

2 т, Томск, 26-30 Мая 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - Т. 2 - С. 132-134. - Режим доступа: [http://portal.tpu.ru/files/departments/publish/INK\\_KONFERENTCIIa\\_NERAZRUSH\\_KONTROL%60\\_TOM\\_2.pdf](http://portal.tpu.ru/files/departments/publish/INK_KONFERENTCIIa_NERAZRUSH_KONTROL%60_TOM_2.pdf).

5. Игишева А. Л., Литвиненко В. В., Соболева Э. Г. Исследование эффективной дозы облучения при рентгенологических обследованиях // Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 17-18 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 83-85.
6. Игишева А. Л., Литвиненко В. В. Эффективная доза облучения при рентгенологических обследованиях // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, Юрга, 3-5 Апреля 2014. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014 - С. 507-509.

### **АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ**

*Э.Г. Соболева, к.ф.-м.н., доцент, Ш.С. Нозирзода, студент гр. 10741,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-62  
E-mail: sobolevaeno@mail.ru*

В настоящее время имеется ряд монографий и других работ, в которых достаточно полно рассмотрены современные методы исследования упругих свойств твердых веществ [1 – 8]. В качестве характеристик упругих свойств служат упругие модули – модуль Юнга  $E$ , модуль сдвига  $G$ , модуль объемной упругости (модуль всестороннего сжатия)  $B$ , объемная сжимаемость  $\chi$ , коэффициент Пуассона  $\sigma$ . В теории упругости поликристаллов (упругоизотропных тел) широко используются также упругие постоянные (упругие коэффициенты) Ламе  $\lambda$  и  $\mu$ . Упругие свойства упруго анизотропных твердых тел (монокристаллов, текстур) характеризуются набором постоянных жесткости  $c_{ij}$  или постоянных податливости  $s_{ij}$ , количество которых зависит от кристаллографической системы (кристаллографического класса): для низкосимметричных триклинных кристаллов 21 постоянная жесткости, для высокосимметричных кубических кристаллов 3 постоянные жесткости –  $c_{11}$ ,  $c_{12}$ ,  $c_{44}$  [8].

Различия в характере термодинамических условий процессов измерений делят все существующие многочисленные экспериментальные методы исследования упругих свойств твердых веществ на две большие группы. К первой группе относятся так называемые статические методы, развитые в работах Фохта и примененные впоследствии Бриджменом и другими авторами к исследованию ряда кристаллов. Статические измерения проводятся практически в изотермических условиях, т. е. получаемые в этих методах упругие характеристики являются изотермическими. Статические методы основываются на наблюдении статических деформаций растяжения, изгиба или кручения твердых веществ. Обычно в этих методах применяются крупные образцы в виде стержней (с круглым или прямоугольным сечением) или пластин, при этом длина стержня должна быть значительно больше его поперечного сечения. Полученные величины деформаций используются для расчета значений упругих параметров веществ. Часто при использовании статических методов создаются большие механические напряжения, что вызывает нелинейные эффекты и случайные трещины в образце. Кроме того, статические упругие постоянные всегда являются релаксированными, так как на чисто упругую деформацию образца накладываются деформации, связанные с ползучестью и упругим последствием. Применение статических методов ограничено, в основном, исследованиями свойств металлов, горных пород и ряда конструкционных материалов, где имеющаяся возможность использования крупных образцов значительно снижает ошибки измерений.

Точность статических методов зависит от точности измерения малой деформации (чтобы не допустить пластической деформации). Ряд приборов, употреблявшихся для измерения малых деформаций, основан на оптических методах, использующих оптические рычаги, легкие изогнутые коромысла и расчете интерференционных полос. При электрических же методах измерения применяют конденсатор, одной из пластин которого является образец, или используют датчики сопротивления, жестко соединенные с образцом. Для измерения малых деформаций, вызванных напряжением в упругой области, целесообразно также использовать дифракцию рентгеновских лучей, так как параметры решетки можно определять рентгеновским методом с высокой точностью.

Другая группа методов – динамические методы – используют для определения упругих характеристик высокочастотные колебания кристаллов. Характерной чертой динамических методов в звуковой и низкой ультразвуковой области частот (ниже 1 МГц) является то, что во время измерения в образце или системе, включающей в себя образец, устанавливается стоячая волна. Динамические методы обычно дают более высокую точность, чем статические, за счет того, что при динамических методах измеряют резонансную частоту, а не малое смещение. Для того чтобы узнать скорость распространения звука в случае свободно колеблющейся системы, необходимо знать период колебаний и размеры образца в направлении распространения колебаний. При вынужденных колебаниях, которые используются чаще, чем свободные, определяется частота резонанса. Оба метода дают возможность одновременно получить сведения и о затухании упругих колебаний.

Все многочисленные динамические методы, в свою очередь, можно разделить на три большие группы: а) методы, связанные с определением собственных частот колебаний кристаллических образцов (резонансные методы); б) методы, использующие определение скорости звука в выбранных направлениях в анизотропной среде (оптический метод, метод клина, импульсный метод); в) методы, основанные на взаимодействии кристаллической решетки с изучением (метод рассеяния рентгеновских лучей, рассеяния тепловых нейтронов и др.). В оптически прозрачных твердых телах длину коротких ультразвуковых волн удобно измерять за счет дифракции света на ультразвуке (метод Бергмана - Шеффера), а также за счет рассеяния видимого света длинными волнами решетки (рассеяние Манделъштам - Бриллюэна). В последние годы разработаны методики для исследования акустических волн, генерируемых в твердых телах плотными электронными пучками наносекундной длительности [2].

Многообразие существующих методов измерения обеспечивает проведение исследований упругих свойств твердых веществ в различных термодинамических условиях. К настоящему времени сложилась определенная «специализация» разных групп методов [9].

Статические методы измерения сохранили свое значение при исследовании поликристаллических материалов (металлов, керамик, горных пород), полимеров, пластиков и других технических материалов. Резонансные методы, особенно метод составного вибратора и методы, использующие электростатический способ возбуждения колебаний стержней, оказались наиболее удобными при измерениях в области высоких температур, где импульсные методы практически непригодны. Разные модификации импульсных методов (число этих модификаций, по - видимому, исчисляется десятками) применяются для изучения упругих свойств твердых тел самой разнообразной природы. Стекла, смолы, смазочные материалы, металлы и сплавы, горные породы, искусственные и природные монокристаллы, образцы разной степени совершенства и разных размеров (от 2-3 мм до метра) – вот далеко не полный перечень объектов применения импульсных методов. Несомненной монополией импульсных методов являются измерения в области высоких давлений, где резонансные методы принципиально неприменимы.

В динамических методах частоты настолько высоки, что процесс можно считать адиабатическим, так как тепловые потоки в образце не могут поддерживать температуру постоянной в этой области частот, а тепловой контакт с окружающей средой обычно недостаточен. Получаемые в этих методах значения упругих характеристик – адиабатические. Между адиабатическими (индекс S) и изотермическими (индекс T) упругими характеристиками (например, модулями Юнга  $E_S$ ,  $E_T$ , или модулями объемной упругости  $B_S$ ,  $B_T$ ) имеет место связь:

$$1/E_S = 1/E_T - \alpha^2 T / \rho C_p; \quad 1/B_S = 1/B_T - \beta^2 T / \rho C_p,$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – соответственно температурные коэффициенты линейного и объемного расширения;  $c_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении;  $\rho$  – плотность среды.

В статье Хирмона [3] показано, что разность между адиабатическими и изотермическими характеристиками твердых тел вообще мала, порядка единиц процентов, и обычно ею пренебрегают, так как она меньше погрешности измерений при статических методах.

Таким образом, проведен краткий сравнительный анализ экспериментальных методов исследования упругих свойств твердых веществ, что позволяет проводить исследования в различных термодинамических условиях.

Литература.

1. Никаноров С. П., Кардашев Б. К. Упругость и дислокационная неупругость кристаллов. М.: Изд-во «Наука», Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. 250 с.

2. Беломестных В. Н., Похолков Ю. П., Ульянов В. Л. и др. Упругие и акустические свойства ионных, керамических диэлектриков и высокотемпературных сверхпроводников. Томск: STT, 2001. 226 с.
3. Hearmon R. F. S. The elastic constants of anisotropic materials. // Rev. Modern Phys. 1946. V. 15. №3. P. 409 – 440.
4. Hearmon R. F. S. The elastic constants of anisotropic materials II // Advances Phys. 1956. V. 5. P. 323 – 383.
5. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. Пер. с нем. под ред. В. С. Григорьева и Л. Д. Розенберга. Изд. 2-е. М.: ИИЛ, 1957. 726 с.
6. Хантингтон Г. Упругие постоянные кристаллов. I. II. // УФН. 1961. Т. 74. №2. С. 303 – 352; Т. 74, №3. С. 461 – 520.
7. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. Пер. с англ. И. Г. Михайлова и В. В. Леманова. М.: Изд-во «Мир», 1972. 307 с.
8. Беломестных В.Н., Соболева Э.Г. Акустические, упругие и неупругие свойства кристаллов галогенатов натрия.- Томск: Изд. ТПУ, 2009. - 276 с.
9. Беликов Б. П., Александров К. С., Рыжова Т. В. Упругие свойства породообразующих минералов и горных пород. М.: Наука, 1970. 274 с.
10. Hearmon R. F. S. The elastic constants of anisotropic materials. // Rev. Modern Phys. 1946. V. 15. №3. P. 409 – 440.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*Е.П. Теслева, к.ф.-м.н., доц; А.В. Соловян, студ. группы 10В41,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

В изучении поведения твердого тела при изменении его линейных и (или) объемных размеров важная роль принадлежит коэффициенту Пуассона  $\sigma$ . Коэффициент Пуассона  $\sigma$  характеризует стремление материала сохранять в процессе упругой деформации свой первоначальный объем и в связи с этим является важнейшим эксплуатационным параметром твёрдых тел. По определению коэффициент Пуассона твёрдого тела записывается в виде [1]:

$$\sigma = -\frac{\Delta d / d}{\Delta \ell / \ell} \quad (1)$$

где  $\Delta d / d$  – относительная поперечное сужение образца с поперечным размером  $d$ ;  $\Delta \ell / \ell$  – относительное продольное удлинение образца длиной  $\ell$  при нагрузке. Коэффициент  $\sigma$ , непосредственно измеренный по (1), является статическим (изотермическим) и имеет сравнительно большую погрешность из-за ограниченной точности определения деформации, а также возможности пластического течения материала, особенно при повышенных температурах [2]. Кроме этого, в большинстве случаев реальные изделия, машины и механизмы эксплуатируются в условиях динамических нагрузок и требуют для объективных расчётов своего поведения знания адекватных динамических параметров. В связи с выше изложенным в настоящее время упругие свойства материалов изучаются динамическими методами, основанными на наблюдении свободных и вынужденных колебаний образцов или на изучении характера распространения акустических волн.

Динамический (адиабатический) коэффициент Пуассона определяется косвенным методом по величинам скоростей распространения звука или модулям упругости и основными расчётными соотношениями при этом являются:

$$\sigma = \frac{2 - \chi^2}{2 - 2 \cdot \chi^2}, \quad \chi = \frac{v_L}{v_t} \quad (2); \quad \sigma = \frac{E}{2 \cdot G} - 1 \quad (3); \quad \sigma = \frac{1}{2} - \frac{1}{6} \cdot E \cdot \chi \quad (4);$$

$$\sigma = \frac{3 \cdot K - 2 \cdot G}{6 \cdot K - 2 \cdot G} \quad (5); \quad \sigma = -\frac{s_{12}}{s_{11}} = \frac{c_{12}}{c_{11} + c_{12}} \quad (6); \quad \sigma = \frac{c_{12}}{2 \cdot (c_{12} + c_{44})} \quad (7),$$

где  $v_L, v_t$  – соответственно, скорости распространения продольных в «неограниченной среде» и поперечных упругих волн;  $E, G, K$ , соответственно упругие модули Юнга, сдвига и объёмной упругости (всестороннего сжатия);  $\chi$  – сжимаемость;  $s_{ij}, c_{ij}$ , соответственно, коэффициенты упругой податливости и жёсткости.