

УДК 541.64:539.3

## ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА И МИКРОТВЕРДОСТЬ СОПОЛИМЕРОВ ОЛИГОУРЕТАНАКРИЛАТОВ

Бойко О. К., Марченко Л. М., Бурдыгина Г. И.,  
Викторова В. И., Передереева С. И., Подольская Л. А.,  
Задонцев Б. Г., Козлов П. В.

На основании анализа микротвердости и деформационно-прочностных характеристик трехмерных сополимеров олигоуретанакрилатов, полученных отверждением под УФ-излучением, выявлено существенное различие свойств этих сополимеров в зависимости от состава и химической природы сомономера. Показано преимущество эластичных пленок по сравнению со стеклообразными для использования их в качестве защитных покрытий кинофотоматериалов.

Полимеры, получаемые из реакционноспособных олигоуретанакрилатов (ОУА), применяют в качестве элементов оптических интегральных схем [1] для защитных покрытий печатных плат, обладающих высокой фоточувствительностью [2–4]. В работах [5, 6] они предложены для защитных слоев кинофильмовых материалов.

ОУА способны вступать в реакции сополимеризации с мономерами или другими реакционноспособными олигомерами и отверждаться под действием УФ-излучения в присутствии фотоинициаторов. Требуемые физико-механические и технологические свойства пленок из ОУА могут быть достигнуты изменением состава и химической природы сомономера или соолигомера. Важными эксплуатационными показателями полимерных пленок, используемых в качестве износостойких защитных покрытий, в том числе кинофильмовых материалов, являются их разрывная прочность, модуль упругости и сопротивление царапанию. В отличие от сравнительно хорошо изученных трехмерных полимеров олигоэфиракрилатов и олигоэфиров [7–10] физико-механические свойства сополимеров ОУА изучены недостаточно. Однако, если о деформационно-прочностных свойствах некоторых сополимеров ОУА имеются отдельные публикации [4, 11–13], то данные об их склерометрической микротвердости (микротвердости, определяемой по сопротивлению царапанию) вообще отсутствуют в литературе. Цель настоящей работы — изучение деформационно-прочностных свойств и микротвердости пленок из сополимеров ОУА, а также установление их взаимосвязи.

В работе изучали физико-механические свойства следующих сополимеров ОУА (формулы олигомеров и их условные обозначения приведены в табл. 1): АПГТ — монометакрилат этиленгликоля (МЭГ); ОУА-2000 — МЭГ; ОУА-300 — МЭГ; ОУА-2000 — ЭАС; ОУА-655 — 2-гидрокси-3-хлорпропилакрилат (ГХПА); ОУА-2000 — ГХПА; ОУА — 1000 — бутилметакрилат (БМА).

Отверждение фотополимеризующихся композиций осуществляли на стеклянной подложке или фотографическом слое фильмокопий. Для предотвращения ингибирования процесса сополимеризации кислородом воздуха поверхность полимеризуемой смеси закрывали стеклом. Формирование толщины пленок производили с помощью трафаретных накладок. В качестве инициатора сополимеризации использовали 2-гидрокси-2-метил-1-фенилпропан-1-он («Darocur-1173») в количестве 1% от полимеризуемой смеси. Сополимеризацию проводили в течение 3 мин под УФ-излучением, за исключением системы ОУА-1000 — БМА, для которой с возрастанием количества БМА продолжительность полимеризации увеличивали до 20 мин. Источником излу-

Таблица 1

## Реакционноспособные олигомеры и их характеристики

Соединение (по средней формуле)	Формула	$\eta$ , Па·с	$d$ , кг/м <sup>3</sup>
$\alpha, \omega$ -Акрилбиспропиленгликольдиуретан (АГПТ) (ТУ 88 УССР 193.080-85)	$(CH_2=CH-C(=O)-O-CH_2-CH(CH_3)-O-C(=O)-NH)_2R$ $(R = -C_6H_4-CH_3)$	—	1146
Продукты взаимодействия олигооксипропиленгликоля $M=1000, 2000, 3000$ с моноизоцианатом, полученным на основе толуилидендиизоцианата и монометакрилата этиленгликоля (ОУА-1000, ОУА-2000, ОУА-3000) *	$(CH_2=C(CH_3)-C(=O)-O-CH_2-CH(CH_3)-O-C(=O)-NH-C_6H_4-CH_3)_2R$ $(R = \text{олигогликоловый блок с } M = 1000, 2000, 3000)$	69 при 25° (ОУА-1000) 32 при 25° (ОУА-2000) — (ОУА-3000)	— 1119 1134
Продукт взаимодействия олигоэпоксиакрилата ЭАС-665 с макроизоцианатом МДИ, полученным на основе толуилидендиизоцианата и полиоксипропиленгликоля при весовом соотношении ЭАС-655 : МДИ = 100 : 40 (ОУА-655) **	$R(-NH-C(=O)-O-CH_2-O-C(=O)-CH=CH_2)$ $\quad\quad\quad CH_2-O-R'-O-CH_2-CH(OH)-CH_2-O-C(=O)-CH=CH_2)_2$ $(R = \text{олигоуретановый блок}, R' = \text{эпоксидный блок})$	49 при 25°	1220
Композиция олигоэпоксиметакрилата на основе эпоксидаиновых олигомеров ЭД-16 и ЭД-8, содержащая 35% стирола (ЭАС) ***	$(CH_2=C(CH_3)-C(=O)-O-CH_2-CH(OH)-CH_2)_2R$ $(R = \text{эпоксиолигомерный блок})$	59 при 20°	1083

\* Синтезированы в ИХВС АН УССР по методике [14].

\*\* Синтезированы в УкрНИИпластмасс по методикам [8, 15].

\*\*\* Синтезированы в УкрНИИпластмасс по методике [16].

Примечание. Авторы выражают благодарность А. П. Карнауху за предоставленные образцы.

чения служила ртутная лампа высокого давления ДРТ-1000, расположенная на расстоянии 0,35 м от объекта.

Содержание гель-фракции  $\beta$  определяли гравиметрическим методом и рассчитывали по формуле  $\beta = (m_0/m) \cdot 100\%$ , где  $m$  – вес образца после отверждения;  $m_0$  – вес образца, отмытого от остаточного мономера и высущенного до постоянного веса. Остаточный мономер вымывали в течение 3 недель в воде для удаления водорастворимой части и в течение такого же времени в толуоле или ацетоне для удаления гидрофобной части. После этого образцы пленок высушивали в вакуумном шкафу при 80°. Как видно из табл. 2, процессы сополимеризации пространственных сополимеров ОУА под действием УФ-излучения характеризуются высокими значениями  $\beta$ .

Сопротивление царапанию поверхности пленок сополимеров ОУА толщиной 50–100 мкм, отверженных на фотослой фильмокопии, определяли на модифицированном приборе ПМТ-3, описанном в работе [17]. Индентором в этом приборе служила алмазная пирамида с четырехугольным основанием и углом при вершине между гранями 136°. Нагрузку изменяли в диапазоне 0,02–0,2 кг. Скорость нанесения царапины составляла 2,5·10<sup>-3</sup> м/с.

Деформационно-прочностные свойства пленок из пространственных сополимеров, отверженных на стеклянной подложке, изучали на динамометре «Instron-1122». Образцы пленок размером  $(1,2 \cdot 10^{-2}) \times (2,1 \cdot 10^{-3}) \times (2-4 \cdot 10^{-4})$  м растягивали при 25° со скоростью 10<sup>-2</sup> м/мин. Для получения средних значений механических показателей испытывали по 10 образцов.

При изучении микротвердости по величине сопротивления царапанию покрытий из трехмерных сополимеров ОУА наблюдали разнообразную картину царапин в зависимости от соотношения компонентов и химического состава композиционной смеси.

В отличие от легко измеряемых царапин с четкими краями и четкой средней линией от острия алмазной пирамиды, которые характерны для желатинового фотослоя, ширину царапин, наблюдавшихся на различных покрытиях из сополимеров ОУА, не всегда можно измерить. Некоторые царапины имели нечетко очерченный контур с резкой или нерезкой средней линией. Многие царапины были похожи на темные узкие полосы, сдвоены или имели разнообразный вид рваных краев. Другие царапины имели форму «бус» из-за отслаивания под действием индентора отверженного покрытия от фотослоя филькового материала. Часть царапин, не видимых под микроскопом в приборе ПМТ-3 в условиях измерения, задаваемых возможностями прибора, обнаруживалась визуально в отраженном, а иногда только в проходящем свете.

Все это многообразие внешнего вида образующихся царапин попытались объяснить деформационно-прочностными свойствами пленок, которые представлены на рис. 1 и в табл. 3. Изучение механических свойств пленок позволило разделить все исследованные композиции на две группы. Разрывная прочность и модуль упругости пленок одной группы, к которой относятся сополимеры ОУА-2000 – ЭАС (1), ОУА-3000 – МЭГ (2), ОУА-

Таблица 2

Содержание гель-фракции в сополимерах ОУА

Сополимер	[ОУА], %	$\beta$ , %	Сополимер	[ОУА], %	$\beta$ , %
ОУА-655 – ГХПА	0	84	ОУА-2000 – МЭГ	0	89
	20	85		20	95
	40	88		40	97
	60	89		60	96
	80	91		80	99
	100	93			
ОУА-2000 – ГХПА			ОУА-2000 – МЭГ	40	96
	20	88		60	97
	40	89		80	98
	60	94			
	80	93	ОУА-1000 – БМА	40	93
ОУА-2000 – ЭАС				80	86
	20	90	АПГТ – МЭГ	20	92
	40	97		40	95
	60	97		60	94
	80	99		80	–

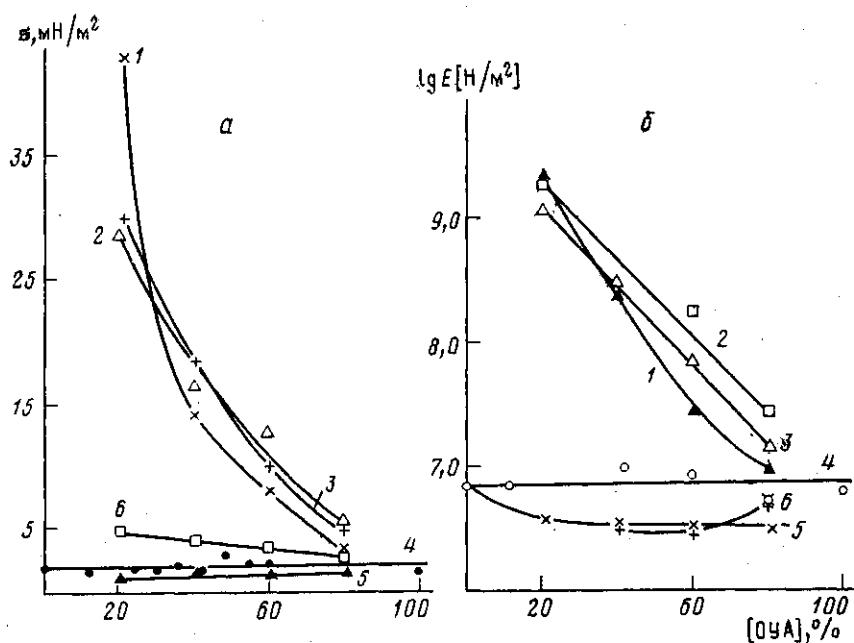


Рис. 1. Зависимость разрывного напряжения (а) и логарифма модуля упругости (б) от количества ОУА для сополимеров ОУА-2000 – ЭАС (1), ОУА-2000 – МЭГ (2), ОУА-3000 – МЭГ (3), ОУА-655 – ГХПА (4), ОУА-2000 – ГХПА (5) и ОУА-1000 – БМА (6)

2000 – МЭГ (3), варьируют в широких пределах в зависимости от состава реакционной смеси. Разрывная прочность пленок уменьшается в 5–10 раз, а модуль упругости – на два порядка с увеличением количества ОУА в композиции. Для другой группы пространственных сополимеров ОУА-655 – ГХПА (4), ОУА-2000 – ГХПА (5), ОУА-1000 – БМА (6) прочность пленок при разрыве мало изменяется с увеличением количества ОУА. Модуль упругости также находится в пределах одного порядка для пленок из указанных сополимеров.

Для первой группы сополимеров, содержащих  $\leq 40\%$  ОУА, изучение сопротивления пленок царапанию при нагрузках показало точно воспроизведенную картину царапины, ширину которой можно измерить. Царапины на пленках из этих сополимеров появлялись уже при нагрузке  $< 0,02$  кг и имели нечеткие контуры с резко очерченной серединой, либо вид «резаной» царапины с четкими краями и четкой средней линией. Распределение напряжения, вызываемого при внедрении индентора в полимер, зависит от геометрической формы индентора. Для четырехгранной пирамиды наибольшее напряжение в материале концентрируется у ее верши-

Таблица 3

Относительные удлинения при разрыве пленок из сополимеров ОУА различного состава

[OUA], %	Величина $\Delta l/l$ , %					
	группа 1			группа 2		
	ОУА-2000 – ЭАС	ОУА-2000 – МЭГ	ОУА-3000 – МЭГ	ОУА-2000 – ГХПА	ОУА-655 – ГХПА	ОУА-1000 – БМА
0	—	—	—	31	31	—
20	7	50	43	37	22	225
40	29	126	116	53	19	167
60	61	127	159	59	31	112
80	55	92	130	71	39	71
100	—	—	—	—	39	—

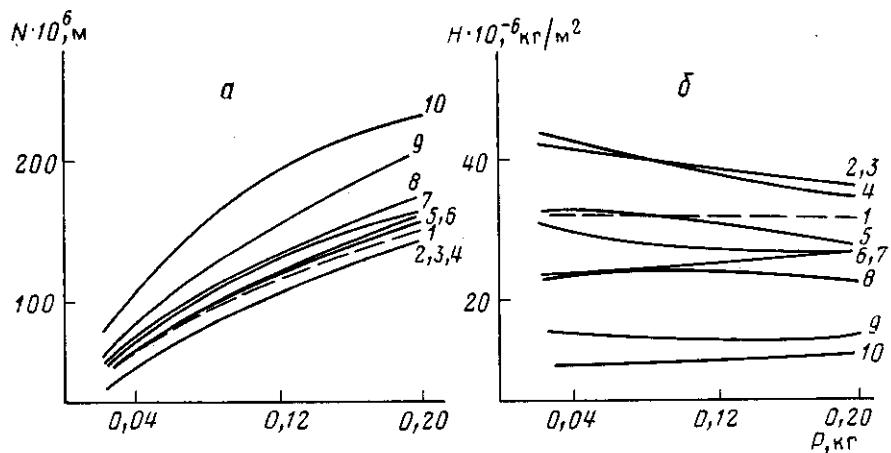


Рис. 2. Зависимость ширины царапины (а) и сопротивления царапанию (б) от приложенной нагрузки для фотослоя (1), а также для полимеров 100% ЭАС (2), 20% АПГТ – 40% МЭГ (3), 40% АПГТ – 60% МЭГ (4), 20% ОУА-2000 – 80% ЭАС (5), 100% МЭГ (6), 20% ОУА-2000 – 80% МЭГ (7), 20% ОУА-3000 – 80% МЭГ (8), 40% ОУА-2000 – 60% МЭГ (9) и 40% ОУА-3000 – 60% МЭГ (10)

ны. При достаточно больших нагрузках индентор внедряется в полимер глубоко, и в центре царапины материал разрушается острием пирамиды, поскольку достигается предел прочности этого материала. В таком случае образуется вдавленная царапина с вырезанной центральной линией. Данный тип царапин виден под микроскопом как относительно четкая полоса с резкой серединой. Четкость краев вдавленной царапины зависит от количества выдавленного материала при внедрении индентора в полимер. В этом случае по краям царапины образуются так называемые, навалы. Их наблюдали, например, на профилограмме поперечного профиля царапины на поверхности ПММА [13]. С увеличением глубины внедрения индентора размеры навалов для полимеров, вероятно, возрастают аналогично размерам навалов, наблюдавшихся для металлов [19]. Образующиеся навалы размывают границы царапины и увеличивают ошибку в измерении ее ширины.

Как видно из рис. 2, а, только на поверхности пленок из 100% ЭАС (кривая 2) и сополимеров АПГТ – МЭГ (кривые 3, 4) образуются царапины, ширина которых меньше, чем для фотослоя фильмокопий, при нагрузках 0,02–0,2 кг. Значения микротвердости, определенные по ширине царапин, для этих пленок по сравнению со всеми изученными сополимерами ОУА наибольшие (рис. 2, б). Эти пространственные полимеры представляют собой жесткие хрупкие материалы, которые разрушаются при одном перегибе пленки. Их деформационно-прочностные характеристики не определены нами из-за того, что пленки растрескивались при вырубании образцов ножом или хрупко разрушались в зажимах динамометра. На диаграмме напряжение – деформация (рис. 3) прямая 1 условно иллюстрирует хрупкое разрушение таких образцов, которым предшествуют лишь упругие деформации. При увеличении нагрузки на индентор выше предела прочности этих сополимеров на их поверхности появляются резко очерченные царапины.

Для остальных сополимеров ОУА первой группы, содержащих  $\leq 40\%$  ОУА, ширина царапины больше, чем для желатинового фотослоя (рис. 2, а), причем прослеживается влияние среднечисленной величины олигомерного блока ОУА, а также концентрации ОУА в композиции на ширину образующихся царапин, а значит и на склерометрическую микротвердость. Чем больше величина олигомерного блока и концентрация ОУА в композиции, тем меньше склерометрическая микротвердость материала.

При растяжении сополимеров 20% ОУА-2000 – 80% МЭГ и 20% ОУА-3000 – 80% МЭГ на зависимости напряжение – деформация (рис. 3,

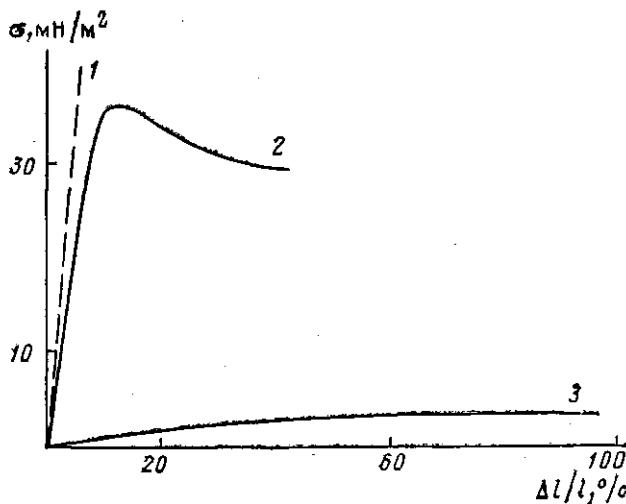


Рис. 3. Зависимость напряжения от удлинения для пленок сополимеров ОУА хрупких (1), 20% ОУА-3000 – 80% МЭГ (2) и 80% ОУА-3000 – 20% МЭГ (3)

кривая 2) появляется ярко выраженный максимум, соответствующий пределу вынужденной высокоэластической деформации стеклообразных полимеров. При деформировании этих образцов образуется «шейка» до тех пор, пока они не разорвутся, достигнув разрывной прочности. Удлинение, возникшее на стадии вынужденно-эластических деформаций, уменьшается незначительно после снятия нагрузки. Хотя не для всех изученных сополимеров, содержащих <40% ОУА, обнаружен предел вынужденной высокоэластичности, можно предположить, что все они находятся в стеклообразном состоянии, поскольку ширина царапин, нанесенная на их поверхность, практически не изменяется во времени.

При приложении малых нагрузок на индентор царапины не наносятся на поверхность стеклообразных полимеров, так как последние упруго восстанавливают свою форму после снятия нагрузки. При увеличении нагрузки с переходом в область вынужденно-высокоэластических деформаций остается, по-видимому, вдавленная царапина. Вдавленные царапины наблюдали ранее для других стеклообразных полимеров. Например, в работе [18] были сняты профилограммы следа царапины, полученной на поверхности ПММА. Поскольку вынужденно-высокоэластические деформации обратимы, при нагревании образца ПММА с царапиной выше  $T_c$  царапина практически полностью исчезала, и поверхность полимера восстанавливалась.

Как следует из изложенного выше, только для стеклообразных сополимеров ОУА первой группы, т. е. содержащих  $\leq 40\%$ , характерны царапины как с четкими краями и средней линией, так и с менее четкими, но измеряемыми контурами.

Естественно, что должна существовать корреляция между микротвердостью и другими физико-механическими свойствами материалов. Для различных классов материалов установлены зависимости между величиной твердости и модулем Юнга, модулем сдвига, пределом текучести, пределом прочности материала и другими характеристиками [20–22]. Для сополимеров ОУА нами было проведено сравнение склерометрических и деформационно-прочностных характеристик. С увеличением количества ОУА от 0 до 40% сопротивление царапанию пленок падает (рис. 2, б, кривые 6, 7, 9 или 6, 8, 10). В то же время модуль упругости и разрывная прочность уменьшаются и увеличивается относительное удлинение пленок при разрыве (рис. 1, табл. 3).

С уменьшением прочности и жесткости пленок трехмерных сополимеров первой группы, содержащих  $\leq 40\%$  ОУА (рис. 1, кривые 1–3), цара-

ины на их поверхности нельзя измерить из-за размытости контуров. Расплывание границ царапин иногда настолько велико, что царапины не видны под микроскопом, хотя их можно обнаружить визуально. С течением времени ( $\sim 2$  сут) такие царапины исчезают с поверхности пленок.

Пленки сополимеров первой группы, содержащих большое количество ОУА (~80%), характеризуются значениями разрывной прочности и модуля упругости, близкими к значениям этих показателей для второй группы сополимеров (рис. 1, кривые 4–6). Зависимость напряжение – деформация сополимеров второй группы представлена на рис. 3 кривой 3, свойственной полимерам, находящимся в высокоэластическом состоянии. При малых нагрузках царапины не наносятся на поверхность этих пленок из-за больших обратимых деформаций эластичных полимеров. При значительных нагрузках (~0,2 кг) наблюдается разрушение полимерного материала в виде узкой полосы без центральной линии, в виде сдиров и рваных царапин. Таким образом, минимальная нагрузка, при которой остается след от индентора при нанесении царапины, для эластичных сеток на порядок больше, чем для стеклообразных сеток ОУА.

Интересно отметить, что царапина, нанесенная на покрытие из сополимера 80% ОУА-2000 – 20% МЭГ при нагрузке 0,5 кг, моментально исчезала. При изучении этого покрытия в проходящем свете на нижележащем фотослое пленки обнаружили след царапины, т. е. фотослой был поврежден индентором. Следовательно, в результате быстрых релаксационных процессов, происходящих в материале, наблюдали самозалечивание царапины.

Физико-механические свойства пространственных сополимеров зависят не только от их физического состояния, но и от структуры, сформированной при отверждении. Структуру полимерных сеток можно охарактеризовать концентрацией узлов, используя данные по упругим свойствам ненабухших отверженных систем. Так как в настоящей работе было показано, что наибольшей сопротивляемостью к царапанию обладают сетки ОУА, находящиеся в нормальных условиях в высокоэластическом состоянии, именно для них был подсчитан структурный параметр  $n_c$ . Как известно [23], для идеальных сеток число молей цепей, заключенных между узлами сетки, в единице объема  $n_c$  связано с их деформационно-прочностными свойствами по уравнению кинетической теории высокомодульности

$$\sigma = n_c RT (\lambda - \lambda^{-2}),$$

где  $\sigma$  – напряжение растяжения, рассчитанное на исходное сечение образца;  $\lambda = l/l_0$  ( $l$  и  $l_0$  – равновесная длина растянутого и исходного образцов соответственно);  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура.

Для эластичных сеток сополимеров первой и второй групп, содержащих 80% ОУА, был подсчитан по приведенной выше формуле структурный параметр  $n_c$  (табл. 4). Значение  $n_c$  определяли в начальной области деформации по прямолинейному участку зависимости напряжения от  $\lambda - \lambda^{-2}$ . Как видно из табл. 4, сетки сополимеров 80% ОУА-2000–20% МЭГ и 80% ОУА-3000–20% МЭГ имеют наибольшие значения  $n_c$ .

Зависимость  $\sigma/n_c RT$  от  $\lambda - \lambda^{-2}$  для идеальных сеток должна представлять собой прямую, проходящую через начало координат, в то время как

Таблица 4

Число молей цепей, заключенных между узлами сетки, в единице объема для различных сополимеров ОУА

Состав		$n_c \cdot 10^{-2}$ , моль/м <sup>3</sup>	Состав		$n_c \cdot 10^{-2}$ , моль/м <sup>3</sup>
80% ОУА	20% сополимера		80% ОУА	20% сополимера	
ОУА-2000	МЭГ	27,3	ОУА-2000	ГХПА	5,0
ОУА-3000	МЭГ	16,8	ОУА-655	ГХПА	6,3
ОУА-2000	ЭАС	9,5	ОУА-1000	БМА	4,7

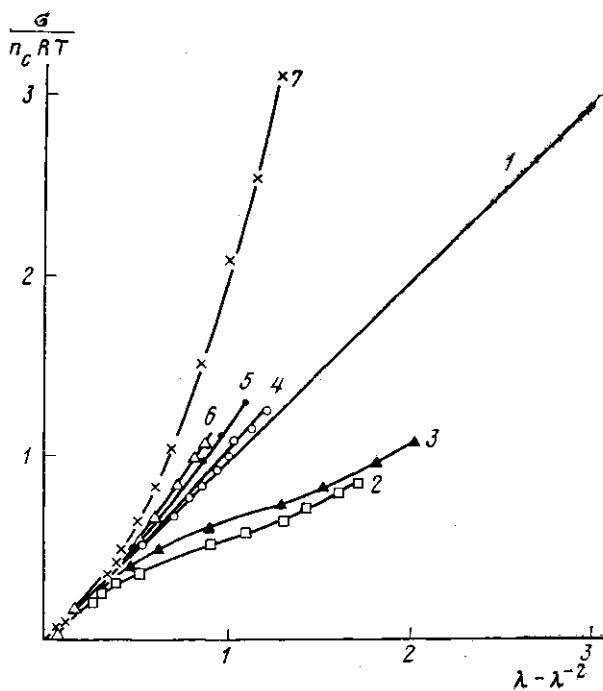


Рис. 4. Зависимость  $\sigma/n_c RT$  от  $\lambda - \lambda^{-2}$  для идеальной сетки (1) и для систем 80% ОУА-2000 – 20% МЭГ (2), 80% ОУА-3000 – 20% МЭГ (3), 80% ОУА-2000 – 20% ЭАС (4), 80% ОУА-2000 – 20% ГХПА (5), 80% ОУА-655 – 20% ГХПА (6) и 80% ОУА-1000 – 20% БМА (7)

экспериментальные кривые для изученных сополимеров ОУА отклоняются от теоретической зависимости в области больших деформаций, вероятно, по причине их микронеоднородности (рис. 4). Микронеоднородность вообще характерна для сетчатых полимеров, полученных отверждением олигомеров и смол, вследствие специфических кинетических реакций трехмерной полимеризации [8]. Неоднородность структуры сеток сополимеров 80% ОУА-2000–20% МЭГ и 80% ОУА-3000–20% МЭГ, проявляющаяся при больших деформациях (рис. 4, кривые 2, 3), может быть обусловлена возникновением гидрофильных ассоциатов звеньев МЭГ и гидрофобных ассоциатов ОУА, которые создают дополнительные физические узлы и являются причиной высоких значений  $n_c$ . Предположение о существовании однородных ассоциатов в пленках основывается на несовместимости компонентов в процессе отверждения этих систем при других составах. Так, визуально наблюдали появление мутности пленок, содержащих  $\leq 40\%$  ОУА, что свидетельствует о микрофазовом расслоении с размером фаз, превосходящим длину волны видимого света.

Таким образом, несмотря на то что изученные эластичные сетки сополимеров ОУА имеют различную пространственную структуру и отличаются по деформационно-прочностным свойствам, все они обладают на порядок большей сопротивляемостью царапанию, чем сетки стеклообразных сополимеров ОУА и желатиновый фотослой фильмовых материалов, характеризующиеся значительными величинами разрывной прочности и модуля упругости.

Полученные экспериментальные данные о микротвердости и деформационно-прочностных свойствах сополимеров ОУА позволили сделать следующее заключение для успешного решения технической задачи создания защитных покрытий стеклообразных полимеров (желатинового эмульсионного слоя фильмокопий). Перспективным направлением является получение защитных покрытий из упругоэластичных сеток, способных «залечивать» царапины, нанесенные на их поверхность. Нецелесообразно получать защитные покрытия из более твердых стеклообразных полимеров, чем предохраняемый материал, так как достигаемое увеличение

ние сопротивления царапанию незначительно, и, кроме того, увеличение жесткости защитных покрытий приводит к их хрупкости.

Авторы выражают благодарность В. И. Герасимову за обсуждение результатов работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шулев Ю. В., Козенков В. М., Барачевский В. А., Геодоровский В. Т., Передерева С. И., Кисилица П. П., Маслякова П. А. // Новые регистрирующие среды для голографии/Под ред. Барачевского В. А. Л., 1983. С. 173.
2. Амеличева В. В., Воробьева В. И., Гудзера С. С., Иванова В. И., Леплягин Г. В., Чеботаревский В. В. // Техника средств связи. Сер. Технология пр-ва и оборудование. 1982. № 2. С. 76.
3. Щур В. С. // Печатные формы из фотополимеров. Вып. 4. М., 1975. С. 9.
4. Грищенко В. К., Маслюк А. Ф., Гудзера С. С. Жидкие фотополимеризующиеся композиции. Киев, 1985. 208 с.
5. Novak C. P., Morrison E. D., Leszyk G. M. Pat. 4092173 USA. 1978.
6. Novak C. P., Morrison E. D., Leszyk G. M. Pat. 4171979 USA. 1979.
7. Берлин А. А., Кефели Т. Я., Королев Г. В. Полиэфиракрилаты. М., 1967. 372 с.
8. Берлин А. А., Королев Г. В., Кефели Т. Я., Сивергин Ю. М. Акриловые олигомеры и материалы на их основе. М., 1983. 232 с.
9. Омельченко С. И. Сложные олигоэфиры и полимеры на их основе. Киев, 1976. 216 с.
10. Седов Л. Н., Михайлова З. В. Ненасыщенные полиэфиры. М., 1977. 232 с.
11. Дацко П. В., Гудзера С. С., Грищенко В. К. // Пласт. массы. 1984. № 10. С. 22.
12. Магдинец В. В. // Успехи химии полиуретанов. Киев, 1972. С. 67.
13. Гудзера С. С. Дис. ... канд. хим. наук. Киев: ИХВС АН УССР, 1974. 134 с.
14. Маслюк А. Ф. Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Киев: Гос. ун-т им. Т. Г. Шевченко, 1972.
15. Гармонов И. В. Синтетический каучук. М., 1976. 528 с.
16. Задонцев Б. Г., Бурменко А. С., Барановский Л. А., Мих Т. Ф., Аршинникова В. И. // Реакционноспособные олигомеры, полимеры и материалы на их основе. М., 1981. С. 28.
17. Меерзон М. Б., Серебренников А. И., Немировская Н. М., Фридман И. М. // Тр. НИКФИ. Вып. 76. 1975. С. 73.
18. Елькин А. И., Титов В. И. // Склерометрия/Под ред. Хрущова М. М. М., 1968. С. 83.
19. Маслов Е. Н. // Склерометрия/Под ред. Хрущова М. М. М., 1968. С. 24.
20. Мотт Б. В. Испытание на твердость микровдавливанием. М., 1960. С. 27.
21. Новое в области испытаний на микротвердость/Под ред. Семенова А. П., Григоровича В. К., Алексина В. П. М., 1974. С. 272.
22. Нильсен Л. Е. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. М., 1978. С. 215.
23. Flory R. J. Principles of Polymer Chemistry. N. Y., 1953.

Всесоюзный научно-исследовательский  
киноФотоИнститут

Поступила в редакцию  
23.VII.1987

## STRAIN-STRENGTH PROPERTIES AND MICROHARDNESS OF COPOLYMERS OF OLIGOURETHANE ACRYLATES

Boiko O. K., Marchenko L. M., Burdygina G. I.,  
Viktorova V. I., Peredereeva S. I., Podol'skaya L. A.,  
Zadontsev B. G., Kozlov P. V.

### Summary

Basing on the analysis of the microhardness and strain-strength characteristics of three-dimensional copolymers of oligourethane acrylates obtained by curing under UV-irradiation the essential dependence of properties of these copolymers on the composition and chemical nature of comonomers has been shown. The advantage of elastic films comparing with glassy ones when their using as protecting coatings for cine-photo materials is shown.