

УДК 541.64 : 547 (636.3+316)

## АНИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ТОЛАНА И ДИФЕНИЛБУТАДИИНА

*В. М. Мисин, П. П. Кисилица, Н. И. Болондаева,  
М. И. Черкашин*

Проведена анионная полимеризация толана и дифенилбутадиина в ТГФ. Продуктами реакции являются растворимые, окрашенные, пара-магнитные, термостойкие полимеры, имеющие высокие температуры текучести. Исследованы спектральные характеристики и электрофизические свойства полимеров. Показано, что политолан и полидифенилбутадиин имеют структуру замещенных полиенов.

Известно, что полимеризация диарилзамещенных ацетиленов происходит с трудом. Так, термическая полимеризация дифенилбутадиина (ДФБ) в блоке протекает при температурах порядка 150–195°. При 195° образуется уже 61% нерастворимой фракции. Макромолекулы полимера имеют в своем составе как полиеновые, так и полиациновые фрагменты [1, 2]. Термическая полимеризация ДФБ в растворе протекает с заметными выходами за десятки часов при 120° и выше [3]. Термическая блочная полимеризация толана в значительной степени протекает только при 300°. Повышение температуры сопровождается уменьшением содержания водорода в полимерах [4]. Таким образом, высокотемпературная полимеризация диарилацетиленов сопровождается различными вторичными процессами, в первую очередь деструктивными, что выражается в появлении нерастворимых продуктов, в изменении элементного состава полимеров. Присутствие структурных дефектов в макромолекулах таких полимеров, а также наличие в макромолекулах звеньев различных типов не позволяет достоверно интерпретировать данные некоторых спектральных и электрофизических исследований. Полимеризация ДФБ на комплексных инициаторах  $\text{изо}-\text{Bu}_3\text{Al}-\text{TiCl}_4$ , ацетилацетонат ванадила [1, 5, 6] приводит к образованию аморфных полиенов низкой молекулярной массы с малыми выходами. Толан же в присутствии комплексных [7, 8] или магнийорганических инициаторов [9, 10] образует только низкомолекулярные циклические фенилзамещенные продукты.

С другой стороны, известно, что связь  $\text{C}\equiv\text{C}$  имеет большее сродство к электрону, чем связь  $\text{C}=\text{C}$ . Это проявляется в повышении величины потенциала ионизации при переходе от этилена к ацетилену [11], в электроноакцепторном действии связи  $\text{C}\equiv\text{C}$  в качестве заместителя [12], а также в увеличении электрофильтности полиенов с накоплением в них числа тройных связей [13, 14]. Упомянутые особенности объясняют повышенную чувствительность ацетиленов к атаке нуклеофильных агентов. Поэтому в реакциях полимеризации этинилароматические мономеры должны были бы обладать наибольшей активностью в присутствии анионных инициаторов.

Работа по анионной полимеризации толана и ДФБ представлялась тем более интересной, что ранее указывалось на отсутствие протекания полимеризации ДФБ в присутствии натрийдифенила [5]. В настоящей работе изучена полимеризация толана и ДФБ в присутствии некоторых анион-

ных инициаторов: суспензии натрия и калия, комплексов лития и натрия с нафталином,  $\eta$ -BuLi и  $\text{Et}_3\text{P}$ , а также рассмотрены строение и некоторые свойства полученных полимеров.

Толан марки х.ч. перекристаллизовывали из этанола и сублимировали. Кристаллы имели т. пл.  $61^\circ$ . ДФБ, синтезированный из фенилацетилена по методу [15], перекристаллизовывали из метанола и сублимировали. Мономер плавился при  $87^\circ$ . ТГФ последовательно кипятили над щелочью, натриевой проволокой. Непосредственно перед проведением полимеризации в реакторе ТГФ перегоняли под аргоном над  $\text{LiAlH}_4$ . В случае проведения полимеризации в ампулах ТГФ дополнитель но осушали сплавом натрия и калия и хранили в ампуле на вакуумной установке. Бензол, ксиол очищали как в [16]; аргон очищали пропусканием через колонку с хромоникелевым катализатором и колонки с цеолитами ( $4 \text{ \AA}$ ). Растворы BuLi, комплексов лития и натрия в ТГФ получали по методикам [17, 18] и дозировали по шаровым микроампулам емкостью  $0,3\text{--}1,5 \text{ ml}$ .

Полимеризацию толана и ДФБ в присутствии BuLi, металлароматических комплексов и  $\text{Et}_3\text{P}^*$  проводили в ампулах, в которые загружали боек, мономер, микроампулу с катализатором; после перемораживания в ампулу ТГФ, ее отпаивали. Полимеризацию на суспензии металлов проводили в терmostатируемом реакторе, снабженном скоростной мешалкой, обратным холодильником, капельной воронкой и вводом аргона. Мелкодисперсные натрий и калий получали как в [17]. Реакцию проводили добавлением раствора мономера в ТГФ из капельной воронки к перемешиваемой суспензии щелочного металла и прекращали ее добавлением бутанола. Выделение полимеров и термическую полимеризацию проводили как в [1, 3].

Молекулярные массы полимеров определяли методом измерения тепловых эффектов конденсации [19]. Рентгенограммы порошков полимеров сняты на установке УРС-55 в цилиндрической камере диаметром  $57,3 \text{ mm}$  с использованием  $\text{CuK}_\alpha$ -излучения и ванадиевого фильтра от  $\beta$ -излучения. Термостабильность полимеров изучали на автоматических самозаписывающих термовесах АТВ-1 на воздухе со скоростью нагревания  $200 \text{ grad/час}$ . Термомеханические кривые получали в условиях одноосного сжатия образца при постоянно действующей нагрузке  $0,8 \text{ kG/cm}^2$  со скоростью нагревания  $100 \text{ grad/час}$  на приборе Цейтлина [20]. ИК-спектры снимали на приборе UR-20. Образцы готовили в виде таблеток с KBr ( $4 \text{ mg}$  полимера на  $400 \text{ mg}$  KBr), либо в виде 10%-ных растворов в  $\text{CCl}_4$  ( $1 \text{ ml}$  кювета из  $\text{NaCl}$ ). Электронные спектры поглощения растворов полимеров в бензоле снимали на приборе «Specord».

Анионная полимеризация толана в присутствии суспензии натрия и калия, комплексов лития и натрия с нафталином, бутиллития в интервале температур от  $-20$  до  $+65^\circ$  в среде ТГФ протекает довольно активно. Начало реакции сопровождается окрашиванием раствора в красный цвет, который постепенно изменяется на зеленый и далее на синий, переходящий в коричневую при добавлении к полимерному карбаниону воды, спиртов. Продуктами реакции являются полимеры — политоланы (ПТА) с  $\bar{M}_n$  до  $1830$ , представляющие собой порошки желтого, коричневого или светло-зеленого цвета, хорошо растворимые в ароматических и хлорированных углеводородах, ацетоне, эфире, ДМФ и нерастворимые в спиртах и алканах. Одновременно образуются низкомолекулярные продукты реакции с  $\bar{M}_n=350\text{--}450$ . Условия полимеризации, а также выход и молекулярная масса политоланов приведены в таблице. На примере полимеризации толана в присутствии суспензии натрия показано, что повышение температуры реакции от  $-20$  до  $0^\circ$  при неизменном мольном соотношении мономер [M]:инициатор [I] сопровождается уменьшением выхода полимера. Дальнейшее повышение температуры до  $65^\circ$  ведет к повышению выхода полимера. Молекулярная масса политоланов с ростом температуры полимеризации имеет тенденцию к повышению. Наиболее высокомолекулярные политоланы получены при использовании в качестве инициаторов металлароматических комплексов, однако выход полимеров при этом довольно низок.

В присутствии указанных выше инициаторов в аналогичных условиях была изучена полимеризация ДФБ. Меняющаяся от зеленой к темно-красной окраска карбанионов тоже сохраняется в течение длительного времени в отсутствие агентов, обрывающих цепи. Наряду с полимерами желтого или коричневого цвета с  $\bar{M}_n$  до  $2290$  образуются низкомолекуляр-

\* Авторы благодарят Е. В. Кочетова за предоставление  $\text{Et}_3\text{P}$ .

**Условия полимеризации толана и ДФБ**

Инициатор	Толан					ДФБ				
	T, °C	время, часы	[M] : [I]	выход полимера, %	$\bar{M}_n$	T, °C	время, часы	[M] : [I]	выход полимера, %	$\bar{M}_n$
Натрий	-20	6	1:1	21	610	-50	6	1:1	20	1630
	0	6	1:1	15	620	-10	6	1:1	34	1810
	20	6	1:1	12	740	0	6	1:1	15	1520
	40	6	1:1	10	890	20	6	1:1	40	1400
	60	6	1:1	30	950	40	6	1:1	52	1450
	65	6	1:1	34	970	60	6	1:1	79	1480
	65	6	2:1	13	710	—	—	—	—	—
Калий	60	6	1:1	20	1010	50	6	1:1	48	1300
	60	6	2:1	5	660	60	6	1:1	49	1330
Li-нафталиновый комплекс	50	6	2:1	9	770	50	10	2:1	84	2290
Na-нафталиновый комплекс	50	8	1:1	4	1830	50	10	3:1	33	2000
»	50	8	4:1	6	1200	—	—	—	—	—
$\mu$ -BuLi	60	11	2:1	20	880	60	6	3:1	56	1750
$\text{Et}_3\text{P}$	—	—	—	—	—	50	10	4:3	—	—

ные продукты ( $\bar{M}_n=500$ ). Полидифенилбутадиены (ПДФБА) растворимы в тех же растворителях, что и политолан. Экспериментальные данные, представленные в таблице, свидетельствуют о большей активности ДФБ в анионной полимеризации по сравнению с толаном: выход ПДФБА, полученных анионной полимеризацией в условиях, полностью аналогичных получению политолана, значительно выше, причем, наибольший выход более высокомолекулярных продуктов получен в случае применения комплексов нафталина с литием и натрием. Наблюдаемое повышение склонности мономера к нуклеофильной атаке при переходе от толана к ДФБ следовало ожидать, так как введение в мономер дополнительной электрофильной группы  $\text{C}=\text{C}$  сопровождается усилением электроноакцепторных свойств мономера, подтверждением чему может служить результат полимеризации мономеров в одинаковых условиях в присутствии такого слабого нуклеофильного агента как  $\text{Et}_3\text{P}$ . При этом толан не полимеризовался, в то время как полимеризация ДФБ протекала, хотя и с очень низким выходом, что не позволило изучить свойства полученного продукта. Выход и  $\bar{M}_n$  ПДФБ существенным образом зависят от времени полимеризации (при  $20^\circ$  и равномольном соотношении  $[\text{M}] : [\text{I}]$ ). Например, увеличение времени полимеризации ДФБ в присутствии мелкодисперсного натрия с 2 до 8 час. приводит к увеличению выхода с 33 до 50 %. Одновременно  $\bar{M}_n$  возрастает от 1180 до 1760.

Время реакции, часы	2	4	6	8
Выход полимера, %	33	36	40	50
$\bar{M}_n$	1180	1280	1400	1760

Термомеханические исследования различных полимеров толана показывают, что температура текучести полимеров с  $\bar{M}_n=790-1010$  находится в пределах  $140-150^\circ$ . ПДФБА с  $\bar{M}_n=1260-1810$  размягчаются в интервале температур от  $300$  до  $380^\circ$ . Следует отметить, что значения температур текучести полимеров коррелируются с величинами их молекулярных масс. Этот факт обусловлен большой жесткостью полимерных цепей.

ПТА и ПДФБА обладают высокой стойкостью к термоокислительной деструкции. На примере термораспада ПДФБА видно (рис. 1), что заметного изменения в полимерах при нагревании их до  $300^\circ$  практически не происходит. При  $520^\circ$  потеря в весе полимера составляет 28%; начиная с

520°, происходит прогрессирующий распад полимеров, скорость термодеструкции возрастает, и при 625° полимеры распадаются полностью. Для ПДФБА, полученных как при -50° ( $\bar{M}_n=1630$ ), так и при 60° ( $\bar{M}_n=1480$ ) характерен одинаковый ход кривых термораспада, кривые практически накладываются друг на друга. Иначе говоря, полимеры характеризуются одинаковой термостабильностью. Поэтому можно предполагать, что полимеры ДФБ, полученные при различных температурах, характеризуются, видимо, одинаковой структурой.

Рентгеноструктурный анализ показал, что полимеры, полученные анионной полимеризацией, имеют повышенное содержание (до 60%) кристаллической фазы в отличие от аморфных полиарилацетиленов, полученных другими способами [1, 4]. На дебаеграммах образцов кроме диф-

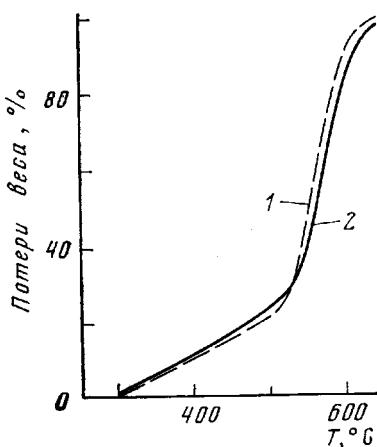


Рис. 1

Рис. 1. Термораспад ПДФБА при  $\bar{M}_n=1630$  (1) и 1480 (2)

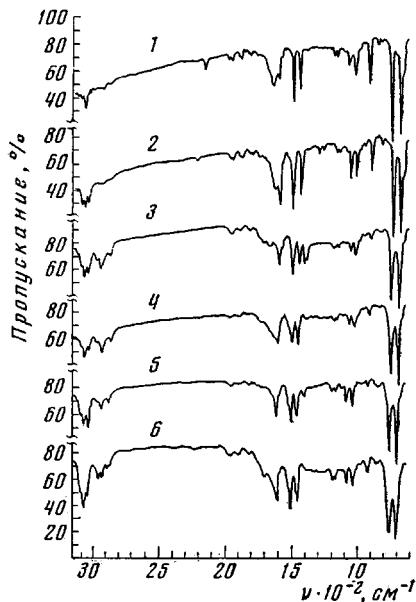


Рис. 2

Рис. 2. ИК-спектры (таблетки из KBr):

1 — ДФБ, 2 — толан, 3 — ПДФБА (сuspension калия), 4 — ПДФБТ, 5 — ПТА (комплекс Na с нафталином), 6 — ПТА (n-BuLi)

фузного гало со средним межплоскостным расстоянием 4,6—4,7 Å наблюдали целый ряд интенсивных дифракционных полос: 5,49, 4,86, 4,50, 3,82 и 2,03 Å. Проведение анионной полимеризации в условиях, исключающих деструкцию, позволяет получить макромолекулы без дефектов, а значит со структурой более упорядоченной, чем при термической полимеризации. Вероятно, этим можно объяснить наблюданную повышенную кристалличность изученных образцов полимеров.

Несмотря на упорядоченность структуры полимеров, электропроводность и фотопроводимость их находятся на уровне или лишь на порядок выше значений этих же электрофизических величин для полимеров, полученных другими способами. Электропроводность полиарилацетиленов меняется в интервале  $\sigma_{300^\circ K}=10^{-14}-10^{-16} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , а фотопроводимость имеет величину порядка  $\sigma_\phi=10^{-12} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

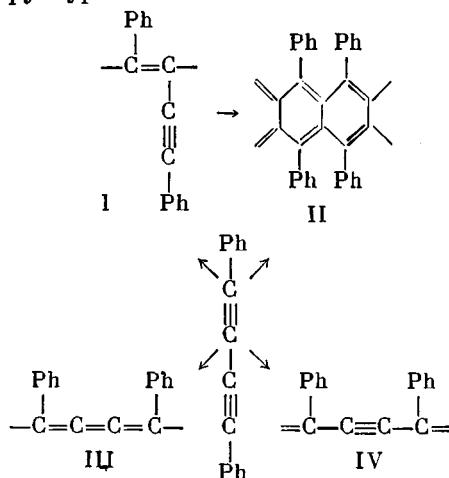
Пленки из ПТА и ПДФБА легко заряжаются в положительном или отрицательном коронном разряде до величин 1000—1200 е, имеют светочувствительность порядка  $2,5 \cdot 10^4 \text{ лк} \cdot \text{сек}$  и обладают необходимым спадом заряда как на свету, так и в темноте (время полуспада потенциала в темноте 20 мин.). Комплекс этих свойств полимеров делает их пригодными для изготовления электрографических слоев. Аналогичные полимеры,

полученные другими методами, обладают меньшей светочувствительностью и меньшим потенциалом заряда ( $\sim 500$  в).

Подобно другим полимерам, имеющим систему сопряженных двойных связей, ПТА и ПДФБА обладают парамагнетизмом. Все полимеры дают узкий синглет, соответствующий концентрации парамагнитных частиц  $10^{16}$ – $10^{17}$  спин/г. Кроме того, в области слабых полей наблюдали триплет, достигающий в некоторых образцах большой интенсивности. Природа этого второго сигнала, отсутствующего у всех других, ранее изученных полиариливиниленов, выясняется.

Для установления структуры синтезированных полимеров были изучены их ИК-спектры, которые сравнивали со спектрами полиарилатиленов, полученных термической полимеризацией. Спектры ПТА и ПДФБА идентичны (рис. 2) и аналогичны спектрам термических полимеров толана (ПТТ) и дифенилбутадиена (ПДФБТ). В них обнаружены полосы  $705$ ,  $765\text{ cm}^{-1}$  внеплоскостных деформационных колебаний СН дляmonoзамещенного бензола,  $1038$ ,  $1083$ ,  $1160\text{ cm}^{-1}$  плоскостных деформационных колебаний СН бензола,  $1605$  (с плечом  $1585$ ),  $1500$ ,  $1460\text{ cm}^{-1}$  валентных колебаний связей С=С скелета ароматического кольца и полосы в области валентных колебаний СН ароматического кольца  $3040$  (плечо  $3015$ ),  $3070$  ( $\text{плечно } 3090\text{ cm}^{-1}$ ). Отсутствие полосы валентных колебаний связи С=С, построение моделей свидетельствуют о транс-замещении полиеновой цепи ПТА.

Наличие у ДФБ двух связей С≡С делает вероятным существование нескольких типов структур



Существование структуры III, отвечающей 1,4-присоединению, было исключено из-за отсутствия полос поглощения в области  $1950\text{ cm}^{-1}$ , характерных для кумуленов. Различить полиеновую (I), полиаценовую (II) и полиениновую (IV) структуры полимеров с помощью ИК-спектроскопииказалось невозможным, ввиду симметрии заместителей у связей С=С и С≡С. К сожалению, интенсивная темная окраска полимеров не позволила получить спектры комбинационного рассеяния с лазерным источником излучения.

Особенностью спектров ПТА и ПДФБА является наличие в них интенсивных полос валентных колебаний СН-групп алканов в области  $2865$  и  $2935$  (плечо  $2970\text{ cm}^{-1}$ ). Присутствие полос в области  $2880$  (плечо  $2865$ ),  $2935$ ,  $2965\text{ cm}^{-1}$  в спектрах полимеров, полученных полимеризацией в присутствии BuLi, объясняется наличием в полимерах концевых Ви-групп. В случае же полимеризации на щелочных металлах и их комплексах на концах полиеновой цепи должны находиться атомы водорода, так как инициирование происходит за счет переноса электрона с инициатора на

мономер, что подтверждается наличием полосы средней интенсивности в области  $788 \text{ см}^{-1}$  в спектрах низкомолекулярных продуктов реакции. По-видимому, она отвечает полосе внеплоскостных деформационных колебаний группы СН в  $R_1R_2C=CHR_3$ , хотя ее можно отнести и к внеплоскостным деформационным колебаниям СН в мета-замещенном бензоле. Обрыв целей, подобно [21], за счет раскрытия циклов молекул ТГФ с образованием концевых групп —  $(\text{CH}_2)_n\text{OH}$  исключался, так как не были

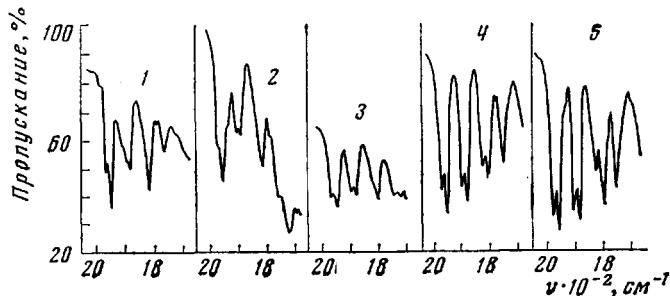


Рис. 3. ИК-спектры растворов ПТА (1), ПДФБА (2), ПДФБТ (3), толана (4) и ДФБ (5)

найдены полосы колебаний оксигруппы. Наличие полос колебаний СН-групп термических полимеров отмечали и ранее [1, 4]. Но при термической полимеризации водорододефицитных мономеров можно допустить образование какого-то количества «паркетных» полимеров с одновременным гидрированием ароматических ядер. Для анионных полимеров появление этих полос трудно объяснимо на основании имеющихся данных. Интересно, что подобные полосы наблюдали в полиариленах как при высокотемпературном ( $450^\circ$ ), так и низкотемпературном ( $40$ — $90^\circ$ ) синтезе [22, 23].

При рассмотрении структуры полимеров надо учитывать вероятную изомеризацию активного центра путем переноса протона с фенильного заместителя на карбанион или металлирование фенильного заместителя, подобно [24], с дальнейшим образованием разветвлений. Все это привело бы к появлению в цепи полимеров фениленовых фрагментов. Рассмотрение ИК-спектров позволило установить, что образование *пара*- и *ортого*-замещенного фенилена не происходит, так как отсутствуют сильная полоса в области  $800$ — $860 \text{ см}^{-1}$ , характерная для *пара*-замещенного бензола, и полосы  $1000$ — $960$  и  $1125$ — $1090 \text{ см}^{-1}$ , характерные для *ортого*-замещенного бензола. Области внеплоскостных деформационных колебаний моно- и мета-замещенного бензола перекрываются, поэтому были сняты ИК-спектры растворов полимеров и мономеров в области  $1750$ — $2000 \text{ см}^{-1}$  [25]. Пики ИК-спектров полимеров (рис. 3) имеют те же частоты, что и частоты соответствующих пиков в спектрах мономеров, хотя и происходит перераспределение интенсивностей. Таким образом, рассмотрение спектральных областей  $700$ — $900$  и  $1700$ — $2000 \text{ см}^{-1}$  позволяет заключить, что заметного образования фениленовых фрагментов в полимерах не происходит.

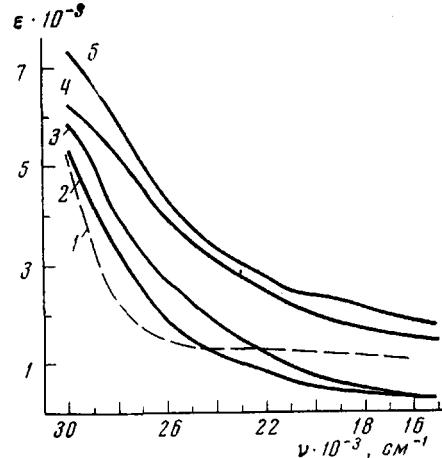


Рис. 4. Электронные спектры поглощения ПТА (1), ПТА-1 (2), ПДФБА (3), ПДФБА-2 (4) и ПДФБА-1 (5)

Для уточнения строения звеньев полимеров были рассмотрены их электронные спектры поглощения в видимой области (рис. 4). Спектральные кривые носят такой же характер, как и у термических полимеров. Подобно описанному в работе [5], мы провели модификацию ПДФБА как обработкой  $SbCl_5$  (ПДФБА-1), так и термолизом под аргоном в ампуле в течение 12 час. при  $280^\circ$  (ПДФБА-2). Термолиз при  $400^\circ$  проводить нельзя, так как термораспад ПДФБА начинается при  $300^\circ$  (рис. 2). Из рис. 4 видно, что модификация приводит к увеличению интенсивности поглощения во всей области. В длинноволновой области увеличение поглощения больше, чем в коротковолновой. Это свидетельствует об увеличении доли больших блоков сопряжения в модифицированной макромолекуле. Термообработка полимеров при температурах выше  $300^\circ$  наряду с раскрытием связи  $C \equiv C$  должна приводить к деструкции и графитизации полимеров, что ведет к более значительному увеличению интенсивности спектра, как получено в [5]. Изложенные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что ПДФБА имеет структуру замещенного полиена, которую можно переводить в полиаценовую термообработкой до  $290^\circ$  или обработкой реагентом Фриделя — Крафтса.

Из характера спектральных кривых ПТА и продукта его термолиза при  $290^\circ$  (ПТА-1) следует, что термолиз ведет к увеличению в полимере доли блоков с меньшим сопряжением за счет термораспада (рис. 4). Таким образом, низкотемпературная анионная полимеризация толана приводит к полимерам, не содержащим дефектов в структуре, а термическая полимеризация даже при наиболее возможной низкой температуре ( $300^\circ$ ) сопровождается деструктивными процессами.

Институт химической физики  
АН СССР

Поступила в редакцию  
16 VI 1975

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Берлин, М. И. Черкашин, М. Г. Чайсер, Р. Р. Шифрина, Высокомолек. соед., *A9*, 2219, 1967.
2. М. Г. Чайсер, М. И. Черкашин, М. Я. Кушнерев, Т. И. Процук, А. А. Берлин, Высокомолек. соед., *A10*, 916, 1968.
3. R. H. Wiley, J. Y. Lee, J. Macromolec. Sci., *A5*, 513, 1971.
4. П. П. Кисилица, М. И. Черкашин, А. А. Берлин, Изв. АН СССР, серия химич., 1967, 1959.
5. Ph. Teyssie, A. C. Korn-Girard, J. Polymer Sci., *A2*, 2849, 1964.
6. Б. Э. Давыдов, Г. Н. Демидова, Ф. М. Насиров, Р. Н. Пирцхалава, Л. Д. Розенштейн, Электрохимия, *1*, 876, 1965.
7. B. Franzus, P. I. Canterino, R. A. Wickliffe, J. Amer. Chem. Soc., *81*, 1514, 1959.
8. G. Drefahl, H. H. Hörrhold, H. Bretschneider, J. prakt. Chem., *25*, 113, 1964.
9. M. Tsutsui, Chem. and Ind. (London), *17*, 780, 1962.
10. H. P. Thronsdæn, H. Zeiss, J. Organomet. Chem., *1*, 301, 1964.
11. В. И. Веденеев, Л. И. Гуревич, В. Н. Кондратьев, В. А. Медведев, Е. Л. Франкевич, Энергия разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и средство к электрону, Изд-во АН СССР, 1962.
12. К. Ингольд, Теоретические основы органической химии, «Мир», 1973, стр. 921.
13. А. А. Петров, Ю. И. Порфириев, Ж. общ. химии, *33*, 419, 1963.
14. F. Bohlmann, E. Inhoffen, J. Politt, Ann., *604*, 204, 1957.
15. A. S. Hay, J. Organ. Chem., *25*, 1275, 1960.
16. Лабораторная техника органической химии, под ред. Кейла, «Мир», 1966.
17. Т. В. Талалаева, К. А. Кочешков, Методы элементоорганической химии. Литий, натрий, калий, рубидий, цезий, «Наука», 1971.
18. N. D. Scott, Пат. США 2181771, 1939.
19. Е. Ю. Бехли, Д. Д. Новиков, С. Г. Энтелис, Высокомолек. соед., *A9*, 2754, 1967.
20. Б. Л. Цейтлин, В. И. Гаевилов, Н. А. Великовская, В. В. Кочкин, Заводск. лаб., *22*, 352, 1956.
21. A. Rembaum, W. S.-P. Siao, N. Indictor, J. Polymer Sci., *56*, 163, 293', 1962.
22. А. А. Берлин, В. А. Григоровская, Ю. В. Киссин, Высокомолек. соед., *A12*, 1497, 1970.
23. А. А. Берлин, В. А. Григоровская, В. К. Скачкова, Н. И. Астраганцева, А. А. Брикенштейн, Высокомолек. соед., *A14*, 1591, 1972.
24. I. E. Mulvaney, Z. G. Gardung, J. Amer. Chem. Soc., *88*, 476, 1966.
25. К. Наканиси, Инфракрасные спектры и строение органических соединений, «Мир», 1965.