

ЭЛАСТОМЕРЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИУРЕТАНОВЫХ ОЛИГОМЕРОВ, ОТВЕРЖДАЕМЫЕ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ *

А.И. Слободинюк, *Институт технической химии УрО РАН*
В.Ю. Сеничев, *Институт технической химии УрО РАН*
А.В. Савчук, *Институт технической химии УрО РАН*
М.А. Макарова, *Институт технической химии УрО РАН*
Э.В. Погорельцев, *Институт технической химии УрО РАН*
М.В. Перепада, *Институт технической химии УрО РАН*
С.Ф. Красносельских, *Институт технической химии УрО РАН*
Д.Г. Слободинюк, *Институт технической химии УрО РАН*

Для цитирования:

Слободинюк А.И., Сеничев В.Ю., Савчук А.В., Макарова М.А., Погорельцев Э.В., Перепада М.В., Красносельских С.Ф., Слободинюк Д.Г. Эластомеры на основе эпоксиуретановых олигомеров, отверждаемые при комнатной температуре // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2021. – № 3. – С. 42–50. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.6>

На основе олиготетраметиленоксиддиола разной молекулярной массы, различных диизоцианатов, а также глицидола и аминоэтилпиперазина синтезированы новые эпоксиуретановые олигомеры (олиготетрауретандиэпоксиды). На их основе получены морозостойкие эластичные композиции холодного отверждения. Показано, что варьированием мольного соотношения между эпоксиуретановыми олигомерами и отвердителями класса аминов можно получать эластомеры, деформационно-прочностные свойства которых могут регулироваться в самых широких пределах. Методом ИК-спектроскопии доказано, что при использовании различных диизоцианатов образуется разная надмолекулярная структура. Высокая степень микрофазового разделения гибких и жестких блоков у эластомеров, синтезированных на основе изофорондиизоцианата, способствует реализации у них более высоких прочностных характеристик. Методами дифференциально-сканирующей калориметрии и механического анализа доказана возможность применения разработанных эластомеров в условиях Арктики и Крайнего Севера.

Ключевые слова: эпоксиуретановый олигомер, диизоцианат, жесткие блоки, прочность, деформация, морозостойкость, глицидол.

* Работа выполнена в рамках проекта Пермского научно-образовательного центра «Рациональное недропользование», с использованием оборудования ЦКП «Исследование материалов и вещества» ПФИЦ УрО РАН.

Введение

Сегментированные полиуретановые эластомеры – уникальный класс полимеров, структура и свойства которых регулируются в широких пределах в результате использования для их синтеза различных полиолов, диизоцианатов и удлинителей цепи. В зависимости от химического строения и количества компонентов могут быть получены полимерные материалы с различным сочетанием свойств. Многие полиуретаны обладают такими свойствами, как высокая прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, износостойкость, широкий температурный диапазон эксплуатации: от минус 50°C до 100°C [1–6].

Сегментированные полиуретаны (СПУ), синтезированные на основе олигодиизоцианатов и так называемых удлинителей цепи, в качестве которых используются низкомолекулярные диамины или диолы, состоят из чередующихся гибких и жестких сегментов (блоков) различного химического состава и полярности. Химическое строение мягких сегментов СПУ задано строением олигомеров, используемых для их синтеза; жесткие сегменты образуются при реакции диизоцианата с удлинителем цепи [7–81].

Различие в полярности гибких и жестких сегментов приводит к их микрофазовому разделению с образованием доменов жестких сегментов. В СПУ жесткие домены являются усиливающими наполнителями и узлами специфической физической сетки, устойчивой в широком интервале температур [9–11], причем важную роль в стабилизации структуры жесткой фазы играют водородные связи в микродоменах.

Получающаяся в процессе отверждения полиуретанов двухфазная структура является залогом формирования их высоких прочностных свойств. Кроме того, позитивную роль в применении полиуретановых материалов играет относительная простота технологии их переработки, часто реализуемая с помощью метода свободного литья. Однако достоинства такой технологии имеют

обратную сторону: некоторые компоненты, используемые для синтеза полиуретанов, имеют высокую токсичность, их система отверждения чувствительна к влажности воздуха, а применение некоторых компонентов затруднительно при решении часто возникающих инженерных задач, связанных с необходимостью отверждения при температурах, близких к комнатной температуре.

Известно, что с целью понижения токсичности олигодиизоцианатов (ОД), а также негативного влияния влаги на конечные свойства уретансодержащих эластомеров можно производить эпоксицирование ОД путем их взаимодействия с глицидом. В ходе реакции эпоксицирования образуются эпоксиуретановые олигомеры (ЭУО). В отличие от ОД композиции на основе ЭУО малочувствительны к действию влаги, что важно для получения крупных монолитных изделий при применении заливочных композиций. Эластичные материалы, получаемые на основе ЭУО, имеют хорошие диэлектрические свойства и механические характеристики, применяются в качестве адгезивов, основы низкомолекулярных компаундов различного назначения, биомедицинских материалов [12–16]. В качестве отвердителей эпоксиуретановых олигомеров используют амины, ангидриды дикарбоновых кислот, соединения с карбоксильными группами.

Стоит отметить, что ангидриды, а также карбоновые кислоты могут применяться в качестве отвердителей только при высоких температурах, тогда как при комнатной температуре получение изделий на основе эпоксиуретановых олигомеров возможно только с использованием аминной системы отверждения.

Основной целью работы представлялась разработка системы отверждения эпоксиуретановых олигомеров на основе простых олигоэфиров, позволяющая реализовать максимальные прочностные свойства конечных эластичных материалов в случае так называемого «холодного» отверждения.

Экспериментальная часть

Эпоксиретановые олигомеры были синтезированы на основе глицидола и олигодиизоцианатов, для синтеза которых применяли олигоэфирдиола и диизоцианаты. Использовали следующие олигоэфирдиола: олиготетраметиленоксиддиол (ОТМО) фирмы «Bayer» (средняя молекулярная масса M_n : 1000 г·моль⁻¹, 1400 г·моль⁻¹, 2 000 г·моль⁻¹), изофорондиизоцианат (ИФДИ) фирмы «Sigma Aldrich», 2,4-толуилендиизоцианат (ТДИ) фирмы «Sigma Aldrich», глицидол от ОАО «НИИПМ». Воду в олигоэфирдиолах удаляли при температуре 80°C в условиях перемешивания в течение 7 часов под вакуумом при остаточном давлении не более 10 мм рт.ст.

На первой стадии синтеза были получены олигодиизоцианаты (ОД) реакцией олигодиолов с диизоцианатом при мольном соотношении NCO/OH = 2,05 при поддержании температуры реакционной смеси 60–70°C в условиях перемешивания. Содержание NCO-групп в олигодиизоцианатах было определено титрованием *n*-бутиламином согласно ASTM D 2572-97 (табл. 1). На второй стадии синтеза ОД взаимодействовали с двойным количеством (в мольном отношении) глицидола с образованием эпоксиретановых олигомеров (ЭУО). Контроль массового содержания эпоксидных групп полученного олигомера проводили согласно ГОСТ Р 56752-2015. Таким образом было получено 6 эпоксиретановых олигомеров.

Образцы эластомеров с уретангидроксильными жесткими блоками были получены отверждением смеси соответствующего ЭУО и отвердителя – аминоэтилпиперазина. Составы приведены в табл. 2.

ЭУО предварительно перемешивали в течение 10 мин при температуре 40°C и вакуумировании. Затем в реактор вводили отвердитель. Указанную смесь ЭУО и отвердителя перемешивали в течение 3 минут при температуре 40°C и вакууме, заливали в металлические формы для образцов толщиной 2 мм и термостатировали в течение 24 часов при температуре 25±2°C. Полноту инверсии эпоксидных групп контролировали методом ИК-Фурье спектроскопии по исчезновению полосы поглощения при 910 см⁻¹.

При отверждении эластомеров образуются образцы с разным типом уретангидроксильных жестких блоков (рис. 1). На рисунке жесткие блоки, образующиеся на основе 2,4-толуилендиизоцианата, обозначены ЖБ-1, на основе изофорондиизоцианата – ЖБ-2:

Температуру стеклования T_g^s определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на калориметре DSC 822e фирмы «METTLER TOLEDO» при скорости сканирования 0,08 град·с⁻¹ (при этом масса образца составляла от 10 до 20 мг). ИК-спектры отвержденных образцов регистрировали на ИК-Фурье спектрометре IFS-66/S фирмы «Bruker» при разрешении 1 см⁻¹ при помощи приставки НПВО. Для удобства сравнения спектральные кривые нормировали по полосе при 2 840 см⁻¹ характеристической для валентных колебаний CH₂ – групп для образцов со вторым типом жестких блоков. И по полосе при 1 600 см⁻¹, характеристической для ва-

Таблица 1

Характеристики эпоксиретановых олигомеров на основе ОТМО различной молекулярной массы

| Олигомер | Молекулярная масса олигодиола | Диизоцианат | Содержание изоцианатных групп | | Содержание эпоксидных групп | |
|----------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| | | | теор. | практ. | теор. | практ. |
| УП-1 | 1 000 | ТДИ | 6,17 | 6,25 | 6,40 | 6,21 |
| УП-2 | 1 400 | ТДИ | 4,77 | 4,86 | 4,58 | 4,36 |
| УП-3 | 2 000 | ТДИ | 3,55 | 3,51 | 3,38 | 3,24 |
| УП-4 | 1 000 | ИФДИ | 5,76 | 5,89 | 5,45 | 5,56 |
| УП-5 | 1 400 | ИФДИ | 4,51 | 4,76 | 4,49 | 4,61 |
| УП-6 | 2 000 | ИФДИ | 3,40 | 3,45 | 3,33 | 3,26 |

Характеристики эластомеров, синтезированных на основе эпоксиуретановых олигомеров

| Номер образца | ЭУО, используемый при синтезе | Мольное соотношение ЭУО : амин | Условная прочность, Па | | Относительная критическая деформация, % | |
|---------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------|-------|-----------------------------------------|-------|
| | | | 25°C | -70°C | 25°C | -70°C |
| 1 | УП-1 | 1 : 1 | 7,6 | 71,3 | 547 | 3 |
| 2 | УП-1 | 1 : 0,87 | 5,7 | 68,6 | 385 | 2 |
| 3 | УП-1 | 1 : 0,67 | 4,4 | 64,1 | 360 | 1 |
| 4 | УП-2 | 1 : 1 | 5,1 | 48,9 | 466 | 8 |
| 5 | УП-2 | 1 : 0,87 | 8,9 | 48,5 | 491 | 7 |
| 6 | УП-2 | 1 : 0,67 | 5,0 | 46,3 | 450 | 7 |
| 7 | УП-3 | 1 : 1 | 5,9 | 72,9 | 525 | 7 |
| 8 | УП-3 | 1 : 0,87 | 7,9 | 71,7 | 577 | 8 |
| 9 | УП-3 | 1 : 0,67 | 5,4 | 70,5 | 450 | 8 |
| 10 | УП-4 | 1 : 1 | 11,3 | 50,3 | 523 | 2 |
| 11 | УП-4 | 1 : 0,87 | 16,1 | 51,5 | 416 | 2 |
| 12 | УП-4 | 1 : 0,67 | 14,2 | 25,6 | 212 | 1 |
| 13 | УП-5 | 1 : 1 | 12,1 | 59,6 | 700 | 12 |
| 14 | УП-5 | 1 : 0,87 | 15,1 | 54,5 | 475 | 11 |
| 15 | УП-5 | 1 : 0,67 | 5,3 | 52,3 | 215 | 10 |
| 16 | УП-6 | 1 : 1 | 4,3 | 39,6 | 358 | 268 |
| 17 | УП-6 | 1 : 0,87 | 8,1 | 40,6 | 408 | 264 |
| 18 | УП-6 | 1 : 0,67 | 4,4 | 41,2 | 275 | 58 |

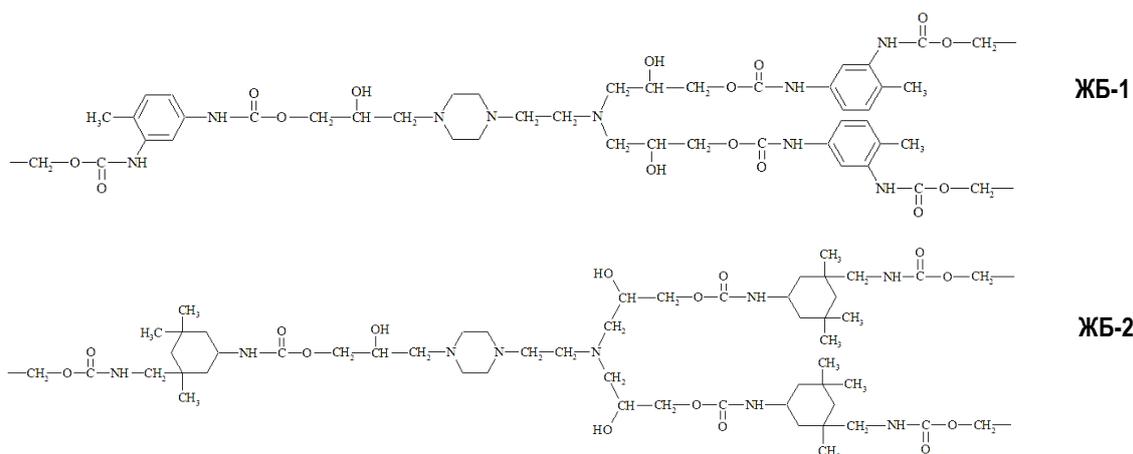


Рис. 1. Структуры образующихся жестких блоков

лентных колебаний С–С арильного кольца для образцов с первым типом жестких блоков. Механические испытания образцов полученных эластомеров проводили на универсальной испытательной машине INSTRON 3 365 при температуре $25 \pm 1^\circ\text{C}$ согласно ISO 37–2013.

Результаты и обсуждение

На рис. 2–3 представлены ДСК-термограммы образцов эластомеров на основе олиготетраметиленоксида с разной молекулярной массой, синтезированные с использованием 2,4-толуилеандиизоцианата-

та (рис. 2) и изофорондиизоцианата (рис. 3). Из рис. 2–3 видно, что повышение молекулярной массы олигоэфира способствует понижению температуры стеклования эластомера. Так, при переходе молекулярной массы олигоэфира от 1000 к 1400 и, далее, к 2000, температура стеклования закономерно понижается от -61°C к -71°C и -78°C (при использовании 2,4-толуилеандиизоцианата) и от -64°C к -73°C и -79°C при использовании изофорондиизоцианата. Небольшая разница температур стеклования у образцов при одинаковой длине гибкого сегмента с разными диизо-

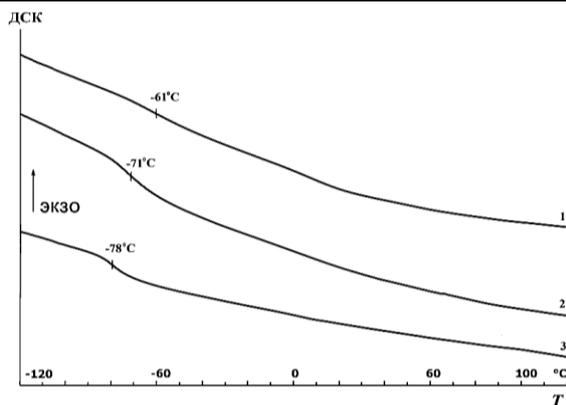


Рис. 2. ДСК–термограммы образцов:
1 – образец 2, 2 – образец 5, 3 – образец 8

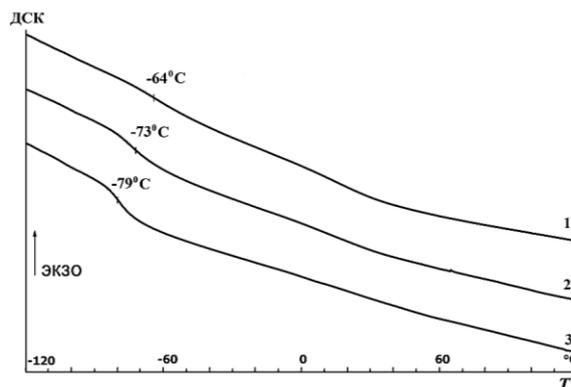


Рис. 3. ДСК–термограммы образцов:
1 – образец 11, 2 – образец 14, 3 – образец 17

цианатами объясняется стерическим фактором, вносимым в сегментальную подвижность полимерных цепей фрагментом изофорондиизоцианата. Стоит отметить, что в отличие от уретансодержащих эластомеров с обычными уретановыми или уретанмочевинными жесткими блоками, у синтезированных эластомеров отсутствует кристаллизация гибкого сегмента; это должно положительным образом сказываться на работоспособности изделий при отрицательных температурах.

Так как в работе были использованы реагенты разной функциональности (у эпоксиуретанового олигомера $f=2$, у амина $f=3$), имелась возможность регулирования свойств отвержденных эластомеров изменением мольного соотношения реагентов. Так, соотношение 1:1 (рис. 4) позволяет создавать эластомер с более высокими деформативными свойствами, а при стехиометрическом соотношении (рис. 5) образуется сшитый эластомер с повышенным уровнем поперечных свя-

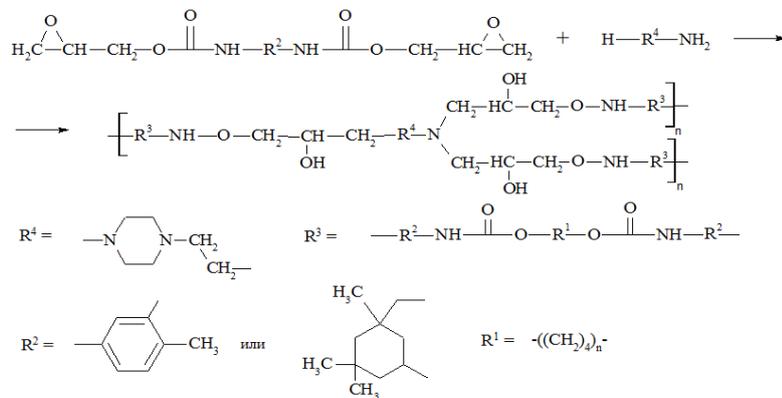


Рис. 4. Схема полимеризации эластомеров при мольном соотношении реагентов 1:1

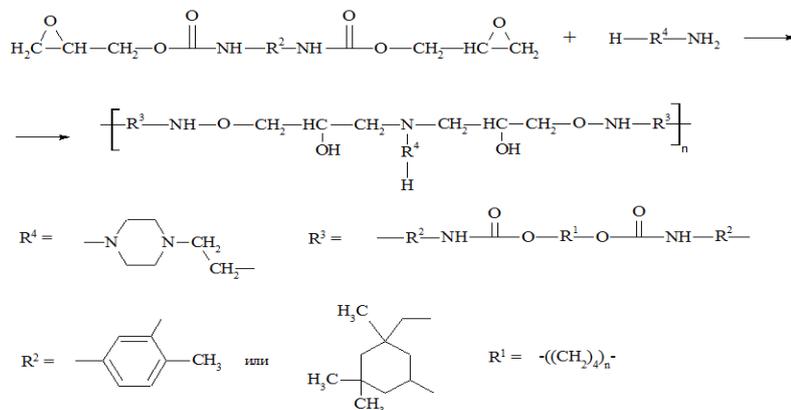


Рис. 5. Схема полимеризации эластомеров при мольном соотношении реагентов 1:0,67

зей, что может обеспечить более высокий уровень химической стойкости. При этом возможны промежуточные варианты.

В табл. 2 представлены данные по деформационно-прочностным характеристикам синтезированных эластомеров на основе ЭУО. Из данных, представленных в табл. 2, видно, что варьированием соотношения ЭУО: отвердитель можно регулировать деформационно-прочностные характеристики эластомеров в весьма широких пределах. Причем почти для всех ЭУО оптимальным является соотношение ЭУО: отвердитель = 1:0,87.

На рис. 6, 7 представлены ИК – спектры образцов эластомеров синтезированных при мольном соотношении эпоксиуретановый олигомер: отвердитель 1: 0,87, образцы были получены на основе олиготетраметиленоксиддиола разной молекулярной массы и разных типов жестких блоков.

Для отнесения соответствующих полос поглощения при этом использовали результаты спектральных исследований некоторых близких по строению полимеров с уретановыми группами [17–18]. Важную информацию о надмолекулярной структуре уретаносодержащих полимеров можно получить при анализе области

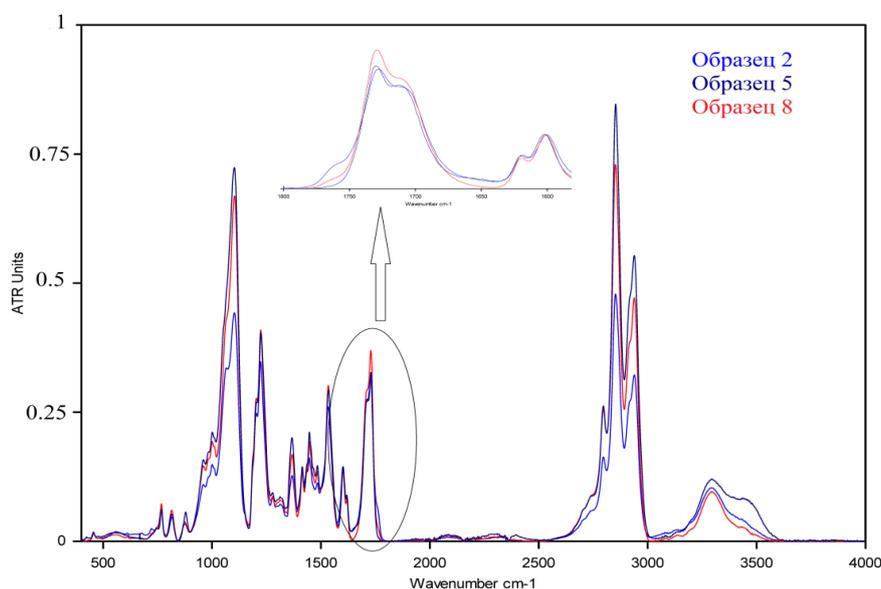


Рис. 6. ИК-спектр образцов 2, 5, 8

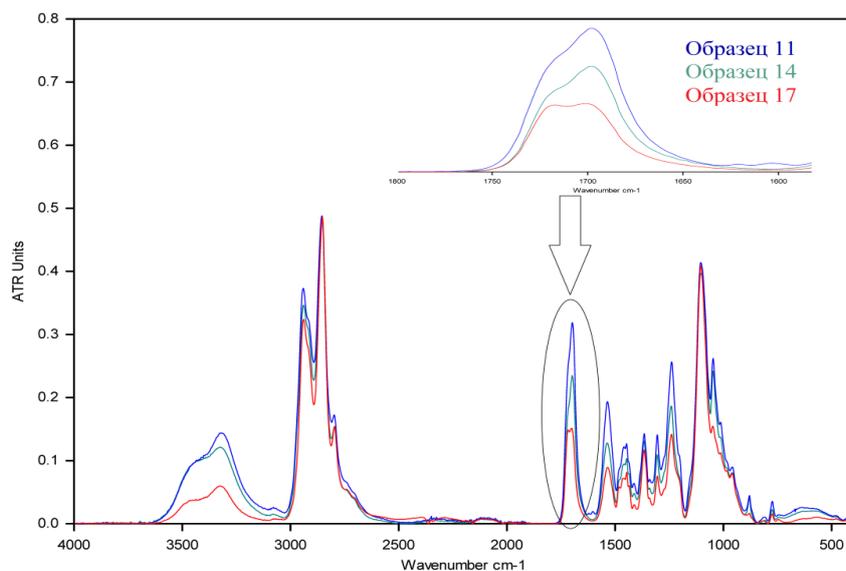


Рис. 7. ИК- спектр образцов 11, 14, 17

ИК-спектров, относимой к полосам поглощения карбонильной группы (область 1 600–1 760 см⁻¹). Положение полос поглощения этой группы в уретансодержащих эластомерах (полиуретанмочевинах, полиуретанах) может несколько варьироваться для композиций с различными диизоцианатами, диаминами, низкомолекулярными диолами. Например, полоса поглощения самоассоциатов уретанмочевинных жестких блоков на основе 2,4-толуилендиизоцианата проявляется при 1 640 см⁻¹, а на основе изофорондиизоцианата — при 1 660 см⁻¹ [19], для 2,4-толуилендиизоцианата, глицидола и аминоэтилпиперазина — при 1 712 см⁻¹ [20], для изофорондиизоцианата, глицидола и аминоэтилпиперазина — при 1 698 см⁻¹ [21].

Как видно из спектров, в области 1 600–1 760 см⁻¹ для образцов с первым типом жестких блоков проявляются две полосы поглощения: при 1 702 см⁻¹, которая относится к поглощению карбонила, связанного водородной связью с N-H группой уретангидроксильного жесткого блока (ЖБ) — связь ЖБ–ЖБ, а также пик при 1 730 см⁻¹, относящийся к поглощению свободного карбонила уретановой группы. При этом интенсивность пика при 1 730 см⁻¹ возрастает с увеличением молекулярной массы гибкого сегмента. Стоит отметить, что более низкую интен-

сивность пика при 1 712 см⁻¹ в сравнении с полосой 1 730 см⁻¹, что указывает на низкую степень микрофазового разделения. Анализ эластомеров со вторым типом жестких блоков показывает, что здесь реализуется более высокая степень микрофазового разделения гибких и жестких блоков — интенсивность полосы поглощения при 1 698 см⁻¹ превалирует над полосой 1 730 см⁻¹. При этом самая высокая степень микрофазового разделения реализуется на образце с молекулярной массой гибкого сегмента 1 000.

Из табл. 2 видно, что для эластомеров со вторым типом жестких блоков реализуются более высокие прочностные характеристики вследствие более высокой степени микрофазового разделения. Так, при молекулярной массе гибкого сегмента 1 000 прочность образца со вторым типом жестких блоков больше, чем с первым типом в 2,11 раза при молекулярной массе 1 400 в 1,81 раза, при молекулярной массе 2 000 — в 1,03. При этом все эластомеры, синтезированные на основе ОТМО с молекулярной массой 1400 и 2000, обладают достаточными деформационно-прочностными характеристиками при экстремально низкой температуре: минус 70°C, что обеспечивает работоспособности данных материалов в условиях Арктики и Крайнего Севера.

Библиографический список

1. *Randall D., Lee S.* The polyurethanes book. — New York: Wiley, 2003.
2. *Hepburn C.* Polyurethane elastomers. — London; New-York: Elsevier Applied Science; 1992.
3. *Petrovic Z.S., Ferguson J.* Polyurethane elastomers // Prog. Polym. Sci. — 1991. — Vol. 16. — № 5. — P. 695–836. DOI: 10.1016/0079-6700(91)90011-9.
4. *Lamba N.M.K., Woodhouse K.A., Cooper S.L.* Polyurethanes in biomedical applications. — Boca Raton: CRC Press, 1998.
5. *Bagdi K., Molnar K., Wacha A., Bota A., Pukánszky B.* Hierarchical structure of phase-separated segmented polyurethane elastomers and its effect on properties // Polym Int. — 2011. — Vol. 60. — № 4. — P. 529–36. DOI: 10.1002/pi.3003.
6. *Unal S., Yilgor I., Yilgor E., Sheth J.P., Wilkes G.L., Long T.E.* A new generation of highly branched polymers: hyperbranched, segmented poly(urethane urea) elastomers // Macromolecules. — 2004. — Vol. 37. — № 19. — P. 7081–84. DOI: 10.1021/ma049472e.
7. *Tereshatov V.V.* [et al.] The role of the soft phase in the hardening effect and the rate dependence of the ultimate physico-mechanical properties of urethane-containing segmented elastomers // Colloid and Polymer Science. — 2015. — Vol. 293. — №. 1. — P. 153–164.
8. *Tereshatov V.V.* [et al.] Interrelationship between ultimate mechanical properties of variously structured polyurethanes and poly(urethane urea)s and stretching rate thereof // Colloid and Polymer Science. — 2012. — Vol. 290. — №. 7. — P. 641–651.

9. *Buist J.M.* Developments in Polyurethane-1. – London: Applied Science Publishers, 1978.
10. *Yamamoto T., Shibayama M., Nomura S.* Structure and properties of fatigued segmented poly(urethaneurea)s 3. Quantitative-analyses of hydrogen-bond // *Polymer J.* – 1989. – Vol. 21. – № 11. – P. 895–903. DOI: 10.1295/polymj.21.895.
11. *Lee H.S., Yoo S.R., Seo S.W.* Domain and segmental deformation behavior of thermoplastic elastomers using synchrotron SAXS and FTIR methods // *J. Polym. Sci. Polym. Phys.* – 1999. – Vol. 37. – № 22. – P. 3233–45.
12. *Chen D.S., Ma C.C.M., Hsia H.C., Wang W.N., Lin S.R.* Preparation and characterization of cryogenic adhesives. I. Glycidyl-terminated polyurethane resins // *J. Appl. Polym. Sci.* – 1994. – Vol. 51. – № 7. – P. 1199–1206.
13. *Hsia H.C., Ma C.C.M., Li M.S., Li Y.S., Chen D.S.* Glycidyl-terminated polyurethane modified epoxy resins: Mechanical properties, adhesion properties, and morphology // *J. Appl. Polym. Sci.* – 1994. – Vol. 52. – № 8. – P. 1137–1151.
14. *Yeganeh H., Mehdipour-Ataei S., Ghaffari M.* Preparation and properties of novel poly (urethane-imide) s via blending of reactive polyimide and epoxy-terminated urethane prepolymers // *High Perform. Polym.* – 2008. – Vol. 20. – № 2. – P. 126–145.
15. *Mustafin V.R., Shukurdzhiev M.S., Magrupov F.A.* Modification of epoxy oligomers with furan compounds. A survey // *International Polymer Science and Technology.* – 1995. – T. 22. – № 7. – C. 90–95.
16. *Pavlova M., Draganova M., Kabaivanov V.* Studies of the effect of a hardener on some properties of epoxyurethane adhesives with increase heat resistance // *Polym. Commun.* – 1988. – Vol. 29. – № 3. – P. 80–82.
17. *Mathew A., Kurmvanshi S., Mohanty S., Nayak S.K.* Influence of diisocyanate, glycidol and polyol molar ratios on the mechanical and thermal properties on the mechanical and thermal properties of glycidyl-terminated biobased polyurethanes // *Polymer International.* – 2017. – Vol. 66. – Iss. 11. – P. 1546–1554.
18. *Huang S.L., Lai J.Y.* On the gas permeability of hydroxyl terminated polybutadiene based polyurethane membranes // *J. Membrane Sci.* – 1995. – Vol. 105. – № 1–2. – P. 137–145.
19. *Ahn T.O., Jung S.U., Jeong H.M., Lee S.W.* The properties of polyurethanes with mixed chain extenders and mixed soft segments // *Appl. Polym. Sci.* – 1994. – Vol. 51. – № 1. – P. 43–49. <https://doi.org/10.1002/app.1994.070510105>.
20. *Senichev V.Y., Slobodinyuk A.I., Makarova M.A., Savchuk A.V., Pogoreltsev E.V.* The effect of hard segments structure on the functional properties of polyurethane elastomers based on oligoesterurethane epoxides // *J. Phys. Conf. Ser.* – 2019. – Vol. 1399. – № 4. – P. 044060.
21. *Hsia H.C., Ma C.C.M., Chen D.S.* Adhesion properties and phase separation behavior of glycidyl-terminated polyurethanes // *Macromol. Mater. Eng.* – 1994. – Vol. 220. – № 1. – P. 133–149.

ELASTOMERS BASED ON EPOXYURETHANE OLIGOMERS CURED AT ROOM TEMPERATURE

A.I. Slobodinyuk, V.Yu. Senichev, A.V. Savchuk, M.A. Makarova, E.V. Pogoreltsev,
M.V. Perepada, S.F. Krasnosel'skikh, D.G. Slobodinyuk

Institute of Technical Chemistry UB RAS

For citation:

Slobodinyuk A.I., Senichev V.Yu., Savchuk A.V., Makarova M.A., Pogoreltsev E.V., Perepada M.V., Krasnosel'skikh S.F., Slobodinyuk D.G. Elastomers based on epoxyurethane oligomers, cured at room temperature // *Perm Federal Research Center Journal.* – 2021. – № 3. – P. 42–50. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.6>

New epoxyurethane oligomers (oligotetraurethane diepoxides) were synthesized on the basis of oligotetramethylene oxide diols of different molecular weight, various diisocyanates, as well as glycidol, and aminoethylpiperazine. On their basis, frost-resistant elastic cold-curing compositions were obtained. It was shown that varying the molar ratio between epoxyurethane oligomers and amine hardeners makes it possible to obtain elastomers with the deformation and strength properties that could be controlled over a wide range.

It was proved by IR-spectroscopy that a various supramolecular structure was formed when different diisocyanates were used. High degree of microphase separation between soft and hard

blocks in elastomers synthesized on the basis of isophorone diisocyanate contributes to their higher strength properties. Methods of differential scanning calorimetry and mechanical analysis proved the possibility of the developed elastomers application in the Arctic and the Far North.

Keywords: epoxyurethane oligomer, diisocyanate, hard blocks, strength, deformation, frost resistance, glycidol.

Сведения об авторах

Слободинюк Алексей Игоревич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт технической химии УрО РАН («ИТХ УрО РАН»), 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3; e-mail: slobodinyuk.aleksey.ktn@mail.ru

Сеничев Валерий Юльевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией полимерных материалов, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: senichev85@yandex.ru

Савчук Анна Викторовна, аспирант, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: ataraksa@mail.ru

Макарова Марина Александровна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: makmara65@mail.ru

Погорельцев Эдуард Владимирович, аспирант, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: e.v.pogoreltsev@yandex.ru

Перепادا Мария Владимировна, аспирант, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: mari.perepada@mail.ru

Красносельских Светлана Федоровна, инженер, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: krasnlanal@yandex.ru

Слободинюк Дарья Геннадиевна, кандидат технических наук, научный сотрудник, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: slobodinyuk.aleksey.ktn@mail.ru

Материал поступил в редакцию 08.06.2021 г.