

УДК 678.01:53

О ВЛИЯНИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПЛЕНКИ ПОЛИМЕРОВ

В. Т. Фаерман, Г. В. Горячко, Г. Л. Слонимский

В связи с широким применением ультразвука в производстве полимерных изделий представляло интерес более подробно изучить влияние ультразвуковых воздействий на физические свойства полимеров и прежде всего на их механические свойства [1, 2], чему и посвящена настоящая работа.

Объекты и методика эксперимента

Объектами исследования были пленки из аморфных и кристаллических полимеров. Аморфные пленки получали из 22%-ного раствора поливинилхлорида в диметилформамиде путем испарения при 100° (толщина 60 μ); кристаллические пленки полистирина получали из расплава (температура прессования — 140°, давление — 150 kG/cm^2 , толщина — 40 μ). Этим же путем получали кристаллические пленки из изотактического полипропилена с различными надмолекулярными структурами: 1) крупносферолитная (температура прессования — 170°, давление — 150 kG/cm^2 , скорость охлаждения расплава — 3 град/мин, толщина — 75 μ); 2) резко неоднородная, характеризующаяся чередованием по четко выраженным границам областей с очень мелкой кристаллической структурой и с отчетливо различными сферолитами (температура прессования — 170°, резкое охлаждение расплава, толщина пленок — 95 μ). Следует отметить, что как мелкокристаллические, так и сферолитные области имеют самую разнообразную форму и размеры; 3) мелкокристаллическая структура (температура прессования — 150°, скорость охлаждения — 3 град/мин, толщина пленки — 75 μ).*

Облучение пленок ультразвуком производили на установке, показанной на рис. 1. Пленку 1 для испытания наклеивали по краям стеклянной пластинки 2, которую закрепляли в держателе 3. Держатель помещали в сосуд 4 с дистиллированной водой. Ультразвуковые колебания частотой 22 кгц фокусировали на пленку при помощи экспоненциального концентратора 5. Согласующую пластину 6 располагали от поверхности пленки на расстоянии 10 мм. Интенсивность колебаний в центре пучка достигала 18 et/cm^2 . В процессе облучения пленки вели наблюдение за состоянием ее поверхности.

Пленки подвергали ультразвуковому воздействию до появления на них разрушений, видимых невооруженным глазом. Продолжительность облучения для аморфных пленок составила 30 мин, для кристаллических — 10 мин. Поскольку интенсивность ультразвуковых колебаний была максимальной в центре пленки и

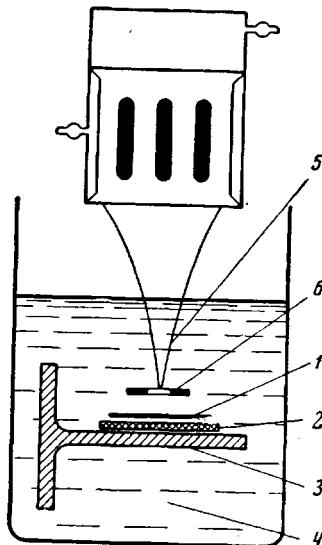


Рис. 1. Схема установки для облучения ультразвуком пленок полимера

* Помощь в получении пленок была оказана Ю. О. Глазковским (ВНИИСВ).

уменьшалась к ее краям, то на одной пленке при данном времени облучения можно было наблюдать последовательные этапы ее разрушения.

Изучение структурных изменений в пленках после их облучения в ультразвуковом поле проводили на поляризационном микроскопе МП-7 в проходящем обычном и поляризованном свете.

Результаты исследований

Повреждение аморфной поливинилхлоридной пленки в ультразвуковом поле начинается с появления трещин, расположенных в одном направлении (рис. 2, *a*). Затем происходит рост трещин в произвольных направлениях с образованием сетки (рис. 2, *б*, *в*) и прорастание трещин в глубь полимера (рис. 2, *г*). Разрушение завершается откалыванием частиц полимера по трещинам с образованием отверстия в пленке (рис. 2, *д*).

Прорастание сетки трещин под действием ультразвука наблюдалось в полиэтиленовой, а также в полипропиленовой пленках, не имеющих крупных кристаллических образований, например сферолитов (рис. 3). Таким образом, аморфные и кристаллические пленки с мелкими элементами структуры разрушаются в ультразвуковом поле с образованием одиночных трещин, прорастающих в произвольных направлениях и образующих сетку.

Ультразвуковое воздействие на полипропиленовые пленки, имеющие крупносферолитную структуру, приводит к образованию и развитию трещин по границам сферолитов (рис. 4, *а* и *б*). Прорастание трещин в глубь пленки способствует откалыванию частиц по границам сферолитов с образованием отверстий. Облучение ультразвуком полипропиленовых пленок, имеющих резко неоднородную кристаллическую структуру, вызывает разрушение только сферолитных областей по четко выраженным границам (рис. 5, *а* и *б*). Неодинаковый эффект ультразвукового воздействия объясняется тем, что более устойчивыми к ультразвуку являются области с мелкой кристаллической структурой, поскольку в них перенапряженной оказывается меньшая часть сечения, чем в крупнозернистых (сферолитных) областях [3].

Появление трещин в полимерной пленке под действием ультразвука вызвано перенапряжением отдельных участков. Перенапряжения в пленке могут возникнуть либо в результате периодических сжатий и растяжений полимерного материала в момент прохождения через него ультразвуковой волны, либо в результате кавитационных явлений. Против первого предположения говорит тот факт, что длина ультразвуковой волны значительно превышает не только размеры структурных элементов кристаллических пленок, но и саму толщину пленок. По-видимому, напряжения в полимерных пленках, подвергнутых облучению ультразвуком в жидкой среде, обусловлены кавитационными явлениями, которые в условиях нашего эксперимента имеют место и получили достаточное развитие. В связи с этим можно дать следующее объяснение процессу разрушения полимерных пленок в ультразвуковом поле. В исходной, например, полипропиленовой пленке с крупносферолитной структурой четко наблюдаются границы между сферолитами. Эти границы уже сами по себе являются дефектными местами, где, как мы полагаем, могут локализоваться зародыши кавитационных пузырьков. Во время прохождения ультразвуковых волн в жидкости развиваются процессы кавитации [4]. Зародыши, расположенные на границах сферолитов, развиваются в кавитационные пузырьки и захлопываются в момент фазы сжатия волны. Такое захлопывание пузырьков приводит к возникновению ударной волны, являющейся причиной перенапряжения (на границе сферолитов) и приводящей к развитию трещины на границе сферолитов.

Интересно отметить, что деформация растяжения пленок гуттаперчи [5], имеющих крупносферолитную структуру, приводит к изменению размеров сферолитов и разрушению их с образованием волокнистых струк-

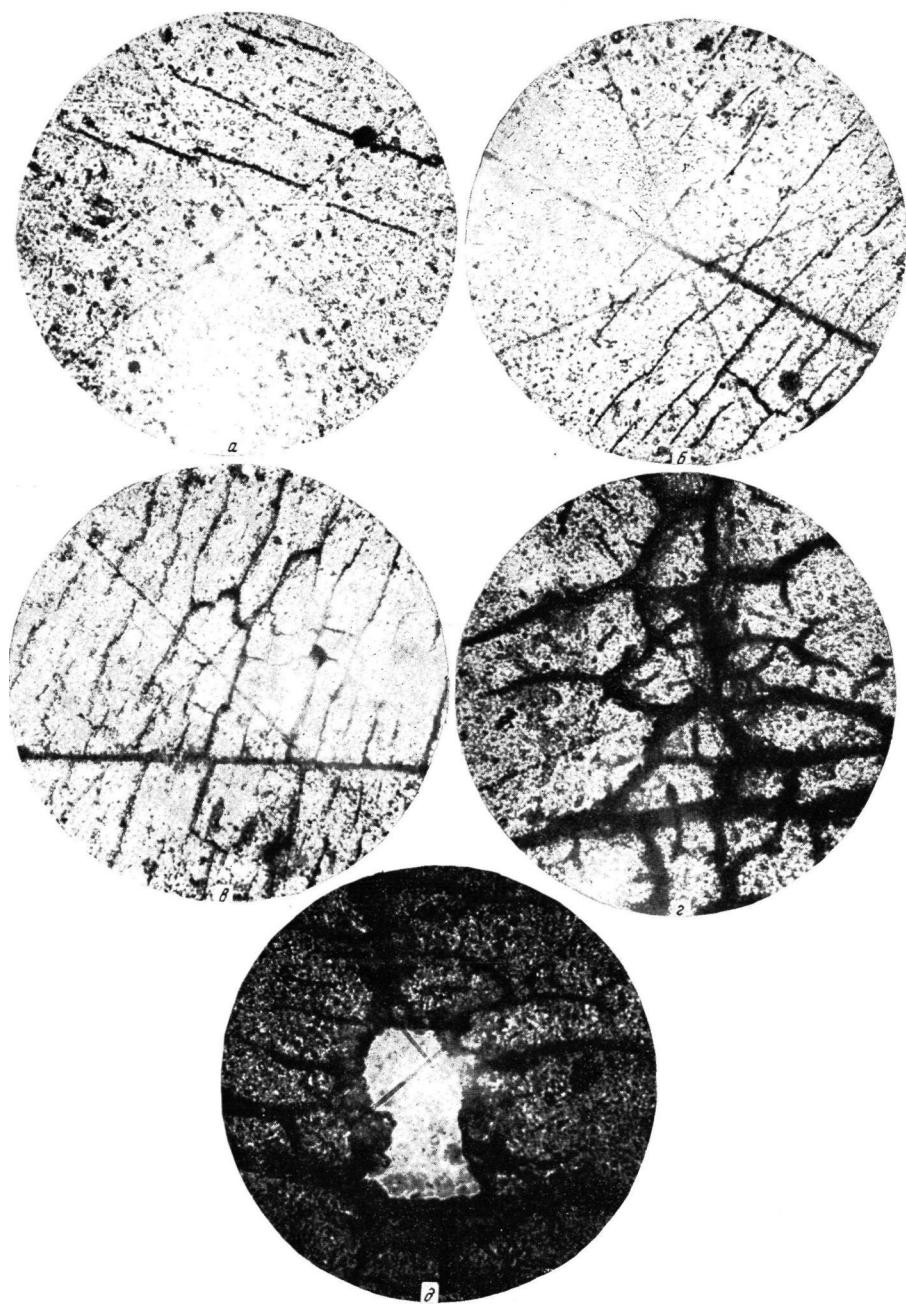


Рис. 2. Микрофотография пленок ПВХ, облученных ультразвуком:
 $a - \partial$ — этапы прорастания сетки трещин и образования отверстия

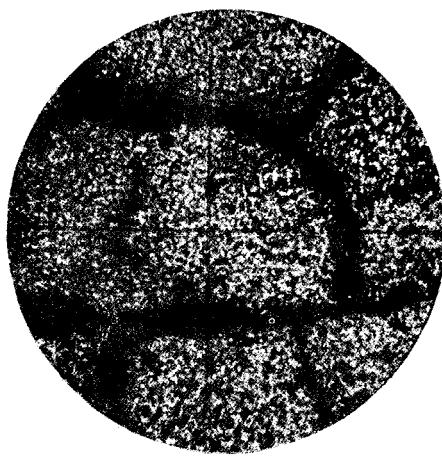


Рис. 3. Микрофотография мелкокристаллической полипропиленовой пленки, облученной ультразвуком

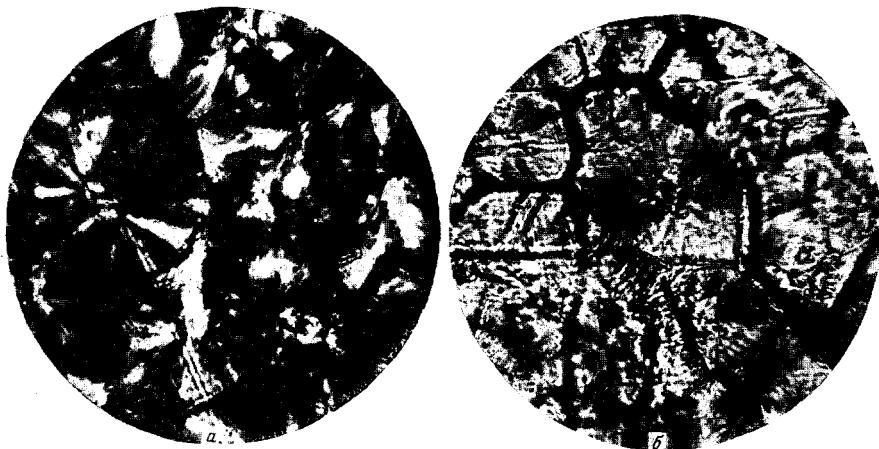


Рис. 4. Микрофотография крупносферолитной полипропиленовой пленки, облученной ультразвуком:
а — снимок в поляризованном свете ($\times 750$); б — снимок в неполяризованном свете ($\times 1020$)

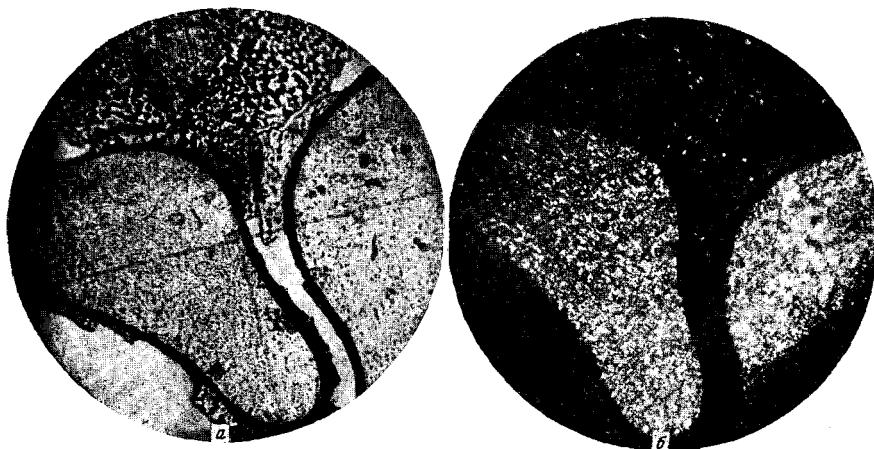


Рис. 5. Микрофотография полипропиленовой пленки с неоднородной кристаллической структурой после облучения ультразвуком:
а — снимок в неполяризованном свете; б — снимок в поляризованном свете ($\times 100$)

тур. При этом четкая граница между сферолитами исчезает. Ультразвуковое воздействие приводит к развитию трещин по границам сферолитов без изменения их размеров, причем сами сферолиты не разрушаются.

В случае аморфных пленок и кристаллических пленок с мелкими структурными элементами зародыши кавитационных пузырьков распределены беспорядочно по всей пленке и не локализуются в определенных местах. Это приводит, вероятно, к тому, что при захлопывании пузырьков ударные волны способствуют возникновению трещин, прорастающих в произвольных направлениях.

Для доказательства кавитационной природы разрушения полимерных пленок был проделан следующий опыт. Полимерную пленку непосредственно приклеивали к согласующей

пластине 6 (рис. 1). Таким образом была удалена жидкая среда (дистиллированная вода), в которой развивались кавитационные процессы. В этом случае ультразвуковые колебания передавались полимерной пленке не через жидкую среду, а непосредственно. Микроскопия пленок, облученных ультразвуком новым способом, показала, что при этом не наблюдается разрушений, характерных для облучения пленок в жидкой среде.

С целью изучения роли надмолекулярной структуры в процессе ультразвукового облучения полимеров полипропиленовые пленки различных структур облучали различное время — 2, 5, 10 мин., а затем их испытывали на разрывную прочность. Образцы в виде полосок шириной 3 мм и длиной рабочей части 10 мм подвергали растяжению до разрыва на электромагнитном динамометре с оптической фиксацией удлинения [6]. На рис. 6 представлены результаты испытаний. Приведенный график подтверждает возможность получения из одного и того же кристаллического полимера пленок с различными механическими свойствами. Здесь же видна зависимость исходной прочности полипропиленовых пленок от их надмолекулярной структуры. Пленки с мелкими элементами структуры оказались более прочными, но наименее устойчивыми к ультразвуковым воздействиям (кривая 1). Пленки с более крупными сферолитами (кривая 2) и с неоднородными по размерам сферолитами (кривая 3) оказались менее прочными, но относительно более устойчивыми к ультразвуковым колебаниям.

Таким образом, наименее устойчивы к ультразвуковым воздействиям полимерные пленки, в которых при облучении образуются сетки трещин, прорастающих в произвольных направлениях.

Выводы

1. Изучено влияние ультразвуковых воздействий на аморфные и кристаллические пленки полимеров.
2. Разрушение аморфных пленок поливинилхлорида и кристаллических пленок с мелкими элементами структур в ультразвуковом поле обусловлено образованием и развитием сетки трещин, прорастающих в произвольных направлениях.

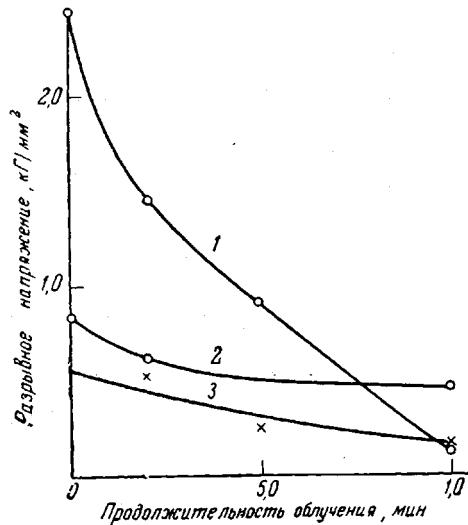


Рис. 6. Изменение прочности полипропиленовых пленок различных структур под действием ультразвука:

1 — мелкокристаллическая; 2 — крупносферолитная; 3 — неоднородная кристаллическая

3. Разрушение кристаллических пленок полипропилена, имеющих сферолитную структуру, происходит за счет развития трещин по границам сферолитов.

4. Подтверждена возможность получения из одного и того же кристаллического полимера пленок с различными механическими свойствами.

5. Процесс разрушения кристаллических полимеров в ультразвуковом поле регулируется размерами элементов надмолекулярных структур и, вероятно, зависит также от внутреннего строения этих элементов.

Научно-исследовательский институт
текстильной промышленности

Поступила в редакцию
3 VIII 1964

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Т. Фаерман, Химич. волокна, 1962, № 3, 53.
2. В. Т. Фаерман, Химич. волокна, 1963, № 5, 59.
3. А. П. Александров, Вестн. АН СССР, 1944, № 7/8, 51.
4. М. Г. Сиротюк, Акуст. ж., 8, 255, 1962.
5. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Л. И. Надарейшили, Высокомолек. соед., 6, 169, 1964.
6. В. Т. Фаерман, Авт. свид. 133252; Бюлл. изобр., № 21, ЦБТИ, М., 1960.

EFFECT OF ULTRASONIC WAVES ON POLYMER FILMS

V. T. Faerman, G. V. Goryachko, G. L. Slonimskii

Summary

The effect of ultrasonic waves on amorphous and crystalline polymer films has been investigated. It has been shown that breakdown in the ultrasonics field of amorphous PVC films and of crystalline films with tacky structural elements is due to the formation and development of a network of cracks, spreading out in all directions. The breakdown of crystalline spherulitic polypropylene films occurs by development of cracks along the spherulite boundaries. The possibility of preparing films with varying mechanical properties from the same crystalline polymer has been confirmed. The breakdown of crystalline polymers in an ultrasonic field is controlled by the dimensions of the supermolecular structure elements and probably depends also on the internal structure of these elements.