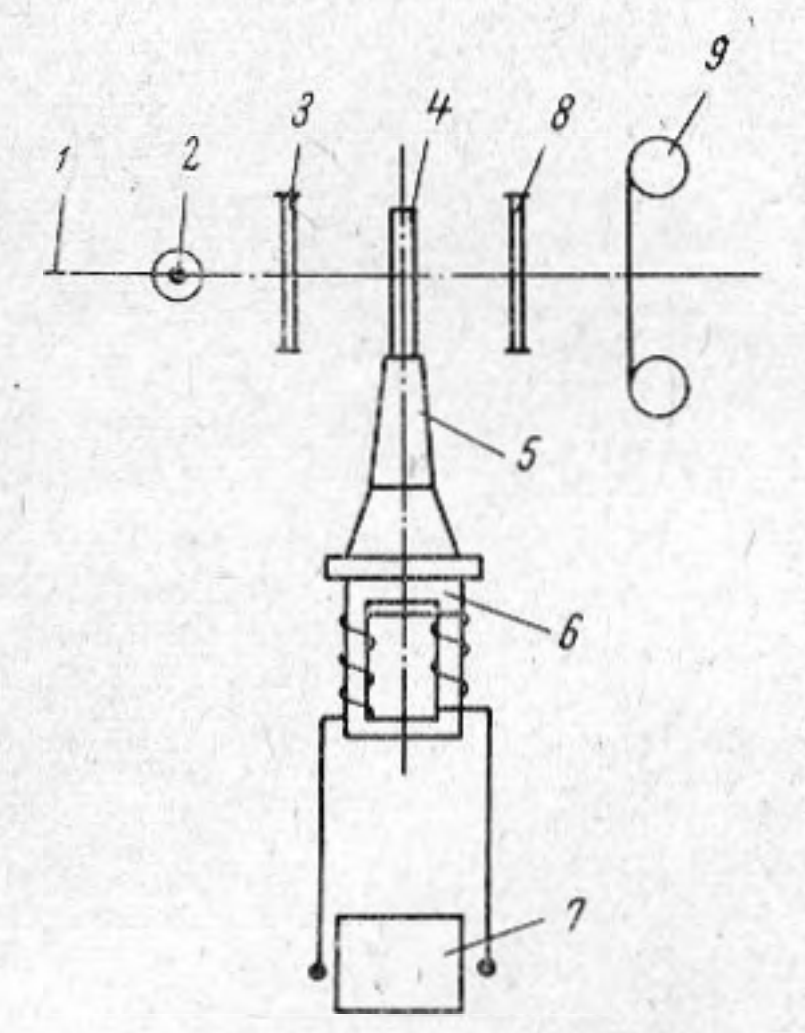
УДК 534.29

ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД В ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКА НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Е. Г. Коновалов, М. Д. Тявловский

В последнее время ультразвук начинает широко применяться как средство высокочастотного циклического нагружения в исследовании прочностных и пластических свойств материалов. Однако все разнообразие работ, посвященных указанной проблеме, проводится в основном на оптически нечувствительных материалах, без привлечения столь показательного как в качественном, так и в количественном отношении поляризационно-оптического метода исследований. Применение этого метода позволяет моделировать характер воздействия ультразвуковых колебаний и вызываемых ими циклических напряжений на напряженное состояние оптически-нечувствительных материалов и металлов, в частности. Такое моделирование обеспечивает более полное изучение характера воздействия упругих колебаний на свойства твердого тела.

Мы исследовали изменение напряженного состояния оптически-чувствительного материала (полистирола) в процессе воздействия на него ультразвуковых колебаний. С целью получения четкой картины изменения полос интерференции, независимой от скорости звука, исследования проводились в режиме стоячей волны. Для постановки экспериментов использовалась установка, принципиальная схема которой изображена на фиг. 1. Установка включает две основные части: поляриоскоп и акустическую систему. Поляриоскоп состоит из оптической скамьи *1*, на которой посредством рейтеров жестко укреплены источник света *2*, поляризатор *3*, анализатор *8* и кинокамера *9*. Источником механических колебаний ультразвуковой частоты является магнитострикционный преобразователь ПМС-7М6, возбуждаемый от ультразвукового генератора УЗГ-2,5 *7*. Исследуемый образец *4* присоединялся к преобразователю *6* посредством полуволнового акустического трансформатора скорости (концентратора) *5*. Акустическая система «образец — концентратор — магнитострикторе» настраивалась в резонанс и работала в режиме стоячей волны. По отношению к поляриоскопу акустическая система располагалась так, что ее ось перпендикулярно пересекала оптическую ось поляриоскопа. Образец при этом находился в рабочем поле поляриоскопа.



Фиг. 1

В качестве источника света использовалась ртутно-кварцевая лампа ДРШ-250, дающая практически монохроматический свет, так как видимое излучение такой лампы сосредоточивается в двух линиях: зеленой — 5461 Å и фиолетовой — 4358 Å. Регистрация изменения картины полос, происходящего под воздействием ультразвука, производилась кинокамерой «Контакс» с частотой 24 *кадр/сек*.

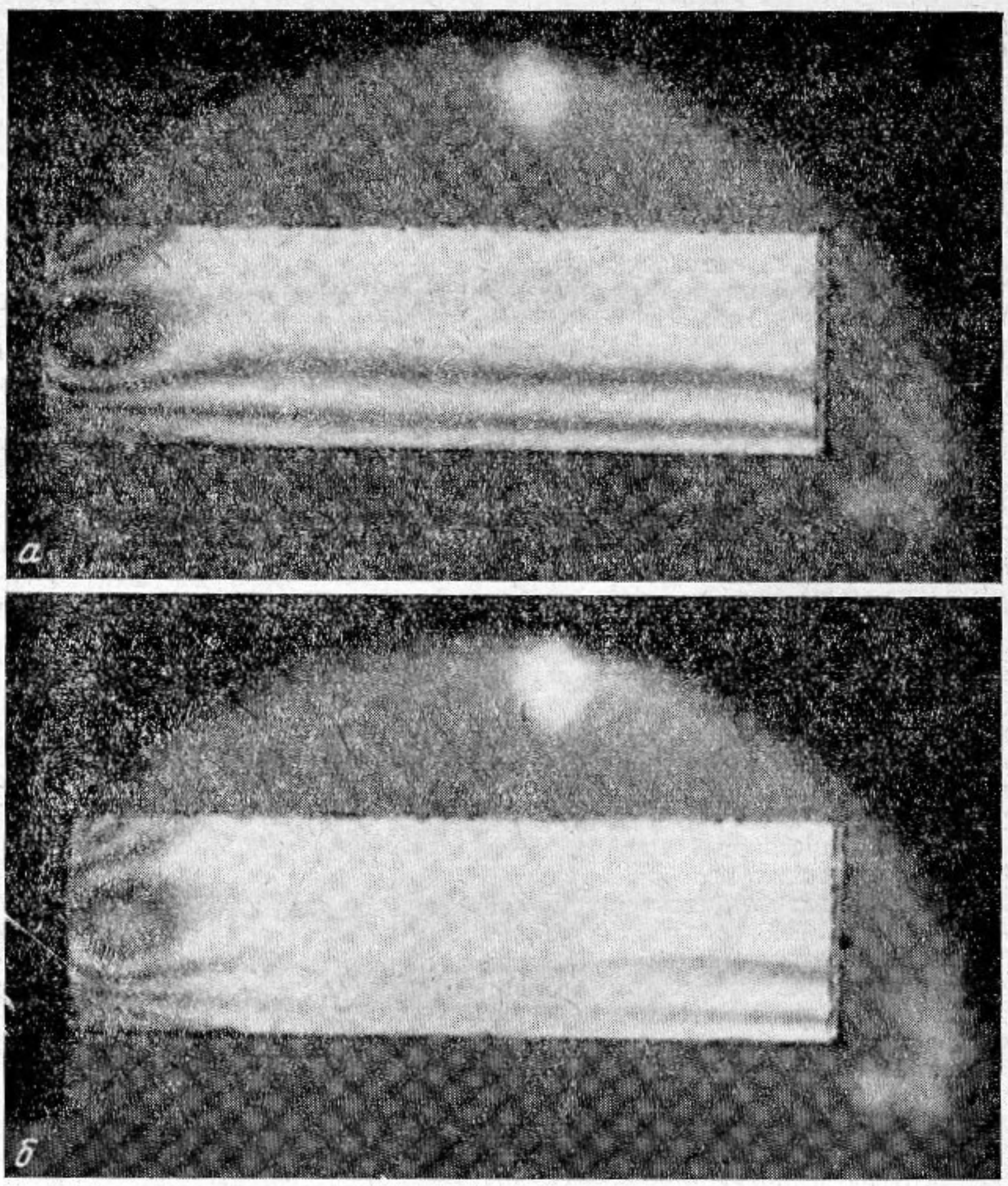
Для исследований были взяты листовой блочный и эмульсионный полистиролы, из которых были вырезаны образцы прямоугольного сечения размером 14 × 14 *мм*. Длина образцов равнялась длине полуволны звука в полистироле.

Для возможности моделирования эффекта воздействия циклического нагружения ультразвуковой частоты на металлы, использовался эмульсионный полистирол, имеющий «зернистое» строение, подобное строению металлов. В образцах из блочного полистирола заранее были созданы внутренние остаточные напряжения первого рода. В «зернах» образцов из эмульсионного полистирола в исходном состоянии также имелись внутренние остаточные напряжения второго рода, что видно из фигур 2, *а* и 3, *а*.

Жесткое соединения образцов с концентратором осуществлялось посредством резьбового наконечника. В процессе испытаний образцы подвергались действию ультразвуковых колебаний частотой 20 *кгц*, амплитуда которых была равной 0,025 *мм*. Максимальные циклические напряжения в полистироле, вызываемые этими колебаниями, определялись по известной формуле

$$\sigma_{из\,max} = -\frac{4\pi \cdot f}{c} \cdot A \cdot E,$$

где c — скорость звука, f — частота колебаний, A — амплитуда смещения, E — модуль продольной упругости.



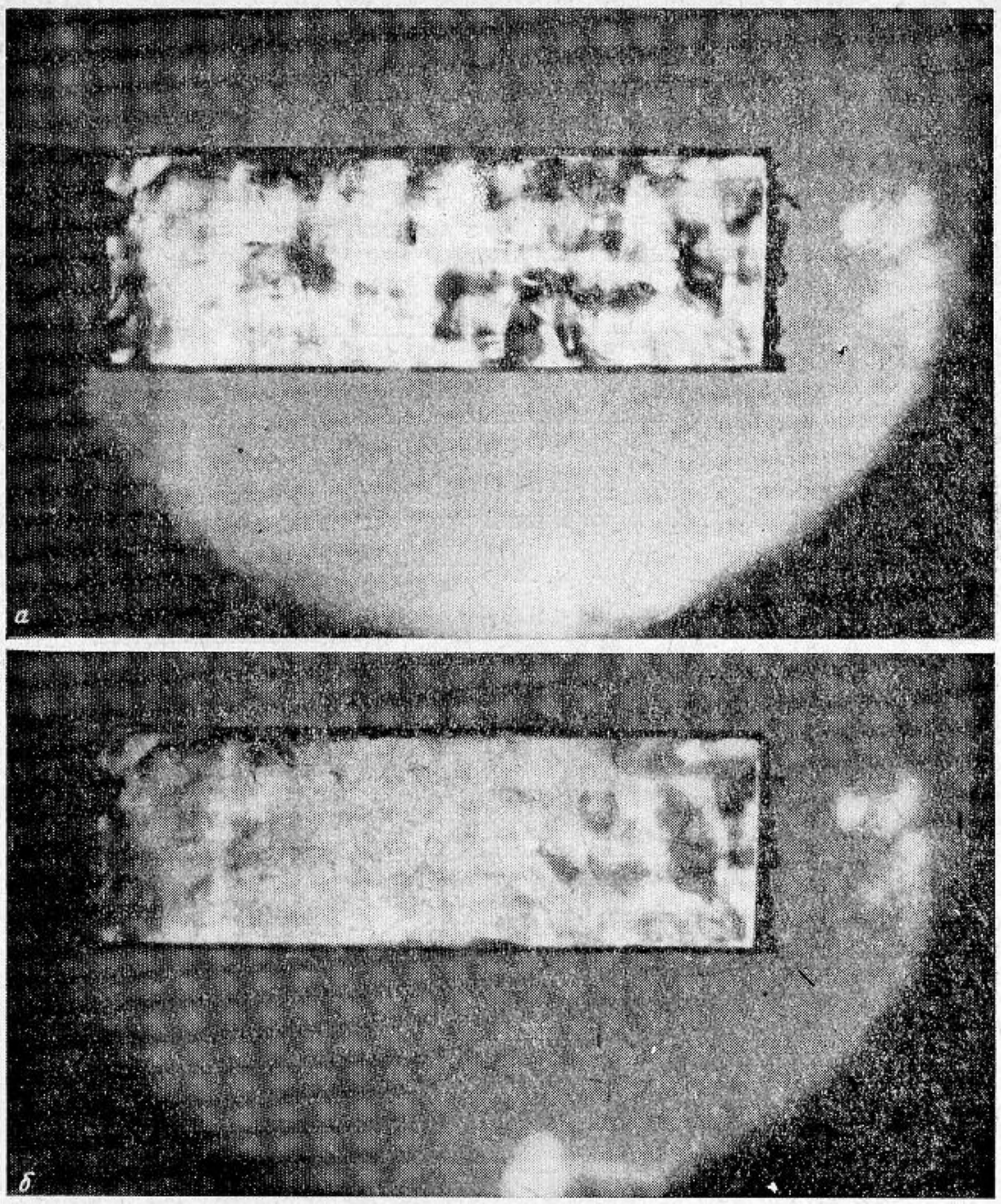
Фиг. 2

На фиг. 2, *а* приведена картина полос в образце из блочного полистирола в его исходном до озвучивания состоянии. С левой стороны образца видны напряжения, появившиеся в результате затяжки резьбы образца в концентраторе. Вдоль длины образца отчетливо видны напряжения, соответствующие полосам второго порядка.

На фиг. 2, *б* и 3, *б* представлены картины полос, наблюдавшиеся в образцах в процессе воздействия на них ультразвуковых колебаний. Так, на фиг. 2, *б* представлена картина полос после наложения $2 \cdot 10^4$ циклов нагружения, что соответствует 1 *сек* озвучивания. В средине образца, где циклические напряжения, создаваемые ультразвуковыми колебаниями, соответствуют максимуму, внутренние напряжения исчезли. Далее, по длине образца, от его средины вправо и влево, по мере ослабления циклических напряжений, отмечается уменьшение их воздействия на снятие внутренних исходных напряжений. Наконец, по концам образца, где циклические напряжения равны нулю, внутренние исходные напряжения сохранили свою величину. Это отчетливо видно на правом (свободном) конце образца, где отсутствуют дополнительные напряжения, подобные тем, которые возникли на левом конце в результате затяжки резьбы в концентраторе.

На фиг. 3 приведены фотографии изменения картины полос внутри «зерен» образца из эмульсионного полистирола. Если в исходном (до озвучивания) состоянии «зерна» полистирола были в напряженном состоянии (фиг. 3, *а*), то после наложения $2 \cdot 10^4$ циклов нагружения и в «зернах» наблюдается снятие внутренних напряжений (фиг. 3, *б*).

Как и в предыдущем случае, это снятие напряжений наиболее ярко выражено на средине длины образца (где существует пучность напряжений) и постепенно убывает к его краям.



Фиг. 3

Из приведенных фотографий отчетливо видна качественная картина действия ультразвуковых колебаний на напряженное состояние материала. Но поскольку картина полос зависит от оптической чувствительности материала, то протарировав образцы из исследуемого материала и располагая хорошо отработанной и известной методикой, изложенной, например, в работах [1—3], можно легко определить и количественную картину действия ультразвуковых колебаний на напряженное состояние материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Фрохт. Фотоупругость, т. 1. М.— Л., ГТТИ, 1948.
2. М. М. Фрохт. Фотоупругость, т. 2, М.— Л., ГТТИ, 1950.
3. Л. Фёппл, Э. Мёнх. Практика оптического моделирования. «Наука», Сиб. отд., Новосибирск, 1966.

Физико-технический институт
АН БелорусССР

Поступило в редакцию
3 февраля 1967 г.