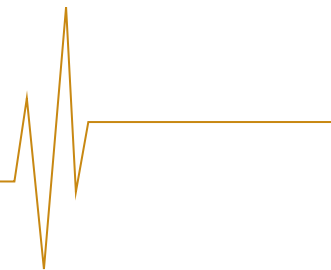


ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ



АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ДИАГНОСТИКА ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН

**Б.А. Гордеев (Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Н. Новгород),
И.Г. Куклина (ННГАСУ)**

Предложен нетрадиционный способ диагностики полуфабрикатов, предназначенных для изготовления металлорежущих станков различного назначения. Изложенный способ был испытан при диагностике чугунных заготовок отлитых в разное время на различных предприятиях. Такой способ диагностики может использоваться в заводских и полевых условиях, например при исследованиях бетонных конструкций. Особенностью его является выявление новых информативных признаков, указывающих на наличие внутренних дефектов в контролируемых заготовках.

Ключевые слова: индектор, корреляция, спектр, триггер, импульс, асимметрия, эксцесс, неразрушающий контроль, нормальное распределение.

Производство фрезерных станков связано с использованием различных типов полуфабрикатов, отдельных узлов и деталей, изготовленных на различных предприятиях в широкие временные интервалы. Поэтому возникает задача технической диагностики комплектов деталей, входящих функциональными узлами в различные типы фрезерных станков. Специфика данной задачи состоит в том, что весь процесс контроля и диагностики должен быть неразрушающим, не нарушающим геометрию исследуемых образцов.

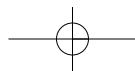
В настоящее время задача неразрушающего контроля характеристик эксплуатационного и морального износа чугунных отливок, входящих составными элементами в основные узлы фрезерных станков, является весьма актуальной в общей проблеме эксплуатационного мониторинга ответственных технических объектов.

Основной проблемой мониторинга технического состояния является выбор оптимального метода определения характеристик поврежденности чугунных отливок с целью установления соответствующих функциональных и корреляционных связей диагностических признаков. Проведенный анализ возможностей неразрушающих методов контроля поврежденностей и механических напряжений в структурно неоднородных материалах показал, что в заводских условиях наиболее эффективным является акустический метод [1–4].

В процессе исследований были опробованы различные акустические методы диагностики для конкретных форм чугунных отливок. В результате был выбран интегральный способ определения скорости распространения фронта продольных волн, возбуждаемых в различных заготовках специально разработанными инденторами. Скорость распространения акустических волн в неоднородных средах является функцией поврежденности материала [5, 6, 7]. Также параллельно определялись поглощение акустических импульсов, возбуждаемых индентором в данном объекте исследования, твердость данного образца по Брюнеллю и строилась кривая распределения скоростей в данной заготовке при неиз-

менной базе. Устанавливалась корреляционная связь между этими основными диагностическими признаками, и принималось решение о дальнейшей эксплуатации объекта. В интегральной акустической диагностике предложенный метод является более достоверным по сравнению с известными. Кроме указанных основных диагностических признаков — скорости распространения акустических сигналов, поверхностной твердости и дисперсии скоростей, исследовались и впоследствии применялись дополнительные диагностические признаки — асимметрия и эксцесс. Последние два признака использовались для более достоверной диагностики материала заготовок. Независимо от наличия внутренних дефектов в материале распределение скоростей в окрестности математического ожидания подчинялось нормальному закону. Однако в чугунных заготовках отлитых на разных предприятиях при условии нормального распределения скоростей акустических импульсов в процессе диагностики наблюдались эксцессы — искажение вершины кривой распределения как в положительном, так и в отрицательном направлениях.

Суть предложенного метода заключается в том, что в заданных контрольных точках исследуемого объекта с помощью индентора возбуждаются акустические импульсы с широким спектром частот, распространяющиеся во всем объеме объекта. Информативным признаком о наличии скрытых дефектов являлась скорость распространения фронта акустического импульса. Поскольку измерение скорости распространения акустических импульсов в неоднородных средах всегда связано с наличием методических и инструментальных погрешностей [4, 5], в предложенном способе методические ошибки сводятся к наименьшему значению путем статистической обработки полученных результатов. Инструментальные погрешности также снижаются путем синхронизации фронтов ударных импульсов с моментом опрокидывания R-S триггера в исходное состояние. Это позволяет в течение короткого интервала времени (~1 с) получить сотни измеренных значений числа тактовых импульсов, соответствующих скорости распространения фронтов



акустических импульсов в исследуемом объекте. Обусловлено это тем, что размеры исследуемых объектов не превышают 1...2 метра, а скорость распространения фронта импульса порядка 103...104 м/с.

За основу предлагаемого способа положена зависимость дисперсии отклонений скорости распространения акустических импульсов от среднего значения (математического ожидания) при наличии в исследуемом объекте внутренних аномалий. Изменение дисперсии в данном способе контроля является одним из диагностических признаков наличия дефектов. Если дисперсия скорости распространения фронтов акустических импульсов не остается постоянной в различных полуфабрикатах одного и того же назначения, то в этих образцах изменяются и другие параметры нормального распределения, возникают асимметрия и эксцесс. Последние два параметра являются новыми диагностическими признаками наличия внутренних дефектов.

Отличие предложенного способа от традиционных в том, что, во-первых, конструкции полуфабрикатов не нарушаются, объект исследования остается неповрежденным и, следовательно, пригоден для дальнейшей эксплуатации. В работе [6] рассматриваются традиционные способы ультразвуковой диагностики материала конструкций, которые требуют тщательно подготовленной поверхности для установки контрольно-измерительных преобразователей, что приводит к нарушению конструкции. Кроме этого при ультразвуковом контроле из исследуемого объекта вырезаются некоторые элементы для дополнительных исследований [3, 6]. Во-вторых, традиционные методы предполагают использование в качестве инструмента исследования высокостабильный ультразвуковой сигнал определенной амплитуды, частоты и фазы. Для исключения высокочастотных гармоник, которые неизбежно будут заноситься в исследуемый объект, если зондирующий акустический сигнал ограничен во времени, требуется дополнительный низкочастотный сигнал в виде гауссова импульса, модулирующего зондирующий сигнал. Этот импульс необходим для сглаживания во времени фронта и спада зондирующего сигнала. Практическое применение традиционных способов при наличии указанных выше обстоятельств в цеховых условиях требует дорогостоящей аппаратуры, дополнительного времени и материальных затрат в связи с нарушением конструкции полуфабрикатов.

На основе предложенного метода создана измерительная схема с учетом метрологических характеристик используемых стандартных средств измерения. На рисунке приведена структурная схема установки для измерения скорости акустического импульса. Так как импульс, возбуждаемый индентором, имеет широкий спектр, то измерительные преобразователи акустического сигнала (датчики), используемые в установке имели собственную частоту порядка 100 кГц, и на высокочастотные гармонические составляющие не реагировали. При этом продольные размеры чугунных отливок обычно превышали 1 метр, и ультразвуковые составляющие спектра порядка 500 кГц



Структурная схема установки контроля качества чугуна

поглощались в материале отливки. На приведенной схеме в контролируемом изделии 1 индентором 2 возбуждался акустический импульс, который сначала воспринимался датчиком 3, а с некоторой задержкой — датчиком 4. Время задержки необходимо было измерить с наиболее возможной точностью, так как последующие вычисления скорости и затухания импульса должны выполняться с наименьшей погрешностью. Поэтому выходные сигналы с датчиков поступают на соответствующие усилители 5, 6, а затем на формирователи-компараторы, где сформированные импульсы дифференцируются и поступают на вход блока 10 (узел формирователя), в качестве которого может быть использован R-S триггер, включенный по счетному входу. При этом первый продифференцированный импульс с выхода блока 7 переводит триггер в единичное состояние, а второй импульс с выхода блока 8 возвращает его в первоначальное нулевое состояние. Таким образом, узел 10 формирует временные ворота, в которые поступают тактовые импульсы с генератора 9. Частота следования тактовых импульсов 10 МГц обеспечивается генератором стандартных сигналов. Поэтому время прохождения фронта акустической волны в исследуемом объекте измеряется с точностью до 1 десятиллионной секунды. Счетчик 11 подсчитывает число, проходящих импульсов с генератора 9. Перед следующим измерением вся схема переводится в исходное состояние путем сброса показаний счетчика 11 и триггера 10, если он включен по входам R-S. В дополнение к данной измерительной схеме проводились исследования твердости материала заготовок для последующей статистической обработки и определения коэффициента множественной корреляции между тремя диагностическими признаками — скорости прохождения сигнала через заготовку, твердости поверхностного слоя, дисперсии распределялись по нормальному закону и, следовательно, математическое ожидание каждого диагностического признака в пределах допустимой погрешности определялось как среднее значение.

Принцип действия устройства для определения твердости материала заключается в следующем. Внутри специальной прозрачной трубки с минимальным трением о ее стенки скользил стальной шарик. Трубка имела линейную шкалу, с помощью которой положение стального шарика определялось с точностью до 10^{-3} м. При измерениях исследуемая заготовка была расположена горизонтально, и по нормали к ней направлялась трубка со скользящим шариком. Высота падения и высота подъема шарика после удара контролировались по шкале, деления которой были откалиброваны в единицах твердости по Бринелю. Измерения проводились на заготовках с различными расстояниями (базами) между датчиками.

В ходе экспериментов все заготовки разделялись на две группы с различными базами: 800 и 1292 мм. Диаметр шарика составлял 12,7 мм, вес — 8 г. Высота трубки для базы 800 (1292) мм соответствовала 120 (298) мм.

Разработана метрологически строгая методика измерения скорости распространения фронта акустической волны в чугунных заготовках и интегральные преобразователи волнового пакета, проведена оценка методической и инструментальной погрешностей преобразования.

Второй этап работ был, в основном, посвящен проведению экспериментов на чугунных отливках различных сроков изготовления и на различных предприятиях. Кроме измерения скорости распространения акустических волн внутри отливок, исследовались поглощения и рассеивание акустических сигналов в различных образцах с целью установления корреляционных связей между диагностическими признаками. Эксперименты были проведены на 14 образцах различного срока изготовления и на разных предприятиях. Условно старыми заготовками считались изготовленные более 10 лет назад.

Измерения проводились в различных контрольных точках каждого образца. Измерялось число импульсов, прошедших за время распространения фронта акустической волны от одного датчика до другого. Измерения на одной и той же базе конкретной заготовки проводились ≥ 25 раз для снижения систематических погрешностей. Однако случайные погрешности, обусловленные различными не коррелирующими между собой факторами, в том числе диагностическими присутствовали. Поэтому для определения информативных составляющих проводилась специальная математическая обработка полученных экспериментально результатов.

Во-первых, определялось математическое ожидание числа прошедших импульсов, которое условно принималось за достоверное, и на основе которого вычислялась средняя скорость распространения фронта акустической волны в данном образце. Поскольку скорость распространения акустических волн в средах с микроструктурой зависит от многих факторов, и в том числе от наличия дислокаций, трещин, каверн и т.д., то ее изменение от образца к образцу можно считать главным диагностическим признаком [4].

Во-вторых, дисперсия или среднеквадратичное отклонение, несомненно, является также одним из диагностических признаков, так как в ходе экспериментов было установлено, что существует корреляционная зависимость между скоростью распространения акустических волн и дисперсией.

В третьих, экспериментально было обнаружено, что затухание акустических волн также связано со скоростью распространения фронта волны.

После вычисления математического ожидания и среднеквадратичного отклонения строилась функция распределения вероятностей скоростей для каждого образца. Все результаты, выходящие за пределы трех сигм, отбрасывались как ошибки оператора.

Согласно К. Шеннону, мерой неопределенности ситуации, описываемой случайной величиной X , принята энтропия [4]:

$$H = - \int_{-\infty}^{+\infty} p_x(x) \ln p_x(x) dx,$$

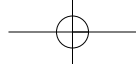
являющаяся функционалом дифференциальной функции распределения $p_x(x)$. Можно предположить, что любой процесс измерения формируется таким образом, что неопределенность результата наблюдений оказывается наибольшей в некоторых пределах, определяемых допускаемыми значениями погрешности. Поэтому наиболее вероятными должны быть такие распределения $p_x(x)$, при которых энтропия обращается в максимум.

Для выявления вида наиболее вероятных распределений рассмотрим несколько наиболее типичных случаев [3]. Поскольку с возрастанием числа измерений распределение приближается к нормальному закону можно определить дополнительные диагностические признаки — асимметрию и эксцесс. Теоретические предпосылки обработки экспериментально полученных данных изложены в работе [8].

После обработки полученных данных оказалось, что у новых отливок асимметрия и эксцесс имеют тенденцию к отрицательным значениям, что соответствует диагностическим признакам наличия внутренних дефектов. Вероятнее всего этот факт связан с изготовлением данных полуфабрикатов на различных предприятиях и с отклонениями в ТП.

В результате анализа экспериментально полученных данных обнаружено следующее:

- в старых заготовках заметно более высокое поглощение акустического сигнала по сравнению с новыми отливками при наличии той же самой базы, одинаковом расстоянии между датчиками. Дополнительное поглощение составляет 3...5 дБ;
- дисперсия числа тактовых импульсов в новых отливках меньше, чем в старых при одинаковых базах;
- внутренние напряжения в старых отливках сведены к минимальному значению, что повышает точность дальнейшей обработки;
- высокое поглощение акустических импульсов способствует уменьшению времени переходных про-



цессов при последующей эксплуатации станка, что является положительным фактором;

- возрастание дисперсии в старых отливках может вызываться различными причинами — наличием микронеровностей в контрольных точках крепления датчиков, изменением внутренней структуры, наводками, шумами измерительной аппаратуры и т.д.

Данный способ диагностики полуфабрикатов для фрезерных станков был апробирован в опытно-конструкторской работе, проводимой на предприятии "Производство фрезерных станков" — ЗАО "ПФС" (г. Н.Новгород).

Список литературы

1. Буденков Г.А. Новожиллов В.А., Шабалин В.Г. Ультразвуковой метод контроля твердости поверхности изделий из чугуна // Дефектоскопия. 1992. № 8.
2. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М: Машиностроение. 1984.
3. Абаренкова С.Г. и др. Акустический метод изучения микровключений и внутренних напряжений в материалах ферритов // Дефектоскопия. 1989. № 1.
4. Ерофеев В.И. Плоские стационарные волны в поврежденной среде с микроструктурой // Акустический журнал. 1994. Т. 40. № 1
5. Ерофеев В.И., Потапов А.И. Нелинейные продольные волны в упругих средах с моментными напряжениями // Там же. 1991. Т. 37. №3.
6. Углов А.П., Мишакин В.В., Попов Б.Е. Обнаружение усталостных повреждений акустическим методом // Дефектоскопия. 1989. №11.
7. ГОСТ 31244-2004 "Контроль неразрушающий. Оценка физико-механических характеристик материала элементов технических систем акустическим методом. Общие требования".
8. Ермачев И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И. Неразрушающие методы контроля // М. Высшая школа 1991.

Гордеев Борис Александрович — д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией "Виброзащита машин" Нижегородского филиала института машиноведения РАН,

Куклина Ирина Геннадьевна — канд. техн. наук, доцент Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета.

Контактный телефон (312) 433-47-71. E-mail: istkuklina@rambler.ru

На Самарской ГРЭС введена в опытную эксплуатацию АСУТП турбогенератора ПТ-12-2,9/0,6 ст. №1

В декабре 2009 г. на Самарской ГРЭС введена в опытную эксплуатацию АСУТП турбогенератора ПТ-12-2,9/0,6 ст. №1 номинальной электрической мощностью 12 МВт, реализованная на базе ПТК "КРУГ-2000".

Самарская ГРЭС (ТГК-7) снабжает тепловой энергией центральные районы г. Самары. Турбогенератор ст. №1 Самарской ГРЭС с комплектом теплофикационного оборудования предназначен для замены устаревшей и выработавшей ресурс турбины.

Цели внедрения АСУ ТП: повышение эффективности и надежности управления ТП в нормальных и переходных режимах; реализация алгоритмов технологических защит, блокировок, регулирования, отвечающих современным требованиям; улучшение условий работы оперативного персонала.

Информационные функции АСУТП: измерение и контроль технологических параметров, представление данных оперативно-му и обслуживающему персоналу, формирование сигнализации и т.д. Управляющие функции: выполнение алгоритмов защит и блокировок, регулирование технологических параметров с помощью программных регуляторов, дистанционное управление исполнительными механизмами и т.д. Вспомогательные функции: коррекция времени абонентов АСУТП от источника единого времени, защита от несанкционированного доступа и т.д.

АСУТП ТГ ст. №1 имеет трехуровневую архитектуру. Нижний уровень представлен датчиками и исполнительными механизмами. Средний уровень - шкафы управления на базе микропроцессорных контроллеров (информационный шкаф с резервируемой процессорной частью контроллера и шкаф технологических защит и защитных блокировок, выполненный по схеме 100% резервирования контроллеров). Верхний уровень представлен 100% резервируемым АРМ машиниста, АРМ инженера АСУ ТП, станцией инжиниринга, сервером единого времени и Web сервером.

В качестве фирменного ПО в системе используется модульная интегрированная SCADA КРУГ-2000® 3.0. Все оборудование верхнего уровня размещено в пультовых конструкциях серии КонсЭргоТМ. Требуемую точность привязки системного времени всех абонентов к единому астрономическому времени обеспечивает Сервер единого времени TimeVisor™.

Фирма "КРУГ" ведет работы на объектах Самарской ГРЭС с 2002 г. и осуществила ряд значительных внедрений: АСУ ТП котлоагрегатов №4, №5; АСУ ТП турбогенераторов ст. № 1, № 3; САУТ котлоагрегата ст. №1; система дистанционного наблюдения на базе ПО Web-Контроль™.

[Http://www.krug2000.ru](http://www.krug2000.ru)

TI анонсирует многоканальные 16-разрядные АЦП с производительностью 500 kSPS

Компания Texas Instruments Incorporated (TI) объявила о выпуске аналого-цифровых преобразователей (АЦП) ADS8331 и ADS8332 с производительностью 500 kSPS, регистром последовательных приближений и истинной 16-разрядной точностью без пропусков кодов. Четырех- и восьмиканальные преобразователи работают при напряжении источника питания 2,7...5,5 В, сочетая большое число каналов и высокое разрешение в соответствии с требованиями таких многоканальных приложений для сбора данных, как испытательное, измерительное, промышленное и медицинское оборудование и портативная техника.

Основные характеристики и преимущества

- Превосходные характеристики по переменному току при отношении сигнал-шум (signal-to-noise ratio - SNR) 91,5 дБ и свободном от паразитных выбросов динамическом диапазоне 101 дБ обеспечивают высокую точность и дискретность в применениях для сбора данных.

- Совместимость по выводам четырехканальных и восьмиканальных устройств позволяет разработчикам добиваться высокой

точности при разных температурах и в различных многоканальных конфигурациях конечных приложений.

- В устройство ADS8331 встроен входной мультиплексор 4:1, а устройство ADS8332 содержит мультиплексор 8:1 с переключением, что позволяет разработчикам сэкономить до 50 % площади на монтажной плате и передаваемой мощности по сравнению с дискретной реализацией.

- Широкий диапазон напряжений источника питания 2,7...5,5 В (аналоговые) и 1,65...5,5 В (цифровые), делает возможным использование изделий в приложениях с питанием от ионно-литиевых аккумуляторов из одной ячейки, а также прямое сопряжение с низковольтными процессорами.

- Разработка прецизионных систем сбора данных упрощается при использовании таких изделий TI, как исключительно малошумящий быстродействующий усилитель с обратной связью по напряжению THS4031, оценочный модуль (EVM) для быстродействующего операционного усилителя THS4031, а также семейства малошумящих прецизионных источников опорного напряжения с малым температурным дрейфом характеристик REF50xx.

[Http://www.ti.com](http://www.ti.com)

