

[4]. Korulkin DY, Muzychkina RA, Abilov ZA et al. Biologically active substances. Isolation, separation, analysis. Almaty, 2006 486s.

Ахинжанова А.С., Тулекбаева А.К.

Оңтайлы өндіруші зауыт рауғаш (Реум) өндіру және іріктеу оңтайлы температура дамыту.

Түйіндеме. Мақала шөп Реум құрауыштық құрамы эксперименттік зерттеу нәтижелерін сипаттайды. Бұл оңтайлы экстрагента өндіру және іріктеу оңтайлы температурасын дамытуға жүргізілді. Оңтайлы rasvotitelem гидролиздеу Илеу ең көп өндіретін жасалған есептеулер негізінде, этанол, оңтайлы өндіру температура 80 ° C 80% болып табылады Жоғары температурада, еріткіштің күшті қайнатып және ұшуын бар.

Akhinzhanova A.S., Tulekbaeva A.K.

Development of optimum temperature of extraction and selection of the optimum extracting plant rhubarb (Rhéum).

Summary. The article describes the results of experimental studies of the component composition of grass Rhéum. It was carried out to develop the optimum temperature of extraction and selection of the optimum extractant. Based on calculations made optimum rasvotitelem extracting the greatest number of hydrolyzable tannins, ethanol is 80%, the optimum extraction temperature is 80 ° C. At higher temperatures, there is a strong boil and volatilization of the solvent.

М.А. Асаубеков, Б. Кайдыкин

(Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
Алматы, Республика Казахстан)

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И РАСТВОРЕНИЯ
ПОЛИМЕРОВ В ВЯЗКОЙ СРЕДЕ**

Аннотация. Приведены изотермическая кристаллизация и растворение изотактического полипропилена (ПП) и полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) в высоковязком растворителе – вapore, последний значительно замедлил процессы кристаллизации и растворения. Поэтому удалось оптически и электронномикроскопически сфотографировать начальные стадии структурирования полимеров: фибрилл, дендритов, сферолитов и монокристаллов. Исследована кинетика кристаллизации полиоксиэтилена (ПОЭ) в глицерине и ПП в вapore. Определен параметр линейной скорости роста сферолитов ПОЭ и ПП – E_d – энергия активации переноса вещества. Качественными и кинетическими исследованиями доказано, что структурным элементом роста этих надмолекулярных образований является lamella (пластина) толщиной 10 нм.

Ключевые слова: кристаллизация и травление полимеров вязким растворителем, lamella, фибриллы, дендриты, сферолиты, механизм структурообразования.

Кристаллизация полимеров протекает настолько быстро и никому еще не удалось сфотографировать начальную стадию роста структур, которые обнаружены еще полвека назад [1-4]. Поэтому целью настоящей работы явилось проведение процессов кристаллизации и травления кристаллизующихся полимеров в высоковязком растворителе – вapore, который значительно замедляет процессы переноса вещества к растущему кристаллу. (Вязкость вapore при 25° C $2,5 \times 10^4$ спз).

Объектами исследования были: изотактический полипропилен (ПП) с молекулярной массой (M) 120000 и 200000, полиоксиэтилен (ПОЭ) с M=15000 и 200000 и полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) с M=200000, синтезированные методом ионно-координационной полимеризации [1].

Материал и методы исследования

Оптическая и электронная микроскопии с помощью поляризационного микроскопа МИН-8 (Россия) и электронного микроскопа JEM-7 (Япония).

В качестве растворителя для исследования структурообразования ПП и ПЭВП в вязких средах были избраны высоковязкий вapore и глицерин, вязкость которых измеряли на ротационном вискозиметре “Rotavisko”. Растворы полимеров в вapore получали следующим образом: отдельно готовили 1% растворы полимера и вapore в ксилоле. Для гомогенизации системы полимер-вapore эти

растворы смешивали при температуре намного выше температуры плавления чистого полимера, где ксилол испарялся. Изотермическую кристаллизацию полимеров проводили на нагревательном столике микроскопе МИН-8 и на электронномикроскопической сетке с угольной подложкой JEM-7. Для сравнения проводили кристаллизацию чистых ПП и ПЭВМ из расплавов.

Результаты исследования и их обсуждение

Кристаллизация полимеров в вязком растворителе. Из очень разбавленных растворов ПП в паре (0,0015%) при изотермической кристаллизации в течении 1 мин при 100°C и быстром охлаждении в жидком азоте обнаружены фибриллы толщиной около 10 нм (рис. 1а), а при длительной кристаллизации в течении 6 часов при 100°C – фибриллы сначала агрегировались в дендриты (рис. 1б), затем в крупные сферолиты с мальтийским крестом в поляризованном свете (рисунок 1в). Для сравнения на рис. 1г представлена оптическая микроструктура сферолита ПП, выросшего из его чистого расплава.

Результаты изотермической кристаллизации ПЭВП из раствора и 0,001% раствора в паре показаны на рисунке 2. Это дендриты – агрегаты из ламелей с высотой 10 нм (рисунок 2 а,в). На рис. 2а показана начальная стадия структурирования ПЭВП до крупного дендрита (рис. 2в). Это означает, что структурным элементом дендрита является ламель – пластинчатое образование из складчатых макромолекул.

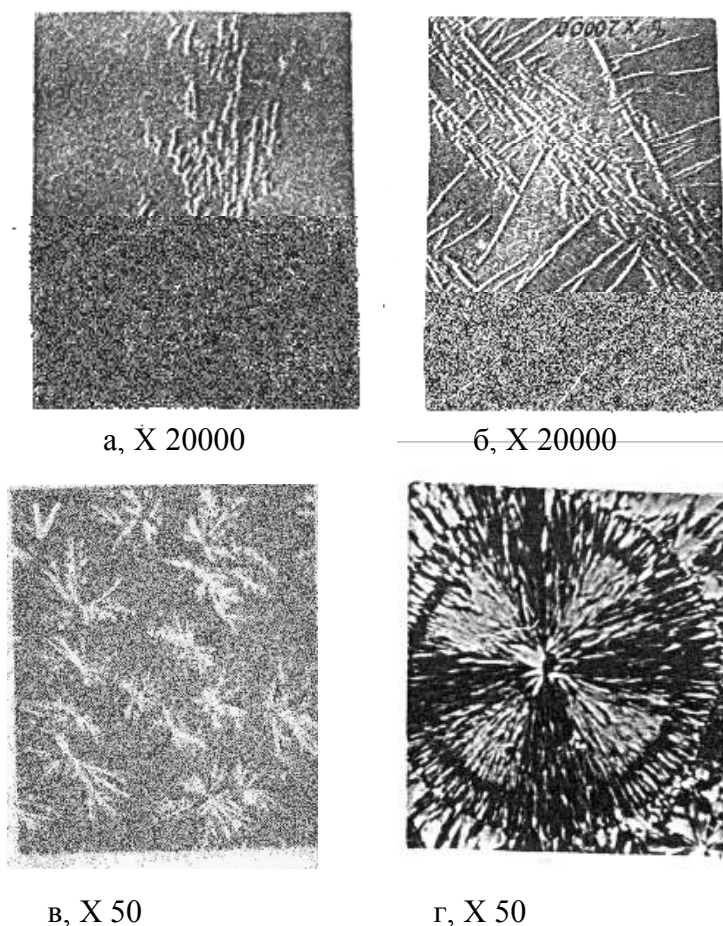
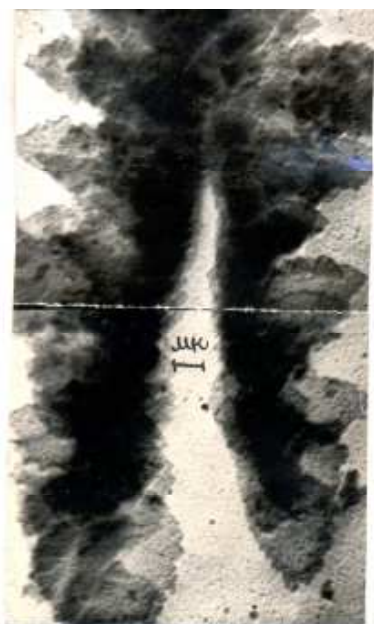


Рис. 1. Электронномикроскопические (а,б) и оптические (в,г) микрофотографии микроструктуры структурообразования изотактического полипропилена при кристаллизации из чистого расплава полимера (г) и из раствора полимера в паре на начальной (а), промежуточной (б) и конечной (в) стадии роста кристаллов при 100°C в течении 6 часов, концентрация полимера в паре при 0,0015%



а, X 3000



в, X 4000

б, X 50

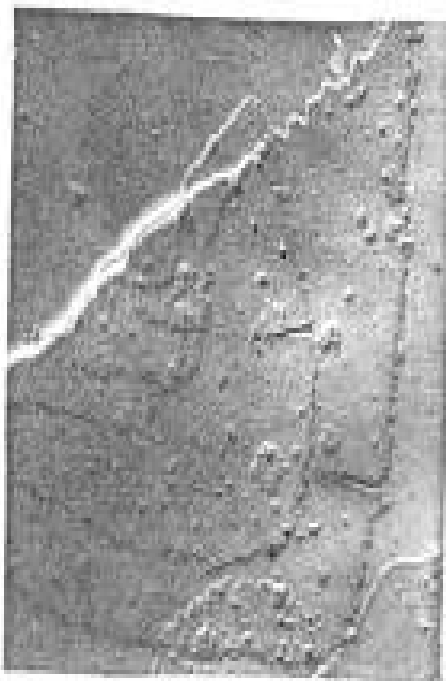


Рис. 2. Электронномикроскопические (а,в) и оптические (б) микрофотографии дендритообразования полиэтилена высокой плотности в 0,001% растворе в паре при кристаллизации при 100°C в течение 6 часов: начальная стадия (а) и конечные стадии роста кристаллов (в).

Кинетика кристаллизации полимеров в высоковязкой среде. Исследование структуры полимеров является одним из актуальных направлений физико-химии высокомолекулярных соединений. Фундаментальные исследования, проводимые в этой области имеют своей целью выяснение взаимосвязи между молекулярной и надмолекулярной (supermolecules) структурами полимеров и их физико-механическими и доказана возможность образования множества разнообразных надмолекулярных (нано-) структур не только в кристаллизующихся полимерах, но и в аморфных состояниях по теории Каргина-Китайгородского-Слонимского [1]. Однако до сих пор не определен механизм сборки сложных наноструктур и не известен – что присоединяется к растущей

поверхности полимерного кристалла: макромолекулы или их агрегаты? Дилатометрическое и калориметрические исследования кинетики кристаллизации полимеров [3] дают косвенные доказательства общего механизма роста кристаллов, прямых электронномикроскопических и оптических доказательств, выводы о геометрии растущих при кристаллизации частиц не однозначны и требуют, как правило, независимых прямых морфологических наблюдений.

Полимер кристаллизуется так быстро, что даже высокоскоростная киносъемка не успевает уловить начальные стадии зародышеобразования и роста полимерных кристаллов. Для замедления скорости роста кристаллов автором настоящей работы впервые был использован метод кристаллизации полимеров в высоковязком растворителе – вapore. Результаты длительной (более 6 часов при 100°C) изотермической кристаллизации полиэтилена и полипропилена в вapore представлены на рисунках 1-3.

С помощью оптического поляризационного полимера в вязком растворителе микроскопа Мин-8 проследили за процессом формирования кристаллических структур во времени. Например, для этого приготовили 1% раствор полиэтилена высокой плотности в высоковязком вapore и подвергли изотермической кристаллизации при 120° на нагревательном столике микроскопе. Через 20 мин в темном поле поляризованного света появились отдельные двулучепреломляющие точки (рис. 3а), которые со временем увеличивались в размерах, образуя крупные двулучепреломляющие дендритные структуры (рис 3б,в,г). После удаления вapore эти структуры исследовали в электронном микроскопе JEM-7 методом вылавливания суспензий (рис. 2а,б,в). Как видно из рис. 2а,б,в структурными элементами, составляющими эти дендриты, являются ламели, пластинчатые образования из складчатых многочисленных макромолекул.

Так, впервые прямыми методами доказали механизм кристаллизации полиэтилена низкого давления в вязкой среде: и зародышем и структурным элементом роста кристаллов полиэтилена низкого давления являются – ламель с толщиной более 10 нм.

Была измерена линейная скорость роста кристаллов полимеров в вязкой среде. В 1949г. Turnbull D. и Fisher J.C. получили уравнения для описания линейной скорости роста новых фаз в конденсированных системах [4].

Теория вторичного зародышевого образования Turnbull D. и Fisher J.C. исходит из того, что при температуре кристаллизации в системе существует уже готовый зародыш из регулярно сложенных полимерных цепей. Рост сферолитов включает также образование новых кристаллитов вблизи уже существующих. Присутствие уже возникшего кристаллита влияет на ориентацию и организацию соединения аморфных областей. При этом кристаллическое значение свободной энергии, необходимой для последующего зародышеобразования должно быть меньше, чем первичной нуклеации.

Энергия образования зародыша на уже завершенной поверхности кристаллов (ΔF) зависит от многих факторов: степени переохлаждения, длины цепи, геометрии зародыша, вида растворителя и т.д.

Энергия образования зародыша в случае двумерного роста описывается следующим уравнением:

$$\Delta F = 2\sigma\zeta b_0, \quad (1)$$

где ζ – число молекул в боковой грани зародыша; σ – свободная поверхностная энергия зародыша; b_0 – толщина ламели.

Линейная скорость роста сферолитного кристалла в общем случае имеет вид:

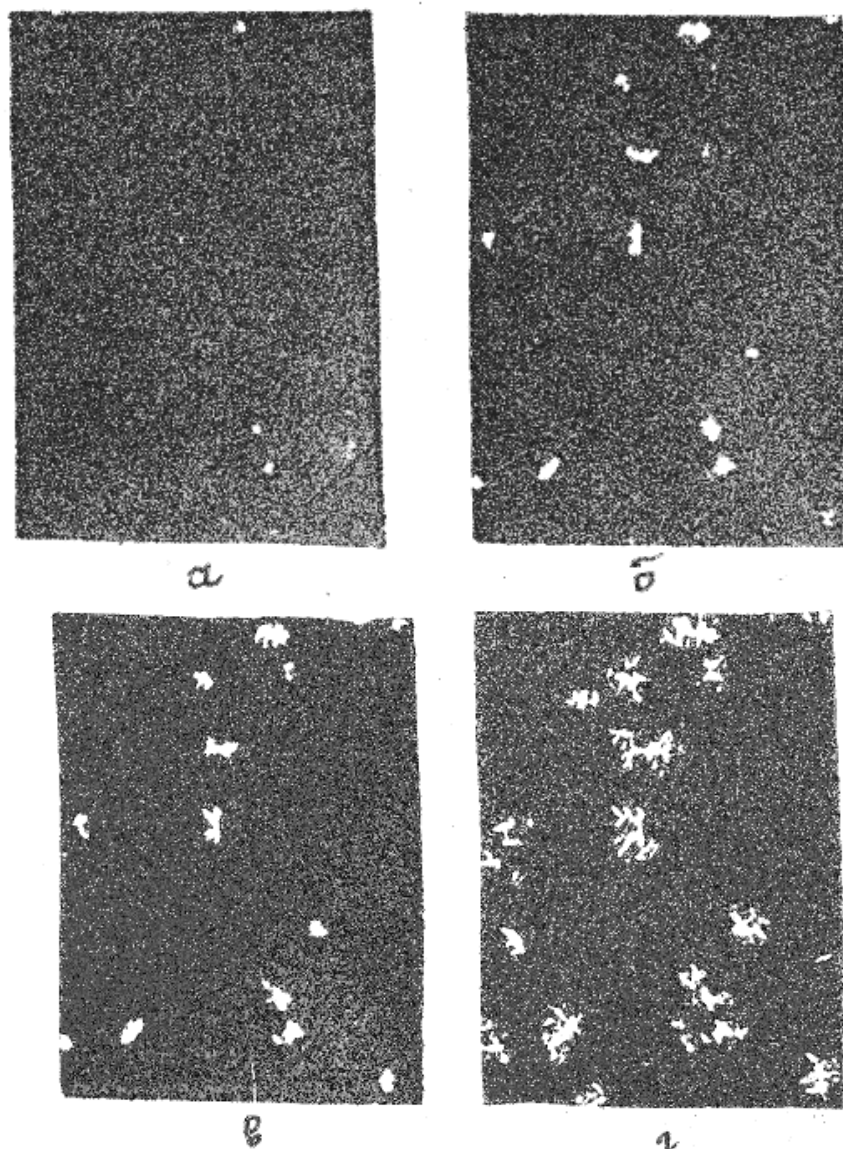
$$G = U_2 G_0 \exp\left[-\frac{E_d}{RT}\right] \exp\left[-\frac{\Delta F}{RT}\right], \quad (2)$$

где U_2 – объемная доля полимера в смеси;

G_0 – предэкспоненциальный множитель;

E_d – энергия активации переноса вещества через поверхность кристалл-жидкость;

T – температура кристаллизации.



а – через 20 мин; б – через 1 ч; в – через 2,5 ч; г – через 5,5 ч, х 40
Рис. 3. Дендриты ПЭВП, возникшие в 1% растворе в паре при изотермической кристаллизации при 120°
(кинетика роста)

Исследовали изменение скорости роста сферолитов полиэтилена низкого давления, изотактического полипропилена, полиоксиэтилена и полиэтиленсебационата в высоковязких растворителях: в паре, вазелиновом масле и глицерине, диэтилсебационате и канифоле с ксилолом (для регулирования вязкости). Вязкость растворителей изменялась от 1000 до 25000 спз. Выбор вязкого растворителя соответствовало совместимости полимера с растворителем.

Методика измерения линейной скорости роста полимерных кристаллов: образцы выдерживали в течение часа при температуре на несколько десятков градусов выше температуры плавления полимера $T_{пл}$ и быстро переносили на нагревательный столик, установленный на поляризационном микроскопе МИН-8, нагретый до заданной температуры кристаллизации T . Условие изотермической кристаллизации полимеров в вязких растворителях, вязкости растворителей и измеренные скоростью роста (G) представлены в таблице 1. Радиусы растущих сферолитов измеряли через определенные промежутки времени с помощью окуляра Гюйгенса $\times 5$ со шкалой.

Полученные данные по исследованию кинетики кристаллизации полимеров в вязких средах проанализировали с точки зрения теории вторичного зародышеобразования Turnbull и Fischer [4]. Из этой теории следует, что линейная скорость роста сферолитов описывается следующими уравнениями:

Для случая двумерного зародышеобразования:

$$\ln G = \ln G_0 - \frac{E_d}{RT} - \frac{4b_0\sigma\sigma_e T_{пл}}{\kappa\Delta h_f T(\Delta T)^2}; \quad (3)$$

$$\ln G_0 = 24,5;$$

в случае трехмерного зародышеобразования:

$$\ln G = \ln G_0 - \frac{E_d}{RT} - \frac{8\pi\alpha^2\sigma\sigma_e T_{пл}^2}{\kappa\Delta h_f T(\Delta T)^3}; \quad \ln G_0 = 14,5. \quad (4)$$

где σ и σ_e – свободные поверхностные энергии роста зародыша в продольном и поперечном направлении к цепи;

Δh_f – теплота плавления на моль мономерного звена;

α^2 – коэффициент, характеризующий степень понижения ΔF , значение которого изменяется от нуля до единицы.

$T_{пл}$ – температура плавления полимера;

$\Delta T = T_{пл} - T$ – степень переохлаждения раствора.

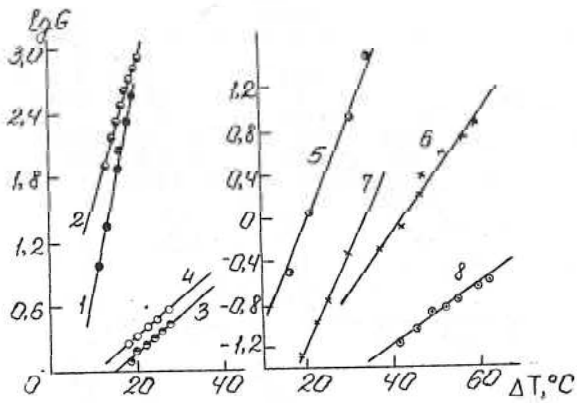
Таблица 1. Изотермическая кристаллизация полимеров в вязких растворителях

Полимер	Молекулярная масса, М	Растворитель	Условия приготовления растворов		Концентрация, %	Изотермическая кристаллизация		
			Т°С	Время, час		Т°С	Вязкость, спз	G, мкм/мин
ПОЭ	200000	–	100	0,25	100	47	–	370,0
ПОЭ	200000	диэтилсебаццинат	100	0,08	10	45	–	12,0
ПОЭ	15000	–	120	1,0	100	47	–	372,0
ПОЭ	15000	глицерин	120	1,0	1,5	21	20000	4,0
ПОЭ	15000	глицерин	120	1,0	1,0	21	20000	2,6
ПП	12000	–	200	1,0	100	122	–	25,0
ПП	12000	вапор	200	1,0	2,0	122	50	0,47
ПП	213000	–	200	1,0	100	122	–	0,10
ПП	213000	вапор	200	1,0	2,0	122	50	0,063
ПП	120000	вазелиновое масло	200	1,0	2,0	100	6,0	0,75
ПЭВП	200000	–	180	1,0	100	120	–	30,0
ПЭВП	200000	вапор	180	1,0	1,0	120	53	0,42

На рисунках 4 и 5 представлены данные по измерению скорости роста сферолитов полиоксиэтилена ПОЭ и изотермического полипропилена ПП как из чистых расплавов, так и из вязких растворов. Видно, что прямые для вязких растворов имеют значительно меньше углы наклона, чем из чистых расплавов. Поскольку толщина мономолекулярного слоя в ламели b_0 имеют обратную зависимость от угла наклона, то это доказывает то, что в поверхности растущего кристалла присоединяется не мономолекулярный слой в ламели, а несколько агрегатов ламелей – наночастицы, как показано на рисунке, с толщиной больше 100 нм.

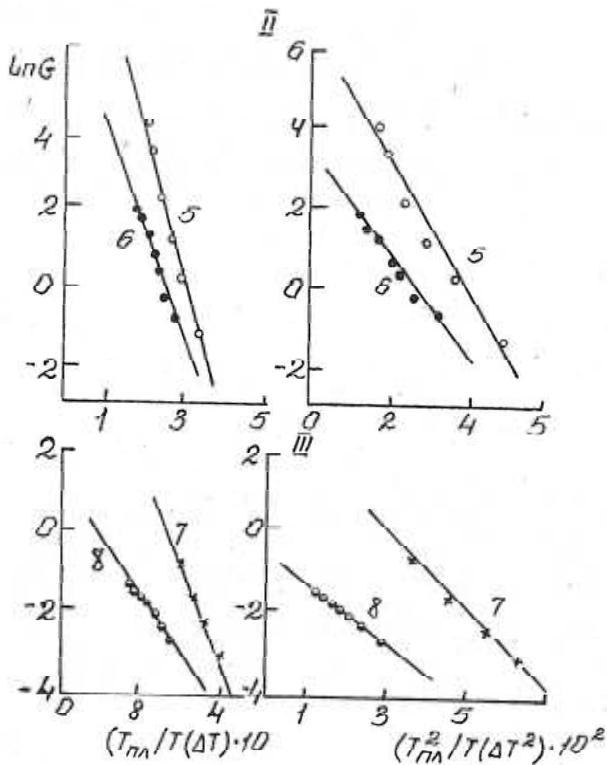
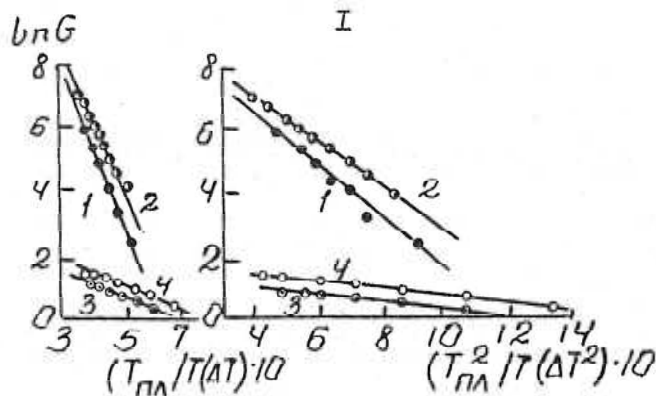
В таблице 2 представлены вычисленные значения параметров линейной скорости роста сферолитов исследованных полимеров. Вычисленные значения энергий активации переноса E_d в ПОЭ в глицерине дает значительно большие величины (двумерный рост 14,2 ккал/моль и трехмерный рост – 7,3 ккал/моль), чем для чистых расплавов. Этим объясняется замедление скорости роста кристаллов в вязкой среде и крупные размеры переносимого кристаллита.

Такая же закономерность и в вязких системах с ПП: если E_d из чистого расплава ПП при двумерном зародышеобразовании равна 12 ккал/моль, при трехмерном – 4,3 ккал/моль, то в растворах вязких растворителей она стала 15,7 и 15,7 ккал/моль, соответственно.



ПОЭ: 1,2 – исходный; 3,4 – 1,5% в глицерина;
 ПП: 5,7 – исходный; 6,8 – 2% в вапоре;
 M = 15000 (1); 200000 (2); 120000 (5,6) и 213000 (7,6)

Рис. 4. Зависимость скорости роста сферолитов полимеров от степени переохлаждения систем



I – ПОЭ (M=15000 и 200000);
 II – ПП (M=12000);
 III – ПП (M=213000). Пояснение прямых см. рис. 4
 Рис. 5. Зависимость $\ln G$ от $\frac{T_{mн}}{T\Delta T}$ и от $\frac{T_{mн}^2}{T(\Delta T)^2}$

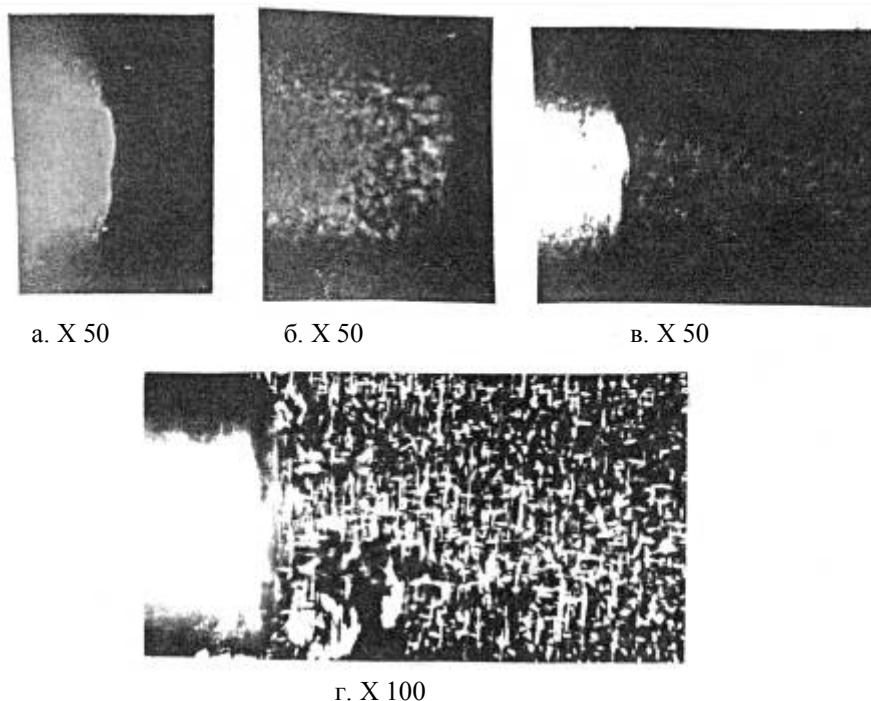
Таблица 2. Параметры скорости роста сферолитов

Система	Молекулярная масса, М	Тпл	T _{пл} ^о , принятая для расчета, °С	Е _д , ккал/моль	
				двумерный рост	трехмерный рост
ПОЭ	200000	66	75	5,5	2,6
ПОЭ	15000	63,6	72,5	5,5	2,6
1,5 ПОЭ в глицерине	15000	50	50	14,2	7,3
ПП	120000	169,9	17,6	12,0	4,3
2% ПП в паре	120000	152	160	15,5	5,7
ПП	213000	173	181	12,0	4,3
2% ПП в паре	213000	155	163	15,7	5,7

Полученные качественные и количественные результаты свидетельствуют в пользу концепции академика В.А. Каргина [1,2], рассматривающего процесс кристаллизации полимеров как последовательную сборку наночастиц из более простых структурных элементов. В данном случае структурным элементом роста как ламелярных (пластинчатых), так и фибриллярных кристаллов является ламель с толщиной более 10 нм.

Растворение кристаллических полимеров вязким растворителем

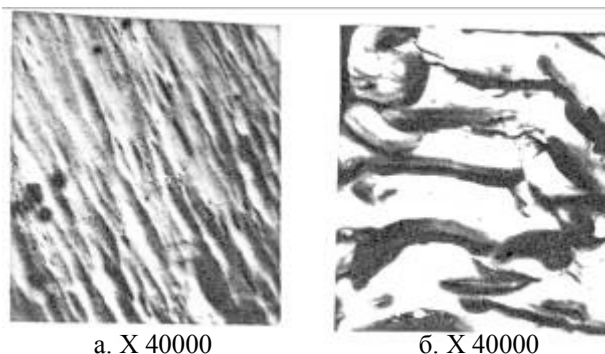
Для полного описания механизма формирования надмолекулярных структур кристаллических полимеров исследовали обратный процесс кристаллизации – растворение. Есть предположение о том, что при растворении процесс проходит через те же стадии, как и при кристаллизации. Полимер расплавляли и продавливали в тонкий капилляр, куда прокачивали в вакууме вязкий растворитель – пар. Капилляр с полимером и паром устанавливали на нагревательный столик микроскопа и проводили фотосъемку через определенное время растворения (или травления).



до травления(а) и после травления(б,в) при 100°С в течении 6 часов и перекристаллизации (г)
Рис. 6. Фотосъемка кинетики травления полиэтилен высокой плотности с вязким растворителем – паром

На рисунке 6 представлена оптическая микросъемка травления кристаллического ПЭВП паром в течение 6 часов при 100°С (рис. 6 а,б). На границе раздела фаз полипропилен – пар четко

видны разрыхления мест контакта с вязким растворителем и растворения полимера. После охлаждения до 25°C растворения частицы ПЭВП снова перекристаллизуются в сферолиты, которые двулучепреломляют в поляризованном свете с мальтийским крестом, характерным для сферолитов (рис. 6г). Электронномикроскопическая наноструктура при 100°C растворенных, затем перекристаллированных при комнатной температуре частиц ПЭВП показана выше на рис.2в.



а. X 40000
б. X 40000
до травления(а) и после травления(б) высоковязким паром в течении 6 ч при 100°C, X 4000
Рис.7. Электронномикроскопическая реплика торца кристаллического полиэтилена высокой плотности

Была снята торцевая поверхность ПЭВП до и после травления. После травления паром 6 часов при 100°C и охлаждении до 25°C. Блок полимера и перекристаллизованные частицы полиэтилена высокой плотности сильно двулучепреломляют. Торцевая часть кристаллического блока ПЭВП снята на электронном микроскопе до и после длительного контакта (6 часов) при 100°C с паром. Результаты показаны на рисунке 7. Как видно из этого рисунка поверхность кристаллического ПЭВП до контакта с вязкими растворителями бесструктурная: видны борозды следов ножа (рисунок 7а), а затем после длительного выдерживания с паром четко проявлялась пластинчатая ламеллярная структура полиэтилена в ориентированного полиэтилена высокой плотности (ведь его продавливали под давлением в капилляр). Высота пластины (ламели на рис. 7б) 100 нм, что соответствует складыванию микромолекул с вытянутыми цепями. Из рис. 7б, видно, что вязкий растворитель расщепляет пластины, проникает в межплоскостные пространства – аморфные прослойки, которые растворяются в первую очередь. Полученные результаты свидетельствуют в пользу концепции академика В.А. Каргина, рассматривающего процесс кристаллизации полимеров как последовательную сборку сложных надмолекулярных образований из более мелких простых структурных элементов [1]. В данном случае структурным элементом роста фибрилл, дендритов, сферолитов и монокристаллов изостатического полипропилена и полиэтилена высокой плотности является ламель (пластина) толщиной 10 нм.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Каргин В.А. Краткие очерки по физико-химии полимеров. М.: Химия, 1967, 232с.
- [2] Kargin V.A. Structure and phase state of polymers // J. Polymer Sci., **30**, 247 (1958)
- [3] Слонимский Г.Л., Годовский Ю.К. Калориметрическое исследование плавления и кристаллизации полипропилена с искусственным зародышеобразователями // Высокомолекулярное соединение, **8**, 718 (1966)
- [4] Turnbull D., Fisher J.C., Rate of nucleation in condensed systems. // J.Chem. Phys., **17**, 71, (1949)

Асаубеков М.А., Кайдыкин Б.

Полимерлерді тұтқыр ортада кристалдауынаң және ерунің кинетикасын зерттеу

Түйіндеме. Мақалада изотактикалы полипропиленнің, жоғары тығыздықты полиэтиленнің және полиоксипропиленнің тұтқыр еріткіш – парда кристалдауының және парда еруінің кинетикасы зерттелінді. Полимер сферолиттерінің өсу жылдамдығын параметрі – заттың активті қосылу энергиясы – Ед анықталынды. Тікелей және кинетикалық зерттеулермен полимер құрылымдану механизмі анықталды: сферолиттер және дендриттер ең кіші элементі – ламельден құрылатыны дәлелденді.

Кілтті сөздер: полимерді ортада кристалдау және улау; ламель, дендрит, кинетика, құрылымдану және елу механизмі.

Asaubekov M.A., Kaidykin B.

The crystallization and solving polymers in viscous media

Summary. Held isothermal crystallization and dissolution of isotactic polypropylene (PP) and high density polyethylene (HDPE) in a highly viscous solvent – Vapor. Investigations kinetic of crystallization of polymers in viscous media. Proved that the structural element of the growth of these supramolecular structures is the lamella (plate) with a thickness of 10 nm.

Key words: crystallization and etching of polymers viscous solvent, lamellas, fibrils, dendrites, spherulites, the mechanism of structure formation.

УДК 502,3

¹Дж. Мусаев, ²С.Д. Мусаева, ³П.Д. Бейсекова

(¹Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауезова, Шымкент,

²Казахский национальный аграрный университет, Алматы,

³Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан, Beisekova_76@mail.ru)

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ МЕТАЛЛА И C₆ – ЦИКЛИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ
НА ФОРМЫ АДСОРБЦИИ**

Аннотация. Приведены спектры углеводородов, адсорбированных на платиновом катализаторе. При адсорбции ароматических углеводородов в спектре обнаруживаются узкие разрешенные п.п. в области 3025-3055 см⁻¹. Следовательно, и в этом случае образуются π -адсорбированные формы. Анализ спектров остальных углеводородов свидетельствует об образовании как π -, так и σ -связанных форм.

Ключевые слова: углеводород, адсорбция, анализ, спектр, катализ, металл, водород.

ИК – спектроскопические исследования поверхностных соединений стали применяться в адсорбции и катализе в работах [1-4].

Одним из первых явились интересующие нас системы – углеводороды, адсорбированные на нанесенных металлах [1-2].

Адсорбцию C₆-углеводородов на металлах VIII группы и биметаллических системах изучили при 40⁰С. Физически адсорбированную часть удаляли эвакуированием системы. ИК - спектры снимали в области валентных колебаний С-Н в присутствии и в отсутствие водорода. Минимальное припускание в области 2100 см⁻¹ составляло 45 %.

Объектами исследования были циклические углеводороды различной природы: бензол, толуол, мезитилен, циклогексан, циклогексен, циклогексадиен-1,4, метилциклогексан. В изученных условиях хемосорбция данных углеводородов на носителе практически отсутствовала. [3]

На рис.1 а показаны ИК-спектры хемосорбированных углеводородов на родии. Для всех углеводородов наблюдаются п.п. 3025, 3033, 3053 см⁻¹. Наличие п.п. выше 3000 см⁻¹ свидетельствуют о колебании С-Н при кратных связях. Сопоставление со спектрами соответствующих металлокомплексов и спектрами в газовой фазе позволяет сделать вывод об образовании поверхностных π -комплексов с плоско ориентированной структурой ароматического цикла. Связи С-Н в этих соединениях проявляются в ИК-спектрах в следствия их частичной деформации в направлении поверхности металла.

В присутствии водорода в спектре исчезают п.п. выше 3000 см⁻¹ и появляются две интенсивные полосы 2855 и 2925 см⁻¹, соответствующие колебаниям С-Н в насыщенных алифатических структурах. Отсюда следует, что при адсорбции углеводородов происходит интенсивная диссоциация С-Н связей с отрывом водорода. При введении водорода в систему образуются полугидрированные формы, удерживаемые поверхностью родия σ -связями [3].

Иная картина наблюдается при адсорбции тех же углеводородов на рутении (рис.1.б). Ароматические углеводороды адсорбируются в π -связанной форме, о чем свидетельствует появление в области валентных колебаний С-Н п.п. 3025-3060 см⁻¹. Однако, при адсорбции других C₆ - углеводородов на Ru, в отличив от Rh, наблюдается образование σ -связанных поверхностных форм, которому соответствует интенсивные п.п. при 2865 и 2925-2935 см⁻¹.