Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Технологии и оборудование химических, нефтегазовых и пищевых производств»

РАСПОЗНАВАНИЕ ПОЛИМЕРОВ

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Химия и технология переработки полимеров»

Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология

Энгельс - 2024

Цель - формирование и закрепление у студентов основных представлений о структуре и комплексе специфических свойств полимеров, которые лежат в основе их идентификации; ознакомление с методологией идентификации; развитие у студентов практических навыков распознавания полимеров

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЫ

1. Внешний вид и физические свойства

При первоначальном осмотре устанавливается визуально однородность или же отмечается число полимерных (неполимерных) слоев, составляющих образец. Если образец многослойный или неоднородный, то составляющие компоненты отделяют с учетом их свойств и целей идентификации и затем каждый из них идентифицируют отдельно.

Физические свойства полимеров и их внешний вид во многом определяются структурой макромолекулярных цепей, которые могут быть гибкими или жесткими с линейной, разветвленной или сетчатой структурой. По физическому состоянию и внешнему виду образца (твердый, полужесткий, эластичный, воскообразный, дисперсный, прозрачный, мутный, непрозрачный и т. п.) можно сделать некоторые предположения о природе полимерной основы.

Полимерной основой эластичных образцов, как правило, являются полимеры-эластомеры. Наиболее типичные представители эластомеров - полибутадиеновые, полиизопреновые, полисилоксановые, полиуретановые каучуки и резины на их основе.

Из термопластов, которые при повышении температуры размягчаются, а при охлаждении возвращаются в исходное состояние, идентификации чаще всего подвергаются полиэтилен, полипропилен, полиамиды. Подобные изменения при нагревании не характерны для термореактопластов, которые с изменением температуры практически не изменяют агрегатного состояния, а при

высоких температурах подвергаются пиролизу с выделением газообразных продуктов разложения. Характерные свойства термореактопластов — высокая твердость, жесткость, хрупкость, неплавкость, незначительная растворимость в органических растворителях. Их излом имеет характерную зернистую структуру. Типичные термореактопласты — фенопласты, эпоксидные смолы.

Полимерной основой прозрачных твердых, полужестких образцов и пленок, как правило, являются термопласты. Воскообразные образцы обычно относятся к полиолефинам. В дисперсиях дисперсной фазой могут быть полиолефины, поливинилацетатные пластики, фторполимеры, а дисперсионной средой - органические растворители, вода или их смеси. Газонаполненные полимеры, которые имеют промышленное значение, могут быть представлены эластичными и жесткими пенополиуретанами на основе простых и сложных полиэфиров, пенополиолефинами, вспененными полистиролами, пенополивинилхлоридом, вспененными мочевино-формальдегидными смолами, пенополиэпоксидами, пенофенопластами.

Цвет образца не является достоверной характеристикой принадлежности образца полимера к тому или иному классу, поскольку красители, пигменты и добавки могут изменить природную окраску полимера. Однако для фенопластов коричневый и черный цвета являются естественными, что отличает их от других полимерных композиций с красителями, техническим углеродом и графитом.

Образцы термопластов можно подвергнуть испытанию на изгиб, характер которого свойственен определенным видам полимеров. Для этого один конец образца размером 10×100×2 мм (при сравнительных испытаниях желательно иметь образцы одинаковых размеров) зажимают в тиски или лабораторный зажим и изгибают под прямым углом. Образцы из полиэтилена, АБС-пластика (акрилонитрилбутадиенстирольного пластика) изгибаются и сохраняют изгиб; образцы из полистирола изгибаются с растрескиванием в месте изгиба и сохраняют изгиб; образцы из полиметилметакрилата- и сополимера стирола с

метилметакрилатом растрескиваются при изгибе; образцы из жесткого поливинилхлорида, сополимеров этилена с пропиленом, композиции из смеси АБС-пластика и поливинилхорида легко изгибаются и выпрямляются; образцы из политетрафторэтилена и полиамида изгибаются и пружинят при сгибании; образцы из полипропилена, пентапласта практически не изгибаются.

Твердые полимерные образцы (без наполнителя) можно различить по разнице в плотности следующими дополнительными испытаниями. В один из подготовленных двух стаканов вместимостью 100 мл наливают 70 мл дистиллированной воды, в другой - раствор тиосульфата натрия (70 г тиосульфата натрия в 60 мл воды). Образец размером не более 2×10×10 мм помещают вначале в стакан с водой. В зависимости от плотности образец либо погрузится на дно стакана, либо будет плавать на поверхности воды. Образцы, погрузившиеся на дно извлекают из стакана с водой и помещают в стакан с раствором тиосульфата натрия. На этот раз на дно опускаются образцы, плотность которых больше 1,1, остальные плавают на поверхности раствора (табл. 1).

Таблица 1

Температура плавления и плотность полимеров

Полимер	Температура плавления, °С	Плотность, г/см^3	Идентификация по плотности	
			вода	раствор тиосульфата натрия
Поли-4-метилпентен-1	190-210	0,83	Образец плавает	-
Полипропилен	160-170	0,90	То же	-
Полиэтилен высокого давления	105-108	0,92	»	-
Полиэтилен низкого давления	130-135	0,95	»	-
Полистирол	240-250	1,07	Образец тонет	Образец плавает
Ударопрочный полистирол	230-240	1,07	То же	То же
Сополимер стирола с акрилонитрилом	210-230	1,10	»	»
АБС-пластик	210-240	1,05	»	»
Полиамид	210-215	1,13	»	»
Поликарбонат	210-220	1,20	»	Образец тонет
Полиметилметакрилат	190-200	1,20	»	То же
Пентапласт	170-180	1,33	»	»
Поливинилхлорид	200-210	1,40	»	»

Полиформальдегид	173-180	1,40	»	»
Поливинилфторид	190-205	1,40	»	»
Поливинилиденфторид	170-180	1,70—1,80	»	»
Политрифторхлорэтилен	210-215	2,08-2,09	»	»
Политетрафторэтилен	327	2,20-2,30	»	»

Для пленочных материалов проводится проба на раздир. Кусочек пленки размером 15×50 мм слегка надрезают с любой стороны ножницами и тянут в противоположные стороны за концы надреза, пытаясь разорвать пленку. Это же испытание проводят при надрезе пленки с другой стороны, перпендикулярно первому. Легко и прямо разрываются пленки, изготовленные из ацетата целлюлозы, целлофана. Также без особых усилий рвутся пленки из полистирола с образованием неровных краев. Пленки из полиэтилена и полипропилена при разрывании становятся вязкими, растягиваются перед разрывом (сильнее - полипропиленовые пленки), образуют при обрыве волнистые края; пленки из поливинилхлорида растягиваются и разрываются с образованием рваных краев; пленки из поливинилового спирта растягиваются, затем под влиянием усилия разрыв сдвигается в сторону; пленки из политетрафторэтилена и других фторполимеров разрываются с треском. Для высокопрочных ориентированных пленочных материалов это -испытание не подходит.

Более точно может характеризовать образец температура плавления. Плавление полимеров, в отличие от низкомолекулярных веществ, происходит в некотором интервале температур. Для термопластов в табл. 1 приводится температурный интервал, в котором полимер переходит в расплавленное состояние. Определение можно проводить в приборе для установления температуры плавления низкомолекулярных веществ. Образец полимера массой 2-3 мг тщательно измельчают и вносят в капилляр диаметром 2-3 мм, помещают в прибор и наблюдают за его размягчением и плавлением.

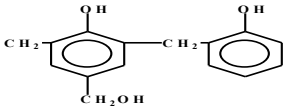
Оценку внешнего вида осуществляют по цвету, виду, агрегатному состоянию, запаху, прозрачности, твердости, эластичности, хрупкости. Среди физико-химических показателей определяют плотность, коэффициент рефракции (преломления света), и т. д.. Результаты внешнего осмотра сопоставляют

с имеющимися литературными данными для известных полимеров и олигомеров (смотри таблицу "Внешние признаки полимеров") и делают предварительные выводы о природе полимера (таблица 10)

Таблица 10.

Основные внешние признаки крупнотоннажных полимеров

Полимер или олигомер	Составное повторяющееся звено	Признаки
Полиэтилен и полипропилен	$(-CH_2-CH_2-)_n$. [-CH2-CH(CH3) -]n	Легче воды. Не имеют запаха, вкуса, не смачиваются водой. Безвредны. Прозрачные, гибкие и бесцветные в тонком слое. Полупрозрачные (матовые) или белые и жесткие в толстом слое. Пленки из ПЭ более эластичны. Пленки из ПП и ПЭВП шуршат при сминании. При горении плавятся, капают как воск свечи и имеют запах горящего парафина .
Полистирол	$(-CH_2-\underset{\underset{C_6H_5}{\vert}}{CH}-)_n$	Тяжелее воды. Прозрачный или слабоокрашенный полимер. Твердый, но хрупкий. Издает характерный треск при ударе или щелчке. Не смачивается водой. Горит сильно коптящим пламенем. Сополимеры стирола окрашены и более стойки к удару.
Поливинилхлорид	[-CH2-CH(Cl)-]n	Тяжелее воды. Белый или окрашенный в другие цвета полимер. Не смачивается водой. Безвреден. Не имеет запаха и вкуса. В пламени горелки имеет зеленоватую кайму; затухает после выноса из пламени горелки.
Полиамиды	Капрон [-NH-(CH2)5-CO-]n полиамид ПА- 66 [-NH-(CH2)6 -NH-C(O)-(CH2)4-C(O)-]n	Бесцветные или имеющие слабо желтую окраску. Обладают блестящей поверхностью. Имеют высокую поверхностную твердость. Стойкие к царапанию и истиранию. Не смачиваются водой. Продукты горения полиамидов имеют запах паленой кожи, горящего рога, волос, прелой травы.

Полиакрилаты	Полиметилакрилат [-CH2-CH(COOCH3-)]n	Все полиакрилаты за исключением ПММА клейкие каучукоподобные вещества. Прозрачные или светлоокрашенные полимеры. Полиметилметакрилат ПММА – прозрачный стекловидный полимер. Издает глухой звук при ударе или щелчке. При нагревании до 150 -3500С деполимеризуется до исходного жидкого мономера.
Фенолоформальдегидные смолы		Жидкости, окрашенные от светложелтого до красновато- или темнокоричневого цвета, липкие на ощупь. Имеют слабый запах фенола. В отвержденном состоянии стойки к действию воды.
Аминопласты	Это пластмассы на основе аминоальдегидных смол (в основном карбамидо- и меламиноформальдегидных)	Тяжелее воды. Обычно имеют белую или другую светлую окраску. Трудногорючие материалы. Аминопласты на базе КФО дают усадку при изготовлении изделий, большую чем аминопласты на основе МелФО.

2. Воздействие пламени и высокой температуры

Поведение полимерного образца в пламени изучают следующим образом. На конце предварительно очищенной медной проволоки диаметром 0,5 мм делают небольшую петлю; на другой конец проволоки надевают корковую или резиновую пробку, за которую держат проволоку в процессе испытания. Проволочную петлю прокаливают в пламени спиртовки. На охлажденную петлю помещают небольшой (1-2 мм) образец полимера и вносят в среднюю часть бесцветного пламени. Если образец воспламеняется и горит, выводят проволочную петлю из пламени на 5-6 см и продолжают наблюдение. Отмечают характер горения (горит, не горит, самозатухает), цвет пламени, его форму, наличие дыма, копоти, зольного остатка. Свои наблюдения сопоставляют с данными табл. 2 и делают соответствующие выводы. Следует учесть, что присутствие галогенсодержащих антипиренов в самозатухающих полимерных материалах может привести к ошибочным выводам, поскольку они дают такую же

окраску пламени при сгорании полимерной композиции, как и галогенсодержащие полимеры.

При термическом разложении полимерных образцов образуются разнообразные низкомолекулярные продукты. Органолептическая характеристика по запаху продуктов термического разложения является довольно субъективной оценкой и требует практического опыта и сравнения с известными образцами. Для проведения этого испытания небольшой образец полимера (≈ 0,02 г) помещают на дно пробирки из термостойкого стекла со шлифом и нагревают в средней части пламени спиртовки в течение 5 мин. Во время этой процедуры полимер начинает разлагаться, и образующиеся летучие продукты заполняют объем пробирки. Перед определением запаха продуктов разложения отверстие пробирки закрывают стеклянной пробкой и переворачивают пробирку вверх дном. Это облегчает определение запаха в случае образования небольшого количества паров. Через 1-2 мин пробку открывают и осторожно вдыхают запах продуктов разложения. Свои впечатления сопоставляют с данными табл.2.

Одновременно наблюдают за поведением образца при нагревании (размягчается, растекается, пузырится и т. п.), а также за видом продуктов, конденсирующихся на стенках пробирки. Полученные результаты сравнивают с данными табл. 2. Во время пиролиза образца в пробирке проверяют реакцию образующихся летучих продуктов с помощью увлажненной индикаторной лакмусовой бумаги. Слабокислые пары образуются при разложении углеводных полимеров, например, нитрата и ацетата целлюлозы. Сильнокислые пары выделяются при разложении поливинилхлорида и его сополимеров, поливинилиденфторида, политрифторхлорэтилена и их сополимеров, хлорированного полиэтилена. Щелочная реакция продуктов разложения характерна для азотсодержащих полимеров: полиамидов, полиуретанов, аминоформальдегидных смол. Нейтральные продукты разложения выделяются при пиролизе полиолефинов, изопреновых и бутадиеновых каучуков, силоксанов, полиэфиров.

Таблица 2

Идентификация полимеров по воздействию пламени и высокой температуры

Полимеры	Поведение материала в пламени	Характер пламени	Характер горения	Поведение при пиролизе	Запах
Полиэтилен	Плавится, горит хорошо, продолжает гореть при удалении из пламени	Светящееся, внутри окрашено в синий цвет	Небольшое количество копоти, расплав капает	Плавится, на стенках пробирки конденсируется жидкость, застывающая при охлаждении	Горящего парафина
Полипропилен	То же	То же	То же	То же	Горящего парафина, но более ароматический
Полиакрилаты	То же	Светящееся, голубое снизу, слегка коптит	То же	Плавится, разлагается	Острый, резко ароматический
Полиметилметакрилат	То же	Синее	Небольшое количество копоти, горит с потрескиванием	Плавится, пузырится при разложении	Сильный цветочно-плодовый
Поливинилацетат	То же	Светящееся, окружено пурпурной каймой, искры	Небольшое количество копоти	Разлогается с образованием жидких продуктов	Уксусной кислоты
Поливинилбутираль	То же	Голубое, с белой верхушкой	Небольшое количество копоти, расплав капает	То же	Масляной кислоты, прогорклого масла или сыра
Поливинилацеталь	То же	Фиолетовый		Разлагается практически без жидких продуктов	Сладковатый фруктовый

		ореол, искры			
Полистирол, ударопрочный полистирол	То же	Ярко-желтое, коптящее	Много копоти, при поджигании вспыхивает, горит легко	Плавится, на стенках пробирки конденсируется жидкость	Сладковатый цветочный запах стирола
Полиэтилентерефталат	То же	Желто-оранжевое, коптящее	Немного копоти	Плавится, мутнеет, разлагается, на стенках пробирки образуется белый налет	Сладкий, ароматный
Полиформальдегид	То же	Синеватое, прозрачное	Без копоти, расплав капает	Плавится	Очень резкий формальдегида
Полиуретан	То же	Желтое, синеватое снизу, серый дым	Легкий дым	Разлагается	Резкий
Целлюлоза	То же	Яркое, желто-белое	Легкий дым, горит легко	Разлагается	Жженой бумаги
Нитрат целлюлозы	Мгновенно воспламеняется и сгорает	Яркое, белое	Вспыхивает, горт быстро, с разбрызгиванием искр, без дыма и копоти	Разлагается с выделением бурых оксидов азота	Окислов азота
Полиамиды	Плавится, горит хорошо, продолжает гореть при удалении из пламени	Синеватое снизу, с желтыми краями	***	Щелочная	Жженого рога или горелых растений
Поливиниловый спирт	Разбухает, размягчается, горит хорошо.	Светящееся, синеватое	***	***	Специфический ,жира и рыбы
Поливинилхлорид, поливинилиденхлорид	Горит, при удалении из пламени, гаснет, размягчается	Ярко-зеленое	Немного белого дыма	Размягчается, разлагается с выделением белого дыма	Резкий, хлористого водорода

Политетрафторэтилен	Горит, при удалении из пламени, гаснет	Желтое	Без копоти	Разлагается с образованием плотного белого налета на стенках пробирки; на дне в месте нахождения образца – белый налет	Резкий, фтороводорода
Эпоксидная смола	Горит хорошо, продолжает гореть при удалении из пламени.	Желтое, коптящее	Немного копоти	Чернеет, плавится, разлогается	Жженой кости
Полиэфирная смола	Горит хорошо	Желтое	То же	Кислая	Сладковатый
Кремнийорганические соединения	Горит неровно, гаснет, образуется белая зола.	Желтое, белый дым	Без копоти	Разлагается, остается большой зольный остаток	Слабый, горящего воска
Феноло-формальдегидная смола	Загорается с трудом, горит плохо, сохраняет форму	Желтое со светло-голубыми кромками	При горении трескается	Не плавится, разлагается с выделением паров	Фенола, формальдегида
Меламино-формальдегидная смола	Горит с трудом только в пламени горелки, постепенно гаснет	Белое	-	То же	Резкий, аммиака и формальдегида

3. Растворимость

После предварительных заключений о принадлежности полимера к тому или иному классу по п. 1 и 2 проводят определение способности полимера растворяться в органических растворителях (табл. 3), что дополняет сведения о его свойствах. Для этой цели подготавливают несколько пробирок, помещают в каждую из них около 0,02 г тонкоизмельченного или нарезанного мелкими кусочками полимера и добавляют по 5 мл растворителя, время от времени встряхивая пробирки. Наблюдают за поведением полимера в течение 2-3 ч. На первой стадии растворения полимер, как правило, набухает, а затем набухшая твердая фаза переходит в раствор. Если образец не растворяется при комнатной температуре, то содержимое пробирки доводят до кипения при непрерывном взбалтывании. Если образец не растворяется и после этого, удваивают количество растворителя и повторяют определение. Следует учитывать, что в общем случае увеличение молекулярной массы полимера приводит к росту сил межмолекулярного взаимодействия и ухудшению растворимости. Кроме того, резко ухудшается растворимость сшитых полимеров и полимеров, прошедших стадию термообработки.

Полная растворимость обозначается как (Р), частичная – (ЧР), набухание образца – (Нб), нерастворимость – (Нр), растворение при нагревании - (Рг), разрушение в процессе испытания – (Рз).

Таблица 3

Растворимость полимеров

Характер растворимости полимеров и олигомеров																	
Смолы	бензин	бензол	диэтиловый эфир	этилацетат	ацетон	этиловый спирт	вода	диоксан	циклогекса-нон	дихлорэтан	четыреххло-ристый угле-	хлороформ	пиридин	фенол (80%-ный)	муравьиная кислота	уксусная кис-лота	соля-ная(конц.) кислота
Кремний органиче-ский	Нр	Р	Р	Р	Р	Р	Нр	*	Р	Р	Р	Р	Р	Нр	Нр	Нр	Нр
Феноло-формаль-дегидные	Нр	Нр	Нр	Нр	Р	Р	Нр	Нр	Р	Нр	Р	Р	*	*	*	Нр	*
Феноло-фурфу-рольные	Нр	Нр	Нр	*	Нр	Нр	Нр	*	*	*	Нр	Нр	Рг	Нр	Нр	Нр	Рз
Мочевино-фор-мальдегидные	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Р	Р	Нр	*	*	Нр	Нр	Рг	Нр	Нр	Р	Рз
Меламино-фор-мальдегидные	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Р	Нр	Нр	*	Нр	Нр	Нр	*	*	Р	Нр
Полиамиды	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	*	Нр	Нр	Нр	Р	Р	Р	Нр
Полиимиды	*	Нр	Нр	*	Нр	Нр	Нр	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Полиуретаны	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	*	Нр	Нр	Р	Р	Р	Р	*
Эпоксидные	Нр	Р	Р	Р	Р	Р	Нр	Р	Р	*	Р	Р	Р	*	*	*	*
Поливинилхлорид	Нр	Нб	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Р	Р	Р	Р	Р	Рг	Нр	Нр	Нр	Нр
Поливинил-иденхлорид	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Р	Нр	Нр	Нр	Р	Р	*	*	*	*
Поливинилацетат	Нр	Р	Нб	Р	Р	Р	Нр	Р	Р	Р	Р	*	Р	*	*	*	*
Поливинил-бути-раль	Нр	Р	Нр	Р	Нр	Р	Нр	Р	*	Р	*	Р	Р	Нр	Нр	Нр	Нр
Поливинил-фор-маль	Нр	*	Нр	*	Чр	Нр	Нр	Р	Р	Р	Нр	Р	Р	*	Р	Р	*
Поливиниловый спирт	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Р	Нр	*	Нр	*	*	*	*	*	Нр	*

Полиакрилаты	Нр	Р	Нр	Р	Р	Р	Нр	*	Р	*	Нр	*	Чр	*	*	Чр	*
Полиметилме-так-рилаты	Нр	Р	Нр	Р	Р	Нр	Нр	Р	Чр	Р	Нр	*	Р	Нр	*	Р	*
Полиметакрилаты	Нр	Р	Нр	Р	Р	Р	Нр	Р	Р	*	Нр	Р	Рг	Нр	*	Нр	Нр
Полистирол	Нр	Р	Нб	Нб	Нб	Нр	Нр	Р	Нр	Р	Р	Рг	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр
Полиэтилен	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	*	*	Нр	*
Политетра-фторэтилен	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	Нр	*	*	Нр	Нр	*
Поликарбонат	Нр	Чр	*	*	Чр	Нр	Нр	*	*	Р	Р	Нр	Р	*	*	*	*
Нитрат целлюлозы	Нр	Нр	Нб	Р	Р	Нр	Нр	Р	Р	*	Нр	Нр	Р	*	Р	Р	*
Ацетат целлюлозы	Нр	Нр	Нр	Р	Р	Нр	Нр	Р	Нр	*	Р	*	Р	*	*	Р	*
Этилцеллюлоза	Нр	Р	Нб	Р	Р	Р	Нр	Р	Р	*	Нб	*	Р	*	*	Р	*
Бензилцеллюлоза	Нр	Р	Нр	*	Р	Нр	Нр	Р	Р	Р	Нб	Р	Р	*	*	Нр	*
Полиэфирные	Нр	Р	*	Р	Р	Р	Нр	Р	Р	*	*	*	Р	Нр	Нр	Нр	Нр

4. Качественное обнаружение элементов

Проведение качественных реакций на Cl, Br, I, F, S, N, P, B, Si и некоторые металлы позволяет сделать заключение о принадлежности анализируемого образца к той или иной группе полимеров, содержащих гетероатомы (табл. 5).

Качественное определение элементов проводится после минерализации полимера. Для этой цели предложены различные способы: сжигание в колбе, наполненной кислородом, пиролиз в атмосфере водорода и гелия (20:80), минерализация с использованием низкотемпературной плазмы, сплавление с бинарным сплавом металлического натрия со свинцом (1:9), восстановительное разложение вещества с металлическим натрием или калием. Способ восстановительного разложения с металлическим натрием (калием) прошел многолетнюю проверку в органическом анализе и в анализе полимеров и, несмотря на недостатки, связанные с использованием металлического натрия (калия) является довольно надежным, дающим возможность в одной пробе открыть галогены, азот, серу, фосфор и кремний. Для обнаружения бора можно применять минерализацию полимерного образца в низкотемпературной плазме или сжигание в колбе с кислородом в присутствии платины.

Для обнаружения фтора, хлора, брома, йода, азота, серы, фосфора и кремния кроме разнообразных химических методов находит применение ионная хроматография, позволяющая разделять и определять их в продуктах разложения полимеров и в добавках органической природы с чувствительностью 1×10^{-4} %.

Для обнаружения гетероатомов в полимерах и органических добавках применяется также пиролитическая газовая хроматография. Идентификация продуктов пиролиза, содержащих гетероатомы, осуществляется как на основе избирательной способности хроматографических фаз к удерживанию различных по природе химических соединений с использованием обычных детекторов, так и с применением селективных детекторов.

Обнаружение металлов в полимерах после разложения можно осуществ-

лять флуоресцентным, рентгенофлуоресцентным, эмиссионным и атомно-адсорбционным методами.

Таблица 5

Классификация полимеров по наличию гетероатомов

Гетероатомы	Полимеры
N	Полиамиды, полиимиды, полиакрилонитрил, полиакриламид, поливинилпирролидон, поливинилкарбазол, полиуретаны, нитрат целлюлозы, бутадиеннитрильные каучуки, сополимеры стирола с акрилонитрилом, сополимеры стирола с метилметакрилатом и акрилонитрилом, АБС-пластики, меламиноформальдегидные смолы, мочевиноформальдегидные смолы, анилиноформальдегидные смолы, мочевинофурфурольные смолы
S	Полиариленсульфоны, полиариленсульфиды, полисульфиды, каучуки бутадиеновые и изопреновые (вулканизованные серой)
N, S	Тиомочевиноформальдегидные смолы, сульфонамидформальдегидные смолы
Cl	Поливинилхлорид, поливинилиденхлорид, пентапласт, перхлорвинил, полидихлорстирол, полиэтилен хлорированный, сополимеры винилхлорида с винилиденхлоридом, сополимеры винилхлорида с винилацетатом
Cl, S	Поливииилсульфохлорид, полиэтилен хлорсульфированный, каучук хлорированный (вулканизованный серой)
Br	Бромбутилкаучук
F	Политетрафторэтилен, поливинилфторид, поливинилиденфто- рид, сополимеры тетрафторэтилена с этиленом, сополимеры винилиденфторида с этиленом, сополимеры тетрафторэтилена с гексафторпропиленом, сополимеры винилиденфторида с пер- фторалкилвиниловыми эфирами, каучук фторированный
F, N	Фторнитрозокаучук
F, Cl	Политрифторхлорэтилен, сополимеры трифторхлорэтилена с трифторэтиленом, сополимеры трифторхлорэтилена с винили денфторидом
F, S	Поливинилсульфофторид, полифторсульфон
P	Полимеры виниловых и аллиловых эфиров фосфорной кислоты
P, S, N	Белковые полимеры
Si	Кремнийорганические полимеры
B	Борорганические полимеры

Литература

Основная

1. Барсукова Л.Г. Физико-химия и технология полимеров, полимерных композитов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Барсукова Л.Г., Вострикова Г.Ю., Глазков С.С.— Электрон. текстовые данные.— Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014.— 146 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/30852.

2. Процессы и оборудование производства волокнистых и пленочных материалов / И.Н.Жмыхов [и др.]. – Минск: «Вышейшая школа», 2013. – 587с. (5экз.).

3. http://techn.sstu.ru/new/SubjectFGOS/Default.aspx?kod=1034

Дополнительная

4. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб.пособие / М.Л.Кербер и [др.]. - СПб.: Профессия, 2014.-592с. (1 экз.).

5. Крыжановский В.К. Технические свойства пластмасс / В.К.Крыжановский. – СПб.: Профессия, 2014. – 248 с. (1 экз.).

6. Композиты на основе полиолефинов / Под ред. Д.Нвабунмы, Т.Кю. - СПб: Научные основы и технологии, 2014. – 74 с. (2 экз.).

7. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. – СПб.: Научные основы и технологии, 2013. – 720 с. (2 экз.).

8. Мийченко И.П. Технология полуфабрикатов полимерных материалов / И.П.Мийченко. - СПб.: Научные основы и технологии, 2012. – 374 с. (1 экз.).

9. Шерышев М.А. Производство изделий из полимерных листов и пленок. – СПб: Научные основы и технологии, 2011. – 556 с. (1 экз.).

10. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю.А.Михайлин // СПб: Профессия. – 2010. – 822 с. (1 экз.).

11. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты / К.Е.Перепелкин. - СПб: Научные основы и технологии, 2009. – 380с. (3 экз.).

12. Михайлин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы / Ю.А.Михайлин // СПб: Профессия. – 2009. – 651 с. (1 экз.).