

ника к скорости звука. Легко показать, что эта тенденция сохраняется для более сложных акустических излучателей — мультиполей.

Отметим, что при $M < 1$, разлагая выражение энергии (7) в ряд по M , мы получим поправки к излучению неподвижного источника порядка M^4 , в то время как реакция излучения $F_z \sim M$. Последнее открывает возможность экспериментальной проверки теории путем измерения зависимости реакции излучения от скорости движения источника звука. При этом безусловно необходимо исключить влияние силы лобового сопротивления на результаты измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. И. Блохинцев. Акустика неоднородной движущейся среды, М.—Л., ГТТИ, 1946.
2. Л. А. Чернов. Поток и плотность акустической энергии в движущейся среде. Ж. техн. физ., 1946, 16, 733—736.
3. Л. А. Чернов. Теорема Кирхгофа в акустике движущейся среды. Тр. Комиссии по акустике АН СССР, 1950, 5, 10—22.
4. Е. А. Красильщикова. Крыло конечного размаха в сжимаемом потоке. М.—Л., ГТТИ, 1952.
5. Б. М. Болотовский. Теория эффекта Вавилова — Черенкова. Усп. физ. наук, 1957, 62, 201—246.
6. И. Снеддон. Преобразования Фурье. М., ИЛ, 1955.
7. В. П. Докучаев. К теории излучения звуковых волн при движении малых тел в газообразных средах. Ж. эксп. и теор. физ., 1962, 43, 595—604.
8. В. В. Тамойкин, С. Б. Бирагов. О реакции излучения звука при движении малых тел в неоднородных газообразных средах. Ж. эксп. и теор. физ., 1963, 44, 1544—1551.

Н.-и. радиофизический институт
при Горьковском государственном
университете

Поступило в редакцию
15 ноября 1963 г.

УДК 539.32:534.6

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ МЕТАЛЛОВ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ДО 3000°К

Б. А. Калугин, И. Г. Михайлов

В работе [1] нами был описан метод измерения модулей упругости твердых тел при высоких температурах, основанный на измерении скоростей распространения продольных и поперечных ультразвуковых волн в неравномерно нагретом образце, торцы которого охлаждаются до приемлемых температур, центральная же часть нагревается электрической трубчатой печью. Описанным методом удалось измерить модули упругости некоторых металлов до температуры $\sim 1300^\circ\text{K}$.

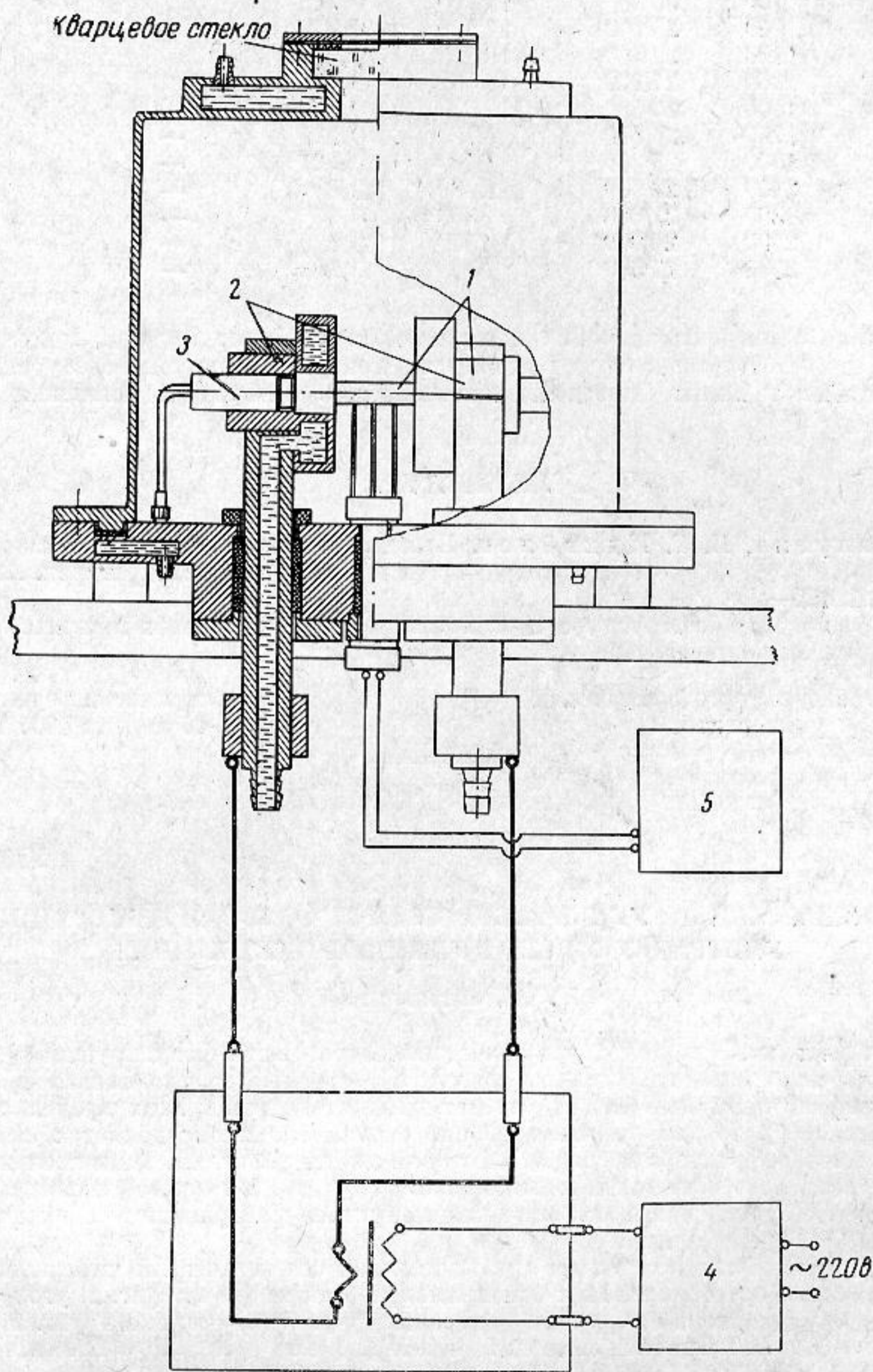
Известно, что при высокотемпературных испытаниях металлов и сплавов обычно стремятся получить равномерный нагрев испытуемого образца. Это условие делает почти невозможным применение ультразвуковых методов для изучения упругих свойств металлов при высоких температурах. Эту задачу, вообще говоря, можно было бы решить, применив длинные стержни с вклеенным между ними образцом. Вторые концы стержней необходимо охлаждать для того, чтобы пьезопреобразователи работали в нормальных температурных условиях. Однако в этом случае очень серьезной проблемой является подбор клея, способного выдерживать высокие температуры, сохраняя хороший акустический контакт.

Все эти технические проблемы отпадают при использовании неравномерно нагретого образца. Однако примененный нами ранее способ нагрева средней части образца трубчатой печью не позволяет исследовать свойства материалов при температурах свыше 1300°K .

Нам удалось значительно продвинуться в область более высоких температур, применив нагрев металлического образца непосредственно протекающим по нему электрическим током промышленной частоты.

Принципиальная схема установки показана на фигуре. Испытуемый образец 1 цилиндрической формы с утолщениями на концах укрепляется в разъемных зажимах, охлаждаемых водой 2. Эти зажимы служат токопроводами и одновременно арматурой для крепления пьезоэлектрических преобразователей 3.

Через образец 1 пропускается электрический ток от мощного низковольтного трансформатора. При этом центральная часть образца может быть быстро нагрета до высоких температур при постоянных, низких температурах концевых частей образца. Силу тока в образце, а следовательно, и его температуру можно плавно изменять с помощью однофазного регулятора напряжения типа РНО 250-10 4, включенного в первичную обмотку трансформатора. Мощность трансформатора



13 кВа, напряжение на вторичной обмотке 2—4 в. При токах порядка 6000—6500 А легко удается довести до плавления образцы из молибдена и вольфрама диаметром 12 мм и длиной 50 мм.

Измерение распределения температуры вдоль образца производилось проводочными термопарами 2 с автоматической записью их показаний на многоточечном электронном потенциометре типа ЭПП-09 5. Для измерения предельно высоких температур применялся оптический пирометр. Образцы вместе с арматурой и пьезокварцевыми преобразователями располагались в съемной вакуумной камере.

Специальные контрольные опыты показали, что уже при 10-минутной выдержке устанавливалась практически стабильная температура по длине образца.

$T^{\circ}K$	$E, \text{кгс/мм}^2$	$G, \text{кгс/мм}^2$	σ	$E, \text{кгс/мм}^2$ [2]
300	33 200	12 700	0,31	33 250
500	32 000	12 200	0,31	32 080
700	30 800	11 700	0,315	31 650
900	30 100	11 400	0,315	30 500
1100	28 550	10 820	0,318	29 000
1300	27 700	10 500	0,32	28 100
1500	26 500	10 000	0,32	27 000
1700	25 800	9750	0,325	—
1900	25 000	9400	0,327	—
2100	22 900	8600	0,33	—
2300	22 000	8250	0,33	—
2500	20 000	7500	0,335	—
2700	17 550	6550	0,34	—

В таблице приведены значения модуля нормальной упругости E , модуля сдвига G и коэффициент Пуассона σ для молибдена при различных температурах. В последнем столбце таблицы приведены имеющиеся в литературе значения модуля упругости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Калугин, И. Г. Михайлов. Новый ультразвуковой импульсный метод исследования упругих свойств твердых тел при высоких температурах. Акуст. ж., 1961, 7, 2, 195—200.
2. М. Г. Лозинский. Структура и свойства металлов и сплавов при высоких температурах. М., Машгиз, 1963.

Ленинградский государственный
университет

Поступило в редакцию
10 апреля 1965 г.

УДК 534.24

МАКСИМАЛЬНЫЕ УГЛЫ РАСКРЫТИЯ И ФАЗОВАЯ АБЕРРАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЛИНЗ

И. Н. Каневский

При расчете коэффициента усиления цилиндрической фокусирующей системы важно знать максимальный угол раскрытия α_m сходящегося волнового фронта [1]. Если для рефлекторов величина α_m может изменяться в широких пределах (теоретически — до 180°), то для рефракторов она ограничена и определяется свойствами материала линз рефрактора и среды, в которой линзы работают. Максимальный угол раскрытия волнового фронта, который можно получить для данной линзы в определенной среде, будем называть предельным углом раскрытия и обозначать его через α_n .

На фиг. 1 изображено сечение преломляющей эллиптической поверхности линзы Σ плоскостью, ортогональной к оси цилиндра. Как видно из фиг. 1, угол α достигает предельного значения α_n , когда центральный угол $\beta = \pi/2$. Из фиг. 1 следует, что $\cos \alpha_n = OF/DF$. Однако, согласно работе [2], $DF = R$, $OF = NR$ и, следовательно,

$$\alpha_n = \arccos N. \quad (1)$$

Таким образом, предельный угол раскрытия волнового фронта зависит только от показателя преломления N .

Следует отметить, что формулу (1) можно получить из результатов работы [2], положив в соответственной функции распределения значение $\cos \alpha - N = 0$. Однако в этом случае вывод величины предельного угла менее нагляден.

На фиг. 2 (кривая I) показана зависимость α_n от N , построенная по формуле (1). В таблице приведены предельные углы раскрытия α_n для четырех линз, работающих в воде и изготовленных из различных материалов. О величине α_{nk} , приведенной в последнем столбце таблицы, будет сказано в дальнейшем.

Как уже указывалось в работе [2], в связи с трудностью изготовления эллиптических линз в ряде случаев их целесообразно заменять линзами круговыми. При