

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА OLYMPUS 38DL

ЦЗЯХАО Ч.

Томский политехнический университет

E-mail: czyahao3@tpu.ru

Введение. Модуль упругости является фундаментальным показателем механических свойств материалов, который определяет их способность к деформации и восстановлению формы после нагрузки [1]. Он используется для оценки прочности и устойчивости конструкций, выбора материалов для различных приложений и разработки новых материалов с оптимальными свойствами [2]. Однако, традиционный метод определения модуля упругости, который основан на проведении разрушающих испытаний, имеет свои недостатки [3]. Поэтому для неразрушающего измерения модуля упругости металлических материалов широко используются ультразвуковые измерения. Ультразвуковой толщиномер Olympus – это одно из наиболее распространенных ультразвуковых измерительных устройств, которое может быть использовано для измерения модуля упругости металлических материалов. Целью данной работы является анализ точности и достоверности определения модуля упругости различных металлических материалов с помощью ультразвукового толщиномера Olympus 38DL.

Материалы и методики. Для измерения были отобраны одиннадцать образцов: стали 20Х13, Р18, А12, ШХ15 и Ст3; алюминиевые сплавы Д16 и АМц; титановый сплав ВТ6; медные сплавы ЛС59, БрКд, М2. Все они являются коммерчески доступными.

Для измерения использовали ручной ультразвуковой толщиномер Olympus 38DL PLUS, произведенный компанией Olympus в США. Для испытания применяли два датчика, подходящие для эхо-импульсного измерения скорости звука в материалах с волнами сжатия и сдвига: широкополосный датчик Р-волн V112 (10 МГц) и датчик нормального падения V156 (5 МГц). Расчёты проводили на основе методики [1].

Результаты и их обсуждение. Данные экспериментальных измерений приведены в таблице 1, где отдельно измерялись толщина каждого образца и время движения поперечной и продольной волн. Из полученных данных видно, что время движения поперечной волны больше, чем время движения продольной волны, что в основном соответствует правилу, согласно которому чем толще образец, тем больше время движения звуковой волны.

Таблица 1 – Экспериментальные данные

Образец	Толщина образца h , мм	Время движения поперечной волны t_T , мкс	Время движения продольной волны t_L , мкс
20Х13	18,53	10,52	6,24
Р18	19,04	11,89	6,28
А12	10,49	5,61	3,53
ШХ15	16,49	12,62	18,04
Ст3	15,81	11,35	5,30
Д16	9,84	6,42	3,86
АМц	14,80	8,92	4,52
ВТ6	12,12	12,12	16,96
ЛС-59	12,81	13,96	17,29
БрКд	12,55	12,33	15,09
М2	15,43	13,06	19,54

Для получения скоростей продольных и поперечных волн v_L и v_T через образцы брали время прохождения сигнала туда и обратно продольной и поперечной волны t_L и t_T через каждый

образец. Толщину образца h для расчета измеряли штангенциркулем. Полученные скорости использовали для расчета коэффициента Пуассона (ν) для каждого образца в соответствии с уравнением (1) [1]:

$$\nu = \frac{1 - 2(v_T / v_L)^2}{2 - 2(v_T / v_L)^2}. \quad (1)$$

Далее модуль Юнга (E) каждого образца получали, взяв отношение Пуассона (ν), время прохождения сигнала туда и обратно поперечной волны t_T , плотность ρ образца и подставив его в уравнение (2) [1]:

$$E = \frac{v_L^2 \rho (1 + \nu)(1 - 2\nu)}{1 - \nu}. \quad (2)$$

Модуль сдвига (G) получали из времени сигнала туда и обратно поперечной волны t_T и плотности образца ρ по уравнению (3) [1]:

$$G = v_T^2 \rho. \quad (3)$$

Далее рассчитанные и полученные значения модуля Юнга сравнивали с известными значениями модуля Юнга для данных сплавов, взятыми из литературных источников, таблица 2. Для того чтобы более наглядно оценить степень отклонения расчетного значения модуля Юнга от действительного значения модуля Юнга рассчитали абсолютную погрешность ΔX и относительную погрешность δ_x . Положительное значение относительной погрешности указывает на то, что измеренное значение выше действительного значения, а отрицательное значение указывает на то, что измеренное значение ниже действительного значения. Значения погрешности представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение рассчитанного значения модуля Юнга со стандартными значениями и результаты абсолютной погрешности и относительной погрешности между модулем Юнга и действительным значением

Образец	Расчетное значение модуля Юнга, ГПа	Действительное значение модуля Юнга, ГПа	Абсолютная погрешность ΔX , ГПа	Относительная погрешность δ_x , %
20X13	234	218	16	7
P18	236	228	8	3
A12	258	198	59	30
ШХ15	265	211	54	25
Ст3	166	200	-34	-17
Д16	64	72	-8	-11
АМц	81	71	10	14
ВТ6	90	115	-25	-22
ЛС-59	168	105	63	60
БрКд	222	123	99	80
М2	240	132	108	82

На основе таблицы 2 построили график распределения абсолютной погрешности и относительной погрешности модуля Юнга каждого образца, рисунок 2.

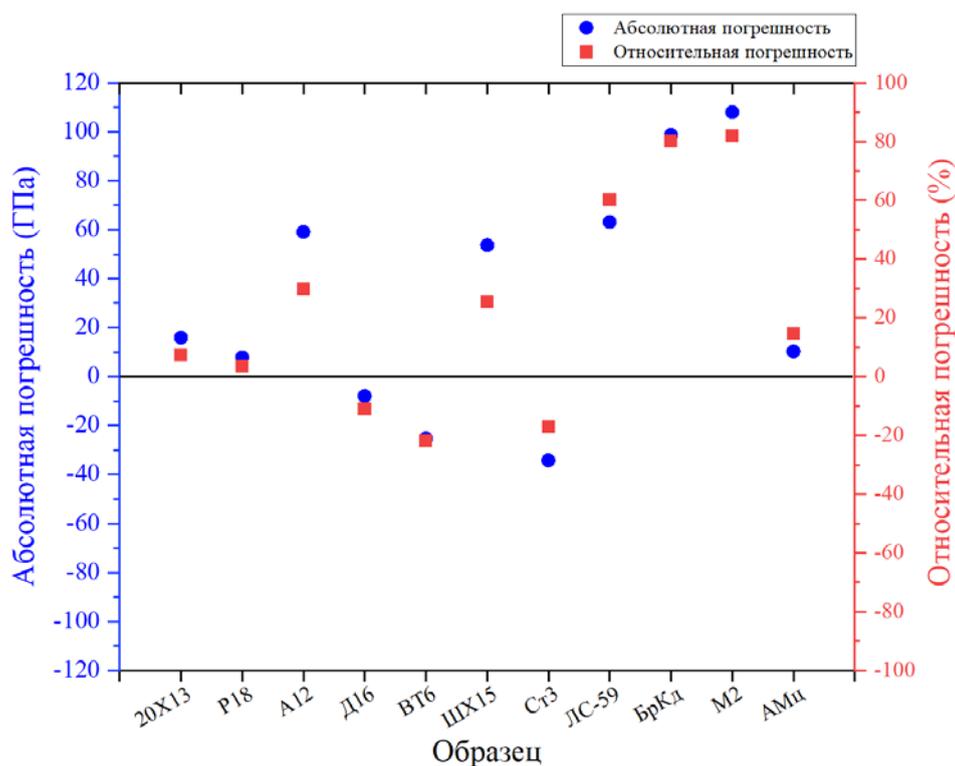


Рисунок 2 – График распределения абсолютной и относительной погрешностей

Из рисунка 2 видно, что кроме медных сплавов, погрешность всех остальных материалов ближе к нулевой шкале, что свидетельствует о большей точности измеренных данных. У сплавов на основе меди ЛС-59, БрКд и М2 погрешность измерений составила 60-80 %. Видимо это связано с высокой анизотропией меди и ее сплавов. В литературе упоминается, что медные сплавы в литом состоянии плохо контролируются с помощью ультразвука [4]. Также на точность измеряемых величин влияет ровность поверхности образца в процессе измерения. Кроме того, кристаллическая структура сплавов на основе меди сложна – различные фазы и их границы также могут вызывать акустическое рассеяние, что приводит к ошибкам в траектории распространения и измерениях скорости.

Заключение. Анализ значений модуля Юнга различных металлических материалов, найденных с помощью ультразвукового метода, показал, что ультразвуковой толщиномер Olympus 38DL можно использовать для определения модуля Юнга материалов, однако на точность измерения могут влиять пористость, зернистость, кристаллическая структура или размеры измеряемого объекта. Тем не менее, при измерении большинства материалов с плоской поверхностью и равномерной толщиной точность измерений вполне приемлема.

Список литературы

1. Smith J. Modulus of elasticity theory. Journal of Materials. 2010. – Vol. 12. – P. 123-145.
2. Johnson A. Applications of modulus of elasticity. Proceedings of Conference on Materials Science. 2015. – P. 45-67.
3. Lee C. Limitations of traditional modulus of elasticity measurement. International Journal of Testing. 2019. Vol. 5. P. 210-223.
4. Терехов К., Борисенков С. Применение методов ультразвуковой диагностики для различных материалов // Технологии в электронной промышленности. – 2013. – № 4. – С. 62-65.