

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫ



КЫРГЫЗПАТЕНТ

Ойлоп табууга өтүнмө ээсинин жоопкерчилигиндеги

ПАТЕНТ

№ 2334

Аталышы: *Катуу материалдарда туурасынан кеткен ультра үн толкундарынын таралышынын ылдамдыгын аныктоо ыкмасы*

Патент ээси: *Тажибает Кушбакали (КГ)*

Автору (авторлору): *Тажибает Кушбакали
Маканов Каныбек Манасович
Тажибает Данияр Кушбакалиевич
Акматалиева Минажат Сабыровна (КГ)*

KYRGYZPATENT

Өтүнмөнүн № 20220016.1

Ойлоп табуунун артыкчылыгы: 14.03.2022-ж.

Кыргыз Республикасынын ойлоп табууларынын мамлекеттик реестринде катталган: 31.03.2023-ж.

Директор

Р. Керимбаева



КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА



КЫРГЫЗПАТЕНТ

ПАТЕНТ

ПОД ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗАЯВИТЕЛЯ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2334

Название: *Способ определения скорости распространения поперечных ультразвуковых волн в твердых материалах*

Патентовладелец: *Тажиббаев Кушбакали (KG)*

Автор(ы): *Тажиббаев Кушбакали
Маканов Каныбек Манасович
Тажиббаев Данияр Кушбакалович
Акматалиева Минажат Сабыровна (KG)*

KYRGYZPATENT

Заявка № 20220016.1

Приоритет изобретения: 14.03.2022 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Кыргызской Республики: 31.03.2023 г.



(19) **KG** (11) **2334** (13) **C1** (46) **29.04.2023**

(51) *G01N 29/00* (2023.01)

ГОСУДАРСТВЕННОЕ АГЕНТСТВО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ИННОВАЦИЙ
ПРИ КАБИНЕТЕ МИНИСТРОВ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ (КЫРГЫЗПАТЕНТ)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя

(21) 20220016.1

(22) 14.03.2022

(46) 29.04.2023. Бюл. № 4

(71) (73) Тажибаев Кушбакали (KG)

(72) Тажибаев Кушбакали

Маканов Каныбек Манасович

Тажибаев Данияр Кушбакалиевич

Акматалиева Минажат Сабыровна (KG)

(56) Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. Учебник для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.; Недра, 1984. - С. 70-71

(54) Способ определения скорости распространения поперечных ультразвуковых волн в твердых материалах

(57) Изобретение относится к неразрушающему контролю качества твердых изделий и может быть использовано при определении акустических и деформационных характеристик упругости твердых материалов, в том числе горных пород: модуля упругости (Юнга), коэффициента Пуассона, модуля сдвига, модуля объемной упругости, акустической жесткости и может быть применено исследователями, проектными и предприятиями строительного, горнодобывающего и машиностроительного производства.

Задача изобретения - снижение трудоемкости и расширение ультразвуковых возможностей определения комплекса акустических и деформационных характеристик твердых материалов, в том числе горных пород за счет применения таких легко и достоверно определяемых характеристик, как скорость распространения продольной ультразвуковой волны и плотность твердых материалов, которые после определения скорости распространения поперечной ультразвуковой волны по этим легко определяемым характеристикам позволяют определить

комплекс акустических и деформационных характеристик твердых материалов.

Задача решается тем, что в способе определения скорости распространения поперечных ультразвуковых волн в твердых материалах, в том числе горных породах, включающем измерение скорости распространения продольной ультразвуковой волны и плотности материала, согласно изобретению, из исследуемого материала или горной породы изготавливают не менее пяти цилиндрических образцов, определяют массу, объем и плотность (ρ) каждого образца, для каждого из не менее пяти образцов не менее пять раз измеряют время прохождения продольной ультразвуковой волны через заданную базу образца, накладывая на шлифованные до не параллельности не более $\pm 0,05$ мм торцы образца излучатель и приемник ультразвуковых волн, и затем определяют скорость продольной ультразвуковой волны (V_p) для каждого образца из не менее пяти повторных измерений, среднее значение скорости продольной ультразвуковой волны для разновидности горной породы или твердого материала определяют, исходя из средних значений скорости не менее пяти образцов, при этом для каждого из не менее пяти образцов, на основе данных повторных измерений скорости продольной волны и плотности каждого образца, определяют скорость поперечной ультразвуковой волны по следующей формуле

$$V_s = \frac{V_p \cdot \rho}{3\rho - 2}$$

и с учетом среднего значения скорости поперечной ультразвуковой волны проводят определение комплекса акустических и деформационных характеристик твердых материалов, в том числе горных пород.

1 н. п. ф., 1 табл.

(19) **KG** (11) **2334** (13) **C1** (46) **29.04.2023**

3

Изобретение относится к неразрушающему контролю качества твердых изделий и может быть использовано при определении акустических и деформационных характеристик упругости твердых материалов, в том числе горных пород: модуля упругости (Юнга), коэффициента Пуассона, модуля сдвига, модуля объемной упругости, акустической жесткости и может быть применено исследовательскими, проектными и предприятиями строительного, горнодобывающего и машиностроительного производства.

Известен способ определения скорости распространения поперечных ультразвуковых волн через керн (А. с. SU № 1610433, А1, кл. G01N 29/18, 30.11.1990), заключающийся в том, что керн размещают между парой преобразователей ультразвуковых волн, нагружают керн с тех же сторон, измеряют время прохождения ультразвуковой волны, по которому судят о скорости ее распространения, с целью повышения точности и достоверности определения скорости распространения поперечных ультразвуковых волн, используют дополнительную пару преобразователей ультразвуковых волн, размещают ее аналогично основной паре преобразователей, оси преобразователей ориентируют параллельно поверхности керна, оси пар преобразователей с обеих сторон керна устанавливают соосно, преобразователи-излучатели ориентируют разноименными полюсами относительно друг друга, преобразователи-приемники - одноименными полюсами, а расстояние между торцами преобразователей L выбирают из условия

$$\frac{\lambda}{4} \leq L \leq \frac{\lambda}{2},$$

где λ - длина продольной ультразвуковой волны.

Недостатками известного способа являются высокая трудоемкость за счет нагружения керна и использования дополнительной пары преобразователей ультразвуковых волн, а также и снижение точности определения скоростей ультразвуковых волн, так как при нагружении изменяется структурное состояние керна и эти изменения отражаются в конечных результатах определения скорости распространения ультразвуковых волн в керне, особенно к внешней нагрузке наиболее чувствительна поперечная волна.

4

Известен способ выделения поперечной волны (Глушко В. Т., Ямщиков В. С., Яланский А. А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. - М.: Недра, 1987. С. 120-121).

В данном способе описано о том, что методика регистрации продольной волны при прямом прозвучивании освоена достаточно полно. Отсутствие конструкции преобразователей сдвиговых (поперечных) колебаний вызвало значительные затруднения при измерении характеристик поперечной волны. Обычный излучатель поршневого типа возбуждает одновременно как продольные, так и сдвиговые волны. Сдвиговые колебания в данном случае появляются за счет трансформации продольных. Преобразователь при этом в плоскости прозвучивания имеет сложную диаграмму направленности, состоящую из одного лепестка продольных волн, главный максимум которого расположен вдоль акустической оси симметрии, перпендикулярной к плоскости излучения, и двух лепестков поперечных волн, главные максимумы которых расположены под углом Θ к оси акустической симметрии. Расчеты показывают, что значение угла Θ , соответствующего максимуму амплитуды поперечных волн, находится для различных типов горных пород в интервале 40-60°.

Применяя схему сквозного прозвучивания массива между двумя параллельными шпурами и располагая соответствующим образом излучающий и приемный преобразователи, можно одновременно регистрировать продольные и поперечные волны. Так, если излучатель расположен в точке 1, а приемник - в точке 2, т. е. максимумы диаграмм направленности продольных волн излучающего и приемного преобразователей совпадают ($\Theta=0^\circ$), то регистрируется лишь одна продольная волна, в данном направлении сдвиговые колебания практически отсутствуют. При перемещении приемного преобразователя из точки 2 в точку 2' возможна одновременная регистрация продольных и поперечных волн, так как на данном направлении распространяются оба типа волн. Амплитуда продольной волны во втором случае значительно меньше, чем в первом. Существуют несколько признаков, позволяющих выделить поперечную волну из общей регистрируемой осциллограммы: 1 - временное смещение; 2 - амплитудное соотношение; 3 - сдвиг фаз.

Недостатками известного способа выделения и измерения скорости распространения поперечной ультразвуковой волны в горных породах являются высокая трудоемкость из-за бурения параллельных скважин и выделения поперечной волны по трем указанным признакам, при котором снижается точность определения скорости поперечной волны.

За прототип принят известный способ определения скорости распространения упругих волн в неограниченной упругой изотропной среде (Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. Учебник для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.; Недра, 1984. - С. 70-71), по которому определение скорости распространения упругих продольных и поперечных волн в упругой среде можно осуществлять по формулам, выведенным из волновых уравнений. Так, скорость распространения продольной волны

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1)$$

если $\mu = 0,25$, то $V_p \approx 1,1 \sqrt{\frac{E}{\rho}}$.

Скорость распространения поперечной упругой волны

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} \quad (2)$$

если $\mu = 0,25$, то $V_s \approx 0,63 \sqrt{\frac{E}{\rho}}$.

Скорость распространения поверхностной волны

$$V_L = \frac{0,87+1,12\mu}{1+\mu} \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (3)$$

если $\mu = 0,25$, то $V_L = 0,92V_s \approx 0,58 \sqrt{\frac{E}{\rho}}$.

Модуль объемной упругости (B) и акустическая жесткость ($A_{ж}$) определяются по следующим формулам:

$$B = \frac{E}{3(1-2\mu)} \quad (4),$$

$$A_{ж} = \rho V_p \quad (5),$$

где E - модуль упругости;
 μ - коэффициент Пуассона;

ρ - плотность;

G - модуль сдвига материала.

При этом всегда наблюдается следующее соотношение скоростей:

$$V_p > V_s > V_L$$

(Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. / Перевод с немецкого под редакцией В. С. Григорьева и Л. Д. Розенберга - М.: Издательство иностранной литературы, 1957. С. 342-344).

Недостатками данного способа определения скорости распространения упругих волн в неограниченной упругой среде являются высокая трудоемкость определения скоростей продольной и поперечной ультразвуковой волны из-за необходимости экспериментального определения таких трудно определяемых характеристик, как модуль упругости, коэффициент Пуассона, модуль сдвига и косвенность определения скоростей по данному способу, из-за которого снижается точность определения скоростей распространения продольной и поперечной ультразвуковой волны в твердых материалах, в том числе неоднородных по своей природе горных породах.

Задача изобретения - снижение трудоемкости и расширение ультразвуковых возможностей определения комплекса акустических и деформационных характеристик твердых материалов, в том числе горных пород за счет применения таких легко и достоверно определяемых характеристик, как скорость распространения продольной ультразвуковой волны и плотность твердых материалов, которые после определения скорости распространения поперечной ультразвуковой волны по этим легко определяемым характеристикам позволяют определить комплекс акустических и деформационных характеристик твердых материалов.

Задача решается тем, что в способе определения скорости распространения поперечных ультразвуковых волн в твердых материалах, в том числе горных породах, включающем измерение скорости распространения продольной ультразвуковой волны и плотности материала, согласно изобретению, из исследуемого материала или горной породы изготавливают не менее пяти цилиндрических образцов, определяют массу, объем

7

и плотность (ρ) каждого образца, для каждого из не менее пяти образцов не менее пять раз измеряют время прохождения продольной ультразвуковой волны через заданную базу образца, накладывая на шлифованные до не параллельности не более $\pm 0,05$ мм торцы образца излучатель и приемник ультразвуковых волн, и затем определяют скорость продольной ультразвуковой волны (V_p) для каждого образца из не менее пяти повторных измерений, среднее значение скорости продольной ультразвуковой волны для разновидности горной породы или твердого материала определяют, исходя из средних значений скорости не менее пяти образцов, при этом для каждого из не менее пяти образцов, на основе данных повторных измерений скорости продольной волны и плотности каждого образца, определяют скорость поперечной ультразвуковой волны по следующей формуле:

$$V_s = \frac{V_p \cdot \rho}{3\rho - 2}$$

и с учетом среднего значения скорости поперечной ультразвуковой волны проводят определение комплекса акустических и деформационных характеристик твердых материалов, в том числе горных пород.

Способ определения скорости распространения поперечных ультразвуковых волн в твердых материалах, в том числе горных породах реализуется следующим образом.

В предлагаемом способе определения скорости распространения поперечных ультразвуковых волн в твердых материалах, в том числе горных породах, из кернов исследуемой горной породы или из другого твердого материала изготавливают не менее пяти цилиндрических образцов с размерами: диаметром 42 мм, высотой 84 мм. Торцы образцов для лучшего контакта с преобразователями (датчиками) ультразвуковых волн шлифуют с обеспечением отклонения от параллельности торцов не более $\pm 0,05$ мм. Для каждого из не менее пяти образцов не менее пять раз измеряют время прохождения продольной волны через заданную базу образца (84 мм), накладывая на торцы образца излучатель и приемник ультразвуковых волн для сквозного прозвучивания с помощью таких серийных приборов как УК - 10 ПМ и др., и затем определяют скорость прохождения продольной ультразвуковой волны (V_p) путем деления базы образца на

8

время, а также среднее значение скорости продольной волны для образца из не менее пяти повторных определений. Среднее значение скорости прохождения продольной ультразвуковой волны для разновидности горной породы или твердого материала определяют исходя из средних значений не менее пяти образцов. После этого для каждого образца определяют его объем геометрическими измерениями высоты и диаметра цилиндра штангенциркулем и массу, путем взвешивания рычажными весами, а плотность (ρ) каждого образца в отдельности определяют путем деления массы образца к его объему. Затем для каждого из не менее пяти образцов определяют скорость поперечной ультразвуковой волны (V_s) исходя из единичных данных скорости продольной ультразвуковой волны и плотности каждого образца по следующей формуле:

$$V_s = \frac{V_p \cdot \rho}{3\rho - 2} \quad (6).$$

После определения единичных значений определяют среднее значение скорости поперечной волны данной разновидности горной породы или твердого материала. Для определения по данным плотности, скорости продольной и поперечной волны комплекса акустических и деформационных характеристик упругости твердых материалов, в том числе горных пород: модуля упругости (Юнга), модуля сдвига, модуля объемной упругости, акустической жесткости; в начале проводится определение коэффициента Пуассона по формуле (Патент под отв. заявителя КГ № 2044, кл. С10В 29/04, 28.04.2018), учитывающей физический смысл данного коэффициента, представляющего собой отношение поперечной деформации к продольной деформации при сжатии образца материала

$$\mu = \frac{V_s}{2 V_p + V_s} \quad (7).$$

Затем, с учетом найденного более точного значения (формула 7) коэффициента Пуассона, определяют модуль упругости, сдвига, объемной упругости и акустическая жесткость твердого материала по известным формулам (Патент под отв. заявителя КГ № 2044, кл. С10В 29/04, 28.04.2018, ф. (1), (2), (4), (5) и (7)).

В связи с тем, что в настоящее время нет серийного выпуска специальных преобразователей ультразвуковых волн, излучающих и принимающих только поперечные (сдвиговые) волны, а также из-за трудности выделения этих волн в современных приборах, предлагаемый способ определения скорости распространения ультразвуковой поперечной волны в твердых материалах, в том числе горных породах, может успешно применяться на практике.

В таблице 1 представлены результаты сравнения скорости поперечной волны горных пород.

В качестве примера приводим результаты сравнения данных скорости поперечной ультразвуковой волны предлагаемого способа с данными определения скорости поперечной волны с применением специальных (не серийных) преобразователей (датчиков) поперечной ультразвуковой волны (табл. 1).

Как видно из таблицы 1, сравнение результатов определения скорости поперечной ультразвуковой волны специальными преоб-

разователями разных горных пород, представленных из Республики Таджикистан (песчаник, Рогун), Узбекистан (мраморизованный известняк, месторождение Ингичке), Казахской Республики (гранит, месторождение Восточный - Коунрад) и Кыргызской Республики (месторождение Кумтор и месторождения строительных материалов) с данными предлагаемого способа показали незначительность отклонений результатов, составляющих в среднем 1,88 % для 11 разновидностей горных пород разных месторождений.

Экономический эффект от применения способа достигается путем уменьшения трудоемкости и обеспечения надежности определения скорости распространения поперечных ультразвуковых волн и комплекса акустических и деформационных характеристик упругости твердых материалов, за счет точного измерения таких легко определяемых характеристик, как скорость продольной ультразвуковой волны, плотность представительных стандартных образцов правильной формы.

Таблица 1

Результаты сравнения скорости поперечной волны горных пород

Название, место отбора горной породы и плотность, г/см ³ , ρ	Скорость продольной волны, м/с, V_P (среднее значение)	Скорость поперечной волны по данным специальных датчиков, м/с, V_S	Скорость поперечной волны по данным способа, м/с, V_S	Отклонение V_S способа от данных специальных датчиков, %
1	2	3	4	5
Известняк (к. Даана, Лейлек), 2,8	5360	2393	2344	2,05
Мрамор (Новороссийка), 2,75	5089	2215	2239	1,08
Песчаник (Рогун), 2,8	3457	1659	1513	8,8
Гранит серый (Кичи-Сандык, Чаткал), 2,67	4371	2085	1941	2,11
Гранит (термообработ., Восточный-Коунрад), 2,6	4639	2064	2079	0,73
Мраморизованный известняк (Ингичке), 2,75	5138	2251	2260	0,49

11

12

1	2	3	4	5
Известняк доломитизиров. (к. Ак-Татыр, Баткен), 2,84	5000	2188	2177	0,5
Гранит (Кыртабылгы), 2,58	4032	1818	1812	0,33
Мрамор (Токтогул), 2,85	5219	2298	2270	1,22
Тиллит (р. Кумтор, уч. Сарытор, т. 11, 3914), 2,73	4610	2096	2033	3
Конгломерат (Туннель а.д. Бишкек-Ош), 2,75	5221	2307	2297	0,43
Среднее значение				1,88

Формула изобретения

Способ определения скорости распространения поперечных ультразвуковых волн в твердых материалах, в том числе горных породах, включающий измерение скорости распространения продольной ультразвуковой волны и плотности материала, отличающийся тем, что из исследуемого материала или горной породы изготавливают не менее пяти цилиндрических образцов, определяют массу, объем и плотность (ρ) каждого образца, для каждого из не менее пяти образцов не менее пять раз измеряют время прохождения продольной ультразвуковой волны через заданную базу образца, накладывая на шлифованные до не параллельности не более $\pm 0,05$ мм торцы образца излучатель и приемник ультразвуковых волн, и затем определяют скорость продольной ультразвуковой волны (V_P) для каждого образца из не менее пяти

повторных измерений, среднее значение скорости продольной ультразвуковой волны для разновидности горной породы или твердого материала определяют, исходя из средних значений скорости не менее пяти образцов, при этом для каждого из не менее пяти образцов, на основе данных повторных измерений скорости продольной волны и плотности каждого образца, определяют скорость поперечной ультразвуковой волны по следующей формуле

$$V_S = (V_P \cdot \rho) / (3\rho - 2)$$

и с учетом среднего значения скорости поперечной ультразвуковой волны проводят определение комплекса акустических и деформационных характеристик твердых материалов, в том числе горных пород.

Выпущено отделом подготовки официальных изданий