

УДК 541.64:539.2:547.39

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ РЯДА АКРИЛАТОВ И МЕТААКРИЛАТОВ

© 1997 г. А. А. Аскадский, А. А. Сахарова, О. А. Мельник, В. В. Казанцева

Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук
117813 Москва, ул. Вавилова, 28

Поступила в редакцию 28.03.96 г.
Принята в печать 20.12.96 г.

Проанализирована применимость развитого ранее подхода для анализа структуры и свойств линейных полимеров к многокомпонентным сополимерам. Представлены уравнения, описывающие зависимость от состава таких физических характеристик сополимеров как плотность, температура стеклования, температура начала интенсивной термической деструкции, показатель преломления, коэффициент оптической чувствительности по напряжению. На основании этих уравнений рассчитаны перечисленные выше характеристики для пяти многокомпонентных сополимеров. С целью проверки применимости разработанного подхода проведен синтез сополимеров, содержащих до пяти компонентов, на основе ММА, бутилметакрилата, бутилакрилата, нонилакрилата, 2-этилгексилакрилата и гептилакрилата. Получено хорошее соответствие экспериментальных и расчетных значений указанных выше характеристик.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема, связанная с описанием зависимости свойств сополимеров от их состава, продолжает привлекать внимание исследователей. Имеется ряд соотношений, позволяющих описывать зависимость температуры стеклования сополимера от его состава, если известны температуры стеклования соответствующих гомополимеров. К таким зависимостям, например, относятся уравнение Гордона–Тейлора [1]

$$T_c = \frac{n_A T_{cA} \Delta\alpha_A + n_B T_{cB} \Delta\alpha_B}{n_A \Delta\alpha_A + n_B \Delta\alpha_B}, \quad (1)$$

где T_{cA} и T_{cB} – температуры стеклования соответственно гомополимеров А и В; n_A и n_B – массовые доли компонентов А и В в сополимере; $\Delta\alpha_A$ и $\Delta\alpha_B$ – разности коэффициентов теплового расширения выше и ниже температуры стеклования гомополимеров А и В; уравнение Фокса [2]

$$\frac{1}{T_c} = \frac{n_A}{T_{cA}} + \frac{n_B}{T_{cB}} \quad (2)$$

и уравнение Джонсона [3]

$$\frac{1}{T_c} = \frac{\alpha_{AA}}{T_{cAA}} + \frac{\alpha_{BB}}{T_{cBB}} + \frac{\alpha_{AB}}{T_{cAB}} \quad (3)$$

Здесь α_{AA} , α_{BB} и α_{AB} – мольные доли диад АА, ВВ и АВ в сополимере; T_{cAA} и T_{cBB} – температуры стеклования гомополимеров А и В; T_{cAB} – температура стеклования чередующегося сополимера.

Все показанные выше зависимости позволяют рассчитывать температуру стеклования двойных

сополимеров, если известны величины T_c для гомополимеров, а также, в ряде случаев, коэффициенты объемного расширения и T_c альтернантного сополимера.

Как правило ранее анализ структуры и свойств сополимеров проводили для систем, содержащих два компонента, гораздо реже – для тройных сополимеров [4]. В связи с этим представляет интерес провести экспериментальное исследование свойств многокомпонентных сополимеров. В настоящей работе изучали ряд сополимеров, содержащих от трех до пяти компонентов. Одновременно сопоставляли экспериментальные и расчетные значения физических характеристик как для гомополимеров, так и для многокомпонентных сополимеров на их основе.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для анализа свойств многокомпонентных сополимеров выбрали шесть мономеров, которые использованы в реакции полимеризации и сополимеризации: ММА, бутилметакрилат (БМА), бутилакрилат (БА), *n*-нонилакрилат (НА), 2-этилгексилакрилат (ЭГА) и *n*-гептилакрилат (ГА).

Выбор таких объектов исследования обусловлен тем, что гомополимеры и сополимеры на их основе являются полностью аморфными высокомолекулярными веществами, которые легко образуются в блоке и удобны для исследования термических и оптических характеристик. В табл. 1 приведен состав пяти синтезированных нами многокомпонентных сополимеров.

Радикальную полимеризацию и сополимеризацию мономеров проводили в блоке в вакуумированных и запаянных стеклянных ампулах в присутствии 0.1 мас. % перекиси бензоила при постепенном повышении температуры от 50 до 100°C. Мономеры очищали по общепринятой методике. Перекись бензоила дважды перекристаллизовывали из хлороформа.

Температуру стеклования T_c гомо- и сополимеров определяли термомеханическим методом в условиях пенетрации пунансона диаметром 4 мм при нагрузке на него 100 г и скорости нагревания 2–3 град/мин. Термогравиметрический анализ проводили на приборе "Setaram" в среде гелия при скорости нагревания 6 град/мин; навеска составляла 20 мг. Плотность образцов с точностью до ± 0.002 г/см³ определяли с помощью титрования смеси двух жидкостей до того момента, когда плотность этой смеси становилась равной плотности монолитного образца. Далее плотность этой смеси замеряли с помощью денсиметров.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Для анализа зависимости свойств сополимеров от состава воспользуемся базовым соотношением [5], которое связывает температуру стеклования со структурными и энергетическими характеристиками полимеров

$$T_c = \frac{\sum_i \Delta V_i}{\sum_i a_i \Delta V_i + \sum_j b_j}, \quad (4)$$

где $\sum_i \Delta V_i$ – ван-дер-ваальсов объем повторяющегося звена полимера, складывающийся из ван-дер-ваальсовых объемов ΔV_i отдельных атомов, входящих в это звено; a_i и b_j – инкременты, связанные с энергией слабого дисперсионного взаимодействия (усредненной для каждого атома) и с энергией сильного межмолекулярного взаимодействия, возникающего в результате присутствия в полимере отдельных полярных групп (диполь-дипольные взаимодействия и водородные связи различных типов).

В случае сополимеров уравнение (4) можно записать в виде

$$T_c = \frac{\sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k}{\sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i a_i \Delta V_i + \sum_j b_j \right)_k + 0.03 \sum_{k=1}^n \alpha_k (1 - \alpha_k)} \quad (5)$$

Здесь α_k , $(\sum_i \Delta V_i)_k$ и $(\sum_i a_i \Delta V_i + \sum_j b_j)_k$ – соответственно мольная доля, ван-дер-ваальсов объ-

ем и наборы инкрементов для k -го компонента сополимера; 0.03 – эмпирический параметр, который был подобран на основании сопоставления экспериментальных и расчетных зависимостей T_c от состава для большого ряда сополимеров; n – число компонентов (мономеров), использованных при синтезе сополимера.

Соотношение (5) для расчета температуры стеклования сополимеров не требует знания экспериментальных температур стеклования гомополимеров. Другой вариант формулы для расчета температуры стеклования сополимеров может быть получен комбинацией уравнений (4) и (5)

$$T_c = \frac{\sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k}{\sum_{k=1}^n \alpha_k \frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_k}{T_{g,k}} + 0.03 \sum_{k=1}^n \alpha_k (1 - \alpha_k)}, \quad (6)$$

где $T_{c,k}$ – температура стеклования k -го компонента.

Нами был проведен расчет температуры стеклования по выражениям (5) и (6). При этом в уравнение (6) входили экспериментальные значения T_c . Результаты расчета будут проанализированы ниже.

Плотность рассчитывали по двум соотношениям. Первое из них является приближенным, полученным на том основании, что коэффициент молекулярной упаковки K_{cp} примерно одинаков для всех полимеров и при комнатной температуре для блочных образцов равен 0.681 [5]

$$\rho = \frac{K_{cp} M}{N_A \sum_i \Delta V_i}, \quad (7)$$

где M – молекулярная масса повторяющегося звена полимера, $\sum_i \Delta V_i$ – его ван-дер-ваальсов объем, N_A – число Авогадро. Для описания зависимости ρ

Таблица 1. Состав сополимеров

Сополимер	Мольные доли в сополимере звеньев					
	MMA	BMA	BA	НА	ЭГА	ГА
1	0.333	0.333	0.333	–	–	–
2	0.250	0.250	0.250	0.250	–	–
3	0.250	0.250	0.250	–	0.250	–
4	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	–
5	0.250	0.250	0.250	–	–	0.250

от состава сополимера уравнение (7) трансформируется в соотношение

$$\rho = \frac{K_{cp} \sum_{k=1}^n \alpha_k M_k}{N_A \sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k} \quad (8)$$

Здесь M_k – молекулярная масса повторяющегося звена k -го компонента; остальные обозначения те же, что и в уравнениях (5) и (6).

Следует отметить, что для полимера, находящегося при комнатной температуре в высокоэластическом состоянии, при расчете плотности желательно учесть температурные зависимости коэффициента молекулярной упаковки K , так как реальный коэффициент упаковки для них тем больше отличается от средней величины K_{cp} , чем ниже температура стеклования. Эти зависимости выглядят следующим образом [5]:

$$K(T) = \frac{N_A \sum_i \Delta V_i}{V_c [1 + \alpha_G (T - T_c)]}, \quad T < T_c \quad (9)$$

$$K(T) = \frac{N_A \sum_i \Delta V_i}{V_c [1 + \alpha_L (T - T_c)]}, \quad T > T_c \quad (10)$$

(V_c – мольный объем полимера или сополимера при его температуре стеклования T_c ; α_G и α_L – термические коэффициенты объемного расширения полимера или сополимера соответственно в стеклообразном и высокомодулем состоянии). Учитывая, что $V_c = M / \rho_c$ (ρ_c – плотность полимера или сополимера при температуре стеклования), а также принимая во внимание, что

$$\rho_c = \frac{K_c M}{N_A \sum_i \Delta V_i}, \quad (11)$$

где $K_c = 0.667$ и представляет собой коэффициент молекулярной упаковки полимера или сополимера при температуре стеклования [5], после подстановки формулы (11) в уравнения (9) и (10), а затем в выражение (7) получаем

$$\rho_G^{20} = \frac{0.667 M}{[1 + \alpha_G (293 - T_c)] N_A \sum_i \Delta V_i}, \quad 293 < T_c \quad (12)$$

$$\rho_L^{20} = \frac{0.667 M}{[1 + \alpha_L (293 - T_c)] N_A \sum_i \Delta V_i}, \quad 293 > T_c \quad (13)$$

Для сополимеров имеем

$$\rho_G^{20} = \frac{0.667 \sum_{k=1}^n \alpha_k M_k}{[1 + \alpha_G (293 - T_c)] N_A \sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k}, \quad 293 < T_c \quad (14)$$

$$\rho_L^{20} = \frac{0.667 \sum_{k=1}^n \alpha_k M_k}{[1 + \alpha_L (293 - T_c)] N_A \sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k}, \quad 293 > T_c \quad (15)$$

Кроме температуры стеклования T_c и плотности ρ для сополимеров были также рассчитаны такие характеристики, как показатель преломления n , коэффициент оптической чувствительности по напряжению C_σ , температура начала интенсивной термической деструкции T_d , диэлектрическая проницаемость ϵ , параметр растворимости δ и поверхностная энергия γ . Расчеты проводили по уравнениям

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{K_{cp} \sum_{k=1}^n \alpha_k R_k}{N_A \sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k} \quad (16)$$

$$C_\sigma = \frac{\sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k (C_{\sigma, k} - \Pi)}{\sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k} \quad (17)$$

$$T_d = \frac{\sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k}{\sum_{k=1}^n \alpha_k \frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_k}{T_{d, k}}} \quad (18)$$

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{K_{cp} \sum_{k=1}^n \alpha_k P_k}{N_A \sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k} \quad (19)$$

$$\delta^2 = \frac{\sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta E_i^* \right)_k}{N_A \sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k} \quad (20)$$

$$\gamma = \sum_{k=1}^n \alpha_k C_{j,k} \frac{\sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta E_i^* \right)_k}{\left[\sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k \right]^{2/3} \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k m_k \right)^{1/3}} \quad (21)$$

Здесь α_k – мольная доля k -го компонента; R_k – мольная рефракция k -го компонента; $C_{\sigma,k}$ – коэффициент оптической чувствительности гомополимера, синтезированного из k -го компонента; $T_{d,k}$ – температура начала интенсивной термической деструкции гомополимера на основе k -го компонента; P_k – мольная поляризуемость k -го компонента; $(\sum_i \Delta E_i^*)_k$ – мольная энергия когезии k -го компонента; $C_{j,k}$ – параметр, отображающий принадлежность полимера к данному классу [6, 7]; m_k – число атомов в повторяющемся звене k -го компонента; все остальные обозначения – те же, что и в приведенных выше соотношениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего были определены свойства всех шести гомополимеров и расчетные значения составлены с имеющимися экспериментальными данными. Все расчеты были проведены с помощью ЭВМ-программы, разработанной Клинских и Аскадским. При использовании программы необходимо только изобразить химическое строение (органическую формулу) повторяющегося звена полимера на экране дисплея, после чего практически мгновенно выдаются физические характеристики этого полимера.

В табл. 2 приведен ряд физических характеристик гомополимеров. В большинстве случаев наблюдается хорошее совпадение экспериментальных данных с расчетными. Отдельно следует остановиться на расчете такой характеристики гомо- и сополимеров, как плотность ρ , для которой в табл. 2 имеется два расчетных значения. Первое из них определено с помощью уравнения (7), а второе – по соотношениям (12) и (13), которые учитывают температурную зависимость коэффициента молекулярной упаковки K .

Видно, что в случае стеклообразного полимера ПММА расчетное значение плотности, полученное по уравнению (7), хорошо совпадает с экспериментальным значением. Для гомополимеров

с низкими температурами стеклования, которые при комнатной температуре находятся в высокоэластическом состоянии, учет температурной зависимости коэффициента молекулярной упаковки приводит к более низким значениям плотности по сравнению с теми, которые определяются на основании средней величины K_{cp} . При этом данные значения плотности хорошо совпадают с экспериментальными величинами.

Температура стеклования, определенная по уравнению (4), с обычной для таких расчетов точностью совпадает с экспериментальными значениями. Показатель преломления рассчитывали по уравнению [5]

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{K_{cp} \sum_i R_i}{N_A \sum_i \Delta V_i}, \quad (22)$$

где $\sum_i R_i$ – мольная рефракция в расчете на повторяющееся звено полимера.

Кроме того, расчет был проведен с учетом температурной зависимости коэффициента молекулярной упаковки; он позволяет рассчитать показатель преломления с большей точностью. Что касается таких характеристик, как параметр растворимости, поверхностная энергия, термический коэффициент объемного расширения в стеклообразном состоянии, температура начала интенсивной термической деструкции и коэффициент оптической чувствительности по напряжению, то эти характеристики совпадают с экспериментальными с обычной для таких расчетов точностью.

Перейдем теперь к описанию свойств многокомпонентных сополимеров. Здесь получаются примерно те же результаты, что и при оценке свойств гомополимеров.

Плотности, рассчитанные по уравнению (8) с использованием K_{cp} , несколько выше, чем экспериментально определенные величины. Это обусловлено тем, что все сополимеры имеют температуру стеклования ниже комнатной. Также вычисляли величины ρ^{20} по соотношению (15), которое учитывает температурную зависимость коэффициента молекулярной упаковки; эти значения несколько ниже, чем полученные по соотношению (8), и хорошо совпадают с экспериментальными величинами $\rho_{\text{эксп.}}^{20}$.

Показатель преломления n для всех сополимеров оказался приблизительно одинаков, что связано с близкими значениями показателя преломления для всех изученных нами гомополимеров. Коэффициент оптической чувствительности по

Таблица 2. Расчетные и экспериментальные характеристики гомополимеров*

Гомополимер	Плотность ρ , $\text{г}/\text{см}^3$	Температура стеклования T_c , К	Показатель преломления n	Диэлектрическая проницаемость ϵ	Параметр растворимости δ , $(\text{Дж}/\text{см}^3)^{1/2}$	Поверхностная энергия γ , $\text{дин}/\text{см}$	Термический коэффициент объемного расширения в стеклообразном состоянии $\alpha_G \times 10^4 \text{ К}^{-1}$	Температура начала интенсивной термической деструкции в инертной среде T_d , К	Коэффициент оптической чувствительности по напряжению C_σ , В
ПММА	$\frac{1.17-1.23}{1.17; 1.17}$	$\frac{378}{377}$	$\frac{1.49; 1.55}{1.49}$	$\frac{3.10}{2.94}$	$\frac{18.6}{19.0}$	$\frac{39.0-40.2}{31.0}$	$\frac{2.70}{2.55}$	$\frac{623}{629}$	$\frac{-3.30}{-2.85}$
ПБМА	$\frac{1.06}{1.09; 1.06}$	$\frac{300}{287}$	$\frac{1.48}{1.50}$	$\frac{2.82}{2.71}$	$\frac{17.7-18.4}{18.2}$	$\frac{-}{27.2}$	$\frac{-}{3.05}$	$\frac{-}{627}$	$\frac{-}{16.6}$
ПБА	$\frac{1.04}{1.11; 1.05}$	$\frac{221}{242}$	$\frac{1.47}{1.50}$	$\frac{-}{2.76}$	$\frac{18.2-18.4}{18.4}$	$\frac{30.7}{28.0}$	$\frac{2.80}{3.05}$	$\frac{-}{627}$	$\frac{-}{32.2}$
ПНА	$\frac{-}{1.04; 0.97}$	$\frac{215}{219}$	$\frac{-}{1.51}$	$\frac{-}{2.58}$	$\frac{-}{17.5}$	$\frac{-}{25.3}$	$\frac{-}{3.05}$	$\frac{-}{626}$	$\frac{-}{40.5}$
ПЭГА	$\frac{-}{1.05; 0.99}$	$\frac{-}{242}$	$\frac{-}{1.51}$	$\frac{-}{2.60}$	$\frac{-}{17.5}$	$\frac{29.2}{25.7}$	$\frac{-}{3.05}$	$\frac{-}{626}$	$\frac{-}{39.4}$
ПГА	$\frac{-}{1.06; 0.99}$	$\frac{220}{225}$	$\frac{-}{1.51}$	$\frac{-}{2.63}$	$\frac{-}{17.7}$	$\frac{-}{26.1}$	$\frac{-}{3.05}$	$\frac{-}{626}$	$\frac{-}{38.1}$

* В числителе приведены экспериментальные значения физических характеристик, в знаменателе – расчетные величины. В случае расчетных значений ρ первое из них получено по уравнению (7), а второе – по уравнениям (11), (12).

Таблица 3. Физические характеристики сополимеров*

Сополимер	Ван-дер-ваальсов объем, A^3	Плотность ρ , $\text{г}/\text{см}^3$	Показатель преломления n	Коэффициент оптической чувствительности по напряжению C_σ , В	Температура стеклования T_c , К	Температура начала интенсивной термической деструкции в инертной среде T_d , К
1	125	$\frac{1.09}{1.12; 1.08}$	$\frac{-}{1.50}$	$\frac{-}{15.5}$	$\frac{298}{273; 268}$	$\frac{563}{627}$
2	148	$\frac{1.04}{1.09; 1.03}$	$\frac{-}{1.50}$	$\frac{-}{21.6}$	$\frac{237}{247; 243}$	$\frac{573}{627}$
3	143	$\frac{1.04}{1.09; 1.04}$	$\frac{-}{1.50}$	$\frac{-}{21.3}$	$\frac{233}{258; 255}$	$\frac{570}{627}$
4	158	$\frac{1.02}{1.08; 1.02}$	$\frac{-}{1.50}$	$\frac{-}{25.2}$	$\frac{240}{244; 240}$	$\frac{610}{627}$
5	139	$\frac{1.06}{1.10; 1.04}$	$\frac{-}{1.50}$	$\frac{-}{21.0}$	$\frac{243}{252; 247}$	$\frac{570}{627}$

* В числителе приведены экспериментальные значения, в знаменателе – расчетные; для ρ первое значение было получено из уравнения (8), а второе – (13); для T_c первое значение было рассчитано по соотношению (5), а второе – по соотношению (6) с использованием экспериментальных величин T_c для гомополимеров.

напряжению C_σ также одинаков почти для всех сополимеров, за исключением сополимера 1 с повышенным содержанием MMA-звеньев, обладающих отрицательным значением C_σ .

Температуру стеклования сополимеров рассчитывали по двум уравнениям – (5) и (6). Первое из них не требует знания экспериментальных величин температуры стеклования гомополимеров, а во втором такие значения были использованы. Из табл. 3 видно, что в целом наблюдается хорошее совпадение расчетных и экспериментальных значений T_c . При использовании экспериментальных значений T_c для гомополимеров и подстановки их в уравнение (6) в подавляющем большинстве случаев соответствие расчета эксперименту несколько улучшается.

Что касается температуры начала интенсивной термической деструкции T_d , то хорошее совпадение наблюдалось для сополимера 4 – ошибка составляла 2.7%. Для других сополимеров отклонение расчетных значений T_d от экспериментальных было на 50° в сторону увеличения, что составляет 8%. Причина этого нам пока не совсем ясна, поскольку если бы подход для расчета T_d был бы неприменим к сополимерам, такое отклонение наблюдалось для всех сополимеров.

Следует иметь в виду, что такая характеристика как температура начала интенсивной термической деструкции в большей степени, чем другие,

зависит от наличия примесей в полимере и других причин. Расчетные значения T_d определяются для идеальной полимерной системы.

Таким образом, проведенное нами исследование показало возможность прогнозирования различных характеристик многокомпонентных сополимеров, и при этом использованный подход не требует знания каких-либо величин, которые нужно определить экспериментально. Весь прогноз осуществлялся только на основании химического строения многокомпонентного сополимера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gordon M., Taylor I.S.* // *J. Appl. Chem.* 1952. V. 2. № 3. P. 493.
2. *Бартенев Г.М., Френкель С.Я.* Физика полимеров. Л.: Химия, 1990.
3. *Johnson N.W.* // *J. Macromol. Sci., Rev. Macromol. Chem.* 1979. V. 14. P. 215.
4. *Коршак В.В.* Разновидность полимеров. М.: Наука, 1977.
5. *Аскадский А.А., Матвеев Ю.И.* Химическое строение и физические свойства полимеров. М.: Химия, 1983.
6. *Аскадский А.А., Матвесян М.С., Слонимский Г.Л.* // Высокомолек. соед. А. 1987. Т. 29. № 4. С. 753.
7. *Askadskii A.A. Physical Properties of Polymers (Prediction and Control)*, Gordon and Breach Publ., 1966.

The Structure and Properties of Multicomponent Copolymers Based on A Series of Acrylates and Methacrylates

A. A. Askadskii, A. A. Sakharova, O. A. Mel'nik, and V. V. Kazantseva

*Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds, Russian Academy of Sciences,
ul. Vavilova 28, Moscow, 117813 Russia*

The structure and properties of multicomponent copolymers were studied using an approach developed previously for the analysis of linear polymers. Equations were derived that describe the effect of composition on the physical characteristics of the copolymers, including the density, the glass transition temperature, the temperature of the onset of intense chemical degradation, index of refraction, and the stress-optical coefficient. These resulting equations were used to calculate the characteristics of five multicomponent copolymers. Copolymers containing up to five components were synthesized on the basis of MMA, butylmethacrylate, butylacrylate, nonylacrylate, 2-ethylhexylacrylate, and heptylacrylate.