

УДК 538.9

**Разработка алгоритмов для обработки данных ультразвуковых измерений
в программном пакете MATLAB**

И.Д. Балданова

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Г.В. Гаранин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ldb6@tpu.ru

**Development of algorithms for ultrasonic measurements data processing
in MATLAB software package**

I.D. Baldanova

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D., G.V. Garanin
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str.,30, 634050

E-mail: ldb6@tpu.ru

Abstract. *The object of research was non-destructive ultrasonic control data obtained at the ultrasonic solid state analysis unit. The purpose of the work is to develop functions in MATLAB package for automation of processing and comparison of measurement results obtained at the ultrasonic solid state analysis unit. The results of the work will be included in the package of functions for further use in the processing of data obtained at the ultrasonic solid state analysis unit.*

Key words: *ultrasonic methods of nondestructive testing, coefficient of longitudinal wave attenuation coefficient, longitudinal wave velocity*

Введение

В данной работе рассматривается акустический метод неразрушающего контроля. Данный метод основан на анализе процесса распространения ультразвуковых колебаний в контролируемых объектах, с помощью которого можно определить такие характеристики материала объекта, как коэффициент затухания и скорость продольной волны. Одним из ограничений ультразвукового контроля является, что при измерении данных наличие шумов, нечетких границ материала, искажение данных на границах образца, не равномерное распределение значений в некоторых участках массива данных, а также возникновение систематической ошибки, которая заключается в боковом рассеянии ультразвуковой волны при отражении на верхней и нижней поверхностях контролируемых образцов, что оказывают влияние на результат контроля и затрудняет его интерпретацию. Решением данной проблемы является создание программного обеспечения, которое сможет автоматизировать операции обработки результатов измерений [1–3]. Целью данной работы является разработка функций в пакете MATLAB, которые позволяют автоматизировать операции обработки и сравнения результатов измерений, полученных на установке ультразвукового анализа твердого тела.

Экспериментальная часть

В данной работе полученные результаты контроля были измерены с помощью иммерсионного ультразвукового дефектоскопа. Определение скорости продольной волны производилось времяпролетным методом TOF. Функция TOF использует отражение ультразвуковых волн от границ раздела для определения скорости звука, или размеров и положения дефектов в объекте контроля. Ультразвуковая волна распространяется по объекту контроля, когда встречается дефект, он вызывает отраженную волну и дифрагированную волны. Датчик одновременно принимает отраженные волны и дифрагированные волны. Путем измерения времени распространения отраженной или дифрагированной волны, можно определить размер и расположение дефекта, определить размер объекта контроля при

известной скорости ультразвуковой волны, или определить скорость ультразвуковой волны при известных размерах объекта контроля. Определение коэффициента затухания продольной волны в образцах производилось импульсным методом DECAУ. Где функция DECAУ – использует отражение ультразвуковых волн от поверхностей образца. Путем измерения коэффициента затухания распространения отраженной волны, и зная толщину образца можно определить скорость затухания амплитуд эхо-сигналов. Были даны ранее измеренные результаты контроля скорости и коэффициента затухания продольной волны в плоских образцах (рис. 1). Данные обрабатываются в пакете MATLAB. Данные коэффициента затухания и скорости продольной волны были получены с помощью импульсного метода DECAУ и времяпролетного метода TOF соответственно. Данные из файлов были считаны с помощью готовых алгоритмов функций DECAУ и TOF.

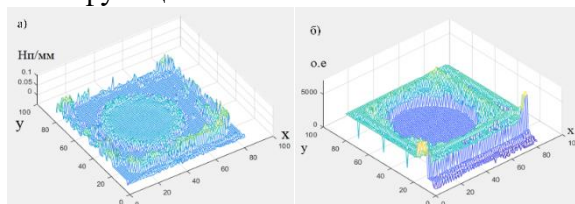


Рис. 1. Входные данные: а) массива функции DECAУ; б) массива функции TOF

Результаты

Массив данных, полученный с помощью функцией DECAУ (далее функция DECAУ), содержит значения коэффициента затухания ультразвуковой волны. Обработка данного массива значений заключается в нахождении границ материала (создание маски), сглаживании массива, вычислении среднего значения коэффициента затухания. На рисунке 2 представлен массив коэффициента затухания до и после наложения маски.

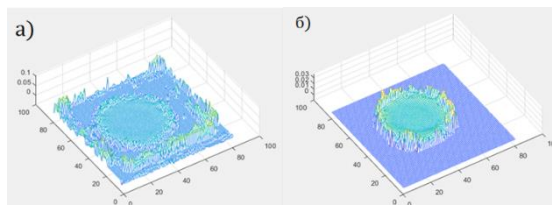


Рис. 2. Массив коэффициента затухания до и после наложения маски:

а) начальные данные коэффициента затухания; б) данные коэффициента затухания с наложенной маской

На рисунке 3 можно увидеть массив значений коэффициента затухания до и после сглаживания.

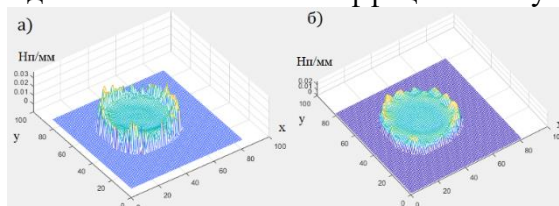


Рис. 3. Массив коэффициента затухания до и после сглаживания:

а) исходные данные коэффициента затухания с маской; б) сглаженные данные коэффициента затухания

Массив данных, полученный с помощью функции TOF (далее функция TOF), содержит данные для скорости ультразвуковой волны. Обработка данного массива значений заключается в нахождении коэффициента корректировки, который заключается в угловом отклонении продольной волны в образце. То есть при прохождении волны через поверхности образца вектор нормали в точке поверхностей образца, где прошла волна, отклоняется на некоторый угол относительно перпендикуляра к поверхности образца. Так как значение скорости продольной волны не изменяется сильно, датчик ультразвукового дефектоскопа может принять сигнал, который отразился от верхней и нижней поверхностей образца, поэтому можно вычислить

коэффициент корректировки. При умножении данного коэффициента на массив значений коэффициента затухания функции DECAУ можно вычислить значения коэффициента затухания, которые более приближены к достоверным данным.

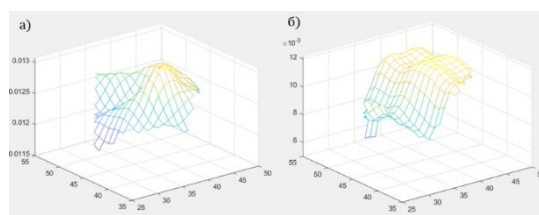


Рис. 4. Данные массива коэффициента затухания DECAУ:
а) исходные обработанные; б) обработанные с учетом коэффициента корректировки

Были вычислены среднее значение коэффициента затухания ($0,0108$ Нп/мм) и квадратичное отклонение ($1,1 \cdot 10^{-4}$ Нп/мм) массива с учетом коэффициента корректировки. Среднее значение коэффициента затухания ($0,0225$ Нп/мм) и квадратичное отклонение ($5,7 \cdot 10^{-4}$ Нп/мм) массива без учета коэффициента корректировки. Если посмотреть на рисунок 4, то после корректировки поверхность массива данных функции DECAУ становится более равномерной и сглаженной. Также при сравнении средних значений коэффициента затухания до и после корректировки, данная величина уменьшается после проделанной операции, что значит систематическая ошибка, которая заключается в угловом отклонении продольной волны, устраняется. Можно сказать, что после проделанной работы, массив значений функции DECAУ является более приближенным к реальному.

Заключение

В работе представлена разработка алгоритмов и реализация их в виде функций в пакете программ MATLAB, которые осуществляет следующие операции обработки данных ультразвуковых измерений: создание, наложение маски на массив данных коэффициента затухания и скорости продольной волны, и их сглаживание; расчет коэффициента корректировки, который характеризует угловое отклонение акустической волны; расчет среднего значения коэффициента затухания без учета и с учетом углового отклонения.

В рамках апробации разработанных функций были обработаны ранее полученные данные ультразвуковых измерений для нескольких образцов. Разработанные алгоритмы дают следующие результаты: распределение данных становится более сглаженным, устраняются физически необъяснимые вариации определяемых параметров; среднее значение коэффициента затухания с учетом коэффициента корректировки относительно среднего значения до корректировки уменьшается, что удовлетворяет ожиданиям. Можно сделать вывод, что систематическая ошибка, которая характеризует угол отклонения волны от поверхностей образца, с помощью коэффициента корректировки была минимизирована.

Список литературы

1. Аиша Х., Газанфар А., Тарик Майрадж Р.Х., Мухаммад И., Салман Н., Акил Ш., Абид Ш. Контроль и определение параметров сварной низкоуглеродистой стали E 6013 с помощью ультразвукового контроля и преобразования Гильберта-Хуанга // Дефектоскопия. – 2021. – № 5. – С. 64–70.
2. Григорьева А.В., Максименко М.В. Метод обработки данных акустико-эмиссионного контроля для определения скорости и локации каждого сигнала // Компьютерные исследования и моделирование. – 2022. – Т. 14, № 5. – С. 1029–1040.
3. Долматов Д.О. Седнев Д.А., Булавинов А.Н., Пинчук Р.В. Применение алгоритма расчета в частотной области для ультразвуковой томографии слоисто неоднородных сред с использованием матричных антенных решеток // Дефектоскопия. – 2019. – № 7. – С. 12–19.