

# ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Возбуждение и анализ упругих колебаний в твердых материалах позволяют определить их свойства и структуру. Эту задачу оптимально выполняет разработанный ЗАО "Руднев-Шиляев" ([www.rudshel.ru](http://www.rudshel.ru)) измерительный комплекс.

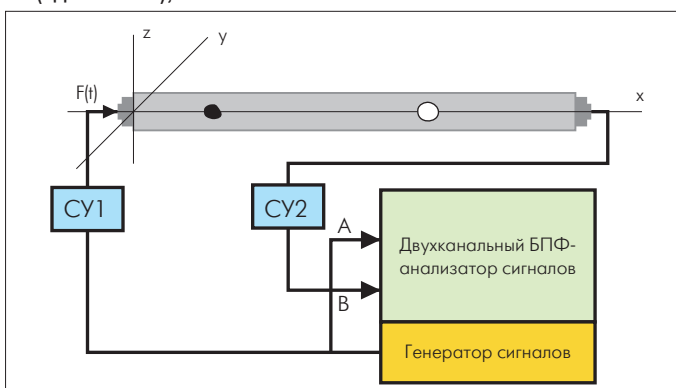
При ударе по торцу стержня в нем, как известно, возникают упругие волны, которые переносят исходное возмущение вдоль стержня практически без изменения. Скорость распространения волны по стержню конечна и определяется упругими свойствами материала и его плотностью. Чем больше упругость, тем выше скорость распространения волны, а чем выше плотность, тем медленнее скорость волны.

В блок-схеме установки, приведенной на рисунке, при возбуждении левого торца твердого волновода внешней продольной силой  $F(t)$  в среде волновода, вдоль оси  $X$ , распространяется продольная (прямая) волна деформации. Свободные торцы волновода для такой волны имеют коэффициент отражения, равный единице, поэтому, отразившись от правого торца волновода, волна деформации (отраженная волна) пойдет навстречу прямой. Затем, отразившись от левого торца, побежит вслед за прямой волной и т.д. Однако уровень колебаний деформации после каждого последующего отражения от торцов в результате поглощения энергии самой средой будет снижаться, и, если отключить источник, то через некоторое время волна деформации иссякнет.

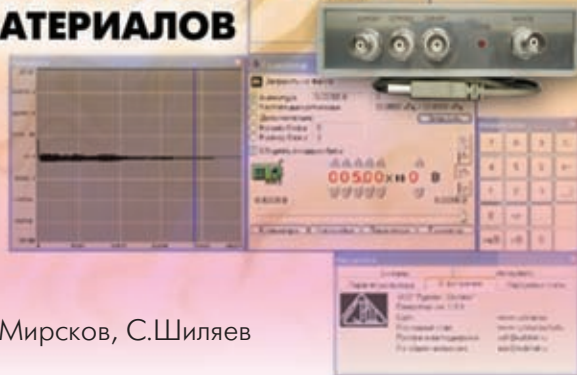
Следует отметить, что неоднородные включения в среду распространения волны деформации также являются для нее преградами. Эти преграды "генерируют" отраженные продольные колебания, уровень которых зависит и от размеров, и от упруговязких свойств самих включений.

Для исследования структуры и упругих свойств различных материалов потребовалось создание измерительного комплекса. При этом были определены такие измеряемые параметры материала:

- скорость распространения продольной волны деформации (вдоль оси  $X$ );



**Блок-схема установки для исследования структуры и физических свойств материалов: СИ1 и СИ2 – входной и выходной согласующие усилители**



А.Мирсков, С.Шиляев

- наличие дефектов в структуре образца;
- координаты расположения дефектов вдоль оси  $X$ .

## МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

В основу методики измерений положен взаимный спектральный анализ на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ).

В качестве тестовых используются сигналы двух типов:

- гармонический сигнал с частотой 0,5 МГц;
- шум в ограниченной полосе 0,4–0,6 МГц.

Скорость распространения продольной волны деформации  $V$  пропорциональна фазовому набегу волны деформации  $\alpha$  между входом и выходом в исследуемой структуре на длине образца  $L$ , т.е.:

$$V = \frac{360 \cdot L \cdot f}{\alpha}, \quad (1)$$

где  $f = 500\,000$  Гц – частота гармонического сигнала.

Фазовый набег  $\alpha$  может быть определен экспериментально по фазово-частотной характеристике при возбуждении исследуемой структуры гармоническим сигналом.

Наличие дефектов в структуре образца и координаты их расположения вдоль оси  $X - x_i$  – могут быть определены по взаимной нормированной корреляционной функции при возбуждении исследуемой структуры образца сигналом – шум в ограниченной полосе:

$$x_i = \frac{\tau_i V + L}{2}, \quad (2)$$

где  $\tau_i$  – время, соответствующее локальному максимуму функции взаимной корреляции, большее, чем время пробега волны деформации по исследуемому образцу длиной  $L$ .

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Измерительный комплекс построен на базе персонального компьютера, в слоты которого установлены специализированные платы АЦП и ЦАП. Программная оболочка по заданному алгоритму обеспечивает управление платами и внешними согласующими устройствами, формирует сигнал задающего генератора, проводит сбор и обработку данных. Для такого класса задач – это наиболее экономически выгодное решение, а благодаря быстрой перенастройке комплекса можно решать с его помощью и другие схожие задачи. Для перенастройки требуется только изменение программной оболочки комплекса и, может быть, добавление необходимой платы или согласующего устройства.



При исследованиях использовались: два обратимых УЗ-преобразователя S3466 (1,25 МГц  $\pm$ 80%,  $C = 1000$  пФ), офисный персональный компьютер с принтером, плата сбора данных ЛА-н20-12РС1 (АЦП 12 разрядов, 2 синхронных канала, максимальная частота дискретизации на каждый канал 50 МГц, диапазоны входных напряжений  $\pm 2$  В;  $\pm 1$  В;  $\pm 0,4$  В;  $\pm 0,2$  В; буферная память 128 кСлов на каждый канал), задающий генератор-формирователь сигнала ГСПФ-052 (выходной сигнал 0,05–5 В на нагрузке 50 Ом, полоса частот до 5 МГц, вид сигнала: шум в ограниченной полосе, гармонический сигнал), входной и выходной согласующие усилители для обратимых УЗ-преобразователей (2 канала, напряжение выхода 50 В в полосе частот до 1 МГц).

В основу обработки данных положен алгоритм БПФ, который обеспечивает измерение взаимных спектральных и корреляционных характеристик. На их основе в соответствии с выражениями (1) и (2) определяется скорость распространения волны деформации, а при наличии дефектов структуры – координаты расположения.

В процессе измерений пользователь сможет увидеть авто- и взаимные спектральные и корреляционные характеристики, комплексные передаточные функции, функцию частотной когерентности, а также развитие исследуемых сигналов во времени.

Предусмотрена возможность передачи графической информации о результатах измерения через системный буфер обмена другим приложениям, например Microsoft Word, а также запись данных в файл в формате, обеспечивающем их вторичную обработку средствами Microsoft Excel. ○



#### Цифровые мультиметры фирмы Agilent

с увеличенной скоростью измерения в 50 раз

Фирма Agilent выпустила семейство цифровых мультиметров/вольтметров 34410А, 34411А и 34405А. Приборы 34410А и 34411А способны соединяться с USB, LAN и GPIB. По сравнению с промышленным стандартом 34401А у них больше функций измерения, более расширенный диапазон измерений, точный запуск и высокая память показаний – до 1 Мбайт. Настольный прибор 34410А с 6,5 разрядами, двойным дисплеем обеспечивает 10 тыс. отсчетов в секунду. В 34411А дополнительные функции имеют 50 тыс. показаний в секунду. У 34405А 5,5 разрядов, стандартный вход/выход для ПК. Предназначены для тестирования аэрокосмической, коммерческой и связанной аппаратуры.

[www.agilent.com](http://www.agilent.com)