

И. Г. МИХАЙЛОВ

## СКОРОСТЬ И ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В НЕКОТОРЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

(Представлено академиком А. Н. Терениным 27 I 1948)

Автором совместно с С. Б. Гуревичем<sup>(1)</sup> было установлено, что в расплавленной канифоли в области малых вязкостей (т. е. при высоких температурах) коэффициент поглощения ультразвуковых волн увеличивается с увеличением вязкости и изменяется пропорционально квадрату частоты. При некоторой средней вязкости коэффициент поглощения достигает максимума, а затем, при дальнейшем увеличении вязкости, уменьшается, изменяясь приблизительно пропорционально корню квадратному из частоты.

Исходя из релаксационной теории<sup>(2, 3)</sup>, наличие максимума поглощения в зависимости от вязкости (а следовательно, и от времени релаксации  $\tau$ ), при данной частоте  $\omega$ , можно объяснить релаксацией сдвиговой вязкости, причем в максимуме  $\omega\tau=1$ .

Тогда, зная положение и величину максимума, можно подсчитать некоторые константы жидкостей. Согласно релаксационной теории, коэффициент поглощения имеет следующее значение\*:

$$\alpha = \frac{2\mu}{3\rho a^3} \frac{\omega^2}{(1 + \omega^2\tau^2)}$$

Полагая  $\omega\tau=1$ , получим

$$\alpha_{\max} = \frac{\mu_{\max} \omega^2}{3a^3\rho}$$

Здесь  $\mu_{\max}$  — вязкость при максимуме поглощения,  $a$  — скорость звука и  $\rho$  — плотность.

В опубликованной нами работе даны результаты измерений при частотах 1,52 и 3,04 МГц.

При этих частотах коэффициент поглощения в максимуме велик, так что установить точно его положение и величину не оказалось возможным.

Недавно нами были закончены измерения поглощения в расплавленной канифоли при более низких частотах. При частоте 0,66 МГц удалось получить полную кривую, причем оказалось, что максимальное поглощение наблюдается при  $\mu_{\max} \cong 10^3$  пуаз и  $\alpha_{\max} = 2,0 \text{ см}^{-1}$ \*\*.

Так как  $\omega = 2\pi \cdot 0,66 \cdot 10^6$ , то время релаксации  $\tau = 2,5 \cdot 10^{-7}$  сек.

\* При этом предполагается, что вторая вязкость уже отрелаксировала и членом, зависящим от этой вязкости, можно пренебречь. Все известные экспериментальные результаты (см., например, работу П. А. Бажулина<sup>(\*)</sup>) указывают на то, что для жидкостей с большой вязкостью это предположение законно.

\*\* Подробные результаты этих измерений будут опубликованы отдельно.

Зная  $\alpha_{\max}$  и  $\tau$ , можно по формулам релаксационной теории подсчитать скорость и дисперсию в области максимума. Скорость ультразвуковых волн оказалась равной  $\sim 1,6 \cdot 10^5$  см/сек. и дисперсия  $8\%$ .

Эти данные вполне вероятны. Однако экспериментальная проверка их не могла быть сделана, так как обычные методы измерения скорости в данном случае не пригодны. Что касается области очень больших вязкостей, то объяснение наблюдаемых явлений встречает затруднения. Согласно релаксационной теории, при достаточно больших вязкостях и частотах коэффициент поглощения не должен зависеть от частоты, тогда как из наших измерений следует, что  $\alpha \sim \sqrt{\omega}$ .

К сожалению, из-за растрескивания канифоли нам не удалось произвести измерения при температурах ниже  $40^\circ\text{C}$ . При этой температуре, однако, сохраняется еще заметная пластичность. Между тем, с точки зрения теории было бы интересно продолжить измерения дальше, в сторону еще больших вязкостей.

С этой целью автором было произведено измерение поглощения в полимере метилметакрилата, заполимеризованного с добавлением пластификаторов, плотность образца  $\rho = 1,202$  г/см<sup>3</sup>.

Измерения производились оптическим методом, путем измерения интенсивности дифракционных спектров  $\pm 1$ -го порядка фотографическим фотометрированием, по маркам почернения.

Таблица 1

Частота в МГц	$\alpha$ в см <sup>-1</sup>	$\alpha/\nu^2 \cdot 10^{17}$	$\alpha/\sqrt{\nu} \cdot 10^7$
1,708	0,12	4110	920
4,502	0,20	990	940

Образец метилметакрилата был изготовлен в виде прямоугольного бруска размером  $3 \times 5 \times 15$  см. Обе противоположные, длинные стороны бруска были плоско-параллельны и тщательно отполированы.

В одной из малых сторон бруска размером  $3 \times 5$  см прижималась, на масляном контакте, пьезо-кварцевая пластинка размером  $15 \times 20$  мм, вырезанная по Штраубелю (5). Для устранения влияния отраженных волн второй конец бруска заканчивается  $30^\circ$  призмой. Образец закреплялся в специальном суппорте, который давал возможность перемещать его и менять таким образом расстояние между пьезо-кварцем и параллельным пучком света, идущего через образец.

В табл. 1 даны результаты измерений коэффициента поглощения при частотах 1,708 и 4,502 МГц. Здесь же даны вычисленные для этих частот значения  $\alpha/\nu^2$  и  $\alpha/\sqrt{\nu}$ , где  $\nu = \omega/2\pi$  и  $\alpha$  — амплитудный коэффициент поглощения.

Приведенные в этой таблице значения  $\alpha$  — средние значения, полученные из 5 серий измерений.

Из этих результатов видно, что в пределах точности измерения ( $\sim 10\%$ )  $\alpha/\sqrt{\nu} = \text{const}$ . Таким образом, в метилметакрилате коэффициент поглощения, так же как и в канифоли при больших вязкостях, пропорционален корню квадратному из частоты.

Метилметакрилат является удобным объектом для измерения скорости звука оптическим методом. Нами были проделаны относительные измерения скорости в диапазоне частот от 1,013 до 6,812 МГц. Пьезо-кварцевая пластинка была зажата между образцом метилметакрилата и дном плоско-параллельной кюветы, наполненной дистиллированной водой. При работе пьезо-кварца ультразвуковые колебания распространялись одновременно как в воде, так и в исследуемом образце метилметакрилата. Дифракционные спектры фотографировались одновременно на одну и ту же пластинку. Расстояние между максимумами на фотопластинке промерялось на компараторе. Так как дисперсия

в воде отсутствует, то благодаря применению описанного метода частота генератора исключается из вычисленной скорости, что позволяет получить большую точность измерений. Температурные влияния были незначительны, так как съемки производились короткими экспозициями.

В табл. 2 приведены результаты измерений скорости ультразвуковых волн в метилметакрилате при температуре  $19,5 \pm 0,5^\circ \text{C}$  \*.

Из этих результатов видно, что в пределах точности измерений ( $\sim 0,2\%$ ) в исследованном диапазоне частот дисперсия отсутствует.

Так как в полимерах время релаксации обычно очень велико, то при частотах 1—7 MHz всегда  $\omega\tau \gg 1$  и отсутствие дисперсии вполне понятно. Однако наблюдаемая при этих же частотах пропорциональность коэффициента поглощения корню квадратному из частоты требует еще объяснения.

Отметим также, что в нашем образце метилметакрилата при длительном воздействии ультразвуковых колебаний наблюдалось заметное явление тиксотропии.

Кроме метилметакрилата, нами была сделана попытка измерения поглощения в оптическом стекле. Как и следовало ожидать, поглощение оказалось настолько малым, что при частоте 9 MHz и при увеличении расстояния от кварца на 13 см заметного изменения интенсивности дифракционных максимумов не было обнаружено. Исходя из этого и полагая точность измерений  $\sim 10\%$ , можно считать, что при частоте 9 MHz коэффициент поглощения в стекле должен быть не больше  $5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ .

Физический институт  
Ленинградского государственного  
университета

Поступило  
17 I 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> И. Г. Михайлов и С. Б. Гуревич, ДАН, **58**, № 2 (1947). <sup>2</sup> Я. Н. Френкель и Ю. Н. Образцов, ЖЭТФ, **9**, 1081 (1939). <sup>3</sup> М. А. Исакович, ДАН, **23**, № 8 (1939). <sup>4</sup> П. А. Бажулин, ДАН, **31**, № 2 (1941). <sup>5</sup> H. Straubel, Z. Hochfr. **38**, 19 (1931). <sup>6</sup> C. Randall, Bur. of Stand., **8**, No. 1 (1932).

\* При вычислении абсолютных значений скорости звука в метилметакрилате скорости звука в дистиллированной воде были взяты из работы Ранделла (<sup>6</sup>).