

С. Я. СОКОЛОВ

ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ТВЕРДЫМИ ТЕЛАМИ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 20 XII 1947)

В настоящей работе даются результаты исследований поглощения ультразвуковых колебаний твердыми телами. Исследования проводились с образцами из различных металлов, а также с монокристаллами кварца, поваренной соли и пр.

Если среда однородна, то поглощение колебаний обычно невелико и определяется коэффициентом вязкости и теплоотдачи среды. Если среда упруго-неоднородна, то поглощение ультразвука увеличивается по мере возрастания неоднородности и может достигать очень больших значений. Это особенно показательно для металлов разной структуры⁽¹⁾.

Многочисленные опыты, проведенные в нашей лаборатории, показали, что металлы с мелкозернистой структурой поглощают у.-з. колебания меньше, чем металлы с крупнозернистой структурой. Это явление, видимо, следует объяснить следующим образом⁽²⁾.

Кристаллы металла по граням соприкосновения образуют упругие неоднородности, определяемые размерами кристаллов и их ориентацией. В местах неоднородностей при распространении колебаний создаются температурные флуктуации, которые ведут к образованию местных тепловых потоков. Эти тепловые потоки увеличивают энтропию колеблющегося тела, т. е. увеличивают потери.

Так как термоэластические свойства зависят от величины кристаллов и от их ориентации, то возникающие дополнительные потери ультразвука будут также зависеть от размера кристаллов и от их ориентации, т. е. от структуры среды:

$$d = \varphi(d, a),$$

где d — величина среднего размера зерна, a — параметр, определяющий ориентацию зерен.

Кроме того, эти дополнительные потери зависят также и от длины волны ультразвука λ , правильнее, от параметра k , определяемого отношением

$$k = f(d/\lambda).$$

Как показывает опыт, по мере увеличения этого отношения потери возрастают и становятся весьма заметными даже для малого d/λ , т. е. когда $d/\lambda < 1$.

Если же структура металла такова, что размеры кристаллов соизмеримы, или больше длины волны λ , т. е. $d/\lambda \geq 1$, то наблюдается

особенно большое поглощение ультразвука и среда становится мало „прозрачной“ для него. В этом случае большое поглощение ультразвука объясняется не только приведенными выше соображениями, но главным образом влиянием диффузного рассеяния у.-з. волн, распространению которых в этих условиях может быть уподоблено распространению света в мутной среде.

Кристаллы в металле, расположенные под разными углами, рассеивают у.-з. волны, которые многократно отражаются от граней кристаллов, накладываются друг на друга с разными амплитудами и фазами и дают некоторую результирующую амплитуду. Амплитуды и фазы колебаний в этом случае можно рассматривать как наложение большого числа случайных независимых величин.



Рис. 1. *a* — размер образца $20 \times 20 \times 19$ мм; *б* — размер образца $30 \times 30 \times 35$ мм

При этих условиях задачу о распространении ультразвука в среде следует рассматривать как статистическую и свести к вычислению наивероятнейшей амплитуды колебаний, действующей на приемник ультразвука.

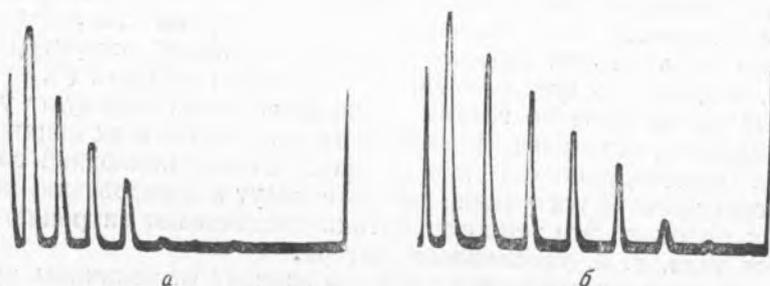


Рис. 2. *a* — размер образца $25 \times 25 \times 27$ мм; *б* — размер образца $22 \times 32 \times 35$ мм

При исследовании мы применяли у.-з. импульсы, которые использовались нами ранее для обнаруживания дефектов⁽³⁾, длительностью в 1 мсек. с частотой колебаний $f = 18 \cdot 10^6$. Ультразвуковые импульсы проходили через исследуемый образец и регистрировались после соответствующего усиления катодным осциллографом как в обычных радиолокационных устройствах.

Расстояние между импульсами на экране осциллографа является мерой длины пути у.-з. импульса в исследуемом образце. Если образец вполне однороден и имеет небольшой коэффициент поглощения, то у.-з. импульсы, медленно затухая, отражаются многократно от противоположных граней образца. На экране осциллографа в этом случае мы видим ряд правильных линий, расположенных на равных расстояниях друг от друга. Это явление подобно явлению реверберации звука в закрытом помещении.

Наблюдались случаи, когда у.-з. импульс отражался от двух противоположных граней десятки и даже сотни раз. На рис. 1, а показана фотография картины импульсов, многократно отраженных от стенок образца монокристалльного кварца. Колебания в монокристалле распространялись в направлении его оптической оси.

Исследуя кварцевые кристаллы, имеющие внутренние неоднородности, например двойниковатости, мы наблюдали, что у.-з. импульсы той же частоты поглощались сильнее, чем в случае монокристаллов, и число отраженных импульсов резко уменьшилось, как это видно из рис. 1, б.

Длина у.-з. волны в кварце $\lambda = \frac{5 \cdot 10^6}{18 \cdot 10^6} = 0,028$ см.

При исследовании распространения ультразвука в монокристалле NaCl (рис. 2, а) и KBr (рис. 2, б) также наблюдалось небольшое поглощение ультразвука. На осциллографе зарегистрировано большое число многократно отраженных импульсов, показанное на рис. 2 (а, б).

Для наблюдения влияния упругой анизотропии в металлах, были исследованы различные образцы из железа, меди и других металлов как мелкозернистой, так и крупнозернистой структуры. Разная структура была получена путем термической и механической обработки образцов. Были также изготовлены образцы из железа армко с выраженной анизотропией, которые просвечивались как в направлении вытянутых волокон, так и перпендикулярно им.

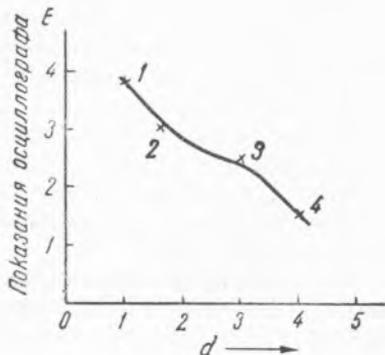


Рис. 3

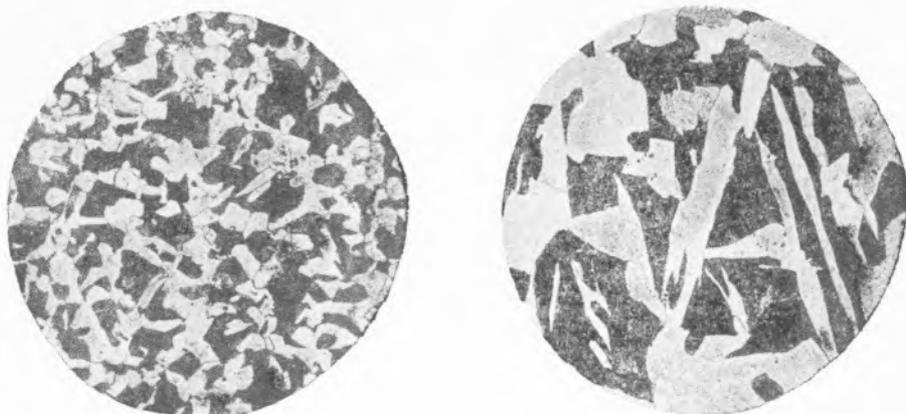


Рис. 4

Мы наблюдали прохождение у.-з. импульсов в направлении вытянутых волокон. В направлении же перпендикулярном к ним колебания полностью поглощались и прохождение их на осциллографе не было отмечено. Точно так же не было обнаружено прохождение колебаний через другие образцы с крупнозернистой структурой.

Те же самые металлические образцы мы исследовали вторично, пропуская через них у.-з. колебания частоты $f = 4 \cdot 10^6$. В этом случае зарегистрировано прохождение колебаний, что следует объяснить тем, что диффузное рассеяние у.-з. волн уменьшилось вследствие уменьшения параметра d/λ в 4,5 раза по сравнению с предшествующим

его значением. В этом случае мы также наблюдали, что образцы с более крупными кристаллами поглощали колебания сильнее, чем образцы с мелкими кристаллами.

В дальнейшем было исследовано четыре образца железа с разной структурой. Через каждый образец были пропущены у.-з. колебания частоты $f = 4 \cdot 10^6$, относительная величина которых при выходе из металла измерялась осциллографом.

Результаты измерений показаны на кривой рис. 3, где по оси x отложены средние размеры зерен образцов, по оси y — величина прошедших через образец колебаний. Кривая, проходящая через 4 точки, дает некоторое представление об изменении поглощения ультразвука в зависимости от размеров зерен.

На рис. 4 приведены 2 фотографии шлифов образцов, соответствующих точкам 1 и 3 на кривой рис. 3.

На основании приведенных наблюдений, которые пока носят качественный характер, можно сделать вывод, что поглощение у.-з. колебаний чрезвычайно сильно зависит от наличия в среде упругих неоднородностей.

В этом случае для характеристики природы поглощения у.-з. колебаний по аналогии со светом наиболее подходит термин „прозрачность“ среды для ультразвука заданной λ .

Ленинградский электротехнический
институт им. В. И. Ульянова (Ленина)

Поступило
20 XII 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ S. Sokoloff, Elektr. Nachr. Techn., 6, 454 (1929). ² C. Zener, Phys. Rev., 52, 230 (1937). ³ С. Я. Соколов, Зав. лабор., 1468 (1935); авт. свид. № 48894, 1934.