

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ РЕЗИНОПОДОБНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

В работе представлены результаты исследований акустическими методами характеристик упругости новых перспективных резиноподобных титановых сплавов. Используются методики, позволяющие определять неравномерность свойств упругости по объёму материала и в различных направлениях. Установлено, что исследуемые материалы имеют анизотропию характеристик упругости и неравномерность свойств по объёму. Определены численные значения модулей упругости в различных направлениях.

Современные технологии позволяют получать материалы с уникальными свойствами, в том числе с анизотропией модулей упругости. Однако недостатки технологических процессов приводят к тому, что свойства материала могут быть неравномерны по объёму.

Резиноподобные металлические сплавы являются одними из перспективных новых материалов, поэтому важным является изучение их характеристик, в том числе и упругости, с учетом анизотропии и неравномерности свойств материала. Задачей настоящей работы является исследование особенностей формирования свойств упругости металлов на основе титановых сплавов и разработка рекомендаций по отработке состава таких материалов по критерию оптимизации характеристик упругости.

Создание материала с заданными свойствами всегда предполагает отработку его состава. Процесс отработки проходит по результатам моделирования или экспериментально. Прогнозирование комбинации состава и технологических параметров получения материала производится с помощью диаграмм состояния, а ожидаемых свойств – диаграмм состав-свойство. В этом случае важно проверить, действительно ли созданный материал обладает заложенными в него свойствами. При экспериментальной отработке сопоставляются реальные свойства ряда материалов, полученных при различных комбинациях состава или технологических параметров получения материала. В этом случае использование неразрушающих методов оценки позволяет существенно упростить и удешевить процедуру сопоставления. В обоих случаях для отработки свойств материалов при их создании могут быть использованы акустические методы неразрушающего контроля. Необходимое условие такого использования – наличие функциональной или корреляционной связи между обрабатываемым свойством материала и параметром упругой волны или упругих колебаний.

В работе проведен сопоставительный анализ характеристик упругости материалов, полученных вакуумным литьём, на основе Ti с разным содержанием β -стабилизирующих добавок. Исследуемые образцы материалов (рис. 1) представляли собой стержни длиной l порядка 40 мм, с прямоугольным поперечным сечением шириной a порядка 5 мм и высотой h порядка 3 мм. В соответствии с этими направлениями проводились измерения импульсным методом.

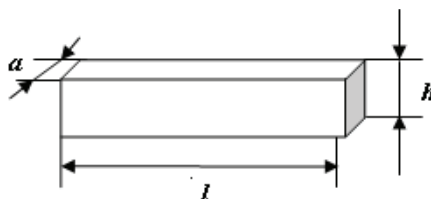


Рис. 1. Образцы для исследований.

Экспериментальные исследования проводились на установке для прецизионных измерений параметров упругой волны, разработанной в ИПМ НАНУ (рис. 2). Для комплексной оценки характеристик упругости материалов был проведен анализ различных акустических методов, основанных на импульсном и резонансном возбуждении образцов. Структурная схема реализации импульсного метода представлена на рис. 3, а резонансного – на рис. 4.



б

Рис. 2. Установка для измерений параметров упругой волны:
а – аналоговый и б – цифровой варианты.

а

При импульсном методе измерений наиболее эффективной оказалась схема сквозного прозвучивания образца в разных направлениях при ударном методе возбуждения продольных упругих колебаний [1] в преобразователях с резонансной частотой 5 МГц. Направления и места расположения преобразователей показаны на рис. 5 а, б, в. Использование датчиков сдвиговых колебаний не позволило получить сигнал на приёмном преобразователе из-за больших потерь энергии поперечной упругой волны в материале образцов. Использование метода трансформации на поперечных образующих образца [2] не дало положительных результатов из-за малого поперечного сечения образцов. Поэтому для получения второго модуля упругости был использован резонансный акустический метод. Неравномерность характеристик материала исследовалась путём прозвучивания образцов в различных точках и направлениях (см. рис. 5). Результаты измерений времени и частоты и расчеты модулей Юнга, плотности и коэффициента Пуассона приведены в табл. На рис. 6. представлены рассчитанные значения скорости в трех точках двух направлений каждого образца. Из таблицы видно, что технология создания материала не обеспечивает равномерность формирования свойств.

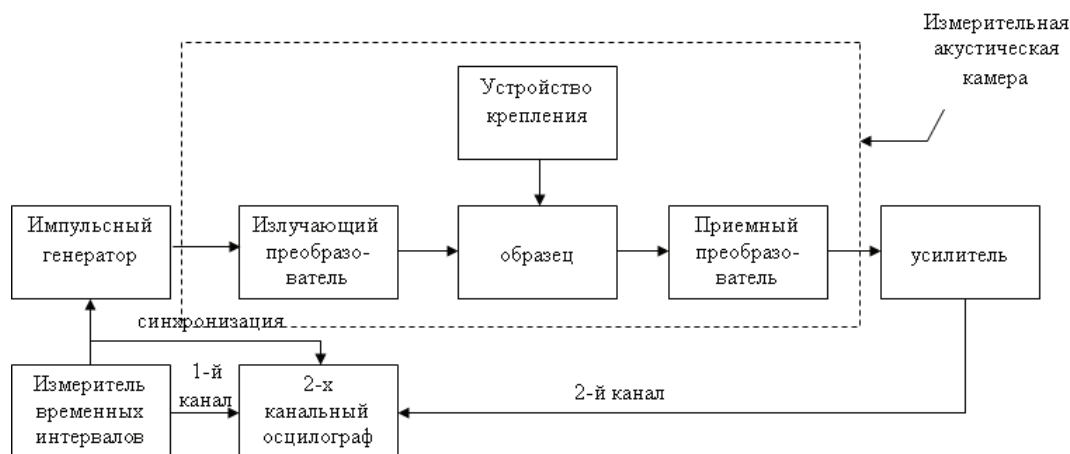


Рис. 3. Схема импульсного метода.

При резонансном методе измерений был проведен анализ различных схем крепления образца (см. рис. 5 г-ж). Результаты исследований показали, что использование спектрального метода [3], реализуемого по схемам крепления образца (г-е) предполагает повышенные требования к акустической измерительной камере. Поэтому, измерения были проведены по классической схеме [2] метода вынужденных колебаний образца со свободными торцами (ж). Резонансный метод в силу своих особенностей не позволяет определять распределение свойств исследуемого образца по объёму. Результаты измерений частоты вынужденных колебаний образцов приведены в таблице.

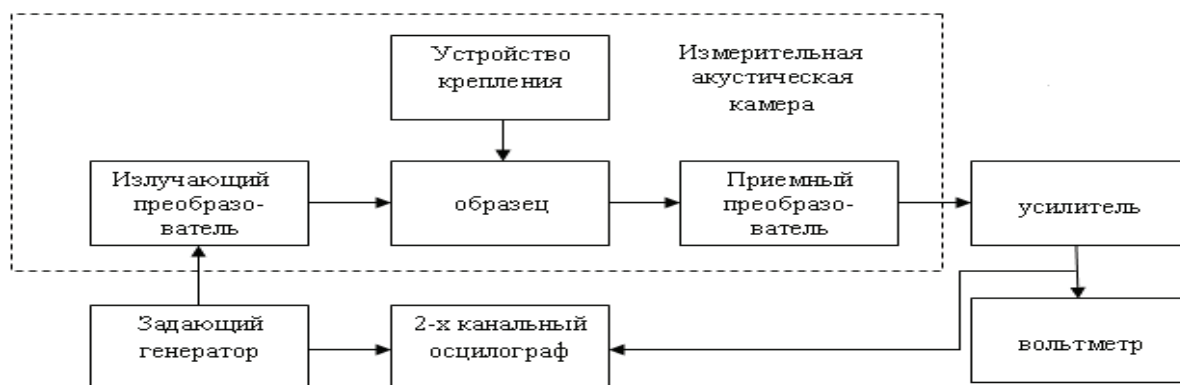


Рис. 4. Схема резонансного метода.

Измерение плотности проводилось в соответствии с ГОСТ 18898 – 89 методом гидростатического взвешивания. Результаты измерений приведены в таблице.

Анализ результатов измерений проводился в рамках модели изотропного упругого тела. Модуль упругости (Юнга) определялся классическим методом [2] по результатам резонансных измерений:

$$E = V_{cm}^2 \cdot \rho \quad (1)$$

где $V_{cm} = f_{рез} \cdot l$ – скорость прохождения продольной упругой волны в стержне, ρ – плотность образца. Результаты измерений приведены в таблице.

Коэффициент Пуассона μ рассчитывался по формуле:

$$E = \frac{V_l^2 \cdot \rho(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)} \quad (2)$$

где V_l – скорость прохождения упругой волны, определённая импульсным методом, вдоль направления l . Результаты измерений приведены в таблице.

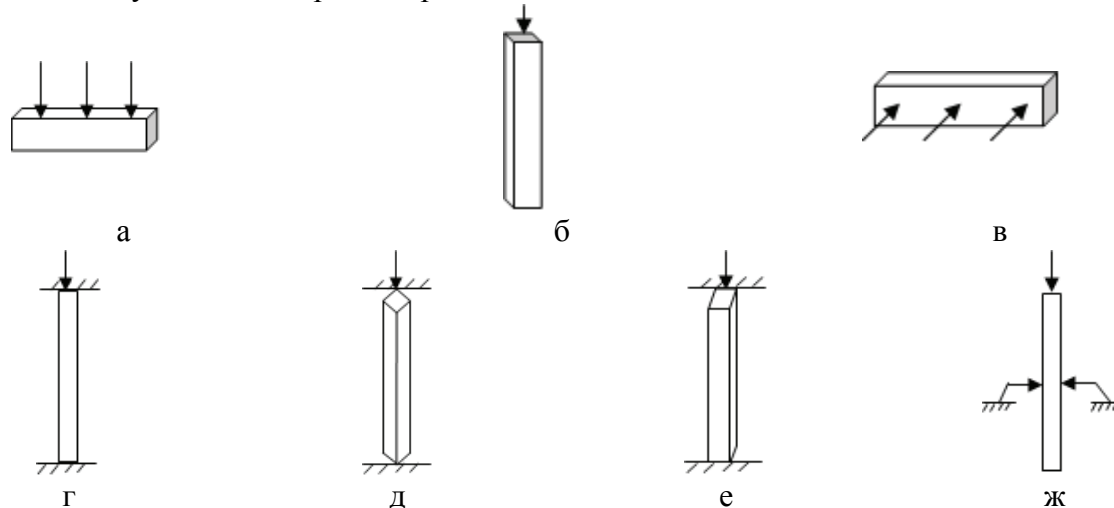


Рис. 5. Направления прозвучивания и варианты крепления образцов (а, б, в – импульсный метод; г, д, е, ж – резонансный метод)

Полученный коэффициент Пуассона использовался для определения модуля упругости в перпендикулярном направлении по результатам измерений импульсным методом в рамках модели изотропного тела (формула 2). Результаты измерений приведены в таблице.

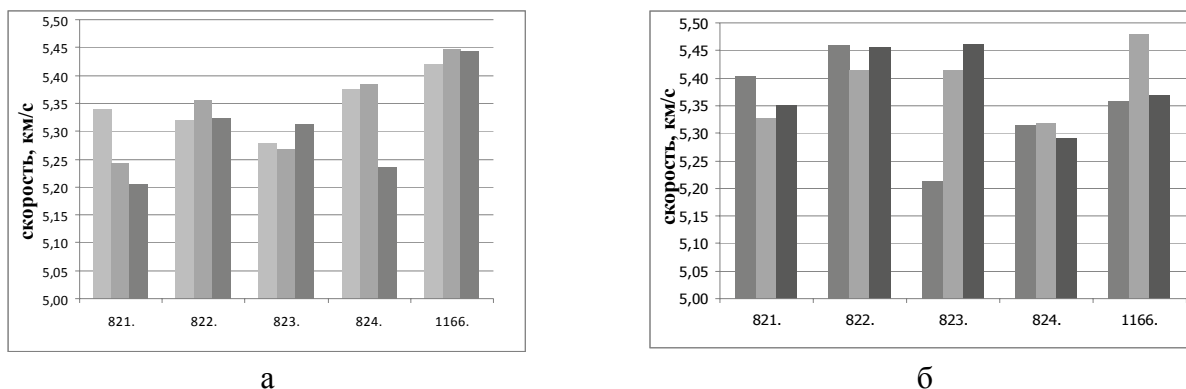


Рис. 6. Значения скорости распространения упругой волны в разных направлениях
а – ширина, б - высота

Таблица

№ плавки	Измеренные параметры				Рассчитанные параметры					
	t, мкс (l)	t, мкс (a)	t, мкс (h)	f, кГц	ρ , кг/м ³	E, ГПа (l)	E, ГПа (a)	E, ГПа (h)	E, ГПа (рез)	μ
821	9,72	1,63	2,17	39,86	5,54	70,44	76,2	73,78	70,35	0,397
822	9,19	1,635	2,175	39,85	5,41	68,35	67,45	64,52	61,48	0,413
823	9,74	1,58	2,19	39,35	5,577	68,71	76,31	72,45	68,71	0,4
824	9,68	1,595	2,02	39,91	5,569	70,83	74,14	74,8	71,86	0,398
1166	9,47	1,605	2,13	39,87	4,818	60,99	63,5	63,65	58,76	0,405

Выводы

Проведенные исследования показали, что материал, полученный путем вакуумного литья, имеет неравномерное распределение акустических свойств по объему и анизотропию характеристик упругости. Использование изотропной модели при оценке характеристик упругости такого материала позволяет оценить реальное распределение характеристик упругости, однако может привести к неправильной оценке реальных характеристик упругости. Поэтому необходимо дальнейшее развитие проведенных работ с учётом анизотропии свойств исследуемых материалов и их неравномерности по объёму исследованных материалов.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В.В.Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.
2. Ермолов И.Н.. Теория и практика ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1981. 240 с.
3. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Под ред. И.П.Голяминой. - М.: Советская энциклопедия, 1979, - 400 с.
4. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под ред. В.В.Клюева. Т.3 И.Н.Ермолов, Ю.В.Ланге. Ультразвуковой контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.