

УДК 620.179.16

DOI: 10.22213/2410-9304-2021-2-13-19

Реализация импульсного метода определения скорости ультразвука с высокой точностью*

В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова; ФТИ УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия

Д. В. Злобин, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Т. И. Земсков, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Г. В. Безрученков, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В. В. Сяктерева, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В статье обсуждаются способы высокоточного определения скорости ультразвука в твердых материалах. Описана методика проведения точных измерений временных интервалов ультразвуковых импульсов, приведена блок-схема экспериментальной установки. Установка построена на широкодоступных компонентах, возможна ее простая модернизация. Предложено использование датчика на основе сегнетоэлектрического полимера поливинилиденфторида в качестве источника излучения и приема продольных волн. В качестве объектов контроля используются концевые меры длины и ступенчатый образец из стали, изготовленный с использованием плоскошлифовального станка. Представлены результаты определения скорости, подтвержденные многократными измерениями на ступенчатом объекте с разницей по толщине ступеней 10 мкм. Проведен эксперимент при изменяемой температуре образцов концевых мер длины, подтверждающий точность измерений и разницу в рассчитанной скорости, свидетельствующий о разном структурном составе объектов. Определен химический состав образцов концевых мер длины с использованием рентгенофлуоресцентного анализатора. Представлен график зависимости плотности объектов от скорости ультразвука. Описаны погрешности измерений, способы их расчета, в частности временная задержка при использовании пленочного датчика. Абсолютная погрешность определения скорости ультразвуковых продольных волн не превышает 2 м/с, что позволяет фиксировать крайне малые отклонения скорости ультразвука в образцах.

Ключевые слова: акустический контроль, скорость продольных волн, импульсный метод, температура, химический состав.

Введение

Известно, что изменение структуры и химического состава металлов и сплавов приводит к изменению их основных акустических свойств [1–9]. К таким свойствам относятся скорость распространения ультразвуковых волн и их затухание [10–16]. Существует множество способов измерения скорости ультразвука (УЗ). Традиционно считается, что импульсному методу определения скорости не свойственны высокие точностные параметры. В перечне наиболее точных методов в различных источниках указываются, как правило, резонансный и фазовый методы. Однако для точной реализации перечисленных методов существует ряд ограничений. Для измерения скорости УЗ на первом (основном) резонансе необходимо иметь образец с плоскопараллельными гранями, причем его линейные размеры должны быть такими, чтобы не нарушалось условие формирования плоского фронта волны. Как правило, в лабораторных условиях получение подобных образцов из раз-

личных материалов трудно выполнимо. Реализация фазовых методов, в свою очередь, требует наличия образца с точно известным (и изменяемым) временем пробега, что также сложно реализуемо в случае твердых тел. Кроме того, схемотехника, реализующая данные методы, также сложна в исполнении [17].

Таким образом, для проведения большого числа измерений на разнотипных образцах альтернатива импульсному методу практически отсутствует. Сущность импульсного метода заключается в измерении времени пробега ультразвука при известной толщине образца. Основными погрешностями, влияющими на точность импульсного метода, являются: трудно учитываемое время пробега ультразвука в протекторе пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) и контактном слое между образцом, поскольку толщина слоя варьируется случайным образом; дифракционная погрешность в ближней зоне источника, а также методические погрешности, связанные с неточностью изготовления образ-

цов и температурными изменениями. Каждая из этих погрешностей может быть минимизирована либо расчетным методом, либо использованием соответствующих ПЭП.

Целью данной работы является исследование возможных методических и аппаратных способов повышения точности импульсного метода определения скорости ультразвуковых волн.

Материалы и методы

В ходе ряда экспериментов была разработана методика измерений, состоящая в использовании ПЭП на основе сегнетоэлектрического полимера поливинилиденфторида (ПВДФ). Датчики изготавливают, используя ПВДФ-пленку толщиной 10–30 мкм. Металлические электроды наносятся методом напыления. У стандартизованного датчика электрод состоит из подслоя пластины (0,05 мкм) и слоя золота или алюминия (0,25 мкм). ПВДФ-пленка закрывается изолирующей тефлоновой пленкой толщиной 12,7 мкм [18, 19].

Модуль ПВДФ характеризуется хорошим согласованием с жидкими средами, а также достаточно высокой собственной частотой (порядка 8 МГц), что способствует точности измерений. Сравнительные характеристики пьезоэлементов на основе цирконата-титаната свинца (ЦТС) и ПВДФ представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики ЦТС-19 и ПВДФ

Параметр	ПВДФ	ЦТС-19
Плотность ρ , кг/м ³	1780	7400
Скорость звука V , м/с	2160	2950
Механическая добротность, Q_m	10	90
Пьезомодуль d_{33} , пК/Н	25	360

Для проведения экспериментов разработана установка, представленная на рис. 1, основой которой является задающий генератор, выполненный на интегральной микросхеме 74НС132. Генератор осуществляет ударное возбуждение преобразователя, причем позволяет эффективно возбуждать как пьезоэлектрический, так и электромагнитно-акустический преобразователи. Усилительная часть установки выполнена на базе микросхемы AD603, представляющей собой управляемый напряжением усилитель с достаточно высокими характеристиками (статья авторов в этом журнале, 2020 год, том 18, № 2).

Стоит отметить, что схема установки построена таким образом, что допускает ее простую поблочную модернизацию. Например,

формирователь зондирующих импульсов может быть выполнен на микроконтроллере с более точным управлением временными параметрами зондирующего импульса, с помощью того же микроконтроллера методом широтно-импульсной модуляции может быть сформировано управляющее усиление напряжение, например, при построении систем с автоматической регулировкой усиления. Частотная характеристика тракта (избыточно широкая для большинства задач) может быть скорректирована установкой на входе и выходе соответствующих фильтров. Время пробега ультразвуковых волн импульса определялось по положению максимума первого периода прошедшего импульса с помощью цифрового осциллографа RIGOL DS1102E.

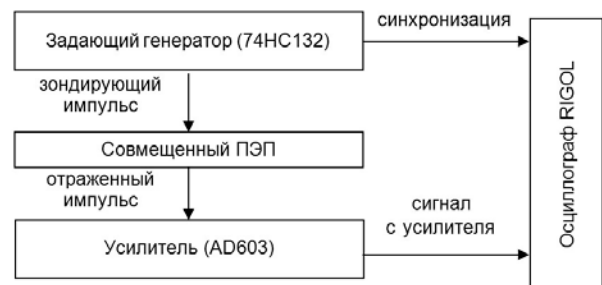


Рис. 1. Экспериментальная установка для проведения акустических исследований

Для оценки точности разработанной установки изготовлен ступенчатый образец из стали 40Х13, представленный на рис. 2, с использованием плоскошлифовального станка 3Д711ВФ11, класс точности В по ГОСТ 8–82 «Станки металлообрабатывающие». Общие требования к испытаниям на точность».

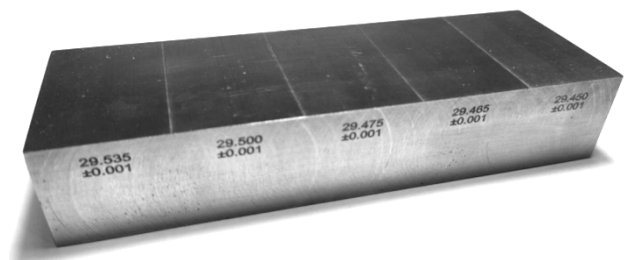


Рис. 2. Ступенчатый образец

Оценка точности определения скорости ультразвуковых волн

Необходимым этапом перед проведением основных измерений является определение аддитивной погрешности, включающей в себя время пробега в защитном слое ПВДФ пленки и аппаратную задержку между фронтом синхроимпульса и моментом истинного начала

УЗ-импульса. Данная погрешность была вычислена двумя способами: путем разности в измерениях времени пробега в образцах разной толщины, изготовленных из одного материала и по разности времени от зондирующего импульса до первого донного и от первого донного до второго. Задержка, определенная этими способами, составляет ≈ 103 нс.

В ходе эксперимента произведены 7-кратные замеры времени распространения УЗ-волн при комнатной температуре (20...22 °С) каждой ступени, рассчитаны средние значения скорости продольных волн, абсолютная и относительная погрешности с доверительной вероятностью 0,95. Полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты измерений скорости продольных волн ступенчатого образца

Толщина ступени, мм	Среднее значение времени распространения, нс	Среднее значение скорости распространения, м/с	Абсолютная погрешность, м/с	Относительная погрешность, %
29,450	4864,17	6054,5	1,4	0,02
29,465	4866,91	6054,1	1,2	0,02
29,475	4869,19	6053,4	1,2	0,02
29,500	4872,79	6054,0	1,1	0,02
29,535	4878,13	6054,6	1,4	0,02

По результатам измерений, рассчитанная скорость УЗ в данном образце составляет $6054,1 \pm 1,4$ м/с, что свойственно для стали марки 40Х13 (по справочным данным скорость УЗ-марки сплава 40Х13 составляет примерно 6070 м/с).

Точность измерений также подтверждается при измерениях концевых меры длины (КМД) 2-го класса точности по ГОСТ 9038–90 «Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические

условия», представленных на рис. 3. Было отобрано 4 образца разной длины из одного набора (70, 80, 90, 100 мм), произведены 5-кратные замеры времени распространения УЗ-волн при комнатной температуре (20...22 °С), рассчитаны средние значения скорости продольных волн, абсолютная и относительная погрешности с доверительной вероятностью 0,95. Результаты эксперимента представлены в табл. 3.

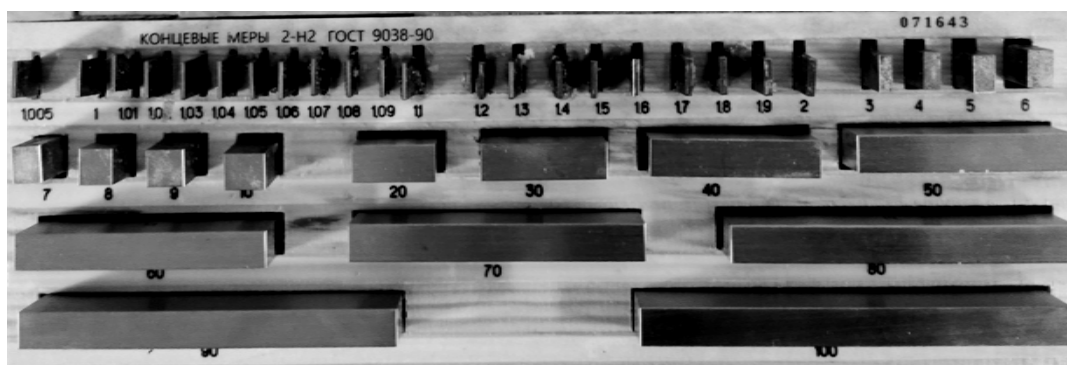


Рис. 3. Концевые меры длины ГОСТ 9038–90

Таблица 3. Результаты измерений скорости продольных волн КМД

Толщина, мм ($\pm 1,2$ мкм для 2-го класса точности)	Среднее значение времени распространения, нс	Среднее значение скорости распространения, м/с	Абсолютная погрешность, м/с	Относительная погрешность, %
100	16924,1	5908,7	1,6	0,03
90	15246,0	5903,2	1,3	0,02
80	13537,4	5909,6	1,5	0,03
70	11835,7	5914,3	1,9	0,03

Анализируя полученные данные, наблюдаем различие скоростей в образцах длиной 70 и 90

мм. Данные разности по скорости также подтверждаются в следующем эксперименте: об-

разцы КМД нагревались в горячей воде с одновременной термометрией цифровым термометром ТМ902С и измерением времени пробега

УЗ-продольных волн. Зависимость рассчитанной скорости ультразвука от температуры образцов представлена на рис. 4.

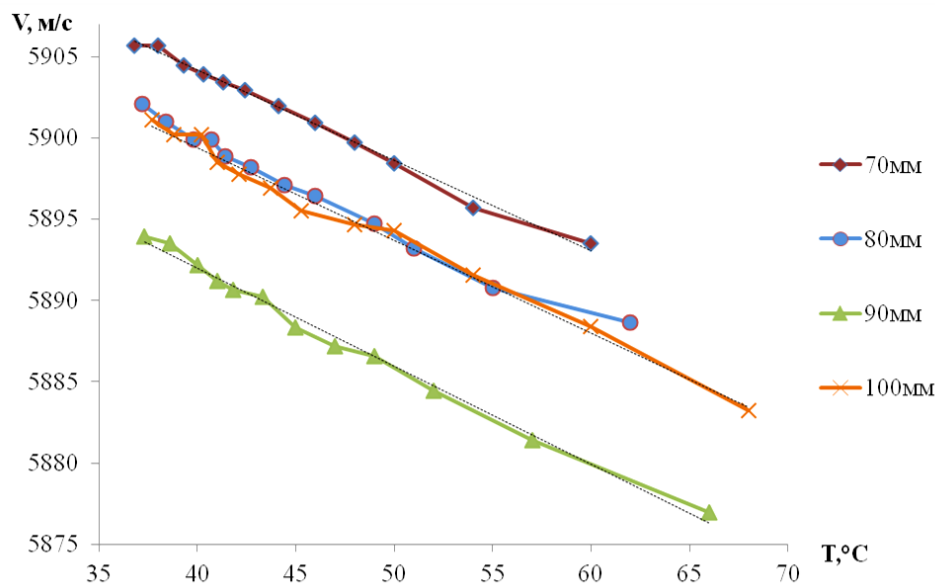


Рис. 4. Результаты определения скорости продольных волн образцов КМД при различной температуре

По результатам эксперимента наблюдается, что образцы с толщиной 100 и 80 мм имеют идентичную скорость распространения продольных волн, в отличие от образцов 70 и 90 мм. Для подтверждения того, что образцы изготовлены из одной марки стали, был определен химический состав данных мер длины с помощью рентгено-флуоресцентного анализатора X-MET 5000, результаты измерений представлены в табл. 4. Согласно полученным данным химический состав соответствует марке стали 12X1, предназначенной для изготовления измерительного инструмента (плиток, калибров, шаблонов). Химический состав сплава 12X1 по ГОСТ

5950–73 «Прутки и полосы из инструментальной легированной стали. Технические условия. Обозначение» представлен в табл. 5.

Таблица 4. Химический состав, определенный анализатором X-MET 5000

Длина образца КМД, мм	Массовая доля элемента, %				
	Cr	Mn	Cu	Ni	Fe
100	1,5	0,6	0,2	0,1	97,6
90	1,5	0,5	0,1	0,1	97,8
80	1,5	0,5	0,1	0,1	97,8
70	1,5	0,5	0,2	0,1	97,7

Таблица 5. Химический состав сплава 12X1 ГОСТ 5950–73

Массовая доля элемента, %												
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	P	S	Ti	Cu	W	Fe
1,150-1,250	0,150-0,350	0,300-0,600	1,300-1,650	≤0,200	≤0,350	≤0,150	≤0,030	≤0,030	≤0,030	≤0,300	≤0,200	95,390-97,150

Кроме того, характер изменения скорости УЗ-образцов КМД подтверждается различием по плотности, рассчитанной путем измерения их массы с помощью электронных весов и габа-

ритов с помощью штангенциркуля ШЦ-1-125-0,1. На рис. 5 представлен график плотности образцов КМД в зависимости от скорости УЗ.

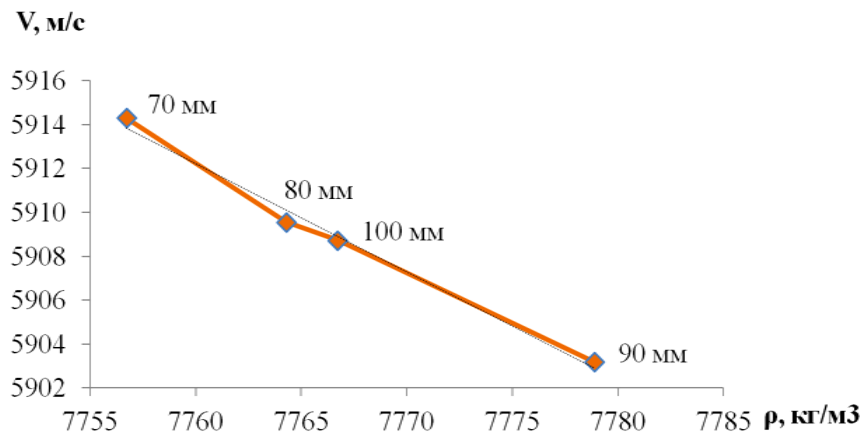


Рис. 5. Зависимость плотности образцов КМД от скорости УЗ

Можно сделать вывод, что данные образцы КМД изготовлены из одного сплава стали. Отличие скоростей в образцах связано с разным структурным состоянием вследствие термообработки при изготовлении и соответствующей ей плотности данного металла.

Выводы

Результаты проведенных экспериментов доказывают возможность определения скорости УЗ-волн импульсным методом с точностью, сопоставимой с измерением резонансными и фазовыми методами. Показано, что предлагаемая аппаратная и методическая реализация импульсного метода позволяет фиксировать крайне малые отклонения скорости УЗ-волн в образцах. Высокие точностные параметры дают основу для решения широкого спектра научных и практических задач, связанных с измерением влияния различных факторов на скорость УЗ-волн.

Библиографические ссылки

- Пути повышения чувствительности метода акустического зондирования при исследовании структуры металлов / В. И. Ерофеев, А. В. Иляхинский, Е. А. Никитина, В. М. Родюшкин // Дефектоскопия. 2018. № 2. С. 11–14.
- Hutchinson B., Lundin P., Lindh-Ulmgren E., Lévesque D. Anomalous ultrasonic attenuation in ferritic steels at elevated temperatures // Ultrasonics. 2016. V. 69. P. 268-272.
- Lunev A., Bochkareva A., Barannikova S., Zuev L. Ultrasound Velocity Measurements in High-Chromium Steel Under Plastic Deformation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 125. P. 012007.
- Ding X., Wu X., Wang Y. Bolt axial stress measurement based on a mode-converted ultrasound method using an electromagnetic acoustic transducer // Ultrasonics. 2014. V. 54. P. 914–920.
- Изменение скорости ультразвука при водородном охрупчивании высокохромистой стали / С. А. Баранникова, А. Г. Лунев, А. П. Малиновский, Л. Б. Зув // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20, № 1. С. 187–196.
- Дефектоскопия композитной арматуры акустическим волноводным методом / В. А. Стрижак, А. В. Пряхин, Р. Р. Хасанов, С. С. Мкртчян // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 1. С. 78–88. DOI 10.22213/2413-1172-2019-1-78-88.
- Muravyeva O.V., Khasanov R.R., Strizhak V.A., Mkrtychyan S.S. Water absorption effect on the propagation velocity of normal waves in composite rebars // Materials Science Forum. 2019. V. 970, pp.202-209.
- Методы и приборы контроля фазового состава, электрических и магнитных свойств хромоникелевых сталей / М. К. Корх, М. Б. Ригмант, Ю. В. Корх, А. П. Ничипурук // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 4. С. 4–12. DOI 10.22213/2413-1172-2018-4-4-12.
- Strizhak V. A., Volkova L. V., Khasanov R. R., Efremov A. B. Correlation processing of acoustic tensorometry signals for metal objects // AIP Conference Proceedings : Proceeding of the 14th International Conference on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures, Ekaterinburg. 2020. pp. 40-41. DOI 10.1063/5.0036880.
- Температурные зависимости скорости ультразвука в жидких висмуте, свинце и их сплавах / А. В. Борисенко, Д. А. Ягодин, В. В. Филиппов, П. С. Попель, А. Г. Мозговой // Расплавы. 2011. № 6. С. 62–71.
- Uglov A.L., Khlybov A.A. On the inspection of the stressed state of anisotropic steel pipelines using the acoustoelasticity method. Russian Journal of Nondestructive Testing. 2015. vol. 51, no. 4. pp. 210-216. DOI 10.1134/S1061830915040087.
- Изменение скорости распространения ультразвуковых волн в материале змеевика реакционной печи в процессе эксплуатации / Д. Н. Шерматов, Е. А. Наумкин, И. Р. Кузеев, А. В. Рубцов // Нефтегазовое дело. 2019. № 5. С. 81–88.
- Бабкин С. Э. Определение скорости основных типов акустических волн в металлах приставным датчиком // Дефектоскопия. 2020. № 4. С. 32–39.
- Влияние длительной эксплуатации на физико-механические свойства и показатели хладостойкости трубной стали 10Г2 / А. А. Хлыбов, Ю. Г. Кабалдин,

М. С. Аносов, Д. А. Рябов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 1. С. 38–44. DOI 10.22213/2413-1172-2021-1-38-44.

15. Muravyeva O. V., Len'kov S. V., Nagovitsyn A. A., Basharova A. F. Change in the Acoustic and Elastic Properties of the Cylindrical Steel Specimens during the Tensile // Instrumentation engineering, electronics and telecommunications - 2019 : Proceedings of the V International Forum, Izhevsk. 2019. pp. 76-84. DOI 10.22213/2658-3658-2019-76-84.

16. Базулин Е. Г., Садыков М. С. Определение скорости продольной ультразвуковой волны в изотропном однородном сварном соединении по экосигналам, измеренным двумя антенными решетками // Дефектоскопия. 2018. №5. С. 3–15.

17. Мурашов В. В., Слюсарев М. В. Дефектоскопия многослойных конструкций ультразвуковым резонансным методом // ТРУДЫ ВИАМ. 2016. № 11 (47). С. 95–102.

18. ПВДФ - датчик динамического давления / В. А. Борисенко, В. Г. Симаков, В. Г. Куропаткин, В. А. Брагунец, В. А. Волгин, В. Н. Ромаев, В. В. Тукмаков, В. А. Кручинин, А. А. Лебедева, Д. Р. Гончарова, М. В. Жерноклетов // Приборы и техника эксперимента. 2008. № 4. С. 113–121.

19. Богдан, О. П., Овчинникова М. А. Исследование электроакустических параметров пьезопластин на основе ЦТС-19 и ПВДФ // Измерение, контроль и диагностика : I Всероссийская конференция, посвященная 25-летию кафедры «Приборы и методы контроля качества», Ижевск, 2010. С. 210–215.

References

1. Erofeev V.I., Iljahniskij A.V., Nikitina E.A., Rodjushkin V.M. [Means for increasing the sensitivity of acoustic probing when studying the structure of metals] *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2018, no 2, pp. 11-14 (in Russ.).

2. Hutchinson B., Lundin P., Lindh-Ulmgren E., Lévesque D. Anomalous ultrasonic attenuation in ferritic steels at elevated temperatures. *Ultrasonics*, 2016, V. 69, pp. 268-272.

3. Lunev A., Bochkareva A., Barannikova S. , Zuev L. Ultrasound Velocity Measurements in High-Chromium Steel Under Plastic Deformation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, V. 125, pp. 012007.

4. Ding X., Wu X., Wang Y. Bolt axial stress measurement based on a mode-converted ultrasound method using an electromagnetic acoustic transducer. *Ultrasonics*, 2014, V. 54, pp. 914–920.

5. Barannikova S. A., Lunèv A.G., Malinovskij A.P., Zuev L.B. [Changes in ultrasonic velocity at hydrogen embrittlement of high-chromium steel]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturnostroitel'nogo universiteta*. 2018, Vol. 20, no. 1, pp. 187-196 (in Russ.).

6. Strizhak V.A., Pryahin A.V., Hasanov R.R., Mkrtychyan S.S. [Flaw detection of composite rebar by acoustic waveguided technique]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 78-88 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2019-1-78-88

7. Muravieva O.V., Khasanov R.R., Strizhak V.A., Mkrtychyan S.S. Water absorption effect on the propagation velocity of normal waves in composite rebars *Materials Science Forum*. 2019, Vol. 970, pp. 202-209.

8. Korkh M.K., Rigmant M.B., Korkh Yu.V., Nichepuruk A.P. [Methods and Devices of Control of Phase Composition, Electrical and Magnetic Properties of Chromium-Nickel Steels]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2018, vol. 21, no. 4, pp. 4-12 (in Russ.). DOI 10.22213/2413-1172-2018-4-4-12.

9. Strizhak V.A., Volkova L.V., Khasanov R.R., Efremov A.B. Correlation processing of acoustic tensorometry signals for metal objects AIP Conference Proceedings : Proceeding of the 14th International Conference on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures, Ekaterinburg, 2020, pp. 40-41. DOI 10.1063/5.0036880.

10. Borisenko A.V., Jagodin D.A., Filippov V.V., Popel' P.S. , Mozgovoj A.G. [Temperature dependences of the ultrasound velocity in liquid bismuth and lead and their alloys]. *Russian Metallurgy*, 2011, no. 6, pp. 62-71 (in Russ.).

11. Uglov A.L., Khlybov A.A. On the inspection of the stressed state of anisotropic steel pipelines using the acoustoelasticity method. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2015, vol. 51, no. 4, pp. 210-216. DOI 10.1134/S1061830915040087.

12. Shermatov D. N., Naumkin E. A., Kuzeev I. R., Rubcov A. V. [Change of ultrasonic waves speed spreading in a material of the reaction furnace coil during operation process]. *Petroleum Engineering*, 2019, no 5, pp. 81-88 (in Russ.).

13. Babkin S.Je. [Definition of speed of the basic types acoustic waves in metals by means added sensor]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2020, no 4, pp. 32-39 (in Russ.).

14. Khlybov A.A., Kabaldin YU.G., Anosov M.S., Ryabov D.A. [Influence of long-term operation on physical and mechanical properties and cold resistance indicators of pipe steel 10G2]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 38-44 (in Russ.). DOI 10.22213/2413-1172-2021-1-38-44.

15. Muravyeva O.V., Len'kov S.V., Nagovitsyn A.A., Basharova A.F. Change in the Acoustic and Elastic Properties of the Cylindrical Steel Specimens during the Tensile Instrumentation engineering, electronics and telecommunications - 2019: Proceedings of the V International Forum, Izhevsk, 2019, pp. 76-84. DOI 10.22213/2658-3658-2019-76-84.

16. Bazulin E.G., Sadykov M.S. [Determining the speed of longitudinal waves in an isotropic homogeneous welded joint using echo signals measured by two antenna arrays]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2018, no 5, pp. 3-15 (in Russ.).

17. Murashov V.V., Slijusarev M.V. [Determining the speed of longitudinal waves in an isotropic homogeneous welded joint using echo signals measured by two antenna arrays]. *TRUDY VIAM*. 2016, no 11 (47), pp. 95-102 (in Russ.).

18. Borisenok V.A., Simakov V.G., Kuropatkin V.G., Bragunec V.A., Volgin V.A., Romaev V.N., Tукмаков V.V., Kruchinin V.A., Lebedeva A.A., Goncharova D.R., Zhernokletov M.V. [A PVDF dynamic pressure gage].

Instruments and Experimental Techniques, 2008, no 4, pp. 113-121(in Russ.).

19. Bogdan, O.P., Ovchinnikova M.A. *Issledovanie jelektroakusticheskih parametrov p'ezoplastin na osnove CTS-19 i PVDF* [Research of electro-acoustic parameters pyezoplastin on basis LZT and PVDF]. *Izmerenie, kontrol' i diagnostika: I Vserossijskaja konferencija, posvjashhennaja 25-letiju kafedry Pribory i Metody kontrolja kachestva* [Measurement, control and diagnostics: The I All-Russia conference devoted to the 25 anniversary of chair Instruments and Methods of quality control], Izhevsk, 2010, pp. 210-215 (in Russ.).

control' i diagnostika: I Vserossijskaja konferencija, posvjashhennaja 25-letiju kafedry Pribory i Metody kontrolja kachestva [Measurement, control and diagnostics: The I All-Russia conference devoted to the 25 anniversary of chair Instruments and Methods of quality control], Izhevsk, 2010, pp. 210-215 (in Russ.).

* * *

Creation of Pulse Method for Measurement of Ultrasonic Velocity with High Accuracy

V. V. Muravyov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU; FTI UdmFIC UB RAS, Izhevsk, Russia

D. V. Zlobin, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

T. I. Zemskov, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

G. V. Bezruchenkov, Master's degree student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

V. V. Syaktereva, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

This paper describes methods of high-precision determination of ultrasonic velocity in solid materials. The method of accurate measurements of time intervals of ultrasonic pulses is described; the block diagram of experimental installation is given. The installation is built on widely available components and can be easily upgraded. It is proposed to use a sensor based on ferroelectric polymer of polyvinylidene fluoride as a source of beaming and detection of longitudinal waves. Gauge blocks and a stepped steel sample made at a surface grinding machine are used as control objects. In the paper the results of velocity determination are presented that are confirmed by multiple measurements on a stepped object with a difference in the thickness of steps of 10 μm . An experiment was carried out at a variable temperature of gauge block samples, which confirms the measurement accuracy and the difference in the calculated velocity, indicating a different structural composition of objects. The chemical composition of gauge block samples was determined using an X-ray fluorescence analyzer. The character of dependence of the object density on the ultrasonic velocity is provided. The errors of measurements, methods of their calculation, in particular, the time delay when using a film sensor are described in paper. The absolute error in determining the velocity of ultrasonic longitudinal waves does not exceed 2 m / s, which makes it possible to record extremely small deviations of the ultrasonic velocity in samples.

Keywords: acoustic control, velocity of longitudinal waves, pulse method, temperature, chemical composition.

Получено: 20.04.2021