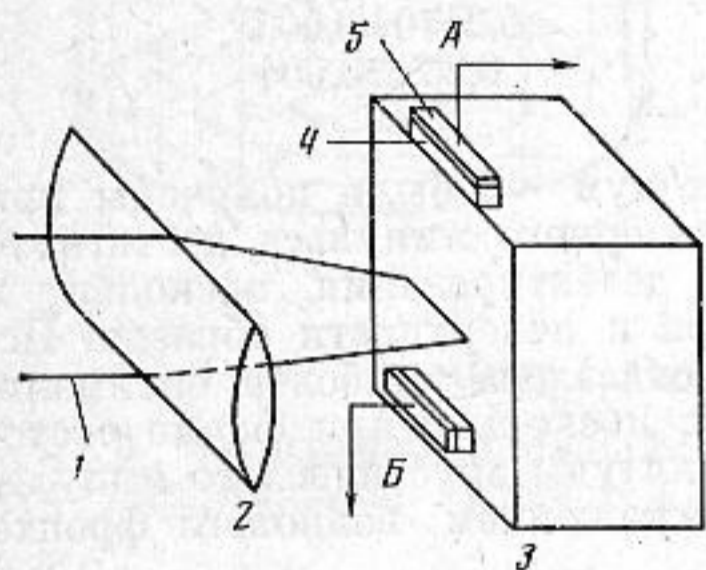


ГЕНЕРАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

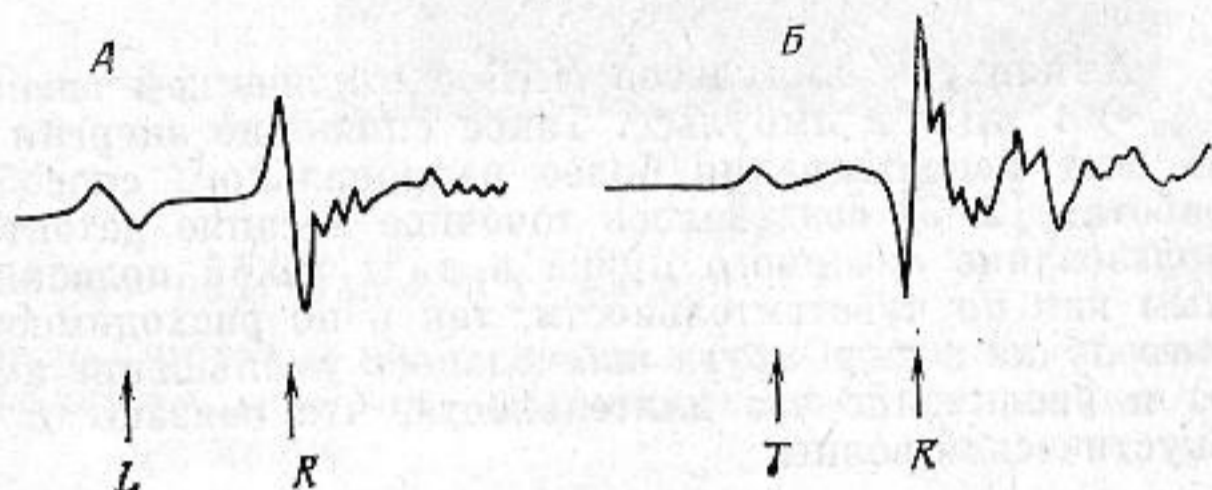
Голенищев-Кутузов А. В., Мигачев С. А., Яфаев Н. Р.

Несколько лет назад появились работы по генерации продольных, поперечных [1] и поверхностных акустических волн [2-4] в различных твердых телах с использованием коротких лазерных импульсов (10-100 нс) достаточно высокой энергии (≈ 10 мДж). При такой величине энергии в ряде случаев возникало необратимое повреждение поверхности образцов.

Целью данной работы была разработка методики генерации продольных, поперечных и поверхностных акустических волн при помощи одного источника лазерного излучения с меньшей энергией импульса ($\sim 0,1-1$ мДж) в различных твердых телах, поскольку именно такие импульсы не создают каких-либо повреждений на поверхности или в объеме.



Фиг. 1



Фиг. 2

Фиг. 1. Схема эксперимента. 1 — световой луч; 2 — линза; 3 — образец, 4 — пьезопреобразователь LiNbO_3 ; 5 — обкладка

Фиг. 2. R — рэлеевская волна, L — продольная волна; T — поперечная компонента приповерхностной волны

Одновременное использование продольных, поперечных и поверхностных волн позволяет определять упругие константы вещества и степень совершенства кристаллической структуры, особенно поверхностного слоя.

Генерация указанных типов волн создавалась лазером на алюмоитриевом гранате с неодимом на второй гармонике излучения $\lambda = 0,53$ мкм с длительностью импульсов 90 нс и периодом повторения до 5 кГц. Форма светового пучка выбиралась в виде полоски света с размерами $4 \times 0,1$ мм при помощи цилиндрической линзы с фокусным расстоянием ~ 40 мм. Такая форма пучка позволяла генерировать акустические волны всех трех типов с относительно плоским волновым фронтом (фиг. 1).

Детектирование акустических импульсов осуществлялось пьезопреобразователем в виде пластины ниобата лития z-среза с размерами $6 \times 1,3 \times 1,3$ мм. Далее электрический сигнал усиливался широкополосным усилителем с полосой 4 МГц и наблюдался на экране осциллографа.

Поскольку генерация продольных и поперечных волн не составляет больших затруднений и уже подробно описана в литературе, то основное внимание в статье обращено на генерацию и детектирование поверхностных акустических волн Рэля (ПАВ).

Исследовались непрозрачные для данной длины световой волны образцы (поликристаллический алюминий) и прозрачные (плавленый кварц и натриевосиликатное стекло $25\text{Na}_2\text{O} \times 75\text{SiO}_2$).

Было установлено, что возбуждение ПАВ с достаточной для детектирования интенсивностью может выполняться при падении светового пучка непосредственно на поверхность образца только при коэффициенте поглощения света поверхностью не менее 0,1. Этому условию соответствуют вещества с довольно шероховатой поверхностью, причем интенсивность акустического отклика определяется степенью совершенства поверхности в месте падения светового пучка. Так, при переходе от поверхности алюминия, обработанной абразивным порошком с размером зерен ~ 40 мкм, к поверхности, обработанной порошком с размером зерен ~ 10 мкм, интенсивность ПАВ снижалась в 1,5-2 раза. Для прозрачных тел генерация ПАВ была возможна только при образовании на поверхности поглощающего слоя, для чего на образец накладывалась полоска алюминиевой фольги толщиной 16 мкм.

Детектирование ПАВ производилось либо путем присоединения пьезопреобразователя к торцу образца (геометрия А фиг. 1), либо путем расположения на облучаемой светом поверхности (геометрия В). Поскольку контакт между преобразователем и поверхностью образца осуществляется с помощью смазки, то было возможным перемещение детектора по поверхности образца. В случае А одновременно детекти-

ровались импульсы продольной компоненты ПАВ и продольной объемной волны (фиг. 2, А), в случае В — поперечные компоненты ПАВ и компонента приповерхностной объемной волны (фиг. 2, Б). При одинаковых экспериментальных условиях фазовые скорости продольной и поперечной компонент ПАВ совпадают, а $A_t = 1,3 A_l$, что вполне соответствует представлениям о природе ПАВ [5] (A_l, A_t — амплитуды продольной и поперечной компонент). Значения фазовой скорости ПАВ, определенные из фиг. 2, соответствуют значениям, вычисленным с помощью приближенного выражения $v_R \{ (0,87 + 1,12v) / (1+v) \} v_l$ [5], где величины v_l непосредственно измерены при генерации поперечных волн лазерным импульсом, а v — коэффициент Пуассона. Значения фазовых скоростей v_l, v_t и v_R приведены ниже в таблице в единицах 10^4 м/с.

	Алюминий	Плавленный кварц	Стекло
v_l	$0,643 \pm 0,007$	$0,603 \pm 0,005$	$0,502 \pm 0,004$
v_t	$0,321 \pm 0,004$	$0,381 \pm 0,003$	$0,3170 \pm 0,005$
v_R	$0,3120 \pm 0,006$	$0,374 \pm 0,002$	$0,302 \pm 0,004$

Амплитуды импульсов ПАВ с отношением сигнал/шум ~ 3 были получены при $I_{\text{лаз}} \sim 0,1$ мДж в импульсе. Такое снижение энергии лазерного импульса достигнуто за счет использования более рационального способа детектирования, поскольку в работах [2, 3] создавалось точечное касание детектора к поверхности образца. Использование лазерного пучка в виде узкой полоски оказалось наиболее оптимальным как по чувствительности, так и по расходимости, поскольку при форме светового пучка в виде круга наблюдалось уменьшение амплитуды акустического импульса и увеличение его длительности, что связано с искажением волнового фронта акустической волны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лямов В. Е., Мадвалиев У., Шихлинская Р. Э. Фотоакустическая спектроскопия твердых тел. — Акуст. журн., 1979, т. 25, № 3, с. 427—433.
2. Ledbetter N. M., Moulder J. C. Laser-induced Rayleigh waves in aluminum. — IASA, 1979, v. 65, № 3, p. 840—842.
3. Aindow A. M., Dewhurst R. J., Palmer S. B. Laser-generation of directional surface acoustic wave pulses in metals. — Optics Commun, 1982, v. 42, № 2, p. 116—120.
4. Tam A. C., Coufal N. Photoacoustic generation and detection of 10-ns acoustic pulses in solids. — Appl. Phys. Lett., 1983, v. 42, № 1, p. 33—35.
5. Викторов И. А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. М.: Наука, 1966. 168 с.

Казанский физико-технический институт КФАН СССР

Поступило в редакцию
26.VII.1984

УДК 534.22

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКИХ ВОЛН В ЖИДКОСТИ

Грачев Б. Е., Козырев Л. Е., Семенова Н. Г.

В реальной (инерционной, вязкой, упругой) жидкости возможно возникновение механических волн как упругоинерционных (продольные волны сжатия — разрежения), так и вязкоинерционных и вязкоупругих. Возбуждение и распространение вязкоинерционных волн в жидкости вблизи плоской поверхности теоретически было исследовано в [1]. Генерируемые при этом вязкие волны суть поперечные, бегущие по нормали к направлению колебаний поверхности. Практически вязкие волны используются как инструмент для определения вязкоинерционных [2] и вязкоупругих [3, 4] свойств жидкости. Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию поля цилиндрических и плоских вязких волн.

Удобным методом исследования оказался метод визуализирующих частиц [5]. Для увеличения масштабов $\delta = (2\nu/\omega)^{1/2}$ наблюдаемого явления [1] следует выбрать жидкость с большой кинематической вязкостью ν и низкую частоту колебаний ω преобразователя. Так, для глицерина с $\nu = 6,8 \cdot 10^{-4}$ м²/с при частоте колебаний 1 Гц глубина проникновения δ плоской вязкой волны 1,5 см.

В настоящей работе вязкая волна исследуется вблизи длинного круглого цилиндра, совершающего вращательно-колебательное движение вокруг своей оси. В этом случае поле скоростей около цилиндра есть поле только вязкой волны.

Цилиндр 1 (фиг. 1) диаметром 3,6 см, погруженный в стеклянную ванну 2 с глицерином, приводится во вращательно-колебательное движение толкателем 3. С помощью системы подсветки 4 движение визуализирующих частиц (мелких пузырьков воздуха диаметром около 100 мкм) наблюдалось и фиксировалось фотокамерой 5 в плоскости (заштрихована на фиг. 1), перпендикулярной оси цилиндра и проходящей через его середину. Диапазон частот колебаний цилиндра $f = 0,1 \div 2$ Гц,