

ИССЛЕДОВАНИЯ СФЕРОЛИТНОЙ СТРУКТУРЫ В ПОЛИМЕРАХ

IV. РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАКРОСФЕРОЛИТОВ
ПОЛИЭТИЛЕНСЕБАЦИНАТА*Н. Г. Есипова, Ли Пан-тун, Н. С. Андреева, П. В. Козлов*

Как было показано в нашей работе [1], полимеры способны образовывать сферолиты с размерами, на порядок большими, чем это удавалось получать до сих пор для высокомолекулярных соединений. Предварительные данные по полиэтиленсебацинату, изложенные в указанной выше работе, показали, что такие сферолитные образования (макросферолиты) самопроизвольно возникают из растворов полимера в области расслаивания системы или близкой к ней. Следовательно, на процессы формирования такой макросферолитной структуры не оказывают влияния какие-либо дополнительные причины, могущие в той или иной степени определить их морфологические особенности. Указанная особенность, а также достаточно большие размеры макросферолитов делают их ценными для использования в качестве объектов рентгеноструктурных исследований кристаллических полимеров. Полученные в этом отношении различными авторами рентгенографические картины полимерных микросферолитов, не превышающих в лучшем случае нескольких десятков микрон, ограничивались двумя-тремя интерференциями и были, следовательно, весьма бедны вследствие недостаточной рассеивающей способности образцов. Поэтому на основе таких рентгенограмм вообще нельзя было непосредственно выбрать элементарную ячейку микросферолита. Полученные в таких условиях данные имели ценность только в том случае, если они использовались совместно со структурными характеристиками высокоориентированных, закристаллизованных волокон или пленок. В то же время более или менее точное определение ориентации структурных элементов в микросферолитных образованиях полимеров также затруднялось в силу того, что в них невозможно осуществить радиальные срезы и отделить фибриллы, пригодные для рентгенографического исследования кристаллического полимера [2—4].

Рентгенографические исследования макросферолитов полиэтиленсебацината предусматривали решение двух вопросов.

Во-первых, представляло интерес сравнение характера упаковки молекулярных цепей и их ориентации в элементарной ячейке макросферолита по отношению к ориентации и упаковке молекулярных цепей в других вторичных упорядоченных образованиях полимеров. Такому исследованию способствует возможность использования для рентгеносъемки отдельных радиальных структурных образований — фибрилл, легко отделяемых из макросферолита.

Во-вторых, представляло также интерес выяснение характера упаковки вторичных структурных образований в лентах, составляющих фибриллы макросферолита, приводящих к формированию хорошо известных для сферолитов радиальных структур.

В указанных направлениях и была поставлена настоящая работа

Методика исследования

Для выполнения данной работы были использованы наиболее крупные макросферолиты полиэтиленсебацината с диаметром до 8 м.м. Для получения отдельных фибрилл макросферолита последний разрезали по радиусу на тонкие пластинки, из которых затем (строго по радиусу) отделяли фибриллы диаметром, не превышающим 50 μ .

Съемка велась двумя способами: I. Применили Си K_{α} — излучение, полученное от острофокусной рентгеновской трубки. Размер фокуса не превышал 100 μ в диаметре при режиме работы трубы: 40 кв и 2,5 ма. При этом съемка производилась в камере с капиллярной диафрагмой, диаметром 100 μ на плоскую пленку при расстоянии ее от образца, равном 30 м.м. Экспозиция составляла 25 час. Были получены рентгенограммы при прохождении первичного пучка лучей перпендикулярно оси фибриллы и вдоль оси, а также при разных углах наклона фибриллы к первичному пучку.

Как было показано нами [1], макросферолиты полиэтиленсебацината, изъятые из раствора в фурфуриловом спирте, при их высыхании на воздухе подвергаются постепенному растрескиванию и, в конечном итоге, разрушению. Поэтому образцы на все время экспозиции помещались над парами фурфурилового спирта. Были произведены также съемки фибрилл макросферолита полиэтиленсебацината и при вакуумной откачке камеры.

2. Для съемок под малыми углами использовалась щелевая камера типа Кратки [5] и острофокусная рентгеновская трубка. Рентгенограммы получали при расположении оси фибриллы перпендикулярно щели камеры. Экспозиция составляла 50 час. при режиме работы трубы 40 кв и 2,5 ма. Размер входной щели в камере был 0,08 м.м., а расстояние образца от пленки — 315 м.м.

Наконец, для выявления далеких рефлексов и оценки величины дифракционного поля были также получены рентгенограммы сравнительно больших участков макросферолита по методу Дебая.

Экспериментальные данные и их обсуждение

При съемке фибриллы, выделенной из макросферолита полиэтиленсебацината, ось которой перпендикулярна первичному пучку рентгеновских лучей, на рентгенограммах появляются текстурированные максимумы (рис. 1). Схема такой рентгенограммы с индексами интерференций, рассчитанными нами, приведена на рис. 2. Рассеяние текстуры для фибриллярных элементов толщиной $\sim 50 \mu$ на расстоянии ~ 2 м.м. от центра сферолита не превышает 20° . На снимках при параллельной ориентации оси волокна по отношению к первичному пучку наблюдаются равномерно зачерненные кольца, что является характерным для текстуры сферолитов (рис. 3). Обе эти рентгенограммы (рис. 1 и 3) содержат максимально возможное число интерференций, укладывающихся на плоскую пленку при заданном расстоянии ее от образца.

Рентгенограммы образцов, находившихся над парами фурфурилового спирта, и рентгенограммы образцов, помещавшихся в вакуум, по существу не отличаются друг от друга. Указанное наблюдение представляет несомненный интерес. Такая неизменность рентгенографических картин фибриллы позволяет утверждать, что разрушение макросферолитов полиэтиленсебацината на воздухе не связано с нарушением кристаллической структуры во вторичных структурных элементах макросферолита — пачках цепей. Процесс разрушения макросферолита [1] связан, по-видимому, с расстройкой в упаковке более сложных структурных элементов сферолита — винтообразных лент и фибрилл.

На рентгенограммах, полученных при съемке под малыми углами,

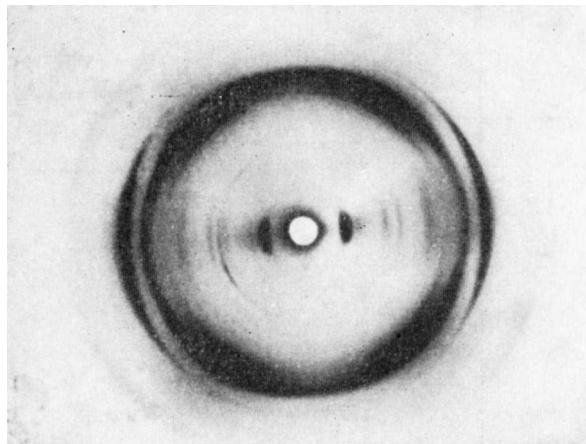


Рис. 1. Рентгенограмма фибриллы сферолита, ось которой перпендикулярна первичному пучку рентгеновских лучей

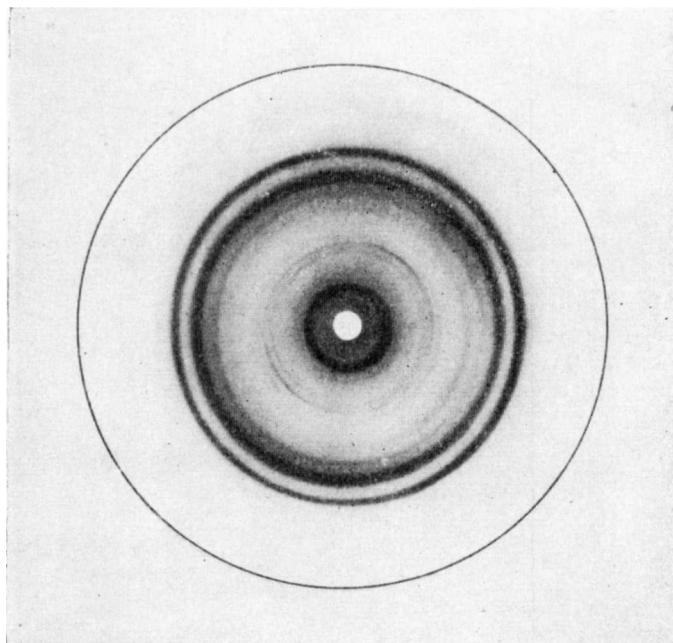


Рис. 3. Рентгенограмма радиального среза сферолита, расположенного вдоль первичного пучка лучей

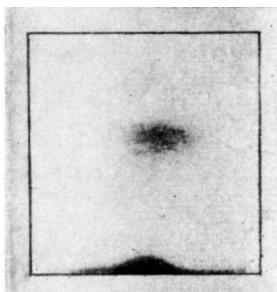


Рис. 4. Рассеяние под малыми углами от фибриллы сферолита полиэтиленсебацината

наблюдается один сильно размытый рефлекс в области угла $\vartheta \sim 25'$, что соответствует величине межплоскостного расстояния, близкой к 100 Å (рис. 4).

Микрофотометрическая кривая этого снимка имеет вид, изображенный на рис. 5.

На дебаеграмме сферолита наблюдается большое число интерференций. Минимальное значение измеренного межплоскостного расстояния

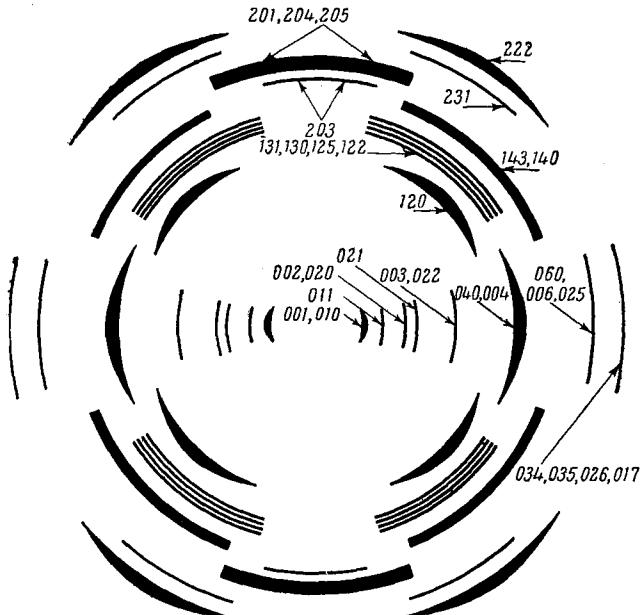


Рис. 2. Схема рентгенограммы фибриллы сферолита, ось которой перпендикулярна первичному пучку рентгеновских лучей

равно 1,01 Å, что соответствует значению $\sin \vartheta/\lambda \sim 0,44$. Точность оценки межплоскостных расстояний по мере роста угла отражения падает вследствие большого наложения дифракционных линий друг на друга; это приводит к большой неоднозначности индицирования, которое для далеких рефлексов теряет смысл.

Ниже мы приводим таблицы межплоскостных расстояний с их индексами, измеренных по снимкам радиальных элементов и по дебаеграмме (табл. 1, 2).

В этих таблицах представлены наши данные по индицированию рефлексов указанных рентгенограмм и данные, полученные Фуллером [6, 7] для закристаллизованных, ориентированных волокон полиэтиленсебацината. Количество рефлексов, наблюдавшихся нами на дебаеграмме, превышает число интерференций, отмеченных на рентгенограммах Фуллером. Это свидетельствует о большей упорядоченности структур сферолита по сравнению с препаратами, получаемыми в виде нитей при их растяжении и последующей кристаллизации.

Возможность использования крупных сферолитов позволила впервые исследовать не целые участки поверхности сферолитов, а одну отдельно взятую составляющую его — радиальную фибрillу. Рассеивающая способность такого элемента длиной в 4 мм и толщиной 50 μ была достаточно велика, а рентгенографическая картина настолько богата, что позволяла выбрать самую элементарную ячейку и определить ориентацию кристаллических элементов с неменьшей точностью, чем для закристаллизованных и ориентированных нитей.

Это также дало возможность впервые применить метод рассеяния рентгеновских лучей под малыми углами для исследования вторичных структур фибрillлярных элементов сферолита — пачек цепей.

Для того чтобы определить особенности ориентации цепей в сферолитах полиэтиленсебацината, необходимо найти элементарную ячейку,

в которой кристаллизуется этот полимер, и определить ориентацию той из ее осей, вдоль которой лежат цепи. Естественно при этом воспользоваться известными литературными данными¹, в частности данными Фулера, которые являются наиболее полными, по определению элементарных ячеек в различных полиэфирах [6, 7]. Однако рентгенограмма ориентированных и закристаллизованных нитей полиэтиленсебацината отличается от рентгенограммы фибрillлы макросферолита. Поэтому можно предположить, что либо мы имеем дело с другой кристаллической модификацией, т. е. другим типом упаковки цепей, либо с другой ориентацией элементарной моноклинной ячейки Фулера [6, 7] относительно оси текстуры. Первое предположение основывается на данных по разрушению сферолитов при растяжении [10]. Второе может основываться на совпадении межплоскостных расстояний, измеренных нами и Фулером [6] (см. табл. 2).

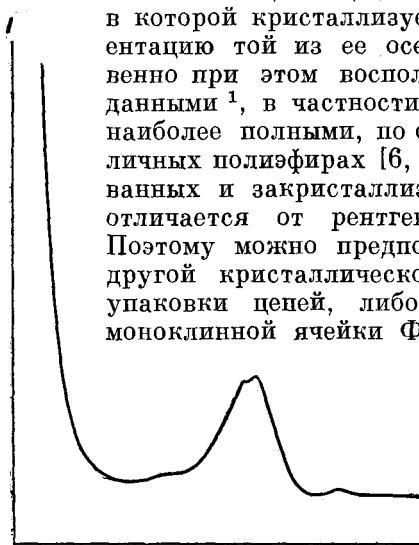


Рис. 5. Микрофотометрическая кривая снимка под малыми углами

ваторе наблюдается сильный рефлекс с $d \sim 15 \text{ \AA}$, то, выбирая ячейку Фулера, мы должны направить вдоль оси текстуры сферолита ось a , а ось c , т. е. направление молекулярной цепи, расположить под углом моноклинности к этой оси. Исходя из этого, нами были проиндцированы все рефлексы рентгенограммы за исключением одного экваториального с $d \sim 11,0 \text{ \AA}$. При индицировании межплоскостных расстояний, измеренных Фулером, в указанной им ячейке несколько рефлексов также не проиндцировалось. Дополнительный анализ симметрии упаковки молекул четных полиэфиров в моноклинных ячейках привел нас к возможности увеличения параметра b вдвое. При этом все рефлексы, как нашей рентгенограммы, так и данные Фулера, хорошо проиндцировались (см. табл. 1, 2 и 3).

Это свидетельствует о существовании одинаковых кристаллических модификаций в ориентированных нитях и в сферолитах полиэтиленсебацината.

Следует отметить, что точное определение параметров элементарной ячейки по рентгенограммам в данном случае не оправдано, так как точность оценки межплоскостных расстояний ближних интерференций не превышает $0,5 \text{ \AA}$, а при больших углах точность уменьшается вследствие наложения линий (см. табл. 2). Поэтому истинная ячейка может отличаться от выбранной в пределах $0,2$ — $0,3 \text{ \AA}$ и угол моноклинности в пределах 2 — 3° . Так как длина химического звена полиэтиленсебацината расположена вдоль оси c , то полученные данные указывают на то, что полимерные цепи его составляют приблизительно 65° с радиусом сферолита.

Изложенные выше соображения с достаточной наглядностью иллюстрируются схемами, приведенными на рис. 6. На этом рисунке даны три

¹ По подбору элементарных ячеек в различных полимерах, упаковка которых соответствует упаковке политечнового типа [6, 7, 8, 9].

схемы элементарной ячейки кристаллической структуры полиэтиленсебацината. Первая схема (*I*) воспроизводит ориентацию ячейки, предложенную Фуллером [7]. Вторая схема (*II*) характеризует ориентацию

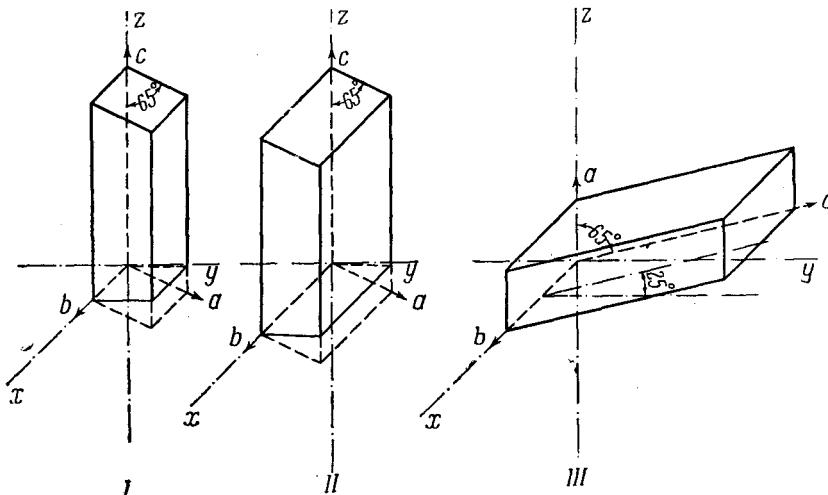


Рис. 6. Схема ориентации элементарной ячейки в сферолитах и в ориентированных и закристаллизованных нитях полиэтиленсебацината

элементарной ячейки в закристаллизованных нитях полиэтиленсебацината с поправкой, введенной нами по параметру *b* этой ячейки. Наконец, третья схема (*III*) характеризует ориентацию элементарной ячейки фибр-

Таблица 1
Межплоскостные расстояния в фибрилле макросферолита
полиэтиленсебацината
(Пучок лучей перпендикулярен радиусу сферолита)

Номер слоевой линии	Экспериментальное значение межплоскостного расстояния, Å	Рассчитанные индексы рефлексов (<i>hkl</i>)			
0 (экватор рентгенограммы)	15,3 ¹	001	040		
	14,7 ¹				
	11,0	011			
	7,7	002	020		
	6,6	021			
	5,1	003	022		
	3,64	040	004		
	2,51	006	025	060	
	2,02 ²	034	035	026	017
1	4,11	120			
	3,50 ¹				
	3,25 ¹	131	130	125	122
	2,94	140	143		
2	2,74	203			
	2,65	201	204	205	
	2,33	231			
	2,03 ²		222		

¹ Размытый интервал интерференции.

² Размытая линия.

риллы макросферолита полиэтиленсебацината в соответствии с полученными нами рентгенографическими данными. Из этой схемы видно, что плоскость *ab* элементарной ячейки параллельна оси фибриллы, т. е. радиусу макросферолита, а ось *c* (т. е. направление молекулярной цепи

Таблица 2

**Межплоскостные расстояния в макросферолите
(по дебаеграмме)**

$d_{\text{эксп}}$	Рассчитанные индексы (hkl)	Оценка интенсивности	Данные Фулера [6]
7,5	002 020	Средняя	7,57
6,5	021	То же	6,64
			5,35
5,05	022 003	» »	5,14
4,35	122	Очень слабая	4,39
4,15	023 120	Очень сильная	4,17
3,95	123 104	Очень слабая	3,97
3,64	040 024 121 105 004	Очень сильная	3,67
3,47 ¹	131 124 024 130	Очень слабая	3,47
3,33 ¹	042 005	Слабая	3,42
3,03	141 142	То же	3,00
			3,02
2,96	103 043 025 140	Сильная	2,96
2,90	143	Очень слабая	2,88
2,70	123 144 204 126	Слабая	—
2,63	205 201	Очень слабая	—
2,51	224 006 025 060	Средняя	2,56
			2,52
			2,51
2,38 ¹			2,43
2,31 ¹		Средняя	2,36
			2,35
			2,30
			2,21
2,20 ²			2,18
2,17 ¹			2,16
2,16 ¹			2,08
2,07 ¹			2,01
2,02 ¹		Средняя	1,97
1,97 ¹			
1,88 ³		To же	1,89
1,84 ³		» »	
1,73 ¹		» »	
1,66 ¹			
1,52 ³		Слабая	
1,45 ³		To же	
1,40 ³		» »	
1,27 ¹		Слабая	
1,20 ¹			
1,11 ³		Очень слабая	

¹ Размытый интервал.² 2,17 Å — сильная интерференция на фоне размытого интервала; возможные индексы ее 007, 046, 244, 144.³ Размытые линии.

полимера) лежит под углом 65° к оси фибриллы. На рис. 7 схематически показано расположение осей a^* и b^* обратной решетки по отношению к радиусу сферолита. Ось c^* перпендикулярна радиусу и в проекции ее направление совпадает с направлением оси b^* .

Интересно сравнить полученные нами данные с известными литературными данными по ориентации молекулярных цепей в сферолитах.

Как показали исследования сферолитов полимеров, упаковку цепей которых можно характеризовать ортогональными или моноклинными ячейками, направление одной из осей элементарной ячейки, не совпадающей с длиной химического звена в них, всегда параллельно радиусу [2, 3, 4]. По данным Хербста [4] это осуществляется и для триклинических ячеек полиамидов.

Таблица 3

Индцирование рентгенограммы Фулера [6] для элементарной ячейки с параметрами
 $(a = 5,5 \text{ \AA}, b = 15 \text{ \AA}, c = 16,9 \text{ \AA}, \beta = 65^\circ)$

Номер слоево-вой линии	Эксперимен-тальные зна-чения a	Расчетные значения индексов (hkl)	Номер слоево-вой линии	Эксперимен-тальные зна-чения a	Расчетные значения индексов (hkl)
0	4,17	120	4	5,14	003
	3,67	040		3,97	123
	3,42	130		2,88	143
	2,96	140		3,47	124 024
	2,51	200		2,43	124
	2,36	220		3,02	015
	2,18	160		2,52	045 145
	2,08	240			
1	14,7	001	5	2,56	006
	6,64	021		2,35	026
	2,63	201		2,21	146
2	7,57	002	7	2,30	127
	5,35	102		2,16	007
	4,39	122		2,01	147
	3,00	142		1,89	047
			8	1,97	228 128

В ортогональных системах поэтому молекулярная цепь полимера строго перпендикулярна радиусу, в то время как в моноклинических ячейках она расположена под углом моноклинности к радиусу сферолита¹.

Можно полагать, основываясь на закономерностях роста кристаллических структур, что направление радиуса сферолита всегда должно совпадать с одним из рациональных кристаллографических направлений. Этот вывод подтверждается дополнительно сравнением наших малоугловых данных с картиной, полученной под большими углами, что обсуждается ниже. Соответственно с этим плоскости ab и ac элементарной ячейки всегда параллельны радиусу сферолита.

Представляло интерес, как отмечалось ранее, определить также характер упаковки вторичных структурных образований, которые, как известно [1, 11, 12], состоят из винтообразных лент, образующих фибрillы сферолита. Исследования под малыми углами указывают на то, что толщина вторичных структурных единиц, составляющих ленты сферолита в направлении радиуса, равна приблизительно 100 Å. По-видимому, это значение соответствует толщине пачки цепей, являющейся основой при построении ленточно винтообразного радиального элемента сферолита (фибрillы).

Необходимо отметить, что ширина одиночных рефлексов, например, с индексом (203), наблюдаемого в направлении, близком к меридиальному рентгенограммы, весьма мала и соответствует величине области когерентного рассеяния, по крайней мере, на порядок большей, чем размер пачки, определенный по малоугловому рассеянию. Однако в этом

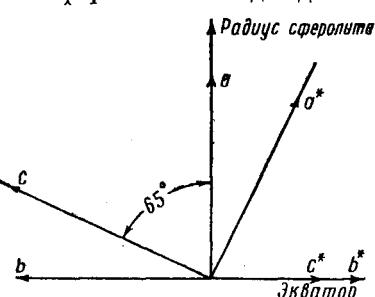


Рис. 7. Схема расположения осей прямой и обратной элементарных ячеек в макросферулитах полиэтиленсебациата

¹ Разница между так называемыми положительными и отрицательными сферолитами сводится к изменению ориентации осей a и b .

нет никакого противоречия, так как параллельный сдвиг пачек в плоскостях, перпендикулярных оси *a*, не может нарушить когерентности вдоль этого направления. Наличие малоугловых максимумов, по-видимому, определяется рассеянием на ступенях спирального роста.

Можно предполагать, что величина пачки цепей в направлении, перпендикулярном радиусу сферолита, окажется гораздо большей, если судить по ширине экваториальных рефлексов. Это связано с тем, что параллельных сдвигов пачек в направлении, перпендикулярном осям *b* и *c*, не может быть, а любой поворот приводит к нарушению когерентности.

Таким образом, из настоящей работы следует, что тип кристаллической модификации в сферолитах и в обычных фибрillлярных закристаллизованных образованиях (нитях) один и тот же во всех исследованных случаях. Для других полимеров этот принцип также выполняется. (Ср., например, тип упаковки цепей в сферолитах полипропилена [4] и в закристаллизованных нитях полипропилена [13].) Это свидетельствует о том, что существует одна и та же первоначальная единица, из которой формируются и сферолиты и закристаллизованные нити, что лишний раз подтверждает справедливость пачечной теории строения полимеров, предложенной Каргином, Слонимским и Китайгородским [14].

Действительно, трудно себе представить, что рост сферолита из раствора (или расплава) идет путем подстройки одной винтообразной цепи к другой. Более естественным является предположение, что существует первоначальная единица (пачка цепей), которая характеризуется определенным типом упаковки цепных молекул. При образовании и росте сферолита пачки цепей, подстраиваясь друг к другу, образуют винтообразные ленты. Различие этих двух типов фибрillлярных образований заключается в упаковке и ориентации пачек при образовании фибриллы.

Развивая эти представления, можно утверждать, что любые кристаллические формы одного и того же полимера — ориентированные закристаллизованные нити, сферолиты и монокристаллы — должны характеризоваться одним и тем же типом упаковки молекулярных цепей в первичных структурных элементах — пачках. Различия между этими формами будут заключаться: а) в различной ориентации пачек относительно основного направления роста данного образования — длины волокна, радиуса сферолита, внешних параметров монокристалла; б) в различной упаковке вторичных структурных элементов — лент и фибрилл — друг относительно друга.

Таким образом, исследование сферолитной и монокристаллической структуры полимеров — это задача исследования ориентации и упаковки сравнительно больших структурных элементов — закристаллизованных пачек цепей. Следовательно, эта задача может быть решена в большей мере исследованием рассеяния рентгеновских лучей под малыми углами на указанных образованиях.

Можно полагать, что наши данные подтверждают предположение Келлера [2] о том, что лента фибриллы сферолита сама состоит из спиралей и таким образом, как это нами было показано прямыми электронно-микроскопическими исследованиями [15], винтообразно-ленточный элемент есть система скрученных спиралей. Толщина витка первичной спирали, по нашим данным, равна 100 Å. Шаг большой спирали должен являться в случае правильности этого предположения некоторой функцией угла наклона цепи к радиусу сферолита (фибрилле).

В заключение мы пользуемся случаем выразить благодарность В. А. Каргину и сотрудникам лаборатории высокомолекулярных соединений химического факультета МГУ за ценное обсуждение настоящих результатов. Мы выражаем также благодарность сотрудникам лаборатории биополимеров Института биофизики АН СССР за любезное предоставление аппаратуры и помочь в работе.

Выводы

Проведено рентгенографическое исследование радиальных фибрillлярных элементов макросферолита полиэтиленсебацината.

Определена элементарная ячейка, характеризующая упаковку молекулярных цепей во вторичных структурных элементах — пачках. Показано, что полученные нами параметры элементарной ячейки соответствуют принятым для полиэтиленсебацината, за исключением параметра b , который должен быть удвоен как для сферолита, так и для исследованных другими авторами ориентированных и закристаллизованных нитей. Ориентация элементарной ячейки в сферолите такова, что вдоль оси аксиальной текстуры (радиуса сферолита) расположена ось a . Ось c , т. е. направление молекулярных цепей, расположена под углом моноклиности к радиальной фибрилле, равным 65° . Сделано предположение, что вдоль направления роста сферолита, т. е. его радиуса, всегда лежит одна из осей элементарной ячейки, не совпадающая с направлением молекулярных цепей.

Показано, что тип кристаллической модификации в ориентированных закристаллизованных нитях и сферолитах один и тот же и определяется одинаковым характером упаковки цепей во вторичных структурных элементах — пачках цепей, формирующихся заранее в полимерном веществе. Различия между различными кристаллическими формами одного и того же полимера — ориентированными и закристаллизованными нитями, сферолитами и даже монокристаллами — должны заключаться в ориентации пачек относительно главного направления роста и во взаимной упаковке пачек и других структурных элементов.

Рассчитана толщина пачки цепей в направлении радиуса сферолита. Несмотря на малую толщину пачек (100 \AA), когерентность по направлению радиуса сферолита не нарушается ввиду того, что вдоль него во всех пачках лежит одно и то же важное направление кристаллической решетки.

Московский государственный
университет
им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
25 III 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. П. В. Козлов, М. М. Иовлева, Ли Пан-тун, Высокомолек. соед., 2, 284, 1960.
2. A. Keller, J. Polymer Sci., 17, 291, 355, 1955.
3. M. Z. Hergbst, Z. Electrochem., 54, 318, 1950.
4. H. D. Keith, F. J. Padden, P. M. Walter, A. W. Wyckoff, J. Appl. Phys., 30, 1485, 1959.
5. O. Kratky, Kolloid-Z., 134, 25, 1955.
6. C. S. Fuller, C. L. Erickson, J. Amer. Chem. Soc., 59, 344, 1937.
7. C. S. Fuller, Chem. Rev., 26, 143, 1940.
8. А. И. Китайгородский, Кристаллография, 2, 646, 443, 1957.
9. Ю. В. Миюх, Изв. АН СССР, Отд. хим. н., 1958, № 9, 1129.
10. П. В. Козлов, В. А. Карапов, А. А. Фролова, Высокомолек. соед., 1, 324, 1959.
11. C. Robinson, Disc. Faraday Soc., 25, 104, 1958.
12. C. Frank, F. P. Price, Disc. Faraday Soc., 25, 125, 1958; F. P. Price, J. Amer. Chem. Soc., 74, 311, 1952.
13. G. Natta, Atti. acad. naz. Lincei Rend. Classe. Sci. fis. mat. nat., 21, 365, 1956.
14. В. А. Карагин, А. И. Китайгородский, Г. Л. Слонимский, Коллоидн. ж., 19, 131, 1957.
15. П. В. Козлов, Н. Ф. Бакеев, Ли Пан-тун, А. С. Кафтанова, Высокомолек. соед., 2, 421, 1960.

STUDIES OF THE SPHERULITE STRUCTURE IN POLYMERS. IV.
X-RAY STUDY OF MACROSPHERULITES OF POLYETHYLENESEBACATE

N. G. Esipova, Li Pan-tun, N. S. Andreeva, P. V. Kozlov

S u m m a r y

An X-ray study has been made of the macrospherulites of polyethylenesebacate. The unit cell dimensions and the orientation of the cell with respect to the spherulite radius have been determined from the X-ray diagrams obtained for a single radial element, the macrospherulite fibrile. It has been shown that the direction of the α axis of the unit cells coincides with that of the spherulite radius; the molecular chains are arranged with respect to the fibrillar axis at an angle equal to the monoclinic angle of the cell (about 65°).

The thickness of the cell packet in the direction of the spherulite radius has been calculated from low angle scattering data.