

ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ

Том (A) XIV

СОЕДИНЕНИЯ

1972

№ 2

УДК 541.64 : 620.19

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Н. М. Дворецкая, Р. И. Димитров, О. Н. Михайленко,
В. Е. Гуль*

Разрушение индивидуальных и комбинированных материалов с постоянной скоростью деформации было исследовано методом киносъемки в поляризованном свете, разработанным применительно к процессам разрушения полимеров в работах [1, 2]. В данной работе проведено сравнительное изучение скорости роста надрыва в комбинированных и индивидуальных пленочных материалах и дана качественная оценка напряжений и деформаций в области разрушения при деформировании указанных материалов.

В качестве комбинированных материалов использовали системы, составленные из двух пленок промышленного целлофана и цеплопана, полученного в лабораторных условиях и названного условно «вискозой», соединенных через слой высокоэластичного связующего. В качестве связующего были использованы сополимеры СВН-80 с добавками эпоксидной смолы и канифоли и СКН-40. Выбор данных комбинированных материалов описан в [3, 4] и связан с тем, что для них по результатам [3, 4] было обнаружено разное упрочнение. Поэтому изучение процесса разрушения материалов, имеющих разное упрочнение как в зависимости от типа связующего, так и от условий деформирования, представляло определенный интерес для выяснения причин наблюдаемого упрочнения.

Для получения поляризованного света в качестве поляризатора использовали герапитовый поляроид диаметром 30 см, в качестве источника света — электрическую лампу мощностью 400 вт. Анализатором служил светофильтр от фотокамеры «Киев». Разрушение индивидуальных и комбинированных материалов при одноосном растяжении с постоянной скоростью деформации (1, 50, 100 мм/мин) осуществляли на разрывной машине. В процессе деформирования поляризованный свет попадал сначала на образец, а затем через анализатор в объектив кинокамеры. При отсутствии деформации в изотропной по механическим и оптическим свойствам вискозной пленке поле скрещенных анализатора и поляризатора было темным. В зависимости от условий деформирования образца поле светлело и появлялись характерные интерференционные полосы распределения напряжений. По изменению окраски вблизи области разрушения качественно можно судить об изменении величины двулучепреломления [5]. Для анизотропной пленки промышленного целлофана поле скрещенных анализатора и поляризатора не было темным. Поэтому расшифровка интерференционной картины распределения напряжений и деформаций в процессе разрушения была условной. Киносъемку осуществляли кинокамерами «Арифлекс» и «Конвас» при скорости движения кинопленки 50 кадров/сек. При этом рост надрыва фиксировали на 5—20 и более кадрах в зависимости от скорости деформирования. При скорости деформирования 1 мм/мин процесс разрушения индивидуальных и комбинированных материалов фиксировали кинокамерой с момента появления трещины. Одновременно с киносъемкой процесса разрушения индивидуальных и комбинированных материалов производили запись на кинопленку магнитоэлектрического осциллографа кривой растяжения. Результаты физико-механических исследований при разрушении, полученные при киносъемке и без нее, суммировали и обрабатывали статистически.

В проведенных ранее исследованиях место начала разрушения фиксировали надрезом определенной глубины [6—9]. Нанесение даже самого малого дефекта в нашем случае меняло процесс разрушения и характеристики прочности при разрушении комбинированных материалов настолько, что вместо упрочнения наблюдали даже некоторое понижение прочности по сравнению с индивидуальной пленкой. В связи с этим в дальнейшем образцы индивидуальных и комбинированных материалов ис-

пользовали для киносъемки без предварительно нанесенного надреза. Последнее обстоятельство вносило определенную трудность в съемках такого жесткокепчного полимера, как целлофан. Поэтому съемки при скоростях деформации выше 500 $\text{мм}/\text{мин}$ не проводили. Всего было снято и расшифровано около 100 черно-белых и цветных кинофильмов. Показанный анализ черно-белых пленок производили с помощью микроскопа к кинокамере Pentazet-35. Дешифрирование цветных пленок осуществляли на диапроекторе марки ЛЭТИ-55.

Данные дешифрирования кинопленок позволили определить время разрыва $\tau_{\text{эфф}}$ по формуле

$$\tau_{\text{эфф}} = n \cdot \Delta t,$$

где n — число кадров, на которых зафиксирован разрыв; Δt — время между двумя соседними кадрами, сек. и общее время деформирования — $\tau_{\text{общ}}$. Для сравнения $\tau_{\text{общ}}$ определяли при расшифровке осциллограмм, так как момент включения съемки и

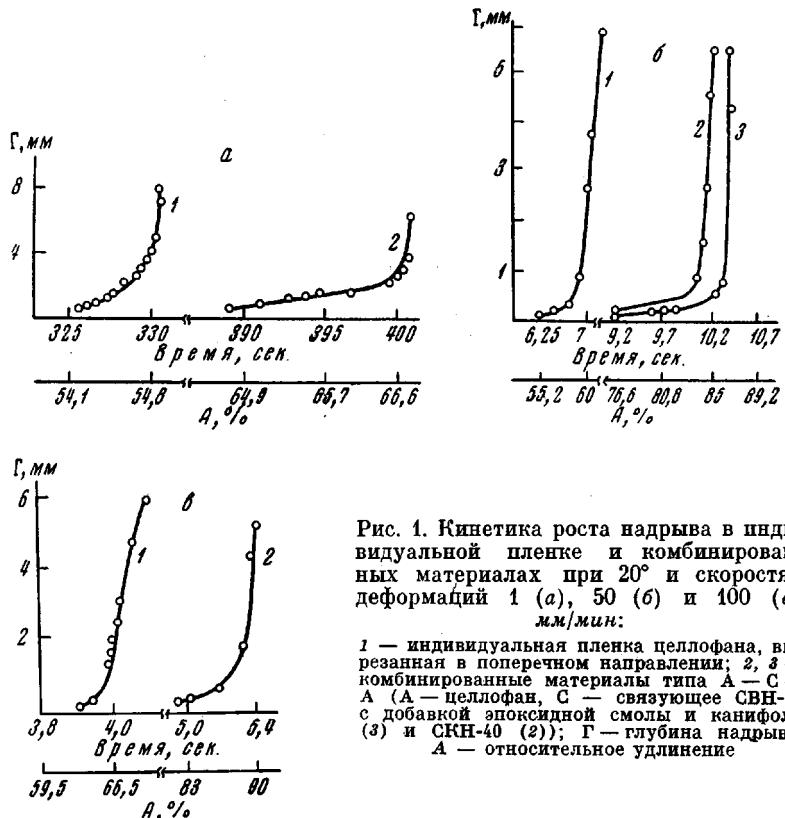


Рис. 1. Кинетика роста надрыва в индивидуальной пленке и комбинированных материалах при 20° и скоростях деформаций 1 (a), 50 (b) и 100 (c) $\text{мм}/\text{мин}$:

1 — индивидуальная пленка целлофана, вырезанная в поперечном направлении; 2, 3 — комбинированные материалы типа А—С—А (А — целлофан, С — связующее СВН-80 с добавкой эпоксидной смолы и канифоли (3) и СКН-40 (2)); Г — глубина надрыва, мм ; А — относительное удлинение

начало записи кривой растяжения синхронизировали. Определяли скорость роста надрыва в каждый момент времени (мгновенная скорость роста разрыва) по тангенсу угла наклона касательной, проведенной к кривой в координатах длина надрыва — время. Для сравнения кинетики роста надрыва в индивидуальных и комбинированных материалах определяли среднюю скорость роста надрыва $v_{\text{ср}}$. Относительную деформацию образца к данному времени роста надрыва определяли двумя путями: по данным дешифрирования кадров киносъемки и по расшифровке осциллограмм. Расхождение данных, определенных обоими способами, не превышало 5—7%.

На рис. 1 представлены экспериментальные данные по изучению кинетики роста единичных сквозных надрывов при одних и тех же условиях растяжения для комбинированных материалов типа А—С—А и индивидуальных пленок, входящих в их конструкцию. Общим в кинетике роста надрыва для комбинированных и индивидуальных материалов является, во-первых, то, что единичный сквозной надрыв появляется только на последних стадиях растяжения перед разрывом; во-вторых, развитие надрыва во времени при всех исследованных скоростях деформирования имеет одинаковый характер. Надрыв при своем росте проходит две стадии. Первая стадия характеризуется ростом надрыва с небольшим ускорением,

вторая — быстрым скачкообразным увеличением глубины надрыва. Специфичным в кинетике роста надрыва комбинированных материалов является то, что надрыв в них появляется при значительно больших напряжениях и деформациях, чем в индивидуальных пленках, входящих в их конструкцию. Характерно также, что первая стадия роста надрыва в комбинированных материалах продолжительнее, чем в индивидуальных пленках при одинаковых условиях испытания, а переход ко второй стадии происходит при значительно меньшей глубине надрыва. В таблице обобщены данные по изучению кинетики роста надрыва и характеристики прочности для исследованных материалов. Как следует из представленных данных, средняя скорость роста надрыва в комбинированных мате-

**Данные по изучению кинетики роста надрыва и характеристики прочности индивидуальных и комбинированных пленочных материалов
(Температура испытания — 20°)**

Наименование материала	$v_{\text{деф}}$, мм/мин	Характеристики прочности при разрушении				Результаты изучения кинетики надрыва				
		σ_y , кг/см ²	ε_p , %	$\Delta\varepsilon$, кг/см ²	$\Delta\varepsilon$, %	Купр	v_p , мм/сек	$\tau_{\text{эфф}}$, сек.	$t_{\text{общ}}$, сек.	$v_{\text{отн}}$
Индивидуальная пленка вискозы	1	1085	36	—	—	—	2,0	4,0	200,0	—
	50	1590	50	—	—	—	7,2	1,12	6,0	—
	100	1640	60	—	—	—	1,2	0,25	3,65	—
Комбинированный материал типа А — С — А, (А — вискоза, С — связующее СКН-40)	1	1340	50	255	14	23,5	0,8	10,0	300,0	0,60
	50	1800	65	210	15	16,5	3,8	0,78	7,8	0,48
	100	1830	75	190	15	12,0	9,1	0,27	4,82	0,24
Индивидуальная пленка целлофана	1	820	54	—	—	—	1,6	5,0	330,0	—
	50	1180	60	—	—	—	11,3	0,57	7,2	—
	100	1260	70	—	—	—	15,3	0,38	4,2	—
Комбинированный материал типа А — С — А, (А — целлофан, С — связующее СКН-40)	1	1130	70	310	16	37,5	0,6	12,0	403,0	0,62
	50	1440	85	260	25	24,0	5,5	1,0	10,2	0,50
	100	1460	90	200	20	16,0	12,5	0,44	5,4	0,20

риалах ниже средней скорости роста надрыва в индивидуальной пленке, входящей в конструкцию материала. При рассмотрении результатов, представленных в таблице и на рис. 1, следует еще один важный вывод: наибольшая продолжительность первой стадии, а следовательно и наименьшая средняя скорость роста надрыва, наблюдается при таких условиях растяжения комбинированных материалов, при которых реализуется наибольшее упрочнение. Это позволило ввести понятие относительного изменения скорости роста надрыва, а именно: $v_{\text{отн}} = (v_{\text{инд}} - v_{\text{мат}}) / v_{\text{инд}}$, где $v_{\text{инд}}$ — скорость роста надрыва в индивидуальной пленке, $v_{\text{мат}}$ — скорость роста надрыва в комбинированном материале. Обращает на себя внимание одинаковый характер изменения как коэффициента комбинационного упрочнения, так и относительного изменения средней скорости роста надрыва в зависимости от одного и того же фактора — скорости деформирования. Последнее приводит к предположению, что в основе упрочнения и замедленной кинетики роста надрыва лежит одно и то же явление. С этой точки зрения представляют интерес два опыта. Результаты первого опыта приведены на рис. 1, на котором представлена кинетика роста надрыва в материалах, имеющих разное упрочнение. Упрочнение материала, полученного на основе более высокомодульного связующего

(кривая 3) больше, чем для материала, полученного на основе тех же пленок, но менее высокомодульного связующего (кривая 2). Характерно, что и медленная стадия при росте надрыва в первом случае продолжительнее и более резко выражена, чем во втором. Связь между упрочнением и наличием медленной стадии роста дефекта подчеркивается и вторым опытом. Сбоку лезвием под микроскопом наносили дефект 1 мм на индивидуальную пленку и комбинированный материал. Оба образца деформировали при одинаковых условиях. Оказалось, что кинетика изменения

глубины дефекта в обоих материалах одинакова (рис. 2) и упрочнение комбинированного материала при данных условиях отсутствует.

В соответствии с [10, 11] для осуществления элементарного акта разрыва необходима определенная энергия для преодоления сопротивления связей, препятствующих разрушению, т. е. система должна преодолеть определенный энергетический барьер. Но, если в материале в процессе деформирования успевает произойти перераспределение перенапряжений, то накопление энергии для осуществления следующего элементарного акта произойдет, по-видимому, за более длительный промежуток времени. Реализация перераспределения перенапряжений в комбинированном материале приводит, во-первых, к тому, что надрыв в комбинированном материале появляется на более

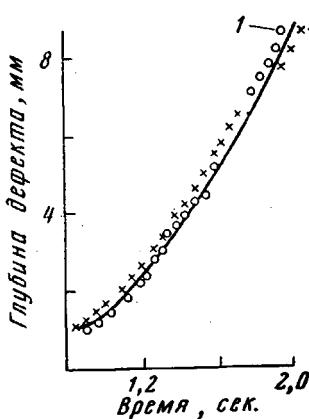


Рис. 2. Кинетика роста дефекта в индивидуальной пленке вязкости (1) и комбинированном материале типа А—С—А (2) (А—целлофан, С—связующее СКН-40); $v_d = 50 \text{ мм/мин}$ при 20°

поздних стадиях растяжения по сравнению с индивидуальной пленкой и, во-вторых, к замедленной кинетике роста надрыва в комбинированном материале на первой стадии (рис. 1).

Фрагменты цветного фильма, демонстрирующего процесс разрушения комбинированного материала при различных скоростях растяжения подтверждают наличие релаксационных процессов рассасывания перенапряжений в вершине надрыва в эффекте упрочнения комбинированного материала. При скорости деформации 1 мм/мин надрыв растет в однородно окрашенном поле, отсутствуют области перенапряжения в вершине растущей трещины. Повышение скорости деформирования усиливает густоту красок вблизи надрыва, что может свидетельствовать о том, что релаксационные процессы успевают реализоваться в меньшей степени, при этом значительно сокращаются все стадии роста надрыва в комбинированном материале и уменьшается упрочнение. Критическая длина надрыва, начиная с которой он ускоренно прорастает через образец, очень мала для системы, полученной при соединении двух пленок целлофана за счет электростатических сил без связующего. В этом случае отсутствует упрочнение из-за малой адгезии между пленками. Следовательно, критическая глубина надрыва перед началом быстрой стадии роста надрыва может явиться характеристикой эксплуатационных свойств комбинированных материалов при данных условиях деформации.

Выводы

1. Исследован процесс разрушения комбинированных материалов и индивидуальных пленок, входящих в их конструкцию, методом киносъемки в поляризованном свете.
2. Обнаружены общие и специфические закономерности роста надрыва индивидуальных пленок и комбинированных материалов. Показано,

что надрыв в комбинированных материалах появляется при больших напряжениях и деформациях, чем в индивидуальных пленках.

3. Установлена взаимосвязь коэффициента комбинационного упрочнения и средней скорости роста надрыва для комбинированных материалов.

Московский технологический институт
мясной и молочной промышленности

Поступила в редакцию
6 VII 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Гуль, И. М. Чернин, Докл. АН СССР, 123, 713, 1958; Высокомолек. соед., 2, 1613, 1960.
2. И. М. Чернин, В. Е. Гуль, Пласт. массы, 1964, № 3, 45; Завод. лаб., 26, 484, 1960.
3. В. Е. Гуль, Н. М. Дворецкая, Г. П. Попова, В. Г. Раевский, Докл. АН СССР, 172, 3, 1967; Механика полимеров, 1967, 571.
4. В. Е. Гуль, Н. М. Дворецкая, В. Г. Раевский, Механика полимеров, 1967, 89; 1966, 625.
5. Н. М. Меланхолин, С. В. Грум-Григорийло, Методы исследования оптических свойств кристаллов, Изд-во АН СССР, 1954, стр. 42.
6. В. Е. Гуль, Л. Н. Царский, С. А. Вильниц, Коллоидн. ж., 20, 318, 1958.
7. В. Е. Гуль, Б. А. Догадкин, Ван Манс-ся, Каучук и резина, 1959, № 2, 17.
8. В. Е. Гуль, Г. П. Крутенская, Докл. АН СССР, 114, 973, 1957.
9. В. Е. Гуль, Г. П. Крутенская, В. В. Коврига, Каучук и резина, 1957, № 12, 1.
10. В. Е. Гуль, Прочность полимеров, изд-во «Химия», 1964.
11. Г. М. Бартенев, Ю. С. Зуев, Прочность и разрушение высокоэластичных материалов, изд-во «Химия», 1964.

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF DEGRADATION OF INDIVIDUAL AND COMBINED FILMS

*N. M. Dvoretskaya, R. I. Dimitrov, O. N. Mikhailenko,
V. E. Gul'*

Summary

The degradation process of individual and combined films has been studied by taking motion pictures in polarized light. The coefficient of combined strengthening and the mean rate of tear increase have been found to be interrelated.
