

## ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

УДК 534.26

## РАССЕЯНИЕ КЛИНОВЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

*Крылов В. В., Рагузина И. В.*

Волны, распространяющиеся вдоль ребер упругих твердых клиньев, или клиновые акустические волны [1, 2], в последние годы широко исследуются как теоретически, так и экспериментально (см., например, работы [3–9]). В значительной мере это обусловлено такими их замечательными свойствами, как сильная концентрация энергии вблизи ребра, отсутствие дисперсии и дифракционных потерь, а также, в ряде случаев, относительно низкая фазовая скорость. Все это делает эти волны весьма привлекательными для различных приложений, главным образом к устройствам обработки сигналов.

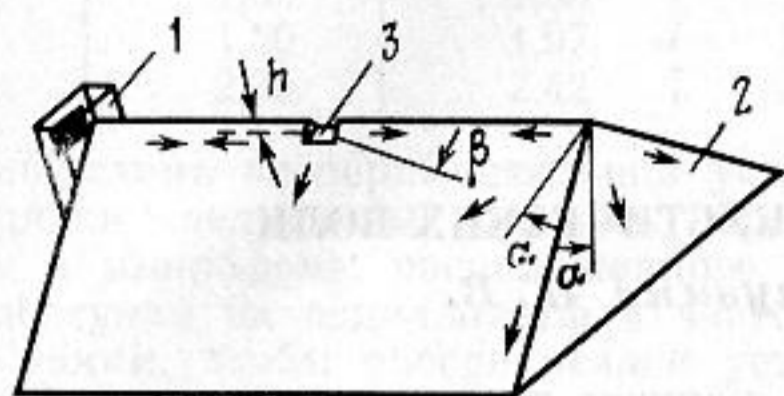
Во всех существующих работах, посвященных клиновым волнам, рассматривались только проблемы их распространения, что, возможно, связано со сложностью структуры этих волн, поддающихся расчету, в основном, лишь численными методами. Вопрос же о рассеянии клиновых волн, насколько нам известно, до настоящего времени вообще не ставился. Между тем, потребность в изучении соответствующих задач не вызывает сомнений. Это необходимо, во-первых, для выяснения влияния различных неоднородностей на распространение клиновых волн в реальных структурах, а также на их взаимное преобразование в другие типы волн в твердом теле и, во-вторых — для анализа возможностей использования закономерностей рассеяния клиновых волн с целью создания новых акустоэлектронных приборов, аналогичных, например, устройствам на поверхностных волнах с отражательными решетками [6]. В настоящей работе впервые излагаются результаты экспериментальных исследований по рассеянию клиновых волн.

Исследуемый образец представлял собой алюминиевую призму высотой 160 мм с основанием в виде прямоугольного равнобедренного треугольника с длинами катетов 60 мм (см. фиг. 1). Импульсы клиновых волн длительностью 4 мкс с центральной частотой 2,1 МГц возбуждались вдоль ребра с прямым углом с помощью поперечно поляризованной пьезокерамической пластинки размером  $9 \times 6$  мм<sup>2</sup>, приводимой в акустический контакт с торцом клина через плексиглазовую прокладку I. Как и в работе [9], возбуждались как антисимметричная, так и симметричная моды, скорости которых в рассматриваемом случае прямоугольного клина были близки к скорости рэлеевской волны в алюминии. Для возбуждения антисимметричной моды пьезопластинка ориентировалась таким образом, чтобы колебания происходили перпендикулярно биссектрисе прямого угла [9]. Симметричная мода возбуждалась той же пластинкой, повернутой на 90°. Центральная частота пластинки составляла 6 МГц, т. е. излучатель работал в нерезонансном режиме. Для регистрации как симметричной, так и антисимметричной мод использовался помещаемый на одну из граней обычный клиновый преобразователь поверхностных волн, содержащий продольно колеблющуюся пьезокерамическую пластинку диаметром 10 мм с резонансной частотой 2,1 МГц. Этот же преобразователь служил для приема рэлеевских волн.

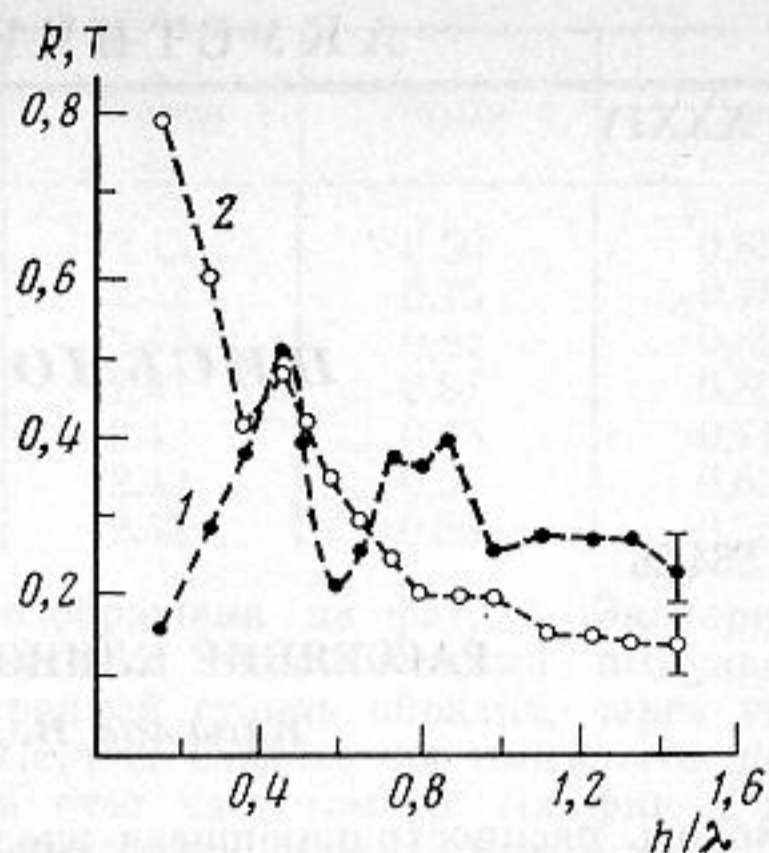
Предварительные измерения затухания клиновых волн показали, что, в то время как антисимметричная мода практически не изменяется с расстоянием, симметричная мода характеризуется сильным коэффициентом ослабления ( $\sim 1,5$  дБ/см), т. е., по-видимому, является волной утечки. В связи с этим эксперименты по рассеянию проводились с фундаментальной антисимметричной модой прямоугольного клина.

Сначала исследовалось рассеяние на прямоугольном торце 2. При этом по обычной методике (см., например, [10]) измерялись модули коэффициента отражения  $R$  и коэффициентов прохождения  $T$  клиновых волн в аналогичные клиновые моды на двух разветвляющихся ребрах прямоугольных клиньев. Измерения показали, что  $R=0,5 \pm 0,05$  и  $T=0,4 \pm 0,05$  (вследствие симметрии задачи значения  $T$  для обоих разветвляющихся ребер равны друг другу). Определялись также угловые характеристики рассеяния клиновых волн в рэлеевские  $\tilde{y}(\alpha)$  на всех трех пересекающихся гранях. Результаты измерений, выполненных для расстояний 40 мм от точки пересечения, приведены на фиг. 2 а для торцевой 1 и одной из боковых граней 2 клина. Отметим, что в соответствии с требованиями симметрии характеристика рассеяния для торцевой грани имеет близкий к нулю минимум при  $\alpha=45^\circ$ .

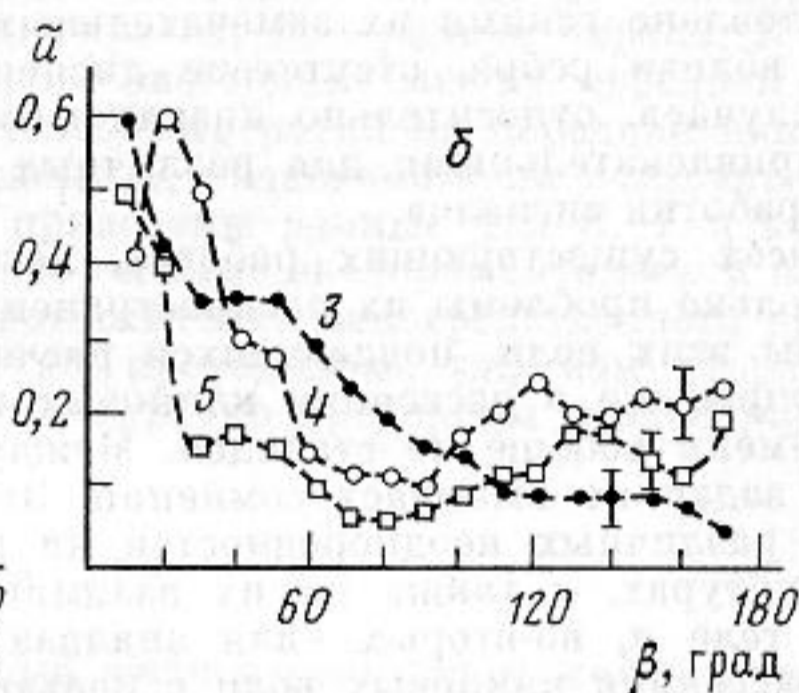
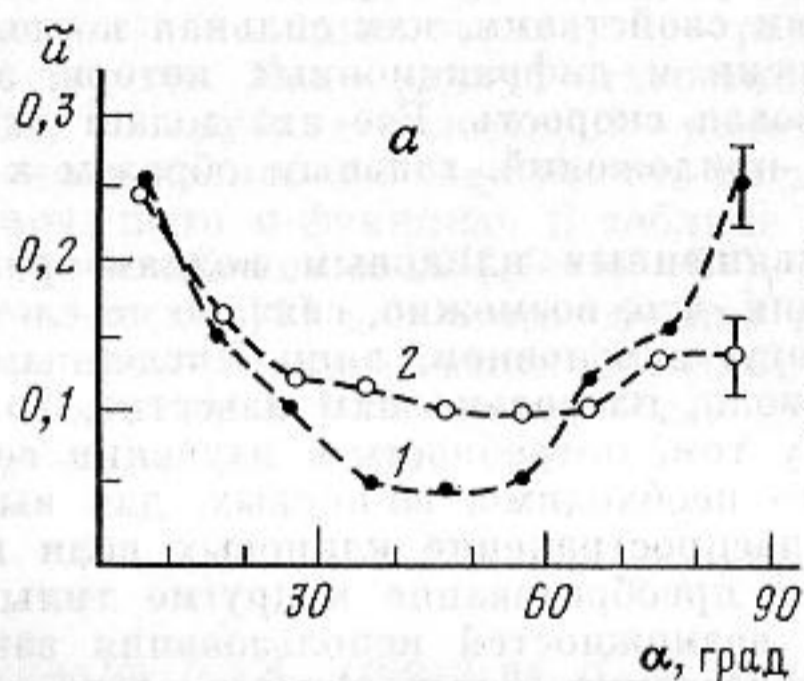
Далее исследовалось рассеяние на прямоугольной выемке с квазиплоским дном 3, которая формировалась механически в середине ребра (см. фиг. 1). Ширина выемки была равна 0,5 мм, а ее глубина  $h$  менялась от 0,2 до 2 мм с шагом 0,1–



Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 2

Фиг. 1. Исследуемый образец: 1 — излучатель клиновых волн, 2 — торец клина, 3 — выемка на ребре. Стрелками схематически показаны падающие и рассеянные волны

Фиг. 2. Угловые характеристики рассеяния антисимметричных клиновых волн в рэлеевские волны; а — рассеяние на торце: 1 — для торцевой грани, 2 — для боковой грани; б — рассеяние на выемке: 3 —  $h=0,20$ ; 4 —  $0,60$ ; 5 —  $1,0$  мм. Амплитудные значения отнесены к величине сигнала падающей клиновой волны

Фиг. 3. Зависимости модулей коэффициентов отражения 1 и прохождения 2 антисимметричной клиновой волны на выемке от параметра  $h/\lambda$

0,15 мм. Измерялись угловые характеристики рассеяния клиновых волн в поверхностные  $\tilde{u}(\beta)$  для каждого значения  $h$ , а также модули коэффициентов отражения  $R$  и прохождения  $T$ . Типичные зависимости  $\tilde{u}(\beta)$  приведены на фиг. 2, б (кривые 3–5). Значения  $R$  и  $T$  в функции от  $h/\lambda$ , где  $\lambda$  — длина клиновой волны ( $\lambda=1,32$  мм на частоте 2,1 МГц), изображены на фиг. 3. Не останавливаясь на подробном обсуждении приведенных данных, отметим лишь, что при малых  $h/\lambda$  имеет место линейная зависимость  $R$  от  $h/\lambda$ , как и в случае рассеяния рэлеевских волн. Если считать, что при этом также справедлива формула  $R=2C(h/\lambda)\sin(2\pi l/\lambda)$  (см. [6]), то из фиг. 3 можно определить константу  $C$ . Получающееся значение  $C=0,72$  представляет собой величину того же порядка, что и соответствующий коэффициент для рэлеевских волн в алюминии ( $C=0,31$ ). Таким образом, рассеяние клиновых волн в рассматриваемом случае как качественно, так и количественно весьма схоже с рассеянием волн Рэлея. Это опровергает распространенное мнение о чрезмерной чувствительности клиновых волн к дефектам изготовления.

Авторы надеются, что полученные в настоящей работе экспериментальные результаты по рассеянию клиновых акустических волн послужат стимулом для дальнейших исследований в этом направлении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lagasse P. E. Analysis of a dispersionfree guides for eleastic waves // Electronics Letters. 1972. V. 8. N 15. P. 372–373.
2. Maradudin A. A., Wallis R. F., Mills D. L., Ballard R. L. Vibrational edge modes in finite crystals // Phys. Rev. B. 1972. V. 6. N 4. P. 1106–1111.
3. Lagasse P. E., Mason I. M., Ash E. A. Acoustic surface waveguides — analysis and assessment // IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics. 1973. V. 20. N 2. P. 143–154.
4. McKenna J., Boyd G. A., Thurston R. N. Plate theory solution for guided flexural acoustic waves along the tip of a wedge // IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics. 1974. V. 21. N 3. P. 178–186.

5. *Datta S., Hunsinger B. J.* Analysis of line acoustic waves in general piezoelectric crystals // *Phys. Rev. B.* 1977. V. 16. N 10. P. 4224-4229.
6. Поверхностные акустические волны / Под ред. Олинера А. М.: Мир. 1981. 390 с.
7. *Гринченко В. Т., Мелешко В. В.* Свойства гармонических волн, распространяющихся вдоль ребра прямоугольного упругого клина // *Акуст. журн.* 1981. Т. 27. № 2. С. 206-212.
8. *Боженко В. В., Иванов-Шуц К. М., Случ М. И., Солодов И. Ю.* Экспериментальное исследование клиновых акустических волн // *Акуст. журн.* 1985. Т. 31. № 2. С. 262-264.
9. *Rajewski W., Szalewski M., Kielczynski P.* Wave propagation along an edge of a solid // *Archives of Acoustics.* 1986. V. 11. N 2. P. 151-162.
10. *Жарылканов С. Ж., Крылов В. В.* Рассеяние волн Рэлея на выемке произвольной глубины // *Акуст. журн.* 1987. Т. 33. № 5. С. 878-883.

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова, физический факультет

Поступила в редакцию  
21.IV.1988