

Как видно при сравнении рисунков *a* и *e*, спектры модельного соединения III и линейного звена I представляют собой идентичные мультиплеты с сигналами в области 6,2–7,1 м.д.

Появление сигналов ароматических протонов в области 6,9–7,5 м.д. полимера, обработанного хлорангидридом *m*-карборамонокарбоновой кислоты, аналогичных сигналам модельного соединения IV (рисунок, *b*, *g*), является отражением образования разветвленных структурных единиц.

Таким образом, данный метод может быть использован для качественного анализа линейной и разветвленной структур *m*-карборансодержащих полiamиноамидов. Количественное определение степени разветвленности полiamиноамидов методом ЯМР-Н¹ высокого разрешения является предметом дальнейших исследований.

Институт элементоорганических
соединений АН СССР

Поступила в редакцию
15 XI 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Цветков, В. Е. Эскин, С. Я. Френкель, Структура макромолекул в растворах, «Наука», 1964.

УДК 541.64 : 539.107

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО КОЭФФИЦИЕНТАМ СЕДИМЕНТАЦИИ ПОЛИ-(*m*-ФЕНИЛЕН)ИЗОФТАЛАМИДА ПО ОДНОЙ СЕДИМЕНТОГРАММЕ

И. К. Некрасов

Предложен метод расчета кривых распределения по коэффициентам седиментации (МВР) поли-(*m*-фенилен)изофталамида (ПФФ) при помощи ЭЦВМ по одной седиментограмме. Введены поправки на давление, диффузионное расширение границы и зависимость коэффициентов седиментации от концентрации. Для трех образцов ПФФ распределения, найденные обычным экстраполяционным способом, совпадают в пределах погрешности, не превышающей 7% с распределениями, рассчитанными по одному снимку.

Знание МВР во многом облегчает анализ механизмов полимеризации, позволяет выбрать среди различных вариантов синтеза наиболее подходящий [1]. Однако в ряде случаев для этой цели необходимо определять МВР многих образцов, которые могут значительно отличаться не только величинами средних молекулярных весов и полидисперсностью, но и типом МВР. Применение метода скоростной седиментации в этих случаях сопряжено с большими трудностями и отдается предпочтение гель-проникающей хроматографии [2].

Общепринятая графоаналитическая процедура [2, 3] определения МВР по седиментограммам включает последовательно учет гидростатического сжатия, диффузии, концентрации как на коэффициенты седиментации *S*, так и на распределения *q*(*S*). В рамках этой методики можно использовать ЭЦВМ на отдельных этапах расчетов, однако практический эффект применения вычислительной техники полностью нивелируется сугубо «ручными» операциями экстраполяции распределений.

Расчеты можно проводить значительно проще, вводя поправку на концентрационную зависимость коэффициентов седиментации по одной концентрации («одноконцентрационное» приближение) [3–7].

Кроме того, как было показано в работе [8], путем замены кажущегося распределения по коэффициентам седиментации *q**(*S*, *t*) (*t* – время) на эквивалентное гауссово распределение на основе теории Фуджиты [9] можно учесть диффузионное расширение границы по одному снимку.

Настоящая работа посвящена обоснованию экспресс-метода расчета МВР полиполи-(*m*-фенилен)изофталамида (ПФФ) по одной седиментограмме. Стандартная концентрация полимера *c* = 0,055 г/дл в диметилформамиде (ДМФА) – 0,25 г/дл LiCl.

Образцы и реагенты. Опыты по скоростной седиментации проводили на ультраконцентрифуге МОМ 3170 (Венгрия) с тремя образцами ПФФ, полученными низкотем-

пературной поликонденсацией [10, 11] *μ*-фенилendiамина и дихлорангидрида изофталевой кислоты в растворе диметилапетамида (ДМАА). Из нескольких десятков образцов, для которых нужно было определять МВР, отобрали для детального исследования образцы с наименьшей (I), средней (II) и наибольшей (III) характеристической вязкостью. Методом скоростной седиментации определяли МВР и параметры распределений этих образцов.

Образец	I	II	III
$M_w \cdot 10^{-5}$	1,27	2,04	3,33
M_w/M_n	2,29	1,85	1,48

Для приготовления растворов использовали предварительно перегнанный под вакуумом ДМФА марки х.ч., для обезвоживания LiCl (х.ч.) прокаливали при 400°.

Теоретические соотношения. Вследствие значительной скимаемости органических жидкостей их вязкость и плотность ρ_0 , а также парциальный удельный объем полимера зависят от гидростатического давления P . Это в свою очередь приводит к уменьшению коэффициентов седиментации с ростом радиальной координаты r , характеризующей перемещение границы. Для гомогенного образца зависимость S от P обычно характеризуется следующим соотношением [3, 12]:

$$S^P = S^1(1 - \mu P) \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{2} \omega^2 \rho_0^{-1} r_0^{-2} (y - 1) \quad y = (r/r_0)^2, \quad (2)$$

где μ – эмпирический параметр (здесь и далее верхние индексы при S характеризуют давление, нижние – концентрацию), ω – угловая скорость вращения ротора ультрапенцифуги, r_0 – координата мениска.

Для разбавленных растворов полимеров концентрационная зависимость коэффициентов седиментации определяется в соответствии с уравнениями

$$S_c = S_0 / (1 + k_s c) \quad (3a)$$

$$S_c = S_0 (1 - k_s c), \quad (3b)$$

где S_0 – константа седиментации. Одновременно учитывая влияние секториального разбавления, давления и концентрационной зависимости S , Фуджита [12, 13] получил следующие соотношения:

$$S_c P = \frac{\ln(r/r_0)}{\omega^2 t} = S_c^1 [1 + R(y - 1)] \quad (4); \quad R = -\frac{m}{2} + \frac{1-m}{2} \frac{k_s c}{1 + k_s c} \quad (5a)$$

$$R = -\frac{m}{2} + \frac{1-m}{2} k_s c \quad (5b); \quad m = \frac{1}{2} \mu \omega^2 \rho_0^{-1} r_0^{-2} \quad (6)$$

Уравнения (5a) и (5b) относятся к двум типам концентрационной зависимости S по формулам (3a) и (3b) соответственно.

Необходимо отметить, что для зависящей от давления седиментации простой закон разбавления

$$\frac{c}{c_0} = \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 = \frac{1}{y} \quad (7a)$$

не выполняется (c_0 – исходная концентрация раствора, а c – концентрация гомогенного полимера на расстоянии r). Справедливо выражение [12]

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{y} (1 - m + my) \quad (7b)$$

Исходя из упрощенного представления, что седиментацию полидисперсного образца можно представить в виде суммы независимых седиментаций отдельных однородных фракций, можно рассчитать кажущиеся (они обозначаются звездочкой) распределения $q^*(S, t)$. Кажущиеся распределения шире истинных из-за диффузии и рассчитаны для определенной концентрации. Кроме того, в случае $S=S(c)$ их необходимо экстраполировать к $c=0$. В простейшем варианте седиментации, не зависящей от давления и концентрации, имеем [2, 3]

$$q^*(S, t) = \frac{\omega^2 t r^3}{c_0 r_0^2} \left(\frac{dc}{dr} \right) \quad (8)$$

Здесь градиент концентрации dc/dr связан с градиентом показателя преломления dn/dr следующим соотношением:

$$\frac{1}{c_0} \frac{dc}{dr} = \frac{1}{\Delta n} \left(\frac{dn}{dr} \right), \quad (9)$$

где Δn – разность показателей преломления раствора и растворителя. Полагаем, что влиянием давления на показатели преломления раствора и растворителя можно пренебречь [14, 15].

Поправка на давление. Как видно из представленных формул, можно учесть зависимость S от P при помощи одного параметра μ . Поскольку обычно $S=S(c)$, то основой для определения μ являются соотношения (4), (5а) и (5б). При этом возможны два варианта: первый – экстраполяция значений S_c^P к мениску ($y=1$), либо двойная экстраполяция к $c=0$ и $y=1$ [4, 16]; второй – определение зависимостей S_0^P или S_c^P от ω^2 при фиксированном y [13]. В обоих случаях по наклонам указанных зависимостей находится μ .

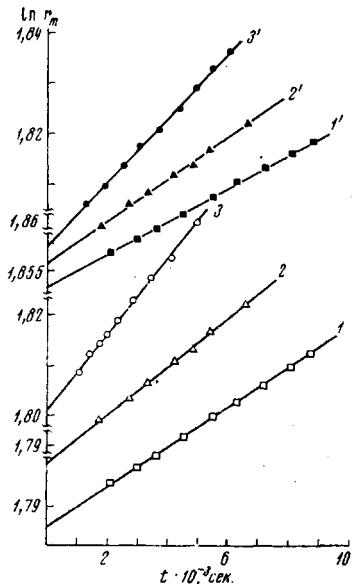


Рис. 1

Рис. 1. Зависимости $\ln r_m$ от времени t образца I ПФФ при скоростях вращения ротора ультрацентрифуги 35 000 (1, 1'), 40 000 (2, 2') и 50 000 об/мин (3, 3') и $c=0,055$ (1–3) и $0,09$ г/дл (1'–3')

Рис. 2. Распределения $q^*(S, t)$ образца I ПФФ ($c=0,055$ г/дл) при $\mu=0$ (а); 7,2 (б) и $4,0 \cdot 10^{-9}$ см²/дин (в) и $t=1953$ (1); 2853 (2); 4053 (3) и 4953 сек. (4)

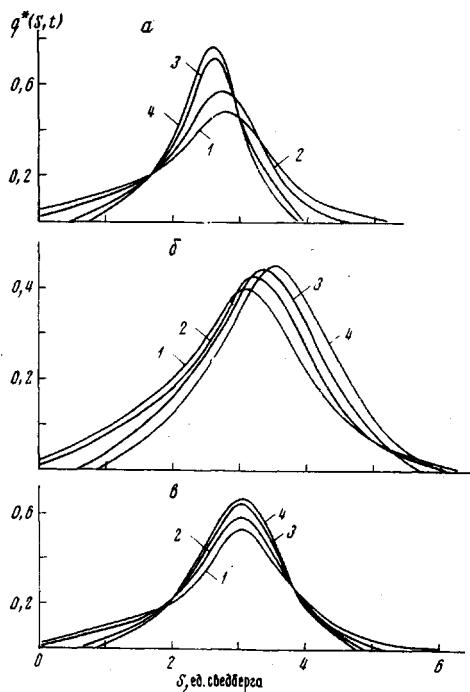


Рис. 2

Экспериментальные данные для ряда систем [4, 16–18] свидетельствуют о том, что значения μ и k_s , найденные по формулам (4), (5а) и (5б), зависят от ω , а величина μ зависит от способа определения. Не только эти эксперименты, но и численные решения [19–22] диффузионного уравнения Ламма для ультрацентрифуги при дополнительных усложнениях (учет изменения концентрации в области γ -плато и зависимости коэффициента диффузии от давления) свидетельствуют об ограниченном значении формул (4), (5а, б) и (8). Однако ввиду отсутствия более строгой теории ими приходится пользоваться.

На рис. 1 изображены зависимости $\ln r_m$ (r_m – координата максимума градиентной кривой) от t образца III, характеризуемого гладкими и симметричными кривыми $q^*(S, t)$. Обработка представленных данных в соответствии с формулами (4), (5а, б) и (6) приводит к следующим результатам. При экстраполяции S_c^P к мениску μ несколько меняется с концентрацией и сильно зависит от ω : $\mu_{50\ 000}=0,51$ и $\mu_{35\ 000}=0,99 \cdot 10^{-9}$ см²/дин. По зависимостям S_c^P от ω при фиксированных c и y получены $\mu_{0,055}=7,2$ и $\mu_{0,09}=4,0 \cdot 10^{-9}$ см²/дин. Такие образом, значения μ , определенные этими двумя способами, отличаются на порядок и возникает проблема выбора правильной величины μ .

На рис. 2 изображены кривые $q^*(S, t)$ образца III ($c=0,055$ г/дл), рассчитанные при различных значениях параметра μ по соотношениям (4), (4а) и (8). Как видно из рис. 2, а, б, в крайних случаях $\mu=0$ и $\mu=7,2 \cdot 10^{-9}$ кривые $q^*(S, t)$ при различных t располагаются не симметрично. В первом случае смещение максимумов в сторону мень-

ших S при увеличении t обусловлено, очевидно, влиянием гидростатического сжатия — граница смешается в сторону больших r , смешение максимумов в сторону больших S во втором случае обусловлено слишком большим значением параметра μ . Оптимальным является значение $\mu=4,0 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{дин}$ (рис. 2, в). В дальнейшем, после введения поправок на диффузию и концентрационную зависимость были рассчитаны МВР для образцов I—III и определены средние молекулярные веса, хорошее соответствие которых молекулярным весам, рассчитанным по формулам Марка — Хаувиника из характеристических вязкостей в ряде растворителей [23], служит дополнительным подтверждением правильности выбора значения $\mu=4,0 \cdot 10^{-9}$. Кроме того, это значение μ практически совпадает с величиной $\mu=3,2 \cdot 10^{-9}$, найденной для системы поликарбонат — ДМФА в работе [24].

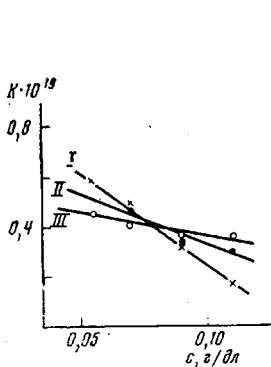


Рис. 3

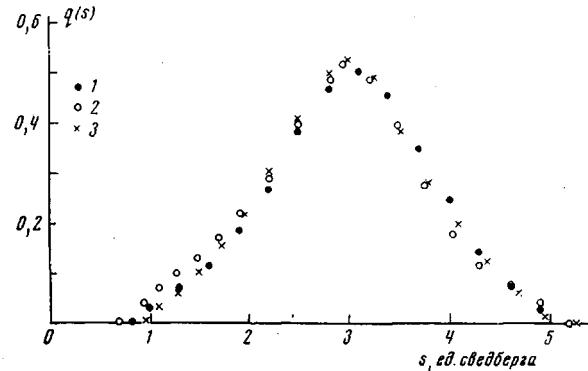


Рис. 4

Рис. 3. Концентрационная зависимость параметра K для образцов I—III

Рис. 4. Распределение $q(s)$ образца III ПФФ ($c=0,055 \text{ г/дл}$), полученное экстраполяционным методом (1) и рассчитанное из кажущихся распределений $q^*(S, t)$ при $t=4953$ (2) и 4053 сек. (3)

Учет диффузионного расширения границы. Как уже упоминалось, в работе [8] предложен способ учета диффузионного расширения границы по одному снимку на основе теории Фуджиты [9] путем замены кажущегося распределения $q^*(S, t)$ на эквивалентное (с одинаковой дисперсией p^*) гауссово распределение. При этом исправленные на диффузию коэффициенты седиментации s рассчитываются из коэффициентов седиментации S распределений $q^*(S, t)$ по следующим формулам:

$$s = S - \frac{1}{4\tau} \left(\frac{1}{s^2} + \frac{s - \bar{S}}{s(p^*)^2} \right) \quad (10); \quad \tau = \omega^4 r_0^2 t / 4K \quad (11)$$

$$K = s \cdot D \quad (12)$$

$$(p^*)^2 = \int_0^\infty (S - \bar{S})^2 q^*(S, t) dS / \int_0^\infty q^*(S, t) dS, \quad (13)$$

где \bar{S} — средний коэффициент седиментации распределения $q^*(S, t)$, D — коэффициент диффузии компоненты, характеризующейся коэффициентом седиментации s . Для θ -систем $K=\text{const}$.

Необходимо отметить, что в данном случае речь идет не о замене реального распределения по коэффициентам седиментации гауссовой кривой, допустимой лишь для фракций [3, 13] и нефракционированных образцов с узкими кривыми $q(s)$, а о замене деформации произвольных распределений $q^*(S, t)$. Поскольку из-за диффузии распределения $q(s)$ симметрично расширяются, то это расширение в первом приближении проще всего учесть с помощью гауссовой функции.

Для выбранных образцов ПФФ была изучена концентрационная зависимость параметра K (рис. 3); метод определения K описан в работе [8]. Как видно из рисунка, в исследованном интервале K уменьшается с концентрацией, причем с увеличением молекулярного веса возрастает угол наклона зависимости. Однако при стандартной концентрации $c=0,055 \text{ г/дл}$ зависимость K от молекулярного веса выражена довольно слабо, в среднем для этой концентрации $K=(0,52 \pm 0,13) \cdot 10^{-19}$, что хорошо совпадает с ранее полученным [8] значением $0,48 \cdot 10^{-19}$ *.

* В работе [8] по ошибке приведено увеличение в 2 раза значения $K=0,95 \cdot 10^{-19}$.

Как показали сопоставления экстраполяционных распределений, полученных обычным способом, с распределениями, рассчитанными на ЭЦВМ «Проминь-2М» по соотношениям (10) – (13), наилучшее совпадение кривых получается при $K=0,4 \cdot 10^{-19}$. Уменьшение K на 20% компенсирует использование в расчетах (уравнение (10)) дисперсии p^* какущегося распределения $q^*(S, t)$ вместо истинной дисперсии p распределения $q(s)$. При этом удалось достичь для всех образцов совпадения в пределах погрешности 2–4% «одноточечных» и экстраполяционных кривых $q(s)$ (рис. 4).

Поправка на концентрационную зависимость коэффициентов седиментации. Одноконцентрационное приближение при учете сужения границы вследствие концентрационной зависимости коэффициентов седиментации (автосжатие) практически достаточно проверено [3–7], хотя теоретический анализ концентрационной зависи-

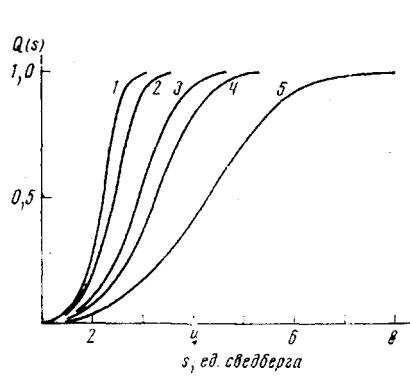


Рис. 5

Рис. 5. Интегральные распределения $Q(s)$ образца III при следующих концентрациях: $c=0,11$ (1); $0,09$ (2); $0,07$ (3); $0,055$ (4) и 0 г/дл (5)

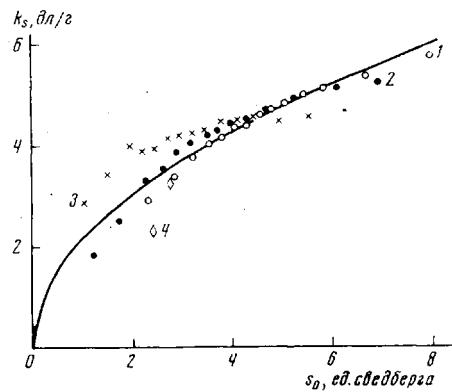


Рис. 6

Рис. 6. Зависимость k_s от s_0 образцов I (1); II (2) и III (3) и фракций ПФФ (4). Сплошная линия – усредненная кривая функции $k_s=k_s(s_0)$

мости коэффициента поступательного трения макромолекул [25–28], видимо, нельзя считать завершенным. Поэтому для образцов ПФФ функция $k_s=k_s(s_0)$, при помощи которой вводится поправка, определялась эмпирически. Для этих образцов ПФФ проводилась обычным образом экстраполяция интегральных распределений $Q(s)$ к бесконечному разбавлению (рис. 5), и из зависимостей s_c от c при фиксированном Q по соотношению (3б) находили значения k_s и s_0 .

Экспериментальные данные по зависимости k_s от s_0 приведены на рис. 6; сплошная линия представляет собой усредненную кривую функции $k_s=k_s(s_0)$, имеющей простое аналитическое выражение

$$k_s = B s_0^{0.5}, \quad (14)$$

где $B=2,12$. Необходимо отметить следующие обстоятельства. Во-первых, нельзя сделать определенных выводов о соответствии или несоответствии функций $k_s=k_s(s_0)$ нефракционированных образцов и фракций ПФФ в ДМФА – 0,25% LiCl ввиду ограниченности экспериментальных данных для фракций [23] (рис. 6). Во-вторых, зависимость типа формулы (14) пока не имеет физического обоснования и является чисто эмпирической. В-третьих, как будет ясно из последующего, соотношение (14) позволяет корректно ввести поправку на концентрационную зависимость коэффициентов седиментации.

Комбинируя соотношения (3б) и (14), получаем уравнение

$$s_c = s_0 (1 - B c s_0^{0.5}), \quad (15)$$

которое легко решается численно при помощи ЭЦВМ. Применение для этой цели небольшой ЭЦВМ «Проминь-2М» приводит к значительным затратам времени при расчетах, поэтому для ускорения расчетов использовали следующее приближение. Пусть

$$s_0 = s_c + \Delta s = s_c \left(1 + \frac{\Delta s}{s_c} \right), \quad (16)$$

тогда формула (15) преобразуется к виду

$$\Delta s = B c s_c^{1.5} \left(1 + \frac{\Delta s}{s_c} \right) \quad (15a)$$

Для случая, представляющего практический интерес, когда $\Delta s < s_c$, разлагаем выражение в круглых скобках правой части уравнения (15а) по биному Ньютона

$$\left(1 + \frac{\Delta s}{s_c}\right)^{1.5} \approx 1 + 1.5 \frac{\Delta s}{s_c} + \frac{1.5 \cdot 0.5}{2!} \left(\frac{\Delta s}{s_c}\right)^2 - \dots$$

Начиная с кубического члена, ряд становится знакопеременным. Ограничиваюсь первыми тремя членами, окончательно получаем

$$s_0 = s_c \left\{ 1 + \frac{4}{3} \left[\left(\frac{1}{Bcs_c^{0.5}} - \frac{3}{2} \right) - \sqrt{\left(\frac{1}{Bcs_c^{0.5}} - \frac{3}{2} \right)^2 - \frac{3}{2}} \right] \right\} \quad (17)$$

На рис. 7 представлены результаты сопоставления экспериментальных точек интегральных кривых $Q(s_0)$ образцов ПФФ, полученных обычной экстраполяцией к нулевой концентрации, рассчитанных по одной концентрации по формуле (17) и рас-

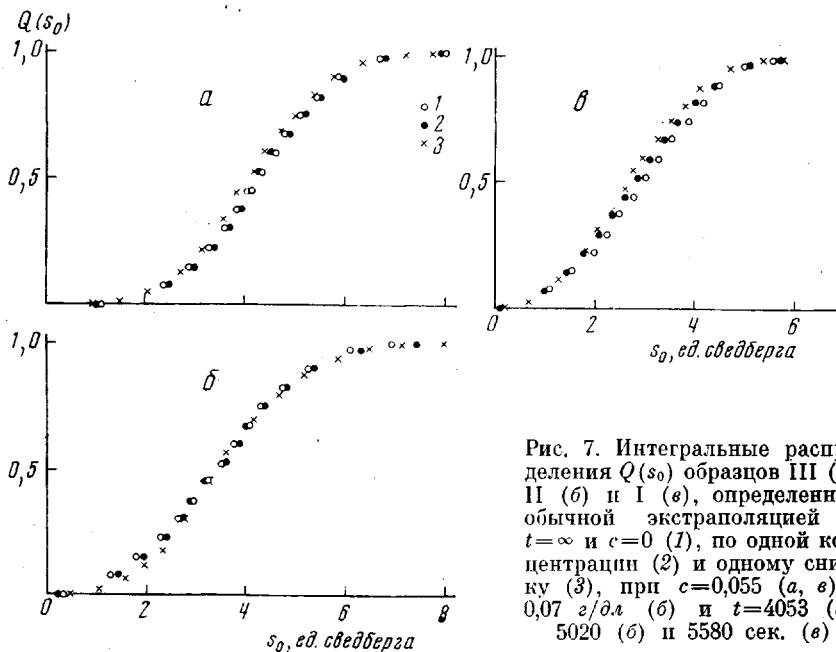


Рис. 7. Интегральные распределения $Q(s_0)$ образцов III (а), II (б) и I (с), определенные обычной экстраполяцией к $t=\infty$ и $c=0$ (1), по одной концентрации (2) и одному снимку (3), при $c=0,055$ (а, с) и $0,07$ $\text{г}/\text{д.л}$ (б) и $t=4053$ (а); 5020 (б) и 5580 сек. (с)

считанных по одному снимку в соответствии с уравнениями (4), (5б), (8), (10) – (13) и (17). Средняя погрешность одноконцентрационного приближения 3%, односнимочного – 4%, наихудшее согласие для образца I – погрешности 5 и 7%, однако метод в целом вполне пригоден для практических целей.

Составлена программа для ЭЦВМ «Проминь-2М», позволяющая по одному снимку рассчитывать МВР ПФФ (до 35 точек) и параметры распределения за ~20 мин. Программа насчитывает 272 команды (2 закладки).

Всесоюзный научно-исследовательский
институт синтетических волокон

Поступила в редакцию
11 XII 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Я. Френкель, Введение в статистическую теорию полимеризации, «Наука», 1965.
2. Фракционирование полимеров, под ред. М. Кантова, «Мир», 1971.
3. В. Н. Цветков, В. Е. Эскин, С. Я. Френкель, Структура макромолекул в растворах, «Наука», 1964.
4. T. Kotaka, N. Donkai, J. Polymer Sci., 6, A-2, 1457, 1968.
5. R. Baldwin, K. van Holde, Fortschr. Hochpol. Forsch., 1, 451, 1961.
6. И. Я. Поддубный, В. А. Гречановский, М. И. Мосеевич, Высокомолек. соед., 5, 1049, 1963.
7. И. К. Некрасов, Т. В. Кудим, Л. Б. Соколов, Высокомолек. соед., A14, 789, 1972.
8. И. К. Некрасов, Высокомолек. соед., A14, 2252, 1972.

9. H. Fujita, Biopolymers, 7, 59, 1969.
 10. П. У. Морган, Поликонденсационные процессы синтеза полимеров, «Химия», 1970.
 11. Л. Б. Соколов, Поликонденсационный метод синтеза полимеров, «Химия», 1966.
 12. H. Fujita, J. Amer. Chem. Soc., 78, 3598, 1956.
 13. H. Fujita, Mathematical Theory of Sedimentation Analysis, N. Y., 1962.
 14. I. H. Billick, J. Polymer Sci., 62, 167, 1962.
 15. M. Wales, C. J. Rehfeld, J. Polymer Sci., 62, 179, 1962.
 16. M. J. R. Cantow, R. S. Porter, J. F. Johnson, Makromolek. Chem., 87, 248, 1965.
 17. А. Н. Черкасов, Т. Н. Осинова, С. И. Кленин, Высокомолек. соед., A10, 1349, 1968.
 18. В. М. Беляев, В. П. Будтое, С. Я. Френкель, Высокомолек. соед., B15, 66, 1973.
 19. M. Dishon, M. Stroot, G. H. Weiss, D. Yphantis, J. Polymer Sci., 9, A-2, 939, 1971.
 20. G. H. Weiss, M. Dishon, Biopolymers, 9, 865, 1970.
 21. M. Dishon, G. H. Weiss, D. A. Yphantis, J. Polymer Sci., 8, A-2, 2163, 1970.
 22. G. H. Weiss, D. A. Yphantis, J. Polymer Sci., 10, A-2, 339, 1972.
 23. И. К. Некрасов, Высокомолек. соед., A13, 1707, 1971.
 24. W. R. Krigbaum, A. M. Kotliar, J. Polymer Sci., 32, 323, 1958.
 25. H. Yamakawa, J. Chem. Phys., 36, 2995, 1962.
 26. C. Pyun, M. Fixman, J. Chem. Phys., 41, 937, 1964.
 27. В. П. Будтое, Вестник ЛГУ, 1969, № 4, 78.
 28. S. Imai, J. Chem. Phys., 50, 1141, 1969; 52, 4212, 1970.
-

УДК 541.64 : 542.3

ПРИЧИНА АНОМАЛЬНОГО ХОДА ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКОЙ КРИВОЙ ВБЛИЗИ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕКЛОВАНИЯ

К. Н. Кан, А. Ф. Николаевич, Э. А. Мийлен

Вскрыта причина аномального хода дилатометрических кривых полимерных материалов, заключающаяся в растяжении образца в литьевой форме и замораживании напряженного состояния при охлаждении образца с формой ниже температуры стеклования полимера.

В работах [1, 2] описано аномальное уменьшение длины образцов из полимерных материалов в области температуры стеклования T_c , проявляющееся в виде «ям» (пропалов) на дилатометрической кривой. В работе [1] замечено, что ямы исчезают при вторичном и последующих нагревах. В упомянутых работах исследовались образцы, изготовленные методом свободной заливки в формы.

Авторами найдено, что причиной ям является скрепление образца со стенками формы в процессе его изготовления за счет сил адгезии, которые имеют место даже при применении антиадгезионных смазок. Вследствие усадки при отверждении и последующем охлаждении образца его размеры сокращаются интенсивнее, чем размеры формы. Возникающие при этом напряжения «замораживаются» при переходе из высокоэластичного в стеклообразное состояние. При первом нагреве образца во время дилатометрических испытаний эти напряжения сокращают длину образца, как только он размягчается.

Чтобы доказать правильность указанной причины, авторы изготовили приспособление (рис. 1, а), в котором образцы зажимались по наружной цилиндрической поверхности после их нагрева выше T_c . В данном приспособлении, как и в форме, происходит растяжение образца при охлаждении. Кроме того, было изготовлено приспособление (рис. 1, б), позволяющее создавать в образцах, нагретых выше T_c , напряжения сжатия. При испытаниях этих образцов можно наблюдать противоположный эффект — «уступы». Регулируя силу зажатия в первом случае и силу сжатия во втором, можно регулировать глубину ям и высоту уступов на дилатометрических кривых, а также наблюдать эти эффекты многократно на одном и том же образце.

На рис. 2 показаны дилатометрические кривые с разной глубиной ям и высотой уступов, полученные на одном и том же образце, длиной 50 м.м., изготовленном из эпоксидно-диановой смолы ЭД-6, отверженной малеиновым ангидридом.