

Е.Б. Черепецкая, Н.Б. Подымова

ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ СТРУКТУРЫ ПОЛУДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

Представлено описание лазерно-ультразвукового дефектоскопа «ГЕОСКАН-02МУ», позволяющего возбуждать широкополосные мощные импульсы упругих волн длительностью 100 нс и амплитудой давления в несколько мегапаскалей. На основе оптико-акустических измерений определены локальные скорости продольных волн в образцах пиритов и топазов. По интенсивности структурного шума, связанного с рассеянием упругих волн на дефектах образцов, рассчитаны относительные изменения акустических импедансов. В результате измерений, проведенных в режиме эхоскопии, выявлены дефекты в виде расслоений и трещин.

Ключевые слова: лазерно-ультразвуковой дефектоскоп, полудрагоценные камни, скорости продольных волн, однородность структуры.

Чистые бездефектные камни в природе редки, поэтому их стоимость иногда достигает очень высокого уровня. Большая часть добываемых драгоценных и полудрагоценных камней имеют дефекты, их поверхность является частично оптически непрозрачной, что существенно затрудняет их диагностику и оценку качества стандартными методами. Так, например, развиваемый в последнее время метод акустооптической спектроскопии комбинационного рассеяния позволяет проводить идентификацию драгоценных также только прозрачных камней-минералов, в том числе в сложных ювелирных изделиях [1, 2]. Минералы, поглощающие свет столь сильно, что оказываются непрозрачными даже в шлифах, изучаются под микроскопом в отраженном свете [3–5]. Определенную информацию можно получить просто путем бокового освещения поверхности шлифа осветителем микроскопа или любым другим источником света. Таким способом удастся, например, определить три распространенных непрозрачных минерала: магнетит, который будет выглядеть темным; ильменит, который в некоторых случаях диагностируется по изменению его

окраски в сторону желтовато-белой, пирит, который выглядит медно-желтым [3–5]. Однако полученные значения отражательной способности минералов не содержат информации о внутренней структуре образцов. В настоящей работе предлагается использование оптико-акустических измерений для оценки нарушенности природных камней с непрозрачной поверхностью либо полностью непрозрачных.

Объект исследования

Объектами исследования являлись образцы пиритов в виде прямоугольных параллелепипедов с размерами 30х20х15 мм и природных топазов различных размеров со слабо прозрачной поверхностью и неправильной формой с характерными размерами 20х10х11 мм со значительным числом сколов на гранях.

Методы исследования

Исследование свойств выполнялось с помощью лазерного ультразвукового структуроскопа «ГЕОСКАН-02МУ» [6, 7] в ручном и автоматизированном вариантах. В ручном режиме было выполнено измерение скорости

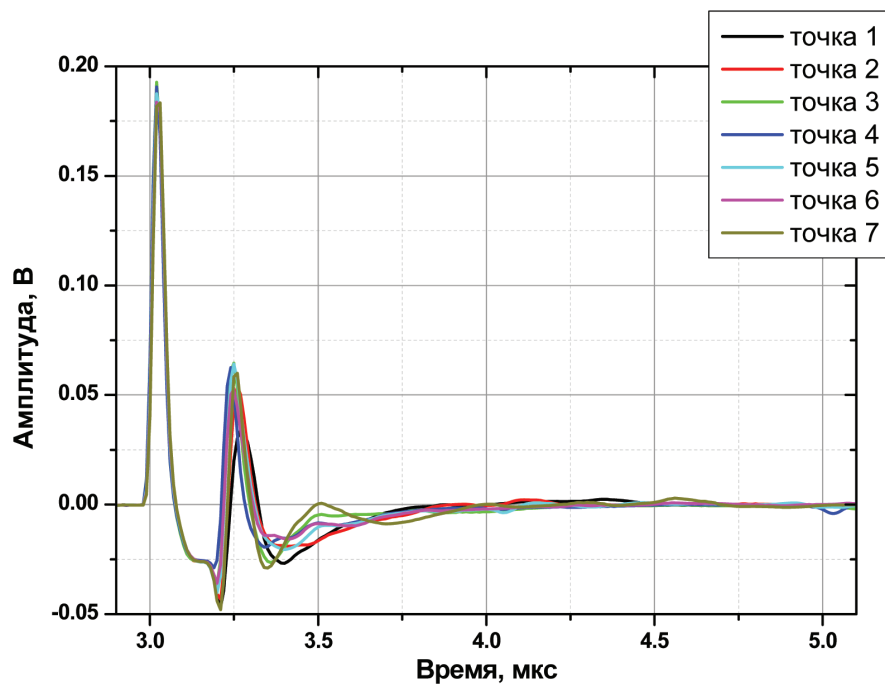


Рис. 1. Временные треки рассеянного назад сигнала

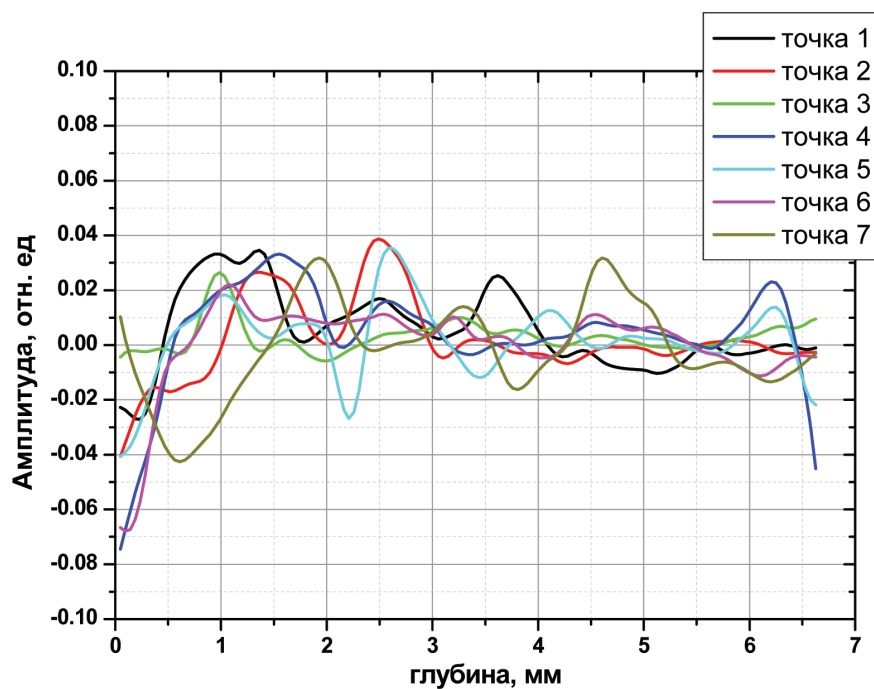


Рис. 2. Распределение амплитуды структурного шума по глубине

Таблица 1

№ образца	№ точки	Толщина, мм	Скорость звука, м/с
1	1	9,5	9450
1	2	10,4	9440
2	1	15,0	5720
2	2	15,0	5730

продольной акустической волны и измерение рассеянного назад сигнала для определения однородности образца с помощью оптико-акустического (ОА) преобразователя. Автоматическое сканирование выполнялось фокусированным ОА преобразователем вдоль одной из граней объектов.

Результаты измерения скорости звука

В табл. 1 представлены значения толщины и скорости звука, измеренные в двух точках образцов № 1 (топаз), который по форме был близок к параллелепипеду с указанными выше размерами, и № 2 (пирит).

Из табл. 1 видно, что при наличии дефектов в образцах и аппаратурной погрешности менее 1% значения скоростей продольных волн в образце № 1 практически совпадают.

Оценка однородности структуры образца

Оценка однородности структуры образца проводилась по амплитуде структурного шума. Образцы помеща-

лись в иммерсионную жидкость, и регистрировался акустический трек, состоящий из сигналов, отраженных от границы раздела преобразователь – жидкость, жидкость – поверхность образца, структурного шума и границы раздела тыльная поверхность образца – иммерсионная жидкость. Расчет выполнялся в два этапа: сначала рассчитывались коэффициенты прохождения на границах преобразователь – жидкость и жидкость – образец, затем среднеквадратичная амплитуда структурного шума пересчитывалась в вариацию акустического импеданса через абсолютные значения коэффициента отражения.

На рис. 1 представлены временные треки рабочих сигналов (до специальной обработки), полученные в данном исследовании для образца № 1. На рис. 2 представлены распределения амплитуды структурного шума по глубине после обработки сигналов.

Результаты расчета вариации акустического импеданса (интервал 3σ) для образца № 1 представлены в табл. 2.

Заключение

Проведенные исследования показали, что скорости распространения продольных волн мало чувствительны к наличию дефектов в непрозрачных и полупрозрачных минералах, их изменение лежит в пределах погрешности измерений. Основную информацию о нарушении образцов несет структурный шум и связанное с ним относительное изменение импеданса среды.

Таблица 2

№ точки	$\Delta Z/Z$, %
1	4,1
2	6,1
3	2,4
4	5,1
5	8,5
6	8
7	6,8

1. Craig J.R., Vaughan D.J. *Ore microscopy and ore petrology*. New York, John Wiley, 1981.
2. Gay P. *An introduction to crystal optics*. London, Longman, 1967.
3. Nesse W.D. *Introduction to optical mineralogy*. Oxford, Oxford University Press, 1991.
4. Philips W.R. *Mineral optics: principles and techniques*. San Francisco, W.H. Freeman, 1971.
5. Бетехтин А.Г. Классификация и номенклатура минералов / Курс минералогии. 3-е изд., исправленное и дополненное. – М.: Кн. дом Университет, 2014. – С. 151–158.
6. Лысенко П.Ю., Простяков Р.Г., Вдовин С.О. Теоретическая оценка параметра поврежденности геоматериалов с использованием оптико-акустической спектроскопии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 6. – С. 138–142.
7. Карабутов А.А., Лысенко П.Ю., Панасьян Л.Л., Подымова Н.Б., Черепецкая Е.Б., Афанасьев Л.В., Пашкин А.И. Исследование анизотропии серпентинов методом лазерной ультразвуковой спектроскопии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 3. – С. 232–236. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Черепецкая Елена Борисовна – доктор технических наук, профессор, e-mail: echerepetskaya@mail.ru, МГИ НИТУ «МИСиС».

Подымова Наталья Борисовна – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель, МГУ им. М.В. Ломоносова.

UDC 004.8:671: 622.611.4

LASER-ULTRASONIC INSPECTION OF THE STRUCTURE OF SEMI-PRECIOUS STONES

Cherepetskaya E.B., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: echerepetskaya@mail.ru, Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, Podymova N.B., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

The description of the laser-ultrasonic flaw detector "GEOSCAN-MO" that allows you to bring powerful broadband pulses of elastic waves with a duration of 100 NS and an amplitude of pressure of several megapascals. On the basis of photoacoustic measurements defined local velocity of longitudinal waves in the samples of pyrites and Topaz. Intensity of structural noise due to scattering of elastic waves by defects of the samples, calculated relative changes in acoustic impedances. As a result of measurements carried out in the regime operates, revealed defects such as delaminations and cracks.

Key words: laser-ultrasonic flaw detector, semiprecious stones, the velocity of longitudinal waves, the homogeneity of the structure.

REFERENCES

1. Craig J.R., Vaughan D.J. *Ore microscopy and ore petrology*. New York, John Wiley, 1981.
2. Gay P. *An introduction to crystal optics*. London, Longman, 1967.
3. Nesse W.D. *Introduction to optical mineralogy*. Oxford, Oxford University Press, 1991.
4. Philips W.R. *Mineral optics: principles and techniques*. San Francisco, W.H. Freeman, 1971.
5. Бетехтин А.Г. *Курс минералогии*, 3-е изд. (Mineralogy course, 3rd edition), Moscow, Kn. dom Universitet, 2014, pp. 151–158.
6. Lysenko P.Yu., Prostyakov R.G., Vdovin S.O. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2012, no 6, pp. 138–142.
7. Karabutov A.A., Lysenko P.Yu., Panasyan L.L., Podymova N.B., Cherepetskaya E.B., Afanas'ev L.V., Pashkin A.I. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2013, no 3, pp. 232–236.

