

УДК 621.01

ОТ ПОИСКА ДЕФЕКТОВ К ПОИСКУ ПРЕДЕФЕКТНОГО СОСТОЯНИЯ

В.М. Родюшкин

Одно из основных мероприятий по обеспечению безопасности эксплуатации технических устройств (ТУ) является мониторинг технического состояния (ТС) оборудования [1]. Он предусматривает проведение экспертной технической диагностики с помощью неразрушающего контроля (НК), при этом, как правило, ТУ выводится из рабочего режима. В связи с этим заметим следующее:

1. По определению (ГОСТ 20911-89) техническое состояние (ТС) объекта «характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, значениями параметров, установленных технической документацией». При выводе из рабочего режима ТУ меняются рабочие нагрузки; вибрации; статические и динамические напряжения, рабочая среда, температура, то есть технические условия не соответствуют условиям, имеющим место при эксплуатации ТУ. Следовательно, проводя вышеуказанным образом экспертное техническое диагностирование реальное текущее ТС объекта адекватно определить нельзя.

2. Применяемые методы НК не в состоянии осуществить диагностику развивающихся повреждений. Они призваны выявить физически существующие повреждения материала, превышающие допустимые нормы на момент проведения экспертизы, что по существу является конечной стадией деградации материала. Таким образом, текущее состояние оборудования, процессы появления микроповреждений в длительно работающем материале не подлежат контролю, хотя эти зарождающиеся дефекты имеют тенденцию к развитию и поэтому наиболее опасны. Именно они приводят к внезапным повреждениям оборудования, являясь причиной аварий и травматизма обслуживающего персонала.

3. Порядок применения методов НК не имеет научно обоснованной системы, объем обследований не позволяет выявить потенциально опасные зоны.

4. Опыт проведения экспертной технической диагностики ТУ показывает: не редко в результате комплекса мероприятий, предписанных существующими нормативными документами по проведению экспертизы, объект признавался работоспособным, однако в дальнейшем, при воздействии каких-либо нагрузок (проведение испытаний, рабочие нагрузки и т.д.), появлялись несовместимые с режимом эксплуатации дефекты.

Все вышесказанное говорит в пользу того, что для повышения безопасности эксплуатации ТУ необходимо перейти от поиска результата развития повреждения к констатации факта начала процесса развития повреждения или «индикации» зон преддефектного состояния.

«Индикаторное» обследование можно реализовать на основе акустических эффектов, возникающих задолго до появления дефекта, несовместимого с режимом эксплуатации.

Использовать для этих целей ультразвуковую дефектоскопию в классическом

понимании, основанную на эффекте отражении волн от дефекта не удастся, так как физически существующего разрушения ещё нет. «Индикаторное» обследование можно построить на модуляционных, нелинейных, диссипативных и дисперсионных эффектах, которые проявляются задолго до разрушения, до появления дефекта, не совместимого с режимом эксплуатации, причем в дополнение к общепринятым способам зондирования материала импульсами волн, можно использовать зондирование деградирующего в процессе эксплуатации материала непрерывными гармоническими волнами.

Повреждение материала приводит как к изменению скорости волн в материале, так к высоким нелинейным [2-4] и необычным дисперсионным параметрам [5]. Контролируя эти параметры в поврежденном материале и проводя относительно сравнение полученных результатов получим пространственное распределение акустических параметров. На основании полученной «картины» определим зоны аномальных значений нелинейных, диссипативных и дисперсионных параметров. Очевидно, что эти «концентраторы» обязаны своему появлению соответствующим неоднородностям в свойствах материала. Упругая волна, «запомнив» их на своем пути, будет сигнализировать о том, что найдены области материала по своему техническому состоянию не соответствующие нормативному. Это дает основание проводить тщательную экспертизу ТС в этих областях.

Из опыта эксплуатации ТУ следует, что возникновение повреждений в материале конструкции провоцируется агрессивностью среды (коррозия); напряжениями в материале (статические, динамические, циклические), на фоне которых процессы коррозии, усталости и ползучести развиваются наиболее интенсивно; структурным состоянием материала в зонах интенсивной деградация металла; микроповреждениями материала. Идея «индикаторного» обследования – наблюдение за этими составляющими.

Спектр акустических эффектов, возникающих при зондировании длительно работающего металла волнами, достаточно широк.

Изменение скорости волн. В [6] показано, что при длительной эксплуатации в материалах технических устройств происходят сложные физико-химические процессы, связанные с перестройкой микроструктуры, перераспределением внутренних напряжений, образованием и развитием микроповреждений, которые можно контролировать по изменению скорости волн. Установлено [7], что скорость волн Релея – один из наиболее чувствительных параметров к поверхностным структурным несовершенствам в металле. В [8] продемонстрирована возможность оценки напряженно-деформированного состояния материала. В Институте физики прочности и материаловедения СО РАН на основе оптико-телевизионного и акустического метода предлагается осуществлять диагностику стадий накопления повреждений в материале задолго до появления в нем видимых трещин и состояния предразрушения (предельного состояния) при одностороннем доступе к техническому устройству в процессе его эксплуатации. В [9] на стадии предразрушения обнаружено большое количество гибов труб, где контроль строится на зависимости скорости поверхностных волн от количества микропор ползучести для стали 12Х1МФ. В [10] приведена зависимость скорости поверхностной волны от ширины раскрытия микротрещин. По измерению задержки волн [11] оценивают статические напряжения.

Модуляционные эффекты позволяют контролировать уровень динамических деформаций, действующих внутри объекта. По статистике около 80% поломок и аварий в машиностроении является результатом влияния колебаний на материал конструкции. Следовательно, контроль уровня динамических деформаций в материале – необходимый элемент в технологии поиска и обнаружения преддефектного состояния. На рис.1. схематично показано зондирование внутренних областей элементов машин и механизмов. Под влиянием действующих внутри деформаций параметры волны модулируются [12,13].

$$\varphi(t) = \int_0^{x_0} \frac{k^2}{2\rho_0\omega} \left[\beta \frac{\partial W_1}{\partial x_1} + \gamma \frac{\partial W_2}{\partial x_2} + \frac{\partial W_3}{\partial x_3} \right] \Big|_{t=t_0 + \frac{x_1}{c}} dx_1$$

Модуляция фазы волны

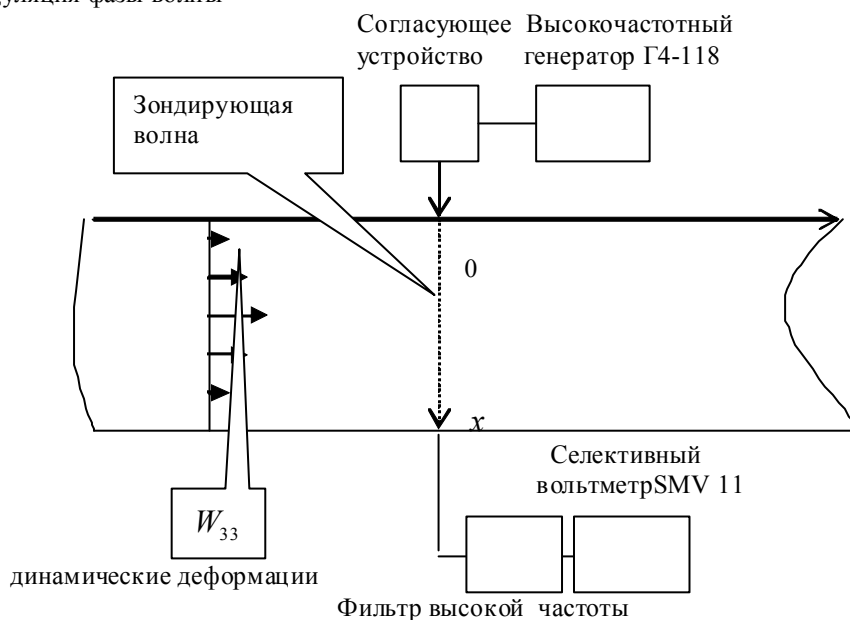


Рис.1. Контроль динамических деформаций во внутренних областях элементов машин и конструкций по модуляции фазы волны.

Нелинейные эффекты проявляются в материале дислокациями, остаточными внутренними напряжениями, микротрещинами и т.д. [14-16]. Уровень нелинейности среды, является «индикатором» наличия микротрещин, микропор, скоплений дислокаций и других «зародышей» процесса разрушения длительно работающего

Таким образом контроль за уровнем генерации спектральных составляющих в зондирующем сигнале является одной из процедур в технологии поиска и обнаружения преддефектного состояния. На рис.2., взятом из [17], приведена связь между уровнем пластических деформаций и уровнем второй гармоники зондирующей материал сдвиговой волны.

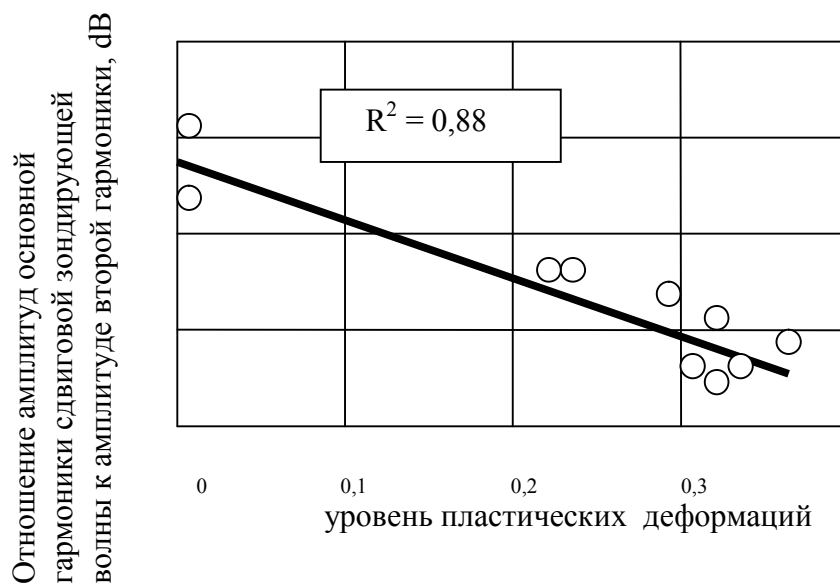


Рис.2. Контроль поврежденности по нелинейному эффекту.

Дисперсионные эффекты описаны во многих математических моделях [5,18], где рассматривается структурное состояние материала и распространение в нём волн, что в конечном итоге дает основание использовать результаты контроля за дисперсионными параметрами для поиска зон деградации структуры длительно работающего материала.

Диссипативные эффекты. Известно, что они эффективно используются для контроля структуры материала [19] и могут быть применены в «индикаторном» обследовании, в частности для оценки качества чугуна [20].

Таким образом, используя классические эффекты, исследуемые многие десятилетиями фундаментальной наукой, принципиально решается утилитарная, практически значимая задача - мониторинг преддефектного состояния длительно работающего металла. Предлагаемая система мониторинга преддефектного состояния открыта для развития путем добавления в неё новых эффектов, а следовательно новых измеряемых параметров.

Технология такого мониторинга видится в следующем. Первоначально, на функционирующем ТУ, с помощью «индикатора» преддефектного состояния, основанного на вышеупомянутых акустических эффектах, провести 100% «индикаторное» обследование объекта; определить зоны повышенного риска появления дефекта. Далее, на основании полученных результатов, перейти к обоснованной «адресной» процедуре технического обследования. Такое двух этапное диагностирование с поиском потенциально опасных «преддефектных» зон на наш взгляд позволит, во-первых, сократить объем и время проведения работ по диагностике ТУ; во-вторых, определить набор применяемых методов НК, который будет более адекватен текущему состоянию материала; в третьих, повысить достоверность оценки реального технического состояния ТУ, что в конечном счете позволит повысить безопасность его дальнейшей эксплуатации.

Однако техническая реализация предлагаемой технологии, а именно создание акустического «индикатора» преддефектного состояния сопряжена с определенными трудностями. Измерение модуляционных, нелинейных, дисперсионных параметров как правило осуществляется в лабораторных условиях, поэтому следует поработать, как в случае с ультразвуковыми дефектоскопами, схематические решения построения «индикаторов» преддефектного состояния металла, удовлетворяющих потребителя - это оперативность, мобильность, удобство пользования, энергонезависимость, безопасность и т.д.[21]. Немаловажной является проблема акустического контакта, которая обуславливает как стабильность получаемых значений параметров волны, так и оперативность контроля.

Тем не менее перспектива заманчива – иметь возможность контролировать техническое состояние конструкций и материалов задолго до появления в них физически реализуемых дефектов с помощью «индикатора» преддефектного состояния материала при проведении экспертизы промышленной безопасности ТУ неразрушающим способом.

Литература

1. Котельников В.С., Коновалов Н.Н., Шевченко В.П. Мониторинг технического состояния оборудования с истекшим сроком эксплуатации на опасных производственных объектах // В мире неразрушающего контроля. 2006. №4(34). С.21-23.
2. Зарембо Л.К., Красильников В.А., Школьник И.Э. Нелинейная акустика в проблеме диагностики прочности твердых сред. Проблемы прочности. 1989. №4. с.86-92
3. Коротков А.С., Славинский М.М., Сутин А.М. Измерение нелинейного акустического параметра стали при накоплении дефектов. Акуст. журн. 1994. т.40. №1. с.84-87.
4. Беляева И.Ю., Зайцев В.Ю. Структурно-порожденная нелинейность зернистых сред: теория и эксперимент. Изв.ВУЗов. Радиофизика. 1995. №1-21. с.94-99
5. Потапов А.И. Нелинейные волновые процессы в упругих средах с дисперсией. // Дис. на соискание уч. ст. докт. физ.-мат. Наук. ГГУ. Горький. 1989
6. Смирнов А.Н., Хапонен Н.А., Челышев А.Н., Медведев С.Н. Оценка состояния длительно работающего металла технических устройств опасных производственных объектов акустическим методом // Безопасность труда в промышленности. 2004. №3. С.28-32.
7. Егоров Н.Н., Тоом К.Е. Использование поверхностных и нормальных волн в ультразвуковой дефектоскопии // Контроль и диагностика. 2004. №6. С.
8. Чирков Ю.А., Кушнарченко В.М., Самигулов И.Н., Агишев В.Н. Оценка физико-механических свойств сталей акустическими поверхностными волнами // Вестник ОГУ.2002.№5. С.145-148.
9. Пермикин В.С. Датчики и устройства для контроля состояния металла, эксплуатирующегося в условиях ползучести, по изменению скорости ультразвуковых волн // труды ХУ сессии РАО. Ультразвук и ультразвуковая технология. 2004. С.82-86.

10. Родюшкин В.М. Об ультразвуковом методе обнаружении микротрещин. Дефектоскопия. 1999. №8. с.54-57.
11. Гузь А.Н., Махорт Ф.Г., Гуша О.И. Неразрушающий контроль материалов и элементов конструкций. //Под об.ред. А.Н. Гузя.-Киев: Наукова думка. 1981. 129с.
12. Конюхов Б.А. Использование нелинейного взаимодействия ультразвуковых волн в задачах оценки неоднородных упругих напряжений. Дефектоскопия. 1988. №5. с.3-6
13. Лебедев В.П., Родюшкин В.М. Метод экспериментально оценки неоднородности поля внутренних напряжений в элементах машин с помощью ультразвука // ПМТФ. 1990. №4. С.153-156.
14. Островский Л.А. Нелинейные свойства упругой среды с цилиндрическими порами. Акуст. журн. 1989. т.35. №3. с.490-494.
15. Митенков Ф.М., Углов А.Л., Пичков С.Н., Попцов В.М. О новом методе контроля повреждаемости материала оборудования ЯЭУ и аппаратно - программных средств для её реализации. Проблемы машиноведения и надежности машин. 1998. №3. с.3-9.
16. Сутин А.М., Назаров В.Е. Нелинейные акустические методы диагностики трещин. Изв.Вузов. Радиофизика. 1995. т.38. №3-4. с.169-187.
17. Ерофеев В.И. Мишакин В.В., Родюшкин В.М., Шарбанова А.В. Генерация сдвиговых волн удвоенной частоты в материалах, по разному сопротивляющихся растяжению и сжатию. Дефектоскопия, №4, 2006.с.28-36.
18. Шермергор Т.Д. Теория упругости микронеоднородных сред. -М.: Наука. 1977.
19. Меркулов Л.Г. Применение ультразвука для исследования структуры сталей. // ЖТФ. 1957. Т.27. №6. С.1386-1391.
20. Березин Е.К., Родюшкин В.М. Ультразвуковой контроль качества материалов со сложной структурой // Упрочняющие покрытия и технологии. 2006. №5. С.32-39.
21. Бугайский В.В., Родюшкин В.М. К вопросу о разработке средств технической диагностики. // тез.докл.конф./ИФПНТ. МГТУ. 1998. с.8-9.

ООО «Газнадзор» Волго-Камский ГТЦ, Россия, г. Нижний Новгород

Поступила: 27.02.09.