распределением амплитуд по всем частотным составляющим; 3) воздействие должно быть тарированным и независимым от состояния поверхности детали; 4) в зоне контакта не должно наблюдаться активного развития пластических деформаций и разрушений материала.

Рассматривается задача о динамическом нагружении поршневого пальца для четырехтактных двигателей

Измерение реакции детали производится в контрольных точках на различных расстояниях от области контакта на поверхности ПП в направлении, параллельном его оси.

На рис. 1 представлена геометрическая модель ПП с одним из возможных вариантов

разбиения на конечные элементы и граничными условиями. В декартовой системе координат ось X направлена вдоль оси поршневого пальца (вдоль образующей), Y – по радиусу вверх. Один из торцов закреплен в направлении оси X (рис. 1). На палец сверху вертикально вниз посередине действует импульс силы длительностью 0,6 мс, вызывающий максимальное смещение в соответствующем узле величиной 10 мкм.

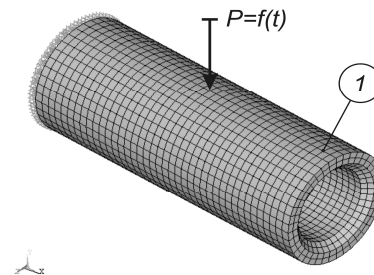


Рис. 1. Конечноэлементная модель импульсного воздействия на ПП: 1 – место снятия характеристик

Материал поршневого пальца – сталь 20X, подвергнутая цементации с последующей закалкой током высокой частоты, $E_{\text{мп}} = 2,05 \times 10^{11}$ Па, $\nu_{\text{мп}} = 0,3$.

Результаты численного решения динамической задачи получены в виде полей напряжений, деформаций и перемещений элементов модели.

На рис. 2, например, показаны смещения u_y узлов ПП, действующие в глобальном направлении Y в принятой системе координат. Видно, как идет распространение волны вдоль и поперек пальца.

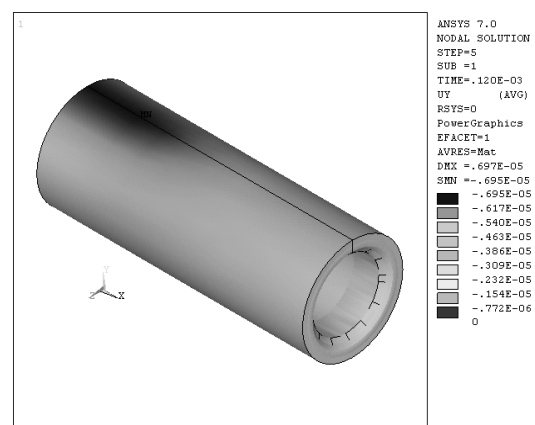


Рис. 2. Поля перемещений u_y в моменты времени $t = 0,120$ мс

Представленная модель была максимально близко построена в натуре. Для реализации консольного закрепления ПП использовали постоянный магнит, прикрепленный к массивному предмету. К детали в точке 1 (рис. 1) был приклеен пьезокерамический датчик, позволяющий регистрировать в ней ускорение. Показания с датчика снимали и передавали в ЭВМ при помощи аналогово-цифрового преобразователя и подвергали дальнейшей обработке. Импульсное воздействие согласно модели, представленной на рис. 1, производили при помощи шарика массой 11 г, сброшенного по направляющей трубке подходящего диаметра вертикально вниз. В результате эксперимента были получены амплитудно-временные зависимости для смещения, скорости и ускорения (рис. 3) в точке 1.

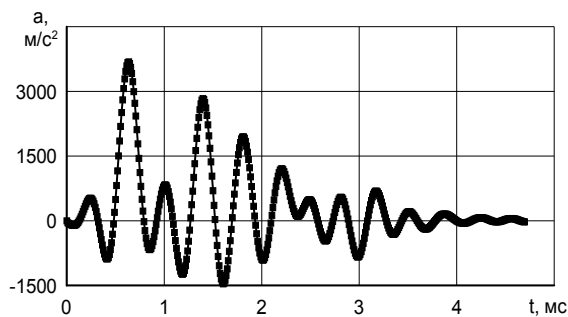


Рис. 3. График ускорения a в точке исследования при импульсном воздействии

Полученные графики кинематических характеристик можно использовать в качестве эталонных для диагностики наличия дефектов на поверхности ПП при их поточном экспресс-анализе. С этой целью исследовались бездефектный ПП, а также ПП с концентратором дефекта (трещиной на свободном боковом торце). Трещина в цилиндре имеет пространственную форму (эллиптическую), на поперечном срезе она наклонена под углом примерно 45° . Выбор такой ориентации дефекта связан с результатами проведенных металлографических исследований поверхности ПП на микроскопе «Неофот-21» [4].

Контрольные показания значений ускорений снимались для бездефектной детали и детали с дефектом на различных расстояниях от точки приложения ударного воздействия и от области расположения дефекта. Это позволило определить области измерений, в которых диагностирование наличия дефекта наиболее выразительно.

Численная обработка получаемых сигналов

В результате проведенного анализа диагностической информации определены значения J_s , которые по всей совокупности выделенных выборок для различных точек снятия характеристик находятся в следующих пределах:

$$J_1 \in (1,412; 2,775), J_2 \in (1,970; 4,437), \\ J_3 \in (2,612; 9,742), J_4 \in (3,073; 29,036)$$

для ПП без дефекта;

$$J_1 \in (1,009; 2,501), J_2 \in (1,703; 4,104), \\ J_3 \in (2,392; 7,958), J_4 \in (2,591; 20,461)$$

для ПП с концентратором дефекта.

Следует отметить, что максимальные значения признаков для выделенной части сигнала наблюдаются при обработке информации, которая характеризует нестационарные волновые движения вблизи свободного торца ПП, где как раз и моделируется трещина в дефектной детали. При обработке данных, соответствующих АВХ в точках, близких к закрепленной части ПП, значения признаков стремятся к минимальным значениям в указанных диапазонах их изменения. Такая тенденция характерна для всех признаков. Влияние дефекта проявляется в изменении (а именно в уменьшении) значения каждого признака. Кроме того, численные эксперименты показали, что характер изменения существенно зависит как от режима вибрационного возбуждения, так и от расстояния d между точкой приложения нагрузки и областью расположения дефекта.

Чувствительность диагностических признаков к наличию дефекта целесообразно проанализировать по значению относительной скорости изменения признака при переходе от бездефектного состояния объекта к дефектному [6]

$$V(J_s) = \left| \frac{J_s - J_s^*}{J_s^*} \right|. \quad (1)$$

Здесь J_s^* и J_s – значения безразмерных амплитудных дискриминант при отсутствии и наличии дефекта соответственно.

Проведенные исследования показали, что наиболее чувствительны к наличию дефекта коэффициенты импульсности J_3 и фона J_4 . В несколько меньшей степени информативен коэффициент вероятности J_2 . Величины $V(J_s)$, при $s = 2, 3, 4$, вычисляемые по формуле (1), в достаточной близости от дефекта существенно велики, что может служить признаком наличия дефекта. Коэффициент формы J_1 содержит в числителе среднеквадратическую амплитуду. Поэтому чувствительность этого признака к изменению составляющих с малой колебательной энергией, наличие которых и обуславливается появлением дефекта, достаточно низка.

Интегральная оценка по амплитуде ускорений отражает величину абсолютных значений амплитуд для рабочего интервала длительностью Δt

$$\bar{A} = \int_0^{\Delta t} |A(t)| dt. \quad (2)$$

Логично, что этот показатель не чувствителен к частотной характеристике сигнала. Преобладание или отсутствие какой-либо частотной составляющей может практически не повлиять на его значение. Аналогичной характеристикой является интеграл по квадратам амплитуд ускорений

$$\overline{A^2} = \int_0^{\Delta t} A^2(t) dt. \quad (3)$$

Уменьшение интегральных характеристик (2) и (3) при сравнении исследуемой детали с бездефектной свидетельствует о наличии трещины. Однако анализ относительных скоростей изменения этих показателей указывает, во-первых, на их незначительное изменение порядка 7–8 % и, во-вторых, на достаточно сильную зависимость от условий проведения испытаний, что не позволяет ограничиться при акустодиагностике только этими параметрами.

Выводы

Предложенный способ анализа нестационарных сигналов отличается высокой разрешающей способностью во времени при сохранении достаточного частотного разрешения.

Отличительной особенностью анализа является его независимость от изменений амплитудных характеристик сигналов, что позволяет использовать анализ для контроля над первоначальными изменениями на стадии их зарождения.

Проведенный анализ позволяет указать, что из дискриминантных признаков трещины наиболее предпочтительно исследовать относительные скорости изменения коэффициентов фона, импульсности и вероятности.

При поточном экспресс-анализе структурно-неоднородных деталей желательно проводить контрольные замеры кинематических характеристик в различных точках, что позволит судить не только о наличии дефекта, но и о его месторасположении. Если же контрольная точка снятия характеристик находится на достаточном удалении от зоны расположения дефекта, то изменение дискриминантных признаков может быть незначительным.

Литература

1. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф.Я. Балицкий, М.А. Иванова, А.Г. Соколова, Е.И. Хомяков. – М.: Наука, 1984. – 120 с.
2. Бурау Н.И. О новых направлениях в развитии виброакустических методов диагностики прочностных дефектов в лопатках газотурбинных двигателей / Н.И. Бурау // Вибр. в техн. и технол. – 2001. – №4 (20). – С. 45–48.
3. Бурау Н.И. Повышение чувствительности дискриминантных признаков трещины в задачах виброакустической диагностики элементов роторных систем / Н.И. Бурау, Ю.В. Сопилка // Акуст. Вісн. – 2003. – Т. 6, №3. – С. 10–17.
4. Вовк Л.П. Теоретические и экспериментальные методы определения механических характеристик неоднородных деталей машиностроения / Л.П. Вовк, А.А. Писанец. – Донецк: «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 214 с.

Рецензент: В.П. Волков, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 1 августа 2013 г.