

УДК 541.64.536.7

ТЕРМОДИНАМИКА ФУЛЛЕРЕНСОДЕРЖАЩЕГО ПОЛИ[СИЛ(ДИМЕТИЛ)ТРИМЕТИЛЕНА] В ОБЛАСТИ 0–340 К¹

© 2001 г. Н. Н. Смирнова*, Б. В. Лебедев*,
Н. Б. Беспалова**, М. А. Бовина**

*Научно-исследовательский институт химии
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского
603600 Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, корп. 5

**Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva Российской академии наук
117912 Москва, Ленинский пр., 29

Поступила в редакцию 06.03.2000 г.
Принята в печать 30.03.2000 г.

Методами прецизионной адиабатической вакуумной калориметрии изучена температурная зависимость теплоемкости фуллеренсодержащего поли[сил(диметил)триметилена] в области 15–340 К с погрешностью в основном около 0.2 %, определены параметры его стеклования и плавления. По полученным данным рассчитаны термодинамические функции полимера в кристаллическом, стеклообразном, высокоэластическом и жидкоком состояниях в области 0–340 К и стандартная энтропия его образования при 298.15 К. Полученные результаты сравнены с соответствующими свойствами полимера-аналога, не содержащего фуллерена – поли[сил(диметил)триметилена].

Фуллеренсодержащие полимеры представляют собой новый класс высокомолекулярных соединений. Они интересны тем, что способны соединять в себе свойства как исходного полимера (растворимость, способность к пленкообразованию, эластичность и т.д.), так и необычные (электронные, оптические, электрохимические, каталитические) свойства самого фуллера. Это позволяет предложить их в качестве новых перспективных материалов для использования в различных областях науки и техники [1–4]. Термодинамические свойства фуллеренсодержащих полимеров еще не изучены. Настоящая работа посвящена изучению термодинамических свойств фуллеренсодержащего поли[сил(диметил)триметилена] (I) в области 15–340 К и сравнению их с термодинамическими свойствами аналога, не содержащего фуллера C_{60} – поли[сил(диметил)триметилена] (II).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образец

Исследованный образец I получен в Институте нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН по методике, аналогичной опубликованной в работе [5]. Макромолекулы полимера представляют собой химически связанные с полимерными цепями полимера II молекулы фуллера C_{60} присоединены две полимерные цепочки полимера II, содержащие около 80 повторяющихся мономерных звеньев. Макромолекулу полимера I можно представить формулой $C_{60}[(-CH_2CH_2CH_2(CH_3)_2Si-)]_n]^2$. Содержание фуллера C_{60} оценено нами в ~4.3 мас. %. Структура полимера определена методами УФ-спектроскопии (спектрофотометр "Specord UV-VIS"), ИК-спектроскопии (спектрофотометр "Specord M-80"), спектроскопии ЯМР 1H (спектрометр "Bruker MSL-300"). $M_w = 1.71 \times 10^4$, $R_f = 0.21$ (TCX на Al_2O_3 , элюент гексан, растворитель бензол). По нашим калориметрическим данным образец полимера был частично кристаллическим, степень кристалличности $\alpha = 87\%$. Повторяющееся

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 99-03-33819 и 98-03-40012) и Министерства науки и технологий Российской Федерации (решение от 15.01.1996 г.).

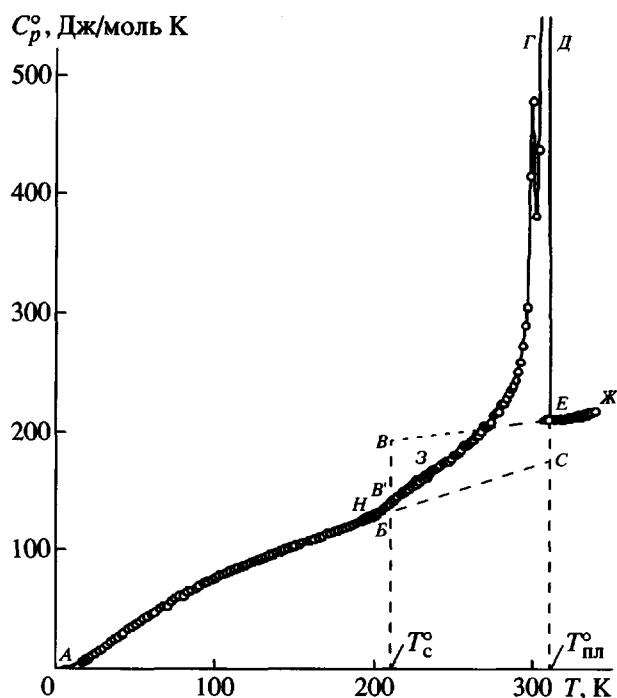


Рис. 1. Температурная зависимость теплоемкости полимера I: АБС – кристаллический, ЕЖ – жидкый, АБ – стеклообразный, ВЕ – высокоэластичный, АНЗ – частично кристаллический (степень кристалличности $\alpha = 87\%$), ЗГДЕ – кашущаяся теплоемкость в интервале плавления, ВВ – изменение теплоемкости при расстекловывании полностью стеклообразного полимера I, ВВ' – изменение теплоемкости при расстекловывании аморфной части полимера 87%-ной кристалличности, СЕ – изменение теплоемкости при плавлении; T_c° – температура стеклования, $T_{пл}^\circ$ – температура плавления.

условное мономерное звено полимера I $\{(1/160C_{60}[Si(CH_3)_2(CH_2)_3]\}$, брутто-формула звена $C_{5.375}H_{12}Si$, $M = 104.7394$. Для него сделаны все последующие расчеты.

Аппаратура и методика измерений

Для измерения теплоемкости полимера в области 15–340 К использовали теплофизическую установку БКТ-3 – полностью автоматизированный адиабатический вакуумный калориметр. Конструкция калориметра и методика работы аналогичны описанным в публикациях [6, 7]. Надежность работы калориметра проверяли измерением теплоемкости меди особой чистоты марки ОСЧ 11-4, эталонных синтетического корунда и бензойной кислоты марки К-2, приготовленных в метрологических учреждениях Госстандарта РФ. Из анализа полу-

ченных результатов следует, что погрешность измерений C_p° при гелиевых температурах в пределах 2%. При повышении температуры до 40 К она уменьшалась до 0.5% и при $T > 40$ К составляла ~0.2%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Теплоемкость

В калориметрическую ампулу поместили 0.2050 г полимера I. Теплоемкость полимера всюду составляла ~25% от суммарной теплоемкости калориметра с веществом. В восьми сериях измерений получено 267 экспериментальных значений C_p° . Усреднение точек C_p° проводили графически и на ЭВМ. Усредняющие кривые $C_p^\circ = f(T)$ вместе с экспериментальными значениями C_p° представлены на рис. 1. Разброс точек C_p° около усредняющей кривой $C_p^\circ = f(T)$ составлял 0.72% в интервале 15–30 К и был в пределах 0.09% в интервалах 30–250 и 315–340 К. Выявлено, что в изученной области температуры полимер существует в частично кристаллическом и жидкоком состояниях. Расстекловывание аморфной части полимера происходило в интервале 200–215 К, плавление кристаллической части – в интервале 240–313 К. Температурные зависимости теплоемкости полимера в частично кристаллическом состоянии при $T < T_c^\circ$ и в жидкоком состоянии (рис. 1, кривые AH и EJ) не имеют каких-либо особенностей: C_p° плавно увеличивается с ростом температуры. При ступенчатом медленном охлаждении полимера удалось измерить его C_p° в переохлажденном состоянии до $T \approx 290$ К, что на 23 К ниже его $T_{пл}^\circ$.

Параметры стеклования и стеклообразного состояния

Температуру стеклования $T_c^\circ = 208 \pm 1$ К определили по зависимости $S^\circ = f(T)$ методом [8]. Увеличение теплоемкости при расстекловывании аморфной части полимера $\Delta C_p^\circ(T_c^\circ)_\alpha = 6.5$ Дж/моль К нашли графически (рис. 1, отрезок BB'). Его использовали для оценки степени кристалличности $\alpha = 87\%$ исследованного образца полимера. Расчет α проводили по формуле

$$\alpha = 100[1 - \Delta C_p^\circ(T_c^\circ)_\alpha / \Delta C_p^\circ(T_c^\circ)_{\alpha=0}], \quad (1)$$

где увеличение теплоемкости при расстекловывании полимера степени кристалличности $\alpha = -\Delta C_p^\circ(T_c^\circ)_a$, увеличение теплоемкости при расстекловывании полностью стеклообразного образца полимера I – $\Delta C_p^\circ(T_c^\circ)_{\alpha=0} = 49$ Дж/моль К (рис. 1, отрезок BB'). Методика определения теплоемкости полимера в аморфном и кристаллическом состояниях по температурной зависимости теплоемкости частично кристаллического образца, полученной экспериментально, подробно описана в работе [9].

По зависимости $C_p^\circ = f(T)$ полимера в стеклообразном, кристаллическом, высокоэластическом и жидком состояниях (соответственно кривые AB , AC , BE и EJ на рис. 1), а также по температуре и энталпии плавления вычислили нулевую энтропию полимера I в стеклообразном состоянии $S_c^\circ(0) = 13.5$ Дж/моль К и разность нулевых энталпий его в стеклообразном и кристаллическом состояниях $H_c^\circ(0) - H_k^\circ(0) = 5.2$ кДж/моль. Расчет проводили по уравнениям

$$S_c^\circ(0) = \int_0^{T_{\text{пл}}^\circ} (C_{p,k}^\circ - C_{p,a}^\circ) d\ln T + \Delta S_{\text{пл}}^\circ \quad (2)$$

$$H_c^\circ(0) - H_k^\circ(0) = \int_0^{T_{\text{пл}}^\circ} (C_{p,k}^\circ - C_{p,a}^\circ) dT + \Delta H_{\text{пл}}^\circ \quad (3)$$

В уравнениях (2) и (3) $C_{p,k}^\circ$ и $C_{p,a}^\circ$ – температурные зависимости теплоемкости полимера I в кристаллическом (k) и аморфном (a) – стеклообразном и высокоэластическом состояниях; $\Delta H_{\text{пл}}^\circ$ и $\Delta S_{\text{пл}}^\circ$ – энталпия и энтропия плавления полимера 100%-ной кристалличности.

По формуле, предложенной Adam и Gibbs [10], оценили конфигурационную энтропию $S_k^\circ = 12.5$ Дж/моль К стеклообразного полимера I

$$S_k^\circ = \Delta C_p^\circ(T_c^\circ) \ln T_c^\circ / T_2^\circ, \quad (4)$$

где $\Delta C_p^\circ(T_c^\circ)$ – разность теплоемкостей полимера в высокоэластическом и стеклообразном состояниях при T_c° ; $T_2^\circ = 162$ К – температура Кауцмана [11] – гипотетическая температура, при которой энтропии веществ в стеклообразном и кристаллическом состояниях одинаковы. Ее определяли из энтропийной диаграммы полимера (рис. 2). В ра-

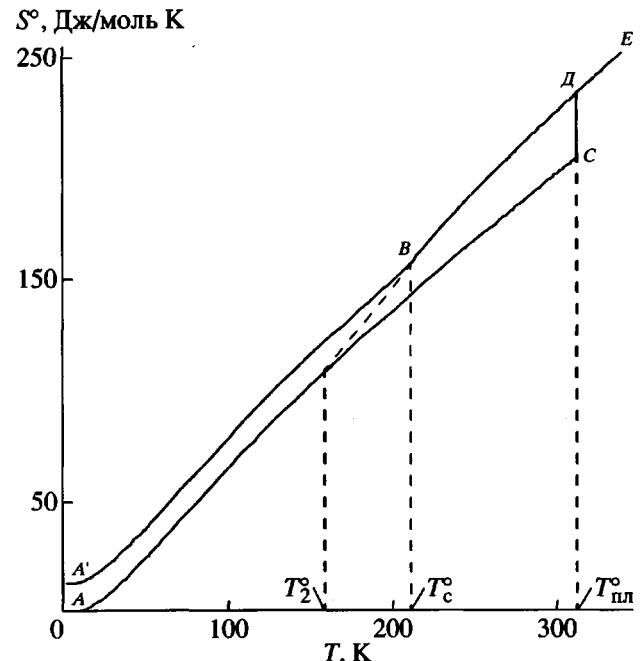


Рис. 2. Энтропийная диаграмма полимера I: AC – энтропия его кристаллического состояния, $A'B$ – энтропия стеклообразного состояния, BD – энтропия высокоэластического состояния, DE – энтропия жидкого состояния, AA' – нулевая энтропия стекла, CD – энтропия плавления; T_2° – температура Кауцмана.

ботах [9, 12] показано, что численное значение S_k° обычно близко к значению нулевой энтропии полимера $S_c^\circ(0)$, а $T_c^\circ/T_2^\circ = 1.29 \pm 0.14$ [10, 12]. Как видно, оба этих вывода хорошо подтверждаются и соответствующими данными для полимера I: $S_c^\circ(0) = 13.5$ Дж/моль К, а $S_k^\circ = 12.5$ Дж/моль К, $T_c^\circ/T_2^\circ = 1.28$.

Термодинамические параметры плавления

За температуру плавления кристаллов полимера I принято значение $T_{\text{пл}}^\circ = 313$ К, соответствующее окончанию интервала их плавления (рис. 1, точка E). Максимальное значение кажущейся теплоемкости в интервале плавления $C_{p,\text{макс}}^\circ = 1540$ Дж/моль К на кривой ЗГДЕ имело место при 309.79 К. Энталпия плавления определена в трех опытах методом непрерывного ввода энергии. Для исследуемого образца полимера получили значение $\Delta H_{\text{пл}}^\circ (\alpha = 87\%) = 8.03 \pm 0.22$ кДж/моль – сред-

нее значение трех опытов и среднеарифметическое отклонение. Пересчет на 100%-ную кристалличность выполняли по уравнению

$$\Delta H_{\text{пл}}^{\circ}(\alpha = 100\%) = \Delta H_{\text{пл}}^{\circ}(\alpha)/\alpha, \quad (5)$$

где α выражена в долях единицы. Получили $\Delta H_{\text{пл}}^{\circ}(\alpha = 100\%) = 9.23 \pm 0.22 \text{ кДж/моль}$. Энтропию плавления $\Delta S_{\text{пл}}^{\circ}(\alpha = 100\%) = 29.5 \pm 0.8 \text{ Дж/моль К}$ вычислили по значениям энталпии и температуры плавления по формуле

$$\Delta S_{\text{пл}}^{\circ}(\alpha = 100\%) = \Delta H_{\text{пл}}^{\circ}(\alpha = 100\%)/T_{\text{пл}}^{\circ} \quad (6)$$

Термодинамические функции

Для расчета термодинамических функций полимера I (табл. 1) зависимость $C_p^{\circ} = f(T)$ полимера экстраполировали от 15 до 0 К по функции теплоемкости Дебая

$$C_p^{\circ} = nD(\theta_D/T) \quad (7)$$

Здесь D – символ функции теплоемкости Дебая, $n = 4$ и $\theta_D = 109.34 \text{ К}$ – специально подобранные параметры. Уравнение (7) с указанными параметрами n и θ_D описывает соответствующие экспериментальные значения полимера в интервале 15–20 К с погрешностью приблизительно $\pm 1.2\%$. При расчете функций принимали, что при температурах между 0 К и началом измерений теплоемкости уравнение (7) воспроизводит значения C_p° полимера I с той же погрешностью.

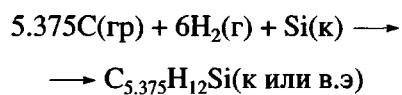
Термодинамические функции полимера I в кристаллическом, стеклообразном, высокоэластическом состояниях рассчитаны по экспериментальным данным настоящей работы о свойствах полимера в частично кристаллическом состоянии способом, подробно описанным в работе [13].

Расчет $H^{\circ}(T) - H^{\circ}(0)$ и $S^{\circ}(T)$ выполняли численным интегрированием зависимостей $C_p^{\circ} = f(T)$ и $C_p^{\circ} = f(\ln T)$ соответственно. При расчете энтропии стеклообразного полимера учитывали значение его нулевой энтропии $S_c^{\circ}(0)$. Функцию Гиббса $G^{\circ}(T) - H^{\circ}(0)$ полимера вычислили по значениям

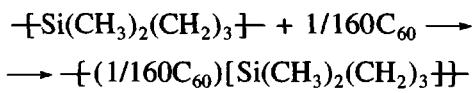
$H^{\circ}(T) - H^{\circ}(0)$ и $S^{\circ}(T)$. Подробности расчета функций описаны, например, в работе [13].

Стандартная энтропия образования и энтропия получения фуллеренсодержащего полисил(диметил)триметилена

Стандартную энтропию образования полимера I при $T = 298.15 \text{ К}$ рассчитали по данным об его энтропии (табл. 1) и литературным данным [14] об энтропиях газообразного водорода, кристаллического углерода в форме графита и кристаллического Si. Получили $\Delta_f S^{\circ}(\text{k}) = -637.3 \pm 1.5 \text{ Дж/моль К}$, $\Delta_f S^{\circ}(\text{в.э.}) = -609.3 \pm 1.5 \text{ Дж/моль К}$ (к – кристаллический, в.э. – высокоэластический). Полученные значения соответствуют процессу



Энтропия получения полимера I $\Delta_p S^{\circ}$ из полимера II и C_{60} рассчитана для реакции



По уравнению (8)

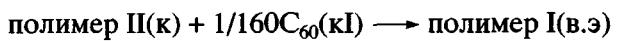
$$\Delta_p S^{\circ} = S^{\circ}(\text{I}) - S^{\circ}(\text{II}) - 1/160S^{\circ}(\text{C}_{60}), \quad (8)$$

где $S^{\circ}(\text{I})$ и $S^{\circ}(\text{II})$ – энтропии в расчете на соответствующие повторяющиеся мономерные звенья. Значения энтропий для полимера I взяты из табл. 1 настоящей работы, полимера II – из работ [15, 16] и фуллерена C_{60} – из работ [17].

Энтропия реакции зависит от физических состояний реагентов. При $T = 298.15 \text{ К}$ и стандартном давлении для реакций



$$\Delta_p S^{\circ} = -1.3 \text{ Дж/моль К}$$



$$\Delta_p S^{\circ} = 26.7 \text{ Дж/моль К}$$



$$\Delta_p S^{\circ} = -25.1 \text{ Дж/моль К}$$



$$\Delta_p S^{\circ} = 2.9 \text{ Дж/моль К.}$$

В круглых скобках указаны физические состояния реагентов: к – кристаллический, в.э. – высокоэластический.

Таблица 1. Термодинамические функции фуллеренсодержащего поли[сил(диметил)тритметилена] в расчете на условный моль повторяющихся звеньев (молекулярная масса звена 104.7394)

<i>T</i> , К	<i>C_p</i> , Дж/моль К	<i>H°(T) – H°(0)</i> , кДж/моль	<i>S°(T)</i> , Дж/моль К	<i>–[G°(T) – H°(0)]</i> , кДж/моль
Кристаллическое состояние				
0	0	0	0	0
5	0.248	0.00032	0.0826	0.000103
10	1.955	0.0049	0.6582	0.00165
15	5.891	0.0235	2.113	0.00818
20	10.36	0.0639	4.407	0.0242
25	15.11	0.1275	7.227	0.0531
30	19.97	0.2152	10.41	0.0971
40	29.69	0.4637	17.49	0.2360
50	39.17	0.8083	25.14	0.4488
100	78.08	3.805	65.12	2.707
150	104.5	8.400	102.0	6.904
200	129.0	14.23	135.4	12.85
250	152.6	21.28	166.8	20.41
298.15	175.0	29.16	195.5	29.14
300	175.9	29.49	196.6	29.50
313	182.1	31.81	204.2	32.11
Жидкое состояние				
313	210.8	41.04	233.7	32.11
340	218.2	46.84	251.5	38.66
Стеклообразное состояние				
0	0	0	13.5	0
5	0.248	0.00032	13.6	0.0676
10	1.955	0.0049	14.2	0.1367
15	5.891	0.0235	15.61	0.2107
20	10.36	0.0639	17.91	0.2942
25	15.11	0.1275	20.73	0.3906
30	19.97	0.2152	23.91	0.5020
40	29.69	0.4637	30.99	0.7760
50	39.17	0.8083	38.64	1.124
60	48.20	1.246	46.60	1.550
70	56.64	1.770	54.66	2.056
80	64.42	2.376	62.74	2.643
90	71.56	3.056	70.75	3.311
100	78.08	3.805	78.63	4.058
150	104.5	8.400	115.5	8.929
200	129.0	14.23	148.9	15.55
208	132.8	15.28	154.1	16.76
Высокоэластическое состояние				
208	180.9	15.28	154.1	16.76
250	192.9	23.13	188.4	23.97
298.15	206.5	32.74	223.5	33.90
300	207.0	33.12	224.8	34.32
313	210.8	35.84	233.7	37.30

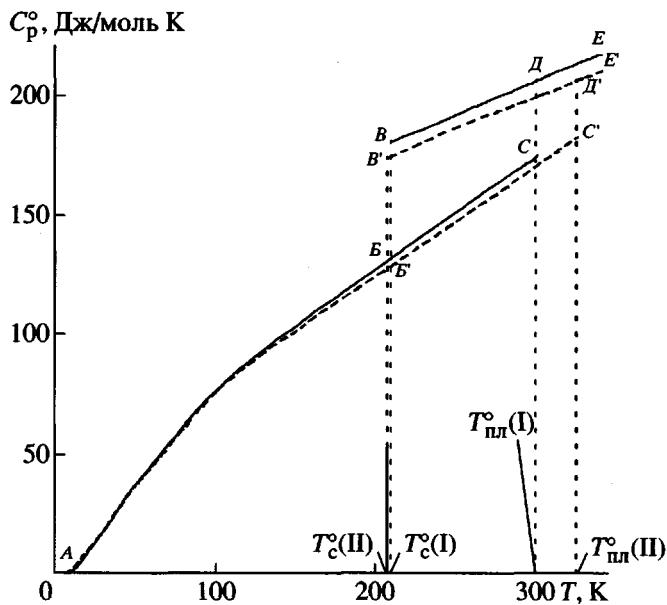


Рис. 3. Температурная зависимость теплоемкостей полимера I (сплошные линии): ABC – кристаллический, DE – жидкий, AB – стеклообразный, $B'D$ – высокоэластичный и полимера II (штриховые линии): $AB'C'$ – кристаллический, $D'E'$ – жидкий, AB' – стеклообразный, $B'D'$ – высокоэластичный.

Сравнение термодинамических свойств полимеров I и II

В работах [15, 16] методом адиабатической вакуумной калориметрии изучены термодинамические свойства частично кристаллического ($\alpha = 85\%$) по-

лимера II в области 8–330 К с погрешностью около 0.2%. Представлялось интересным сравнить теплоемкости полимеров I и II. Оказалось, что зависимости C_p° от T обоих полимеров практически идентичны, а различия теплоемкостей сравнительно невелики (рис. 3). При $T < 40$ К C_p° полимера I немного меньше C_p° полимера II, а при $T > 40$ К – наоборот. Различия C_p° полимеров в кристаллическом состоянии составляет 1.2% при 100 К, 2.6% – при 200 К и 2.3% – при 298.15 К, теплоемкость жидкого полимера I всюду больше C_p° полимера II на ~3.6%.

В табл. 2 для сравнения представлены параметры стеклования и стеклообразного состояния, а в табл. 3 – термодинамические параметры плавления обоих полимеров.

Видно, что T_c° обоих полимеров совпадают в пределах погрешностей их определений; величины $S_c^\circ(0)$, $H_c^\circ(0) - H_k^\circ(0)$ и $\Delta C_p^\circ(T_c^\circ)$ заметно больше у полимера I.

Термодинамические параметры плавления полимеров I и II различаются несколько больше, так, T_{ll}° полимера I меньше, чем у полимера II, а ΔH_{ll}° , ΔS_{ll}° и $\Delta C_p^\circ(T_{ll}^\circ)$ наоборот, у полимера I больше. Ясно, что выявленные различия связаны с введением молекул фуллерена C_{60} в макромолекулы полимера II.

Таблица 2. Параметры стеклования и стеклообразного состояния полимеров I и II

Полимер	T_c° , К	$S_c^\circ(0)$, Дж/моль К	$H_c^\circ(0) - H_k^\circ(0)$, кДж/моль	$\Delta C_p^\circ(T_c^\circ)$, Дж/моль К
I	208 ± 1	13.5	5.2	48.1
II	207 ± 1	9.6	4.3	45.8
Δ	1	3.9	0.9	2.3

Таблица 3. Термодинамические параметры плавления полимеров I и II

Полимер	T_{ll}° , К	ΔH_{ll}° , кДж/моль	ΔS_{ll}° , Дж/моль К	$\Delta C_p^\circ(T_{ll}^\circ)$, Дж/моль К
I	313 ± 1	9.23 ± 0.22	29.5 ± 0.8	28.7 ± 1
II	325 ± 1	8.49 ± 0.08	26.1 ± 0.3	23.4 ± 1
Δ	-12	0.74	3.4	5.3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kunio Oka, Takahiro Gunji, Hideraki Takahashi, Miller M., West R. // Abstrs of X Int. Symp. on Organosilicon Chemistry. Poznan, 1993. P. 114.
2. Yusuke Tajima, Yoshihiko Tezuka, Tadahiro Ishii, Kazuo Takeuchi // Polym. J. 1997. V. 29. № 12. P. 1016.
3. Згонник В.А., Виноградова Л.В., Меленевская Е.Ю., Литвинова Л.С., Кевер Е.Е., Быкова Е.Н., Кленин С.И. // Журн. прикл. химии. 1997. Т. 70. № 7. С. 1159.
4. Masumi Taki, Shoji Takigami, Yuriko Watanabe, Yosuke Nakamura, Jun Nishimura // Polym. J. 1997. V. 29. № 12. P. 1020.
5. Бовина М.А., Беспалова Н.Б., Ходжаева В.Л., Ребров А.И., Семенов О.Б., Теплицкая Г.Л. // Высокомолек. соед. А. 1999. Т. 41. № 6. С. 917.
6. Varushchenko R.M., Druzhinina A.I., Sorkin E.L. // J. Chem. Thermodyn. 1997. V. 29. P. 623.
7. Малышев В.М., Мильнер Г.А., Соркин Е.Л., Шибакин В.Ф. // Приборы и техника эксперимента. 1985. № 6. С. 195.
8. Alford S., Dole M. // J. Am. Chem. Soc. 1955. V. 77. № 18. P. 4774.
9. Рабинович И.Б., Лебедев Б.В. // Высокомолек. соед. А. 1979. Т. 21. № 9. С. 2025.
10. Adam G., Gibbs G.H. // J. Chem. Phys. 1965. V. 43. № 1. P. 139.
11. Kauzmann W. // Chem. Rew. 1948. V. 43. № 2. P. 218.
12. Bestul A., Chang S.S. // J. Chem. Phys. 1964. V. 40. № 12. P. 3731.
13. Lebedev B.V. // Thermochim. Acta. 1997. V. 297. P. 143.
14. Термические константы веществ: Справочник / Под ред. Глушко В.П. М.: ВИНИТИ, 1965–1972. Вып. 1–6.
15. Лебедев Б.В., Рабинович И.Б., Лебедев Н.К., Ушаков Н.В. // Докл. АН СССР. 1978. Т. 239. № 5. С. 1140.
16. Лебедев Б.В. Дис.... д-ра хим. наук. М.: МГУ, 1979.
17. Жогова К.Б. Дис.... канд. хим. наук. Н. Новгород: Нижегородский гос. ун-т, 1998.

Thermodynamics of Fullerene-Containing Poly[sil(dimethyl)trimethylene] in the Range 0–340 K

N. N. Smirnova*, B. V. Lebedev*, N. B. Bespalova**, and M. A. Bovina**

*Research Institute of Chemistry, Nizhni Novgorod State University,
pr. Gagarina 23/5, Nizhni Novgorod, 603600 Russia

**Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis, Russian Academy of Sciences,
Leninskii pr. 29, Moscow, 117912 Russia

Abstract—The temperature dependence of the heat capacity of fullerene-containing poly[sil(dimethyl)trimethylene] in the temperature range from 15 to 340 K was studied by the methods of precise adiabatic vacuum calorimetry with an accuracy of about 0.2% in most cases. The parameters of the glass transition and melting were determined for this substance. The thermodynamic functions of the polymer in the crystalline, glassy, rubbery, and liquid states in the range of 0–340 K and the standard entropy of formation at 298.15 K were calculated from the obtained data. The obtained results were compared with the corresponding properties of its fullerene-free counterpart poly[sil(dimethyl)trimethylene].