

В качестве компромиссного варианта предлагается ту область излучающей поверхности, где ограничения на реактивность не выполняются, заменить абсолютно жестким экраном, а на остальной части поверхности функцию возбуждения колебательной скорости оставить прежней.

Если полученная погрешность не удовлетворяет разработчика, то снова необходимо решать систему алгебраических уравнений (11) для области $\varphi_0 \in [\varphi_2]$. Вышеизложенный цикл следует повторять до тех пор, пока погрешность решения не станет приемлемой. Если заданной погрешности в процессе решения достичь не удастся, то следует искать компромисс при постановке задачи между реактивностью антенны, ее волновыми размерами и погрешностью реализации заданной диаграммы направленности практически реализуемой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жуков В.Б. Теория синтеза и оптимизации антенн. – СПб.: Элмор. 2001. – 164 с.
2. Шендеров Е.Л. Волновые задачи гидроакустики. – Л.: Судостроение. 1972. – 352 с.
3. Сальников Б.А., Сальникова Е.Н. Решение задач синтеза ультразвуковых антенн в корректной постановке // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 9 (110). – С. 85-91.

Статью рекомендовала к опубликованию к.ф.-м.н. Н.В. Злобина.

Сальников Борис Александрович – ФГАОУ ВПО Дальневосточный федеральный университет, Инженерная школа, г. Владивосток; e-mail: salnikovb@mail.ru; 690950, Владивосток, ул. Пушкинская, 10; тел.: 89242425100; ведущий научный сотрудник научно-организационного управления; с.н.с.; к.ф.-м.н.

Сальникова Евгения Николаевна – тел.: 89147235843; кафедра приборостроения, к.ф.-м.н.; доцент.

Salnikov Boris Aleksandrovich – The Far Eastern Federal University, Engineering school, Vladivostok; e-mail: salnikovb@mail.ru; 10, Pushkinskaya street, 690950, Vladivostok, Russia; phone: +79242425100; the leading scientific employee of scientific organizational management; the senior scientific employee; cand. of phis.-math. sc.

Salnikova Evgeniya Nikolaevna – phone: +79147235843; the department of instrument engineering; cand. of phis.-math. sc.; associate professor.

УДК 620.179.16

М.И. Сластен

О СЕРИЯХ МНОГОКРАТНЫХ ОТРАЖЕНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ В ПЛОСКОЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ С МЕХАНИЧЕСКИМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ

Предлагается контролировать величину остаточных внутренних механических напряжений в плоскоцилиндрических монокристаллах с особыми физическими свойствами акустическим эхо-методом. Приводится описание предложенной модели напряженного состояния цилиндрического слитка. Изложена проявляющаяся закономерность характера изменения траектории распространения ультразвукового пучка в зависимости от расстояния между центрами слитка и ультразвукового преобразователя поперечных волн. Представлены фотограммы серий многократных отражений ультразвуковых импульсов от плоскопараллельных граней образца. Предложен способ сканирования торцевой поверхности плоскоцилиндрического слитка ультразвуковым преобразователем при контроле распределения в нем остаточных внутренних механических напряжений.

Плоскоцилиндрический образец; остаточные внутренние механические напряжения; модель напряженного состояния; серия эхоимпульсов; способ сканирования.

M.I. Slasten

ABOUT STRINGS OF MULTIPLE REVERBERATIONS OF ULTRASONIC PULSES IN PLANE-CYLINDER SAMPLES WITH MECHANICAL STRESSES

It is suggested to control the values of residual internal mechanical stresses in plane-cylinder monocrystals with special physical properties by acoustic echo-method. There is given the description of the suggested model of stressed condition of the cylinder sample. There is described a trendlike regularity of the character of variation of the trajectory of ultrasonic beam propagation, depending on the distance between the centres of the sample and the ultrasonic transducer of transversal waves. The paper contains photograms of the strings of multiple reverberations of ultrasonic pulses from plane-parallel surfaces of the sample. The author suggests the method of scanning of the end surface of the plane-cylinder sample by an ultrasonic transducer, controlling the distribution of residual internal mechanical stresses inside the sample.

Plane-cylinder sample; residual internal mechanical stresses; model of stressed condition; string of echo-pulses; scanning method.

В настоящее время в запоминающих устройствах на основе подвижных цилиндрических доменов в качестве подложек используется монокристаллический (МК) галлий-гадолиниевый гранат (ГГГ), относящийся к материалам с особыми физическими свойствами. При выращивании МК слитков ГГГ, из которых изготавливаются подложки, в них появляются остаточные внутренние механические напряжения (МН), отрицательно влияющие на работу запоминающих устройств [1]. Величину остаточных МН в выращиваемых слитках необходимо контролировать. При контроле остаточных МН в ГГГ вследствие его оптической анизотропии и упругой изотропии целесообразно использовать акустический эхо-метод [2, 3]. Для этого необходимо исследовать серии многократных отражений ультразвуковых (УЗ) импульсов в плоскоцилиндрических образцах с характерными МН и их зависимость от величины МН [4].

Пусть элемент $ABCD$ (рис. 1,а-в), определяемый координатами r и θ , находится в плоском напряженном состоянии при наличии объемных сил, направленных по радиусу. Размеры этого элемента толщиной, равной единице, следующие:

$$AB = DC = dr, \quad BC = (r + dr)d\theta, \quad AD = rd\theta.$$

Допустим, что МН по каждой грани распределены равномерно и на противоположных гранях отличаются на бесконечно малую величину первого порядка. Обозначим через σ_{ra} , $\sigma_{\theta a}$ и $(\tau_{r\theta})_a = \tau_a$ МН в точке A и используем подобные обозначения для МН в других точках. Тогда для МН в точке B получим

$$\sigma_{rb} = \sigma_{ra} + \left(\frac{\partial \sigma_{ra}}{\partial r} \right) dr \quad \text{и} \quad \tau_b = \tau_a + \left(\frac{\partial \tau_a}{\partial r} \right) dr.$$

Аналогично в точке D

$$\sigma_{\theta d} = \sigma_{\theta a} + \left(\frac{\partial \sigma_{\theta a}}{\partial \theta} \right) d\theta \quad \text{и} \quad \tau_d = \tau_a + \left(\frac{\partial \tau_a}{\partial \theta} \right) d\theta.$$

Дифференциальные уравнения равновесия в полярных координатах

$$r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + (\sigma_r - \sigma_\theta) + \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + r R_{o\theta} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + r \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + 2\tau_{r\theta} = 0.$$

При исследованиях остаточных МН в плоскоцилиндрических МК ГГГ используется модель напряженного состояния, аналогичная напряженному состоянию в сжатом по диаметру цилиндрическом образце на диаметральной оси, перпендикулярной действующей силе P (рис. 2).

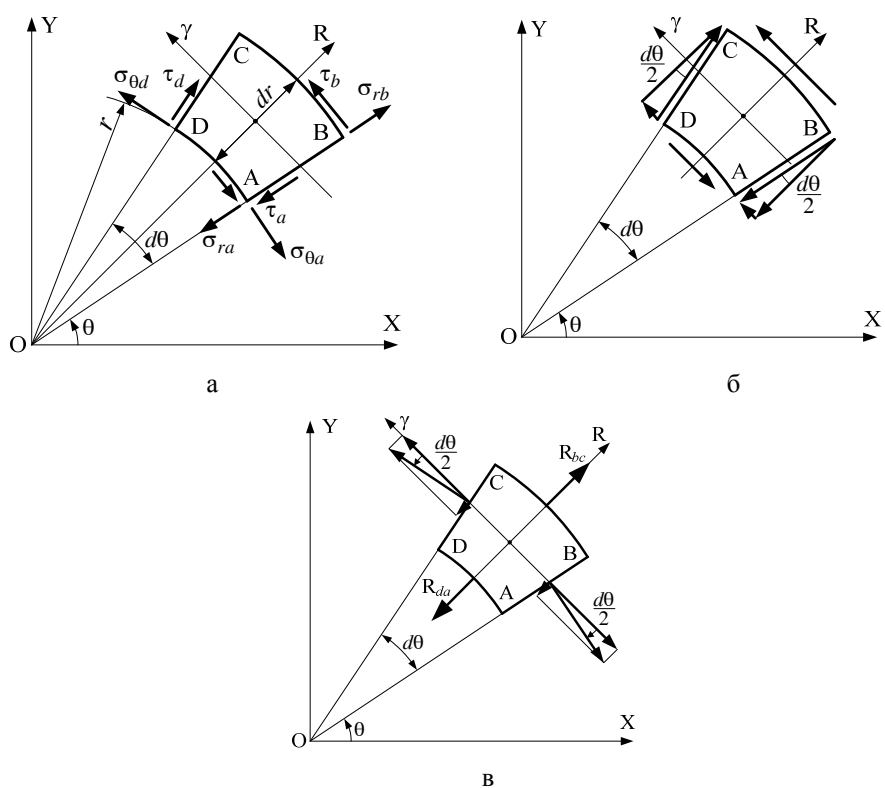


Рис. 1. а – напряжения, действующие по граням бесконечно малого элемента, в полярных координатах; б – радиальные и касательные составляющие, полученные от касательных напряжений; в – радиальные и касательные составляющие, полученные от нормальных напряжений

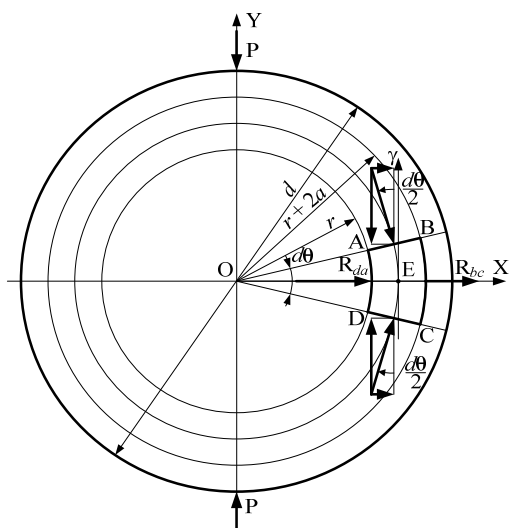


Рис. 2. Радиальные и касательные составляющие в плоскоцилиндрическом образце из плавящего кварца, сжатого по диаметру силой P

При диагностике остаточных МН в МК ГГГ акустическим эхометодом напряженное состояние целесообразно характеризовать главными напряжениями σ_1 и σ_2 и их направлениями. В этом случае на грани элемента действуют только нормальные напряжения, площадки являются главными площадками, а нормальные напряжения, действующие на эти площадки, – главными напряжениями σ_1 и σ_2 . Больше (с учетом знака) напряжение обозначается через σ_1 , так что $\sigma_1 \geq \sigma_2$. Главные напряжения σ_1 и σ_2 соответственно равны наибольшему и наименьшему нормальным напряжениям, действующим в элементе (рис. 3).

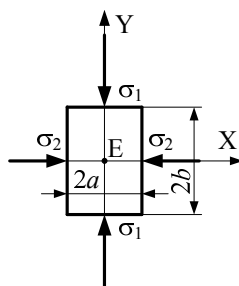


Рис. 3. Главные напряжения σ_1 и σ_2 в элементе, ограниченном площадью УЗ-преобразователя с центром в точке E, плоскоцилиндрического образца из плавного кварца, сжатого по диаметру силой P

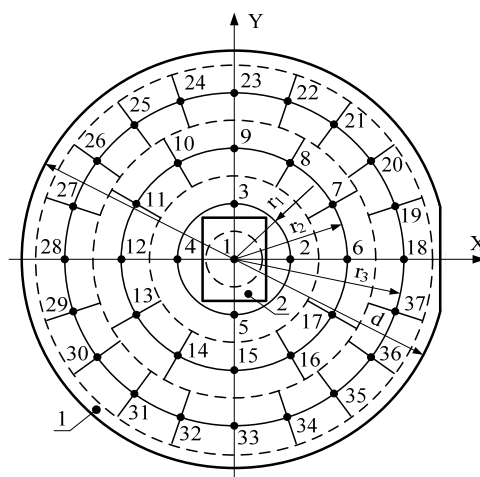


Рис. 4. Схема сканирования плоскоцилиндрического слитка МК ГГГ I УЗ-преобразователем поперечных волн 2 и расположение точек, соответствующих положению центра преобразователя

Предполагаемые согласно используемой модели напряженного состояния направления главных МН являются основным критерием, определяющим выбор направлений распространения и поляризации УЗ-волн при акустической диагностике остаточных МН УЗ эхометодом: направления распространения УЗ-волн должны быть перпендикулярными направлениям главных МН, а направления поляризации УЗ-волн – параллельными направлениям главных МН. Для этого необ-

ходимо идентифицировать напряженное состояние и определить направления главных МН, используя установленное закономерное изменение огибающей серии эхоимпульсов в зависимости от угла поворота при вращении сдвигового УЗ-преобразователя вокруг его центра [4, 5].

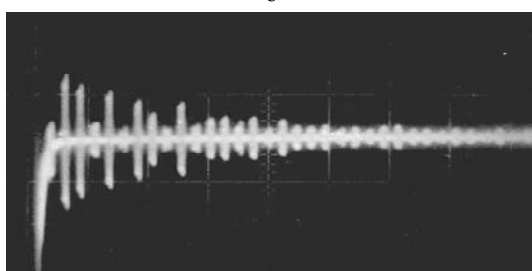
На рис. 4 представлены схема сканирования плоскоцилиндрического слитка МК ГТГ 1 диаметром $d = 76$ мм и расположение точек, соответствующих положению центра УЗ-преобразователя поперечных волн 2 шириной $2a = 8$ мм и длиной $2b = 13$ мм; расстояний между центрами слитка и УЗ-преобразователя $r_1 = 10$ мм, $r_2 = 20$ мм и $r_3 = 30$ мм. В качестве УЗ-преобразователей использовались кварцевые пластины УХ-среза с керамическим демпфером в виде пирамиды; для создания акустического контактного слоя применялась эпоксидная смола без отвердителя; необходимое качество контактного слоя и стабильность его свойств достигались благодаря специальному поворотнo-прижимному устройству.



а



б



в

Рис. 5. Фотограммы серий многократных отражений УЗ-импульсов в слитке МК ГТГ при расположении центра УЗ-преобразователя в различных точках: а – серия в точке 2; б – серия в точке 6; в – серия в точке 18

На рис. 5 представлены фотограммы серий многократных отражений УЗ-импульсов в слитке МК ГГГ при расположении центра УЗ-преобразователя в точках 2, 6 и 18 (рис. 4).

Из фотограмм следует, что изменения амплитуд эхоимпульсов в сериях многократных отражений отличаются от экспоненциального закона – отличие тем больше, чем ближе к центру слитка расположен УЗ-преобразователь.

Отклонение огибающей серии эхоимпульсов от экспоненциального закона является закономерным и происходит в результате искривления траектории распространения УЗ-пучка в слитке [6].

Амплитуда эхоимпульсов в сериях многократных отражений также зависит от состояния отражающей боковой поверхности образцов, поэтому к качеству их обработки необходимо предъявлять соответствующие требования [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Чистый И.Л., Китаева В.Ф., Осико В.В., Соболев Н.Н., Стариков Б.П., Тимошечкин М.И.* Молекулярное рассеяние света в гранатах // Физика твердого тела. – М.: Изд-во АН СССР, 1975. – Вып. 5. – Т. 17. – С. 1434-1441.
2. *Фрохт М.М.* Фотоупругость. Т. 1. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений / Под ред. Н.И. Пригоровского; пер. М.Ф. Бокштейн. – М.-Л.: ОГИЗ, 1948. – 432 с.
3. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 т. / Под ред. В.В. Клюева. Т. 4. Кн. 1. Акустическая тензометрия / Анисимов В.А., Каторгин Б.И., Куценко А.Н. и др. – М.: Машиностроение, 2004. – 736 с.
4. *Сластен М.И.* Ультразвуковой контроль остаточных механических напряжений в монокристаллах галлий-гадолиниевого граната. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 127 с.
5. *Сластен М.И.* Идентификация одноосных гармонически изменяющихся остаточных механических напряжений при диагностике напряженного состояния ультразвуковым эхоимпульсным методом // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 1 (126). – С. 197-204.
6. *Сластен М.И.* Распространение ультразвуковых волн в плоскопараллельных монокристаллических образцах с гармонически изменяющимися остаточными механическими напряжениями // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 9 (122). – С. 219-224.
7. *Сластен М.И.* Измерение градиента скорости ультразвука в монокристаллах с гармонически изменяющимися остаточными механическими напряжениями // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 1 (114). – С. 36-43.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.А. Воронин.

Сластен Михаил Иванович – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: lina@mvs.tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А; тел.: 88634371663; кафедра физики; к.т.н.; доцент.

Slasten Michail Ivanovitch – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: lina@mvs.tsure.ru; GSP 17A, 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371663; the department of physics; cand. of eng. sc.; associate professor.