

## Акустическая диагностика изделий из уплотненной древесины

А. А. Ерофеев<sup>1</sup>, Ф. Ф. Легуша<sup>2</sup>, И. Б. Московенко<sup>3</sup>, С. И. Пугачев<sup>2</sup>

1. Санкт-Петербург, Государственный технический университет.

2. Санкт-Петербург, Государственный морской технический университет.

Санкт-Петербург, ОАО "Абразивы и шлифование" (ОАО "ВНИИАШ").

### Введение

В последние годы разработана и интенсивно развивается новая высокая ультразвуковая технология формообразования и уплотнения изделий из сырой цельной древесины [1-3]. Уплотнение вещества изделий происходит при одновременном воздействии на древесину статической силы и трехмерного поля ультразвуковых колебаний. При этом плотность древесины в зависимости от требований, предъявляемых к изделию, может быть увеличена более чем в два раза. Это связано с тем, что теоретически достижимое значение плотности сухой древесины (относительная влажность менее 6%) любой породы составляет  $1540 \text{ кг/м}^3$  в то время как плотность древесины основных пород деревьев имеет в исходном состоянии значения от 350 до  $1100 \text{ кг/м}^3$ .

Изменение плотности древесины приводит также к соответствующим изменениям ее физико-механических характеристик, величину которых приходится определять и контролировать различными экспериментальными методами. Например, в изделиях, полученных по данной технологии, поверхности, перпендикулярные направлению древесных волокон, имеют повышенную в 3...4 раза твердость. Примерно во столько же раз возрастает устойчивость к истиранию этих поверхностей.

Производство, основанное на ультразвуковой технологии формообразования и уплотнения изделий из сырой цельной древесины, экологически чистое и занимается утилизацией отходов лесозаготовок и санитарных рубок леса, что само по себе является решением важной экологической задачи. Продукция производства – экологически чистый, достаточно дешевый конструкционный материал. Это обусловлено, прежде всего, тем, что в качестве исходного сырья используется древесина деревьев малоценных пород: осина, ольха, тополь, береза и т.п.

Первые измерения физико-механических характеристик уплотненной древесины показали, что в результате применения ультразвуковой технологии получен новый конструкционный материал, который обладает уникальным набором физико-механических параметров. Благодаря чему этот материал найдет широкое применение в различных областях техники. Это обстоятельство обусловило необходимость разработки специальных методик измерения физико-механических характеристик вещества и методов диагностики и НК готовых изделий.

### Аппаратура и методы измерений

В представляемой нами работе анализируются результаты измерений ряда основных механических характеристик с применением метода свободных колебаний для измерения частот собственных колебаний (ЧСК) и импульсного метода измерения скорости звука в твердом теле. Для исследований специально изготавливались цилиндрические заготовки из березы, ольхи и осины, имеющие диаметр  $D_1$ . В качестве материала заготовок использовалась свежая сырая цельная древесина. После ультразвукового формообразования и уплотнения изделия имели цилиндрическую форму, диаметром  $D_2$  (причем,  $D_2 < D_1$ ). В процессе исследований в широких пределах варьировались длины и диаметры испытываемых образцов, а также коэффициенты уплотнения древесины. Значения коэффициентов уплотнения определялись из отношения  $(D_1/D_2)^2$ .

В основу применения низкочастотного метода свободных колебаний положено наличие корреляционных зависимостей между упругими константами материала изделия и такими физико-механическими свойствами, как твердость, пористость, плотность, прочность и т.п., а также эксплуатационными характеристиками изделий и технологией их изготовления [4,5].

В процессе контроля измеряется частота собственных колебаний (ЧСК) изделия, соответствующая определенному виду колебаний, затем рассчитывается приведенная скорость распространения акустических волн (стержневая скорость звука,  $c_l$ ) по известной формуле  $f_i = F_l c_l$ , где  $f_i$ -ЧСК определенного вида  $i$ ;  $F_l$ - коэффициент формы, зависящий от формы и размеров изделия, вида возбуждаемых колебаний и коэффициента Пуассона. Стержневая скорость звука определяется при помощи известного выражения  $c_l = \sqrt{E/\rho}$ , где  $E$  - модуль нормальной упругости,  $\rho$  - плотность древесины. Это позволяет, по предварительно установленным корреляционным зависимостям, определять необходимые физико-механические свойства вещества. Параметр  $c_l$  является весьма информативным, и в ряде случаев достаточно полно характеризует физико-механические свойства изделий, определяющие их поведение при эксплуатации [6].

Как показали предварительные исследования и анализ литературы [7] применительно к древесине, параметр  $c_l$  связан с такими важными физико-механическими свойствами как плотность, прочность, упругие свойства. Кроме того, на параметр существенное влияние оказывает влажность контролируемых образцов. Таким образом, этот параметр может быть использован в качестве комплексного параметра, характеризующего физико-механические свойства контролируемых изделий.

Для реализации низкочастотного акустического метода применительно к контролю рассматриваемых заготовок и изделий из древесины может быть использован серийно выпускаемый ОАО "ВНИИАШ" (Санкт-Петербург) прибор "Звук 203М" [5].

Для повышения надежности и достоверности контроля дополнительно может быть использован импульсный метод определения скорости распространения ультразвуковых колебаний по результатам измерения времени их прохождения в контролируемом изделии. Этот метод реализуется с применением также серийно выпускаемого импульсного низкочастотного ультразвукового измерителя скорости УК - 14П (ПО "Интроскоп", г. Кишинев). С помощью этого прибора, дополнительно к интегральной оценке свойств контролируемых изделий, возможно, производить локально-интегральную оценку равномерности распределения свойств по образцу, а также степени анизотропии свойств, что с учетом специфики контролируемого материала может нести дополнительную информацию о стабильности технологического процесса и качестве конечного продукта.

Следует отметить, что посредством импульсного метода измерения скорости звука удается определить скорость распространения упругих волн вдоль оси образца  $c_o$  (параллельно древесным волокнам) и в радиальном направлении  $c_r$  (поперек древесных волокон). Степень анизотропии испытываемого образца можно определить как отношение  $c_o / c_r$ , а физико-механические параметры его вещества при помощи известных выражений.

Отметим, что использование методов НРК имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционно применяемыми методами разрушающих испытаний:

- возможность оперативного контроля натуральных изделий или заготовок на различных технологических переделах;

- повышение достоверности определения физико-механических характеристик, поскольку исключаются возможные изменения свойств, происходящие при подготовке испытательных образцов;

- возможность наблюдения за изменением свойств одних и тех же изделий на различных этапах изготовления, т.е. обеспечение контроля непосредственно за технологическим процессом.

## Результаты измерений

Полученные экспериментальные данные позволяют получить некоторые предварительные

оценки свойств различных образцов. Например, в процессе естественной сушки образцов из свежеспеленной березы в виде цилиндров диаметром 50 мм длиной 200 мм наблюдаются несколько этапов изменения ЧСК и, соответственно, значений  $c_l$ :

- отсутствие изменений (примерно 10ч от начала сушки);
- изменение (рост) ЧСК изгибных колебаний с некоторой постоянной скоростью (в интервале от 15 до 110 ч), значения ЧСК увеличились примерно на 26% от исходных значений, а в конце этого этапа появились радиальные трещины на торцах цилиндров;
- скорость увеличения частоты снижается и остается почти постоянной в промежутке от 110 до 180 ч сушки, а значение частоты возрастает до 35%;
- в последующие 100 ч дальнейшие изменения ЧСК заметно падают, а значение частоты возрастает от 35% до 41% и практически не изменяется далее до 500 ч сушки.

Соответствующий диапазон изменения  $c_l$  с учетом уменьшения диаметра в процессе сушки в этом эксперименте от 2380 м/с в исходных образцах до 3500 м/с после 260 ч сушки.

Таким образом, наблюдаемая существенная зависимость ЧСК от исходного состояния образцов может послужить оценкой состояния исходного продукта, например, его влажности. Очевидно, на базе подобных измерений могут быть введены акустические критерии сухой и влажной древесины, а также построены специальные акустические системы для контроля за процессом сушки изделий из древесины.

Пример результатов измерения скорости звука с использованием метода свободных колебаний и импульсного метода для различных образцов, изготовленных из одного куска древесины березы, приведены в таблице.

Таблица.

Параметр	I	II	III
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	997	627	844
$c_l$ , м/с	2570-2800	3710	3020-3440
$c_o$ , м/с	3650	4470	4320
$c_r$ , м/с	1350-1450	1520-1630	1015-1160
$c_o/c_r$	2,70-2,50	3,27-3,05	4,26-3,72

Примечания: I – сырая древесина березы, измерения проведены в пределах 1 суток после заготовки; II – та же древесина после длительной сушки; III – уплотненная древесина березы.

В таблице значения  $c_l$  рассчитаны по результатам измерений частот собственных изгибных колебаний цилиндров в двух различных положениях образца на позиции контроля. При этом обычно минимальное значение  $c_l$  соответствует такой ориентации видимых дефектов или неоднородностей (сучки, трещины), при которой их влияние на ЧСК наибольшее. Как видим, измеряемый параметр достаточно чувствителен к

наличие дефектов в древесине. Одно значение  $c_l$  приведено в случаях, когда ни визуально, ни по результатам измерений неоднородности не выявлялись.

Значения  $c_o$  получены по результатам измерений времени распространения ультразвука вдоль оси цилиндра, т.е. вдоль волокон, а значения  $c_r$  - соответственно перпендикулярно оси цилиндра, т.е. перпендикулярно волокнам. При этом значения  $c_r$  определялись не менее, чем в трех точках по длине цилиндра и в двух направлениях по диаметрам. Минимальные значения  $c_r$  соответствуют участкам, имеющим различные дефекты. Разница в скорости звука в радиальном направлении на различных участках образца превышает 100 м/с. Это обстоятельство может быть использовано для разработки метода НРК как заготовок, так и готовых изделий.

Из сопоставления данных для сухой неуплотненной и уплотненной древесины видно, что значения продольной и радиальной скорости звука в уплотненной древесине оказываются ниже. При этом если значения  $c_o$  отличаются менее чем на 3,4%, то различие значений для  $c_r$  может превышать 33%. Это приводит к соответствующему увеличению анизотропии упругих свойств уплотненного образца и, вероятно, связано с тем, что именно в радиальном направлении происходит наиболее интенсивная деформация вещества древесины при ее уплотнении. С физическими причинами, приводящими к такому характеру изменения радиальной скорости звука, еще предстоит разобраться.

### Заключение

Получение образцов с заданными физико-механическими свойствами может быть осуществлено при условии соблюдения специально разработанного технологического процесса и поступления на различные его переделы заготовок с определенными заранее заданными свойствами.

В связи с этим представляется целесообразным введение НРК физико-механических свойств на различных переделах технологического процесса. Основными переделами технологического процесса уплотнения и формообразования изделий из цельной сырой древесины, на которых целесообразно введение неразрушающего контроля, являются: изготовление и

подготовка к силовому воздействию заготовки древесины в виде цилиндра определенных размеров; сушка изделия после силового воздействия; оценка качества конечного продукта.

Следует также рассмотреть вопрос о целесообразности проведения дополнительного выборочного разрушающего контроля образцов уплотненной древесины в соответствии с требованиями действующей в настоящее время научно-технической документации, определяющей порядок проведения контроля физико-механических свойств древесины.

### Литература:

1. **Легуша Ф. Ф.** Технология уплотнения и формообразования изделий из цельной древесины. Труды 3 съезда СПб Союза НИО: «Развитие города на ближайший и отдаленный периоды».- СПб, 1997, т. 2, с. 77...82.
2. **Легуша Ф. Ф., Пугачев С. И.** Ультразвуковая технология уплотнения и формообразования изделий из древесины. МНТК: «Ультразвуковые технологические процессы».- М. Из-во МГАДИ, 1998, с.187...190.
3. Патент РФ № 2122944. Способ уплотнения и формообразования изделий из цельной древесины и устройство для его осуществления./ Ерофеев А.А., Легуша Ф.Ф., Пугачев С.И. и др. Бюл. № 34, 1998.
4. **Глаговский Б. А., Московенко И. Б.** Низкочастотные акустические методы контроля в машиностроении. -Л., Машиностроение, 1977, 208 с.
5. **Московенко И. Б.** Метод свободных колебаний - самый древний метод акустического контроля. -В мире неразрушающего контроля, 1998, №2, с.10-13.
6. **Коварская Е. З., Московенко И. Б.** Опыт промышленного использования акустического метода оценки физико-механических свойств изделий по частотам собственных колебаний.-Дефектоскопия, №6, 1991, с.9 - 15.
7. **Лехницкий С. Г.** Теория упругости анизотропного тела – М.: "Наука", 1977, 416 с.

A. A. Erofeev, F. F. Legusha, I. B. Moskovenko, S. I. Pugachiov

### Acoustic NDT of tight wooden materials

#### Summary

For evaluation of mechanical features of wooden materials acoustic diagnostic techniques were applied. The techniques are based on measurement of ultrasound velocity or resonant frequencies of flexural mode of cylinder.

Pateikta spaudai 1999 12 15

DOI: 10.5755/j01.u.33.3.7944