



(19) KG (11) 1826 (13) C1
(51) **G01B 5/30** (2015.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ИННОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя (владельца)

(21) 20140118.1

(22) 23.10.2014

(46) 29.02.2016, Бюл. № 2

(71) Тажибаев К. (KG)

(72) Тажибаев К.; Тажибаев Д. К.; Акматалиева М. С. (KG)

(73) Тажибаев К. (KG)

(56) Патент под ответственность заявителя KG № 1245, C1, кл. G01B 5/30, 2010

(54) Способ определения остаточных и действующих напряжений в твердых материалах

(57) Изобретение относится к области контрольно-измерительной техники механики деформируемого твердого тела, в частности к экспериментальным методам определения остаточных и действующих напряжений в твердых материалах (в деталях машин, конструкциях, заготовках твердых материалов, массивах и образцах горных пород и т. д.) и может быть использовано исследовательскими, проектными и действующими организациями строительного, горнодобывающего и машиностроительного производства.

Задачей изобретения является повышение точности, расширение области применения и снижение трудоемкости определения знака и величины остаточных и действующих напряжений в твердых материалах.

Задача решается тем, что в способе определения остаточных и действующих напряжений в твердых материалах определение напряжений производят путем возбуждения ультразвуковых поляризованных сдвиговых волн в выделенном объеме, измеряют скорость прохождения поляризованной сдвиговой волны через заданную базу, заключающейся в том, что измерение напряжения в твердых материалах осуществляется по изменению относительной величины скорости

$\frac{V_{SO}}{V_S}$ ультразвуковой поляризованной волны V_S в направлении перпендикулярном к направлению действия напряжения в зависимости от величины волнового модуля напряжения, имеющего размерность напряжения K_i , причем определяют изменения относительной величины скорости ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от напряжения твердого материала и среднее значение величины волнового модуля напряжения, и по соответствующим направлениям остаточное и действующее напряжение определяют по следующей формуле:

$$\sigma_x = \left(\frac{V_{SOZ}}{V_{Sz}} - 1 \right) K_z; \quad \sigma_y = \left(\frac{V_{SOX}}{V_{Sx}} - 1 \right) K_x; \\ \sigma_z = \left(\frac{V_{SOY}}{V_{Sy}} - 1 \right) K_y,$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ - нормальное напряжение по направлению X, Y, Z соответственно;

K_x, K_y, K_z - волновой модуль напряжения по направлениям X, Y, Z соответственно;

V_{Sx}, V_{Sy}, V_{Sz} - скорость прохождения через определенную базу нагруженного материала (с остаточными напряжениями) ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны по направлениям X, Y, Z соответственно;

$V_{SOX}, V_{SOY}, V_{SOZ}$ - скорость прохождения ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны по направлениям X, Y, Z соответственно при отсутствии напряжения (не нагруженное состояние, без остаточных напряжений).

Экономический эффект от применения способа достигается за счет уменьшения трудоемкости, повышения точности и информативности определения знака и величины остаточных и действующих

напряжений путем многократного измерения легкоопределяемых ультразвуковых параметров в разных направлениях, сохраняя целостность изучаемого объема твердого материала.

1 н. п. ф., 3 фиг.

Изобретение относится к области контрольно-измерительной техники механики деформируемого твердого тела, в частности к экспериментальным методам определения остаточных и действующих напряжений в твердых материалах (в деталях машин, конструкциях, заготовках твердых материалов, массивах и образцах горных пород и т. д.) и может быть использовано исследовательскими, проектными и действующими организациями строительного, горнодобывающего и машиностроительного производства.

Известен способ определения остаточных напряжений в поверхностных слоях тела, заключающийся в том, что выбирают и измеряют контрольные базы на поверхности тела, выполняют углубление и повторяют измерения, при этом углубление выполняют в форме прямолинейного надреза, ширина которого не превышает его глубину, а измерение деформации производят у кромок надреза в перпендикулярном к нему направлении. По измеренным деформациям определяют остаточные напряжения (а. с. СССР № 654849, кл. G01B 5/30, 1979).

Недостатками данного способа и способов определения остаточных и действующих напряжений путем образования новых поверхностей (методы разгрузки) являются их невысокая точность из-за внесения изменений в величину измеряемых напряжений в зависимости от размеров и расположения вновь образованных поверхностей (надрезов, отверстий), ограниченность применения из-за частичного разрушения конструкций и высокая трудоемкость.

Известен способ определения главных нормальных напряжений в массиве горных пород (патент RU № 2064579, кл. E21C 39/00, 1996), включающий бурение в массиве в трех ортогональных плоскостях кустов из трех параллельных скважин, отбор образцов керна из скважин, определение упругих и акустических характеристик образцов горных пород, размещение в скважинах датчиков упругих колебаний, возбуждение упругих волн и определение скорости распространения продольных волн между скважинами, причем сначала из горной выработки бурят вертикальную скважину, определяют средний размер элементарных структурных блоков и скорость распространения упругих волн в структурных элементах по кернам скважин, устанавливают минимальное расстояние между скважинами равное не менее семи элементарных структурных блоков и не менее десяти диаметров скважин, куст скважин бурят по вершинам прямоугольного треугольника с равными катетами, один из катетов принимают за начальное нулевое направление, определяют время распространения продольных волн между скважинами и вдоль скважин на равной базе измерений и определяют направление действия максимальных и минимальных нормальных напряжений в трех ортогональных плоскостях, затем бурят куст скважин по вершинам квадрата, стороны которого строго ориентированы по направлениям действия максимального и минимального напряжений, измеряют время прохождения продольных волн в межскважинном пространстве и вдоль скважин в точках отбора керна на базе измерений, равной граням куба, за основание которого принимают указанный квадрат, измеряют время распространения продольных волн в образцах пород керна при высоте керна, равной 1/10 базы измерений, а главные нормальные напряжения для условий объемного напряженного состояния блочного массива определяют по формуле:

$$\sigma_{x,y,x} = \frac{E h^2}{2(1 - \nu^2)L^2} \left[1 - \frac{t_{III}^{0.90}}{10 t_{об} K_{TP}} \right]$$

где E - модуль Юнга, МПа;

ν - коэффициент Пуассона;

h - высота образца;

L - база измерений, см;

$t_{III}^{0.90}$ - среднее время распространения продольных волн между скважинами и вдоль скважин, измеренные в трех ортогональных плоскостях в направлении действия максимального и минимального напряжений, мкс;

$t_{об}$ - среднее время прохождения продольных волн в разгруженном образце керна, мкс;

K_{tp} - коэффициент, учитывающий влияние структурных элементов на скорость распространения упругих волн.

Недостатками данного способа являются сложность его осуществления, высокая трудоемкость и низкая точность определения главных нормальных напряжений из-за выполнения большого объема буровых работ, необходимости определения блочности, трещиноватости (K_{tp}) массива горных пород и характеристик упругости горных пород (E, v). Точность каждой вышеуказанной трудно определяемой характеристики влияет и на снижение точности конечного результата. Сложность осуществления данного способа, низкая точность и большая трудоемкость ограничивает его применение для определения главных нормальных напряжений в массиве горных пород.

Наиболее близким к изобретению способом является ультразвуковой способ определения остаточных напряжений (патент под ответственность заявителя KG № 1245, кл. G01B 5/30, 2010), принятый за прототип. По данному способу определение остаточных напряжений производят по измеренным, во взаимно перпендикулярных направлениях выделенного объема твердого материала, разностям времени прохождения ортогональных поперечных (сдвиговых) поляризованных ультразвуковых волн через заданную базу. При этом определяют время и скорость прохождения продольной ультразвуковой волны через заданную базу, определяют среднее значение времени и скорости прохождения поперечной ультразвуковой волны из формулы, $T_s = \frac{T_{Bp} + T_{Bc}}{2}$, где T_{Bc}, T_{Bp} - соответственно время прохождения перпендикулярной и параллельной поляризованной поперечной ультразвуковой волны через заданную базу твердого тела. Затем определяют плотность материала $\rho = \frac{m}{v}$, где m - масса; v - объем. Определяют время прохождения продольной ультразвуковой волны через заданную базу - T_p материала. По T_p и T_s определяют скорость прохождения продольной и поперечной ультразвуковой волны через данную базу. По данным скоростям прохождения продольных и поперечных ультразвуковых волн определяют динамический модуль упругости E_d и коэффициент Пуассона μ_d по известным формулам:

$$E_d = V_p^2 \cdot \rho \frac{(1 + \mu_d)(1 - 2\mu_d)}{(1 - \mu_d)}; \quad \mu_d = \frac{0,5 - R^2}{1 - R^2},$$

где V_p - скорость продольной волны; $R = \frac{V_s}{V_p}$; V_s - скорость поперечной волны.

6

Для определения направления и величины главных остаточных напряжений измерение разности времени прохождения ортогональных поперечных поляризованных ультразвуковых волн проводят через каждый 1^0 или 10^0 , от 0^0 до 360^0 по кругу - в зависимости от уровня необходимой точности решаемой задачи, поворачивая приемник и излучатель поперечной поляризованной волны. Путем поворота излучателя и приемника устанавливают положения вектора поляризации поперечной волны и измеряют время T_{Bp}, T_{Bc} , определяют их разность по формуле:

$$T_{\Delta S} = T_{Bc} - T_{Bp}.$$

По результатам измерений разности времени прохождения ортогональных поперечных поляризованных ультразвуковых волн определяют направление и величину нормальных остаточных напряжений и их главных - максимальных и минимальных составляющих по формуле:

$$\sigma_{XY} = \frac{2 \cdot T_{\Delta S} T_p \mu_d K}{T_{Bp} T_s},$$

где K - ультразвуковой показатель напряженности $K = \frac{E_d \cdot \mu_d^2}{2}$;

σ_{XY} - среднее нормальное напряжение (среднего сечения) для заданной базы по перпендикулярной к направлению прозвучивания (Z) плоскости (XY).

По данному способу определяется только остаточное напряжение, точность определения ультразвукового показателя напряженности - K, следовательно, конечный результат зависит от точности определения динамического модуля упругости E_d и коэффициента Пуассона μ_d , а для определения действующих напряжений способ не применяется.

Задачей изобретения является повышение точности, расширение области применения и снижение трудоемкости определения знака и величины остаточных и действующих напряжений в твердых материалах.

Задача решается тем, что в способе определения остаточных и действующих напряжений в твердых материалах определение напряжений производят путем возбуждения ультразвуковых поляризованных сдвиговых волн в выделенном объеме, измеряют скорость прохождения поляризованной сдвиговой волны через заданную базу, заключающейся в том, что измерение напряжения в твердых материалах осуществляется по изменению относительной величины скорости ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны $\frac{V_{SO}}{V_S}$

стии ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны $\frac{V_{SO}}{V_S}$ в направлении перпендикулярном к направлению действия напряжения в зависимости от величины волнового модуля напряжения имеющего размерность напряжения - K_i (название наше), причем определяют изменения относительной величины скорости ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от напряжения твердого материала и среднее значение величины волнового модуля напряжения, и по соответствующим направлениям остаточное и действующее напряжения определяют по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \sigma_X &= \left(\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1 \right) K_Z; \quad \sigma_Y = \left(\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1 \right) K_X; \\ \sigma_Z &= \left(\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1 \right) K_Y \end{aligned} \quad (1),$$

где $\sigma_X, \sigma_Y, \sigma_Z$ - нормальное напряжение по направлению X, Y, Z соответственно;

K_X, K_Y, K_Z - волновой модуль напряжения по направлениям X, Y, Z соответственно;

V_{SX}, V_{SY}, V_{SZ} - скорость прохождения через определенную базу нагруженного материала (с остаточными напряжениями) ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны по направлениям X, Y, Z соответственно;

$V_{SOX}, V_{SOY}, V_{SOZ}$ - скорость прохождения ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны по направлениям X, Y, Z соответственно при отсутствии напряжения (не нагруженное состояние, без остаточных напряжений).

Знак напряжений (растягивающий - положительный, сжимающий - отрицательный, как это принято в классической механике) определяется в соответствии со знаком величины $\left(\frac{V_{SO}}{V_S} - 1 \right)$ и K_i .

Введем обозначение:

$$\omega_Z = \left(\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1 \right); \quad \omega_X = \left(\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1 \right);$$

$$\omega_Y = \left(\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1 \right),$$

8

тогда из формулы 1:

$$\sigma_X = \omega_Z K_Z; \quad \sigma_Y = \omega_X K_X; \quad \sigma_Z = \omega_Y K_Y;$$

отсюда:

$$K_X = \frac{\sigma_Y}{\omega_X}; \quad K_Y = \frac{\sigma_Z}{\omega_Y}; \quad K_Z = \frac{\sigma_X}{\omega_Z}; \quad (2).$$

Для изотропных материалов $K_X = K_Y = K_Z = K$. Для анизотропных (слоистых, кристаллических анизотропных) материалов значение волнового модуля напряжения K определяется по соответствующим направлениям.

Значение K определяется из опытов прозвучивания при нагружениях и разгрузке образцов. Проводится по 5-10 определений значений K при нагружении и разгрузке образца представительного объема исследуемого материала. Значение K , как характеристика материала, определяется как среднее из 10-20 единичных значений, полученных при прозвучивании в процессе нагружения и разгрузке образца материала. Следует отметить, что величину K необходимо определять для характерного, то есть представительного объема, так как данный модуль зависит от структуры и вещественного состава материала. В связи с этим, для определения величины K предлагаем следующие размеры призматического образца: для тонкозернистых материалов - 5x5x10 см; крупнозернистых - 7x7x14 см.

Экспериментальное определение волнового модуля напряжения материала (K) проводится в следующей последовательности:

1. На боковую грань призмы, с размерами указанными выше, в средней части уста-навливаются излучатель и приемник сдвиговой волны, совместив их вектора поляризации между собой и с направлением сжимающего напряжения (σ_Z);
2. Измеряется скорость ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны при отсутствии нагрузки (напряжения) - V_{SOY} ;
3. Ступенчато гидравлическим прессом нагружается призма и на каждой ступени одноосно сжимающей нагрузки (через каждый 1000 или 2000 кГс нагрузки) определяется скорость поляризованной сдвиговой волны - V_{SY} ;
4. Для каждой ступени нагрузки определяется напряжение σ_Z , разделив нагрузку (по силоизмерителю пресса) на площадь поперечного сечения призмы;
5. По формуле 2 определяются значения волнового модуля напряжения K и среднее значение принимается для дальнейших расчетов.

Измерения скорости ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны и определение значений K можно проводить также и при разгрузке.

При известном значении волнового модуля напряжения, измерив скорости сдвиговой поляризованной ультразвуковой волны, можно определять остаточные или действующие напряжения по формуле 1.

Следует отметить, что действующее напряжение может включать в себя и остаточные напряжения (при их наличии, например, в породном массиве). В связи с этим, остаточные напряжения, при необходимости, определяются отдельно в свободных от внешней нагрузки представительных кусках горной породы, отобранных из места измерения скорости волны в породном массиве. Обычно остаточные напряжения определяются в лабораторных условиях.

Действующее в породном массиве напряжение определяется по следующей методике (фиг. 3).

1. Создаются в горной выработке 1 (в целике) пройденном в породном массиве два гладких параллельных к заданной оси, например, к оси Z (вертикальное направление) поверхности с расстоянием между ними 7 сантиметра (L-база прозвучивания) путем образования щелей 2 для размещения преобразователей сдвиговых волн: излучателя - И, приемника - П;

2. Очищаются, высушиваются поверхности щелей и наносится тонкий слой контактной среды (полисахариды, искусственный мед) на торцевые поверхности преобразователей. Излучатель - И, а также приемник - П ультразвуковой поляризованной сдвиговой (поперечной) волны располагаются в щели с помощью досыльника 6, после чего преобразователи с векторами поляризации направленными по заданной оси (Z) слегка прижимаются к гладкой поверхности щели (постоянной силой) с помощью воздушной подушки 3, подсоединенной к шлангу 4 с вентилем 5 путем накачки воздуха;

3. Преобразователи подсоединяются к ультразвуковому прибору - УП (УК - 10ПМ) с помощью электропровода 7, и после прогрева прибора в течение 20 минут не менее 10 раз снимается отчет времени прохождения поляризованной сдвиговой волны через заданную базу L (7 см) в

автоматическом режиме и при точности измерения времени $\pm 0,01$ мкс. По средней величине времени определяется скорость поляризованной сдвиговой ультразвуковой волны;

4. При проведении контроля напряжения (в случае существенного изменения напряжения вследствие быстрого подвигания очистного забоя влияющего на напряженное состояние) прибор и преобразователи оставляются на период времени контроля и периодически проводятся измерения времени прохождения сдвиговых волн по пункту 3;

5. В случае определения действующего напряжения после измерения времени прохождения сдвиговых волн по пункту 3 преобразователи снимаются, и вырезается часть по-родного массива (кусок) с размерами $7 \times 7 \times 15$ см в том же месте, где проводилось измерение времени прохождения сдвиговой волны, сохранив базу прозвучивания (7 см);

6. Из отобранных куска изготавливается призма с размерами $7 \times 7 \times 14$ см. Для данной призмы определяется волновой модуль напряжения K по указанной выше последовательности, прозвучивая поляризованной сдвиговой волной при разных уровнях нагрузки сжатия по заданной, то есть именно по той базе (7 см), по которой проводилось прозвучивание в породном массиве;

7. На основе значений скорости поляризованной сдвиговой волны, измеренной в породном массиве и волнового модуля напряжения K , а также скорости поляризованной сдвиговой волны для не нагруженного состояния, определяется, например, вертикальная составляющая нормального напряжения породного массива σ_z по формуле 1. Так же определяются и другие составляющие напряжения и по другим направлениям.

Для определения остаточных напряжений, измерения скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны в кубическом образце с размерами $7 \times 7 \times 7$ см, свободном от внешней нагрузки, необходимо проводить в следующей последовательности.

1. Пропуская ультразвук по направлениям через каждый 1° или 10° от нуля до 180° , поворачивая излучатель и приемник, определяются значения скорости прохождения поляризованной сдвиговой волны V_{SP} для параллельного и перпендикулярного (к рассматриваемому направлению) вектора поляризации для каждого направления по трем ортогональным плоскостям.

2. По признаку равенства времени или скорости прохождения параллельных V_{SP} и перпендикулярных V_{SC} сдвиговых поляризованных волн для заданной базы прозвучивания определяется скорость прохождения сдвиговой волны для случая отсутствия остаточных напряжений - V_{SOI} (один из признаков отсутствия остаточных напряжений - $V_{SP} = V_{SC}$).

3. В случае не обнаружения направления или участка без остаточных напряжений, фиксируются все значения скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны по всем вышеуказанным направлениям и по трем ортогональным плоскостям, а затем полностью выводятся (устраняются) из образца остаточные напряжения известным методом отжига.

4. Определяется скорость ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны для образца без остаточных напряжений (после снятия остаточных напряжений) - V_{SOI} и среднее значение волнового модуля напряжения K по вышеуказанной последовательности.

5. На основе значений скоростей волн для разных направлений и плоскостей, а также значения скорости для образца без остаточных напряжений V_{SOI} и среднего значения волнового модуля напряжения определяются значения остаточных напряжений по формуле 1.

Таким образом, пропуская ультразвук по направлениям Z , Y , X , а именно ультразвуковых поляризованных сдвиговых волн можно определить по ортогональным к указанным направлениям нормальные напряжения σ_x , σ_y , σ_z и главные нормальные напряжения по соответствующим плоскостям путем поворота излучателя и приемника поляризованной сдвиговой волны через каждый 1° или 10° от нуля до 180° , синхронно поворачивая излучатель и приемник. После определения главных нормальных (максимальных и минимальных) напряжений можно определять и максимальные касательные напряжения.

На фиг. 1 представлены значения остаточных напряжений образца метасамотита (по одной плоскости, рудник Кумтор, проба RS № 5, обр. 3-4).

На фиг. 2 представлены графики вертикальной компоненты действующего напряжения σ_z (1 - по силоизмерителю, 2 - по формуле 1, нагрузжение, тонкозернистый мрамор, Токтогул, образец 1-5).

На фиг. 2 приводятся также результаты сравнения значений фактического действующего напряжения σ_z , определяемые прямыми экспериментальными измерениями нагрузжающего устройства, со значениями действующего напряжения, полученными по формуле 1. Для тон-

козернистого мрамора (Токтогул) ультразвуковые значения действующего напряжения, полученные по формуле 1, хорошо согласуются со значениями напряжений, полученных прямым измерением по измерителю силы пресса.

На фиг. 3 представлена схема измерения действующих напряжений в массиве горных пород, где 1 - горизонтальная горная выработка; 2 - щель; 3 - воздушная подушка; 4 - шланг; 5 - вентиль; 6 - досыльник; 7 - электропровод; И - излучатель поляризованной сдвиговой волны; П - приемник поляризованной сдвиговой волны; УП - ультразвуковой прибор; L - база измерения.

Следует отметить, что величины напряжений, определяемых на основе данного способа, представляют собой средние (результатирующие) значения напряжения для заданных баз прозвучивания.

Данным способом, основанным на установленной закономерности изменения скорости прохождения поляризованной сдвиговой волны от напряжения (формула 1), можно определять остаточные и действующие напряжения, контролировать действующие напряжения в целиках и стенках горных выработок в квазиоднородных горных породах, а также определять остаточные и действующие напряжения и в твердых конструкциях, состоящих из технических материалов.

Применение данного способа обеспечит расширение области применения, уменьшение трудоемкости определения и получения точных значений остаточных и действующих напряжений для разных направлений и объемов разных твердых материалов.

Повышение точности и уменьшение трудоемкости определения остаточных и действующих напряжений достигается за счет исключения местных изменений остаточных напряжений, вносимых при резке, бурении, облучении (рентген и др.) или других операциях, выполняемых в известных способах (методы разгрузки и др.), то есть за счет не-разрушающего воздействия на представительный объем твердого материала, за счет прямого определения волнового модуля напряжения, вместо комплекса характеристик упругости.

Экономический эффект от применения способа достигается за счет уменьшения трудоемкости, повышения точности и информативности определения знака и величины остаточных и действующих напряжений путем многократного измерения легкоопределяемых ультразвуковых параметров в разных направлениях, сохраняя целостность изучаемого объема твердого материала.

Формула изобретения

Способ определения остаточных и действующих напряжений в твердых материалах, включающий возбуждение ультразвуковых поляризованных сдвиговых волн в выделенном объеме материала, измерение скорости прохождения поляризованной сдвиговой волны через заданную базу, заключающийся в том, что измерение напряжения в твердых материалах осуществляется по изменению относительной величины скорости ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны

v_{SO}

v_S в направлении, перпендикулярном к направлению действия напряжения в зависимости от величины волнового модуля напряжения K_i , отличающейся тем, что определяют изменения относительной величины скорости ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от напряжения твердого материала и среднее значение величины волнового модуля напряжения, и по соответствующим направлениям определяют напряжения по формуле:

$$\sigma_x = \left(\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1 \right) K_z;$$

$$\sigma_y = \left(\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1 \right) K_x;$$

$$\sigma_z = \left(\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1 \right) K_y;$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ - нормальное напряжение по направлению X, Y, Z , соответственно;

K_x, K_y, K_z - волновой модуль напряжения по направлениям X, Y, Z , соответственно;

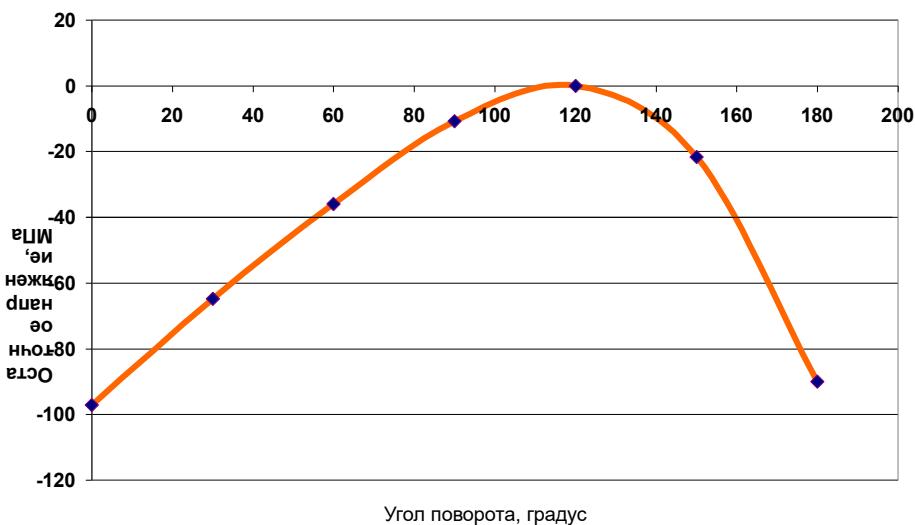
V_{SX} , V_{SY} , V_{SZ} - скорость прохождения через определенную базу нагруженного материала (с остаточными напряжениями) ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны по направлениям X , Y , Z , соответственно;

V_{SOX} , V_{SOY} , V_{SOZ} - скорость ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны по направлениям X , Y , Z , соответственно, при отсутствии напряжения (не нагруженное состояние, без остаточных напряжений).

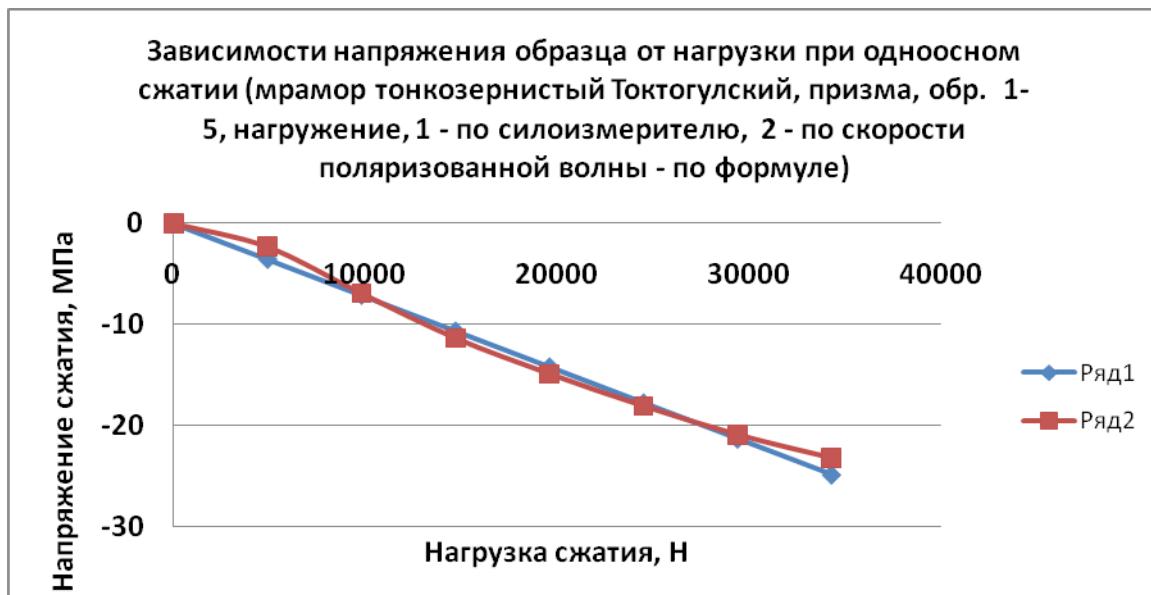
Солнечная оросительная установка, содержащая основание для заливки соленой воды, стеклянное прозрачное ограждение, отличающееся тем, что стеклянное прозрачное ограждение выполнено дугообразным, состоящим из единичных модулей, соединенных между собой эластичными неметаллическими уплотнителями.

Способ определения остаточных и действующих напряжений в твердых материалах

График остаточных напряжений для разных направлений, метасамотит
(р.Кумтор, RS № 5, обр. 3-4)

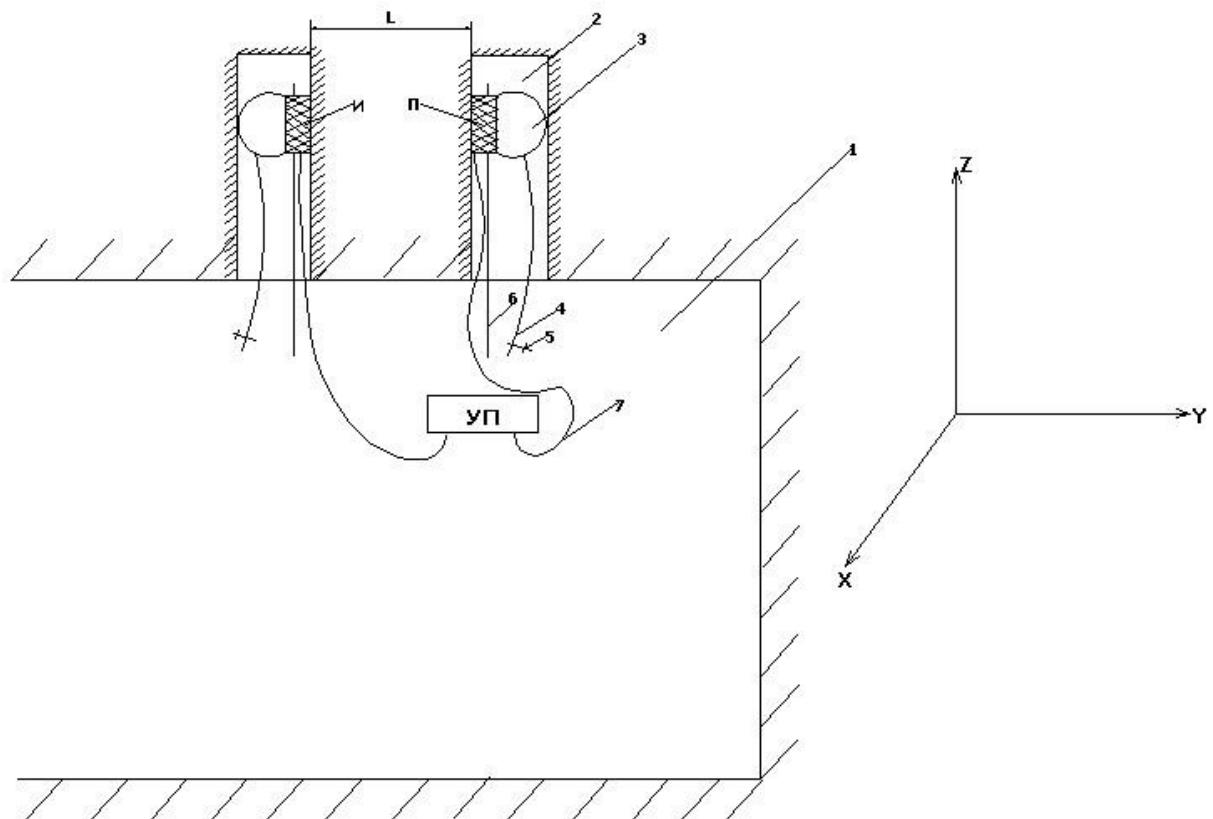


Фиг. 1



Фиг. 2

Способ определения остаточных и действующих напряжений в твердых материалах



Фиг. 3

Выпущено отделом подготовки материалов

Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при Правительстве Кыргызской Республики,
720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41; факс: (312) 68 17 03