

парных полимеров увеличивается с увеличением в них доли ПС; при содержании ПС более 50 мол. % T_c становится выше, чем у чистого ПС (эффект, аналогичный лестничным полимерам).

Механическая прочность σ_p и упругость E пленок парных полимеров выше, чем у обоих исходных полимеров, причем значения σ_p и E достигают максимума при эквимольном соотношении реагирующих полимеров. Относительная деформируемость ϵ пленок парных полимеров очень мала и соизмерима с ϵ чистого ПТХБ только при большом избытке последнего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коршак В. В., Супрун А. П., Воинцева И. И., Мустафаева Б. Б., Слонимский Г. Л., Аскадский А. А., Бирштейн Т. М., Канеева Е. Н. // Высокомолек. соед. А. 1984. Т. 26. № 1. С. 111.
2. Коршак В. В., Воинцева И. И., Супрун А. П., Аскадский А. А., Слонимский Г. Л. // Высокомолек. соед. 1987. Т. 29. № 1. С. 140.
3. Коршак В. В., Супрун А. П., Воинцева И. И., Евстифеева И. И., Слонимский Г. Л., Аскадский А. А. // Высокомолек. соед. А. 1987. Т. 29. № 6. С. 1257.
4. Аскадский А. А., Воинцева И. И., Мустафаева Б. Б., Казанцева В. В., Слонимский Г. Л. // Высокомолек. соед. А. 1982. Т. 24. № 11. С. 2447.
5. Эскин В. Е. Рассеяние света растворами полимеров и свойства макромолекул. Л., 1986. 288 с.
6. Аскадский А. А., Воинцева И. И. // Высокомолек. соед. А. 1987. Т. 29. № 12. С. 2688.
7. Аскадский А. А., Супрун А. П., Воинцева И. И., Соболева Т. А., Громова Е. А., Комарова Л. И., Слонимский Г. Л. // Высокомолек. соед. А. 1972. Т. 14. № 3. С. 633.

Институт элементоорганических соединений
им. А. Н. Несмиянова АН СССР
Институт высокомолекулярных
соединений АН СССР

Поступила в редакцию
31.III.1988

УДК 541.64 : 542.954

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ ПОЛИФЕНИЛХИНОКСАЛИНОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПОЛИЦИКЛОКОНДЕНСАЦИИ В ОТСУТСТВИЕ РАСТВОРИТЕЛЯ

[Коршак В. В.], Берестнева Г. Л., Никитин Н. В., Никольский К. В.,
Петровский П. В., Дулепко В. И., Николюкин Ю. А.,
Дубовик И. И., Зиновьев С. Н.

Ранее при исследовании ММ и ММР полифенилхиноксалинов (ПФХ), полученных термической полициклоконденсацией 1,4-бис-(фенилглиоксалил)бензола с 3,3', 4,4'-тетрааминодифенилоксидом в отсутствие растворителя, было показано, что использование этого метода синтеза приводит к образованию полимеров с высокой полидисперсностью \bar{M}_w/\bar{M}_n [1]. Поскольку наблюдаемое в работе [1] расширение ММР характерно для хаотически разветвленных макромолекул [2], представлялось актуальным исследовать строение полученных ПФХ.

Формирование макромолекул ПФХ разветвленного строения можно связать с наличием в их цепях фрагментов, присущих промежуточному — невыделяемому продукту взаимодействия бис-(*o*-диаминов) с бис-(α -дикетонами)

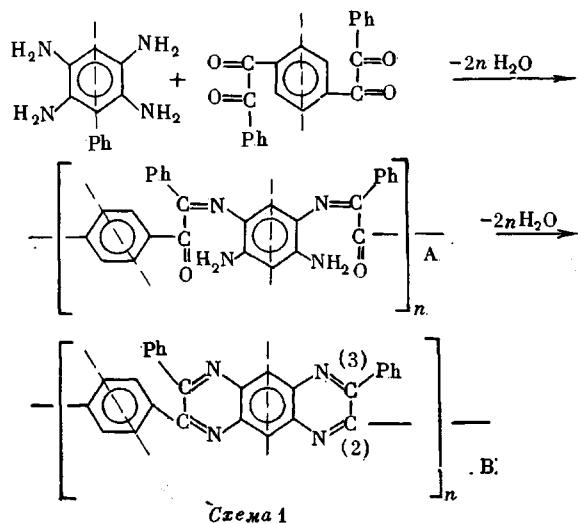


Схема 1

В пользу представлений о возможном присутствии в полимерах (*o*-амино-*o*-кето)кетанильных фрагментов (схема 1, фрагмент А) свидетельствуют экспериментальные данные работ [3, 4], согласно которым процесс полициклоконденсации исходных соединений протекает ступенчато путем последовательных актов взаимодействия амино- и кетогрупп. В таком случае наличие в макромолекулах фрагментов типа А в условиях термической полициклоконденсации может способствовать реализации взаимодействий, приводящих к разветвлению макромолекулярных цепей. Однако эти представления носили умозрительный характер и не были подтверждены экспериментально. Поскольку вопрос о присутствии аномальных звеньев в макромолекулах является до сих пор дискуссионным, цель настоящей работы — исследование наличия (*o*-амино-*o*-кето)кетанильных фрагментов в полимерах, полученных указанным методом, при различных температурах.

Образцы ПФХ (I–III) были получены термической полициклоконденсацией эквимольных количеств 3,3',4,4'-тетрааминофенилоксида ($T_{пл}=151\text{--}152^\circ$) и 1,4-бис-(фенилглиоксалил)бензола ($T_{пл}=126\text{--}127^\circ$); значения $T_{пл}$ исходных компонентов соответствовали литературным данным [5]. ПФХ-I синтезировали в изотермических условиях при 120° , ПФХ-II и ПФХ-III в условиях ступенчатого подъема температуры реакции: в режиме ПФХ-II 120° (60 мин) + 250° (30 мин), ПФХ-III — 120° (60 мин) + $+300^\circ$ (15 мин). Величина приведенной вязкости $\eta_{пр}$ для 1%-ных растворов полученных полимеров в метилпироридоне (МП) соответственно составила 0,12; 0,17 и 0,25 дL/g. Кроме того, синтезировали образец ПФХ-IV поликонденсацией исходных соединений в среде хлороформа с добавкой метанола по методике [4]; его $\eta_{пр}$ 0,20 дL/g.

Процесс полициклоконденсации (указанных исходных) исследовали методом ДСК на приборе DSC-2 в завальцованных алюминиевых чашечках при нагревании со скоростью 6,0 и 12,5 град/мин в области $20\text{--}400^\circ$. Химическое строение полученных систем анализировали с помощью спектроскопии ЯМР ^{13}C (^1H) на приборе «Bruker-WP-200-SY» (рабочая частота 50,31 МГц) при 25° . В качестве внешнего эталона использовали хлористый метилен ($\delta=54,02$ м. д.).

Для решения поставленной задачи предварительно было проведено изучение структурно-химических превращений, происходящих в условиях термической циклоконденсации соединений, моделирующих синтез ПФХ — *o*-фенилендиамина и 1,4-бис-(фенилглиоксалил)бензола (в мольном соотношении 2 : 1). На ДСК-термограмме этой смеси наблюдали экзотермический максимум ($T_{макс}$ при $\sim 47^\circ$) и два эндотермических максимума: первый при $T_{макс} \approx 115^\circ$, второй при $T_{макс} \sim 266^\circ$ (рис. 1, а), скорость сканирования 12,5 град/мин; эндотермических максимумов плавления исходных компонентов на ДСК-термограмме не обнаружили (термограммы индивидуальных компонентов приведены на рис. 1, б, в).

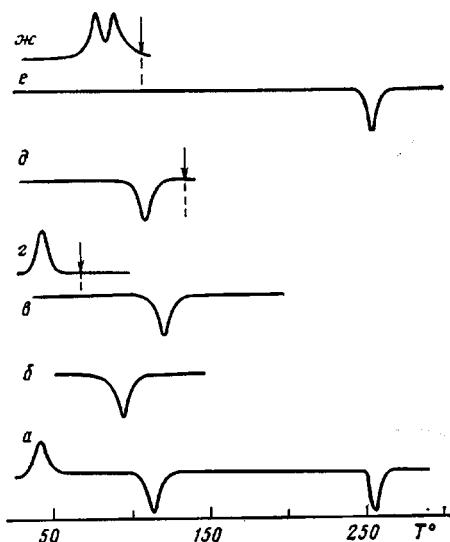


Рис. 1

Рис. 1. ДСК-термограммы: *a* – смесь *o*-фенилдиамина (2 моля) и 1,4-бис-(фенилглиоксалил)бензола (1 моль); *b*, *c* – исходные компоненты; *д*–*е* – продукты реакции, образующиеся на разных стадиях взаимодействия исходных компонентов в условиях съемки ДСК-термограмм; *ж* – эквимольная смесь 1,4-бис-(фенилглиоксалил)бензола с 3,3',4,4'-тетрааминодифенилоксидом. Кривые по теплоте не нормализованы

Рис. 2. Фрагменты спектров ЯМР $^{13}\text{C}\{\text{H}\}$ в МП: *a* – 1,4-бис-(2-фенилхиноксал-3-ил)бензол; *б* – продукт взаимодействия *o*-фенилендиамина (2 моля) с 1,4-бис-(фенилглиоксалил)бензолом (1 моль) в растворе МП (продукт Б); *в*, *г* – продукт Б после пребывания в среде МП в течение 3 (*в*) и 5 ч (*г*); *д* – 1,4-бис-(фенилглиоксалил)бензол; *е* – ПФХ-IV; *ж* – ПФХ-I; *з* – ПФХ-II; *и* – ПФХ-III

Исходя из представлений, развиваемых в работе [4], можно связать наличие экзоэффекта при $T_{\max} \approx 47^\circ$ с образованием промежуточного продукта типа А (схема 1). Возможность образования структуры такого типа подтверждена данными работы [4], полученными при исследовании механизма конденсации указанных мономеров в среде ТГФ. Первый эндотермический пик при $T_{\max} \approx 115^\circ$ можно объяснить последующей внутримолекулярной циклодегидратацией, приводящей к образованию 1,4-бис-(2-фенилхиноксал-3-ил)бензола; второй эндотермический пик при $T_{\max} \approx 266^\circ$ с плавлением 1,4-бис-(2-фенилхиноксал-3-ил)бензола, образующегося в условиях эксперимента (по литературным данным $T_{\text{пл}} \approx 266\text{--}267^\circ$ [8]). Наблюдаемый при $T_{\max} \sim 115^\circ$ эндотермический максимум, по-видимому, связан с наложением на теплоту экзотермического эффекта химической реакции, превышающей по величине теплоты эндотермического процесса парообразования воды, выделяемой в результате циклодегидратации.

Для подтверждения этих представлений был проведен следующий эксперимент. Съемку ДСК-термограммы смеси указанных компонентов прерывали на определенных стадиях; образовавшуюся реакционную массу охлаждали до комнатной температуры. Процесс прерывали дважды: первый раз при достижении 70° (при этой температуре зависимость $c_p - f(T)$ после экзотермического максимума при $T_{\max} \approx 47^\circ$ выходила на нулевую линию (рис. 1, *г*)), второй раз – при достижении 140° (при этой температуре зависимость $c_p - f(T)$ также выходила на нулевую линию после эндотермического максимума при $T_{\max} \sim 115^\circ$ (рис. 1, *д*)). Завершающий цикл испытаний: съемка ДСК-термограммы от комнатной температуры до 300° системы, полученной в результате предыдущего опыта, затем охлаж-

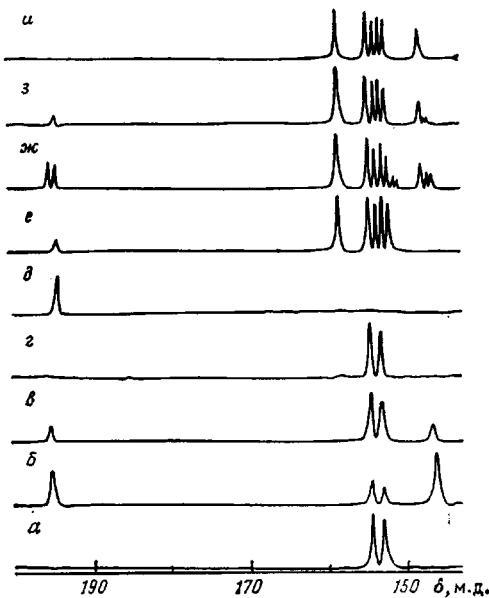


Рис. 2

дение содержимого алюминиевой чашечки до комнатной температуры и повторная съемка термограммы в том же температурном интервале (рис. 1, e).

Из совместного рассмотрения ДСК-термограмм, приведенных на рис. 1, следует, что в результате первого повторного нагревания системы до 70° на ДСК-термограмме исчезает экзотермический максимум при $T_{\max} \approx 47^\circ$ (рис. 1, г, д), в результате следующего повторного нагревания до 300° – эндотермический максимум при $T_{\max} \approx 115^\circ$ (рис. 1, д, е) и лишь эндотермический максимум при $T_{\max} \approx 266^\circ$ присутствует на ДСК-термограмме системы после повторного нагревания (рис. 1, е). Это позволило считать, что экзотермический максимум при $T_{\max} \approx 47^\circ$ и эндотермический максимум при $T_{\max} \approx 115^\circ$, исчезающие в результате повторных нагреваний системы, связаны с реализацией химических взаимодействий, а эндотермический максимум при $T_{\max} \approx 266^\circ$, сохраняющийся на ДСК-термограмме после повторных испытаний, связан с физическим переходом – плавлением 1,4-бис-(2-фенилхиноксал-3-ил)бензола, образующегося в условиях эксперимента.

Образование 1,4-бис-(2-фенилхиноксал-3-ил)бензола было подтверждено данными элементного анализа и спектроскопии ЯМР $^{13}\text{C}\{\text{H}\}$. Найдено, %: С 84,19; Н 4,53; N 11,34. $\text{C}_{34}\text{H}_{22}\text{N}_4$. Вычислено, %: С 83,93; Н 4,56; N 11,51. В спектре ЯМР $^{13}\text{C}\{\text{H}\}$ 1,4-бис-(2-фенилхиноксалил-3-ил)бензола (рис. 2, а) в МП в области слабых магнитных полей наблюдали два интенсивных сигнала при $\delta = 153,70$ и $152,95$ м.д., характерные соответственно для ядер атомов углерода (2) и (3) фенилхиноксалиновых циклов в этом соединении (эти данные находятся в соответствии с результатами работы [6]).

Совместное рассмотрение спектров ЯМР $^{13}\text{C}\{\text{H}\}$ 1,4-бис-(2-фенилхиноксал-3-ил)бензола (рис. 2, а) и реакционной массы, образующейся в результате термического взаимодействия исходных компонентов при 70° (исследовали спектр свежеприготовленного раствора реакционной массы в МП) (рис. 2, б), показало, что они существенно различаются. Так, в спектре последнего наряду с малоинтенсивными сигналами, характерными для ядер атомов углерода 1,4-бис-(2-фенилхиноксал-3-ил)бензола, наблюдали интенсивные сигналы при $\delta = 146,40$ и $195,10$ м.д. (рис. 2, б). Интенсивность этих сигналов убывает вплоть до нуля при кратковременном хранении раствора реакционной массы в МП (сигналы не регистрировали после пятичасового хранения раствора при комнатной температуре) (рис. 2, г). Это позволило считать, что регистрируемые сигналы обусловлены наличием ядер углерода промежуточной нестабильной структуры, интенсивно претерпевающей внутримолекулярную циклодегидратацию в среде МП: спектр ЯМР $^{13}\text{C}\{\text{H}\}$ вещества после выдержки в МП в течение 5 ч был идентичен спектру 1,4-бис-(2-фенилхиноксал-3-ил)бензола.

Из сопоставления спектра 1,4-бис-(фенилглиоксалил)бензола (рис. 2, д) со спектром промежуточного продукта (рис. 2, б) следует, что сигнал $\delta = 195,10$ м.д., близкий по положению к сигналу ядер атомов углерода кетогрупп 1,4-бис-(фенилглиоксалил)бензола, может быть отнесен к сигналу ядер атомов углерода кетогрупп недоциклизованных (*o*-амино-*o*-кето)кетенильных фрагментов, а сигнал при $\delta = 146,40$ м.д., лежащий в области, характерной для ядер атомов углерода азометиновых фрагментов [6] – к сигналу ядер атомов углерода кетенильных групп в этих фрагментах. Таким образом, термическая циклоконденсация 1,4-бис-(фенилглиоксалил)бензола с *o*-фенилендиамином в отсутствие растворителя носила отчетливо выраженный ступенчатый характер с образованием на первой стадии (*o*-амино-*o*-кето)кетенильных фрагментов, последующая термическая циклодегидратация которых протекала исключительно внутримолекулярно.

Аналогичный, ступенчатый характер образования фенилхиноксалиновых циклов прослеживается при термической полициклоконденсации

3,3',4,4'-тетрааминодифенилоксида с 1,4-бис-(фенилглиоксалил)бензолом. Так, на ДСК-термограмме смеси эквимольных количеств этих компонентов (скорость сканирования 6 град/мин) наблюдаются два экзотермических максимума в области 80–100°: первый при $T_{\max} \approx 83^\circ$, второй – при 95° (рис. 1, ж). Однако, поскольку экзотермические максимумы перекрывают друг друга, проанализировать строение промежуточного продукта термической полициклоонденсации, образующегося на первой стадии процесса, не представлялось возможным.

Исходя из представлений, что образующийся в условиях термической полициклоонденсации ПФХ имеет разветвленное строение [1], был проведен сопоставительный анализ спектров ЯМР ^{13}C { ^1H } этого полимера и ПФХ линейного строения, полученного в условиях низкотемпературной полициклоонденсации (образец IV). Спектр ЯМР ^{13}C { ^1H } ПФХ-IV (рис. 2, е) был идентичен спектрам полимеров аналогичного химического строения, рассмотренным в работах [7, 8]. В его спектре в области слабых магнитных полей регистрировали следующие сигналы: четыре сигнала при $\delta = 154,40; 153,70; 153,00$ и $152,35$ м.д., присущие ядрам атомов углерода (2) и (3) фенилхиноксалиновых циклов в изомерных звеньях макромолекул полифенилхиноксалина ($2,2'$ -; $3,3'$ - и $2,3$ -изомеры) [7, 8] и сигнал при $\delta = 158,30$ м.д., обусловленный наличием в системе ядер атомов углерода дифенилоксидных фрагментов, связанных между собой простой эфирной связью (остаток тетрааминного компонента). Кроме этих сигналов в спектре полимера регистрировали также слабый сигнал при $\delta = 194,50$ м.д., связанный со сравнительно высоким содержанием в системе концевых α -дикетонных фрагментов макромолекул (см. спектр 1,4'-бис-(фенилглиоксалил)бензола).

Спектр ЯМР ^{13}C { ^1H } ПФХ-I, полученного термической поликонденсацией при 120°, отличался от спектра ПФХ-IV. В этом спектре в области слабых магнитных полей наряду с перечисленными сигналами, характерными для ядер атомов углерода фенилхиноксалиновых циклов, наблюдали дальнейшее расщепление сигналов атомов углерода (2) и (3) – сигналы при $\delta = 151,50$ и $151,10$ м.д., что свидетельствовало о присутствии в макромолекулах фенилхиноксалиновых фрагментов с иным обрамлением. Кроме того, в спектре ЯМР ^{13}C { ^1H } этого полимера регистрировали появление сигналов при $\delta = 146,50; 147,00$ и $147,60$ м.д., а также при $195,10$ м.д. (рис. 2, ж).

Из сопоставления спектра ЯМР ^{13}C { ^1H } этого полимера со спектром реакционной массы, содержащей промежуточный (недоциклизованный) продукт термической циклоонденсации *o*-фенилдиамина с 1,4-бис-(фенилглиоксалил)бензолом (рис. 2, б), следует, что сигнал при $\delta = 195,10$ м.д. обусловлен наличием в системе ядер атомов углерода кетогрупп (*o*-амино-*o*-кето) кетанильных фрагментов, а сигналы при $\delta = 146,10; 146,30$ и $147,00$ м.д. ядер атомов углерода кетанильных групп в указанном фрагменте. Расщепление сигналов ядер атомов углерода кетанильной группы может быть связано с наличием изомерных (*o*-амино-*o*-кето) кетанильных фрагментов (схема 2, а), с образованием «узлов» ветвления типа ди-(*o*-кето) кетанильных группировок (схема 2, б), с реализацией межмолекулярной дегидратации в системе, приводящей к образованию дикетанильных узлов ветвления (схема 2, в), с различным обрамлением недоциклизованных (*o*-амино-*o*-кето) кетанильных фрагментов, наконец, с одновременным развитием некоторых из указанных процессов.

Предположение о возможности образования ди(*o*-кето) кетанильных и дикетанильных узлов ветвления в ПФХ, синтезированных высокотемпературной поликонденсацией в среде *m*-крезола, высказывалось в работе [9], однако оно не было подтверждено экспериментальными данными.

В связи с этим представлялось необходимым проанализировать наличие этих сигналов в спектрах ЯМР ^{13}C { ^1H } образцов ПФХ, полученных при более высоких температурах. На рис. 2, з, и приведены спектры ЯМР

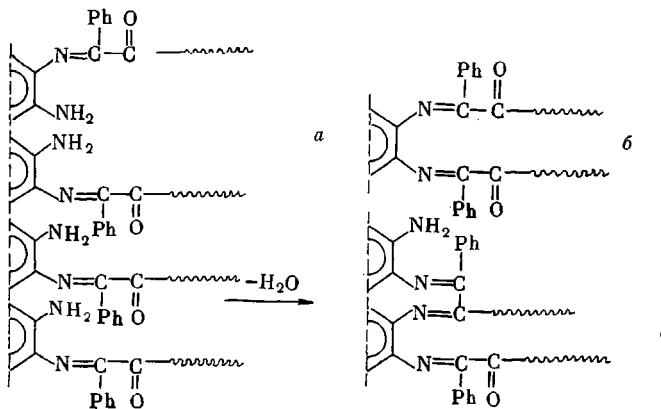


Схема 2

$^{13}\text{C}\{^1\text{H}\}$ ПФХ-II и ПФХ-III, полученных в условиях ступенчатого подъема температуры реакции. Из сопоставления этих спектров следует, что термообработка полимера при 250° приводила к уменьшению сигналов при $\delta = -146,10$; $146,30$ и $195,10$ м.д.; сигнал при $\delta = 147,00$ м.д. сохранялся неизменным. Необходимо отметить, что в спектре ЯМР $^{13}\text{C}\{^1\text{H}\}$ образца, полученного при 320° , сигнал при $\delta = 147,00$ м.д. также присутствовал. Исчезновение с повышением температуры термообработки полимера сигналов при $\delta = 146,10$ и $146,30$ м.д., отвечающих углероду кетанильных групп, с одновременным исчезновением сигнала при $\delta = 195,10$ м.д., соответствующего ядрам атомов углерода кетогрупп (*o*-амино-*o*-кето) кетанильных фрагментов (рис. 2, *и*), свидетельствовало о развитии термических превращений в системе, протекающих при участии (*o*-кето) кетанильных фрагментов.

С учетом представлений, выдвинутых в работе [9], и данных об увеличении коэффициента полидисперсности исследуемых полимеров с повышением температуры их получения [1] можно было предположить, что в условиях термической полициклоконденсации недоциклизованные фрагменты в определенной мере участвуют также в межмолекулярной дегидратации. В этом случае сигнал при $\delta = 147,00$ м.д. в спектрах ЯМР $^{13}\text{C}\{^1\text{H}\}$ образцов ПФХ, полученных в условиях ступенчатого подъема при температуре реакции, можно отнести к сигналу ядер атомов углерода кетанильных групп с иным обрамлением, в частности с наличием в системе дикетанильных группировок, образующихся в результате межмолекулярной дегидратации.

Подтверждением наличия в ПФХ, полученных при высоких температурах, фрагментов, содержащих кетанильные группы, является падение вязкости при растворении образцов II и III и их последующей выдержки в 70%-ной серной кислоте, что обусловлено разрывом связи $-\text{N}=\text{C}-$. Например, $\eta_{\text{пп}}$ образца III после выдержки в серной кислоте в течение 6 ч уменьшилась с 0,25 до 0,18 дL/g. По-видимому, в условиях термической полициклоконденсации в конденсированной фазе реализация таких межмолекулярных взаимодействий в ряде случаев может быть связана с влиянием стерических факторов, а также с проведением процесса в отсутствие катализатора.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что в макромолекулах ПФХ, полученного в условиях термической полициклоконденсации в отсутствие растворителя, присутствуют недоциклизованные (*o*-амино-*o*-кето) кетанильные фрагменты, ответственные за реализацию побочных термических взаимодействий, которые приводят к разветвлению цепей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берестнева Г. Л., Коршак В. В., Чеснокова А. Е., Тимофеева Г. И., Кроян С. А., Кронгауз Е. С., Травникова А. П. // Высокомолек. соед. Б. 1984. Т. 26. № 11. С. 836.
2. Flory P. J. // J. Amer. Chem. 1941. V. 43. № 11. Р. 3091.
3. Калякин Н. Н., Рабинович И. В., Сапожников В. П., Камелева Г. П., Кронгауз Е. С., Коршак В. В., Травникова А. П. // Высокомолек. соед. Б. 1977. Т. 19. № 6. С. 457.
4. Кузнецов А. И., Коршак В. В., Кронгауз Е. С., Миронцева Г. А., Травникова А. П. // Высокомолек. соед. А. 1983. Т. 25. № 2. С. 396.
5. Мономеры для поликонденсации/Под ред. Коршака В. В. М., 1976. С. 632.
6. Data Bank ^{13}C vol-Copyright Bruylants, Kagerike, 1976. Р. 1000.
7. Grundeman E., Raubah H. // Acta Polymerica. 1979. В. 30. № 2. S. 83.
8. Урман Я. Г., Забельников Н. С., Алексеева С. Г., Воробьев В. Д., Слоним И. Я. // Высокомолек. соед. А. 1978. Т. 20. № 10. С. 2236.
9. Hergenrother P. M. // J. Appl. Polymer Sci. 1974. V. 18. Р. 1779.

Институт элементоорганических соединений
им. А. Н. Несмеянова АН СССР

Поступила в редакцию
1.IV.1988

УДК 541.64 : 539.2

ДИНАМИКА ПОВОРОТА ДИРЕКТОРА В ГРЕБНЕОБРАЗНОМ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ПОЛИМЕРЕ С ЦИАНБИФЕНИЛЬНЫМИ МЕЗОГЕННЫМИ ГРУППАМИ

Киреев Е. В., Строганов Л. Б., Губина Т. И., Костромин С. Г.,
Тальрозе Р. В., Шибаев В. П., Платэ Н. А.

Внимание исследователей динамики полимерных жидкких кристаллов (ПЖК) до сих пор было сосредоточено на относительно быстрых движениях молекулярных фрагментов (10^{-1} – 10^{-8} с). С точки зрения полимерной науки наибольший интерес представляют, напротив, медленные движения, сопоставимые во временной шкале с движениями цепей макромолекул.

В работах [1, 2] методом широкополосной ПМР-спектроскопии изучена кинетика поворота директора ПЖК с мезогенными группами в основной цепи [1] и в боковых ответвлениях [2]. В обоих случаях продемонстрирована возможность удовлетворительного описания эксперимента моделью «монодоменного» поворота директора n , предполагающей неизменность в процессе поворота идеальной «монодоменной» структуры, равенство момента кручения, действующего со стороны магнитного поля на магнитно-анизотропные группы, моменту вязкого трения в жидкокристалле и приводящей к следующему уравнению, описывающему кинетику поворота директора [3]:

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \beta_0 \exp(-t/\tau), \quad \tau = \gamma H^{-2} \Delta \chi^{-1}. \quad (1)$$

Здесь β – угол между директором ПЖК (n) и направлением магнитного поля (H); β_0 – β в начальный момент времени $t=0$; τ – характеристическое время переориентации директора, определяемое коэффициентом вращательной вязкости ПЖК γ и анизотропией диамагнитной восприимчивости $\Delta \chi = \chi_{\parallel} - \chi_{\perp}$. Характеристические времена τ оказываются на 3–5 порядков больше, чем в низкомолекулярных жидкких кристаллах, а коэффициенты вращательной вязкости γ составляют 10^5 – 10^6 П, что по порядку величины соответствует сдвиговой вязкости полимерного расплава. Это обусловлено тем, что в процессе поворота директора мезогенные группы вовлекают в движение полимерные цепи, динамика которых и определяет аномально