

March 2024

INVESTIGATION BY IR SPECTRAL METHOD OF THE CURING OF UNSATURATED POLYESTERS BASED ON SECONDARY POLYETHYLENE TEREPHTHALATE OBTAINED IN PRODUCTION CONDITIONS

Asror JURAEV

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, asror_tcti@mail.ru

Muzafar ALIMUKHAMEDOV

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, mga1953@mail.ru

Farkhad MAGRUPOV

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, farkhad44@mail.ru

Aziza RAKHMATULLAEVA

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, guliAziza488@gmail.com

Ashabonu ERKINOVA

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, ayhaan_02to@mail.ru

Follow this and additional works at: <https://cce.researchcommons.org/journal>

Recommended Citation

JURAEV, Asror; ALIMUKHAMEDOV, Muzafar; MAGRUPOV, Farkhad; RAKHMATULLAEVA, Aziza; and ERKINOVA, Ashabonu (2024) "INVESTIGATION BY IR SPECTRAL METHOD OF THE CURING OF UNSATURATED POLYESTERS BASED ON SECONDARY POLYETHYLENE TEREPHTHALATE OBTAINED IN PRODUCTION CONDITIONS," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2022: No. 3, Article 4. DOI: 10.34920/cce202234

Available at: <https://cce.researchcommons.org/journal/vol2022/iss3/4>

This Article is brought to you for free and open access by Chemistry and Chemical Engineering. It has been accepted for inclusion in CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING by an authorized editor of Chemistry and Chemical Engineering. For more information, please contact zuchra_kadirova@yahoo.com.

INVESTIGATION BY IR SPECTRAL METHOD OF THE CURING OF UNSATURATED POLYESTERS BASED ON SECONDARY POLYETHYLENE TEREPHTHALATE OBTAINED IN PRODUCTION CONDITIONS

Asror JURAEV (asror_tcti@mail.ru), Muzafar ALIMUKHAMEDOV (MGA1953@mail.ru), Farkhad MAGRUPOV (farkhad44@mail.ru), Aziza RAKHMATULLAEVA (guliiaziza488@gmail.com), Ashabonu ERKINOVA (ayhaan_02to@mail.ru) Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan

The purpose of this research is to study the conditions of thermal curing of unsaturated polyesters (NPEP) using IR spectra and thermal analysis. The curing of synthesized unsaturated polyesters based on the products of alcoholysis of secondary polyethylene terephthalate has been studied. The influence of the system of hardeners on the curing process is shown. Based on thermal analysis, it was shown that with an increase in the amount of accelerator from 0.3 to 0.5 wt. part of PN-MA-03 with NPEP grade shows a decrease in the gelation time from 13.5 to 12.0 minutes, the duration of self-heating of polyester from 27.5 to 25 minutes, and an increase in the exothermic temperature from 121 to 135 °C. The curing process of unsaturated polyester of the PN-MA-03 brand has been studied. It was revealed that in the temperature range of 80-140 °C deeper structuring occurs and the process of curing of NPEP proceeds due to the polymerization of vinyl (for styrene) and trans-allyl groups (for NPEP).

Keywords: unsaturated polyester grade PN-MA-03, curing, thermomechanical analysis, IR spectral analysis

ИССЛЕДОВАНИЕ ИК СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ ОТВЕРЖДЕНИЯ НЕНАСЫЩЕННЫХ ПОЛИЭФИРОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА, ПОЛУЧЕННЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Asror ЖУРАЕВ (asror_tcti@mail.ru), Музафар АЛИМУХАМЕДОВ (MGA1953@mail.ru), Фархад МАГРУПОВ (farkhad44@mail.ru), Азиза РАХМАТУЛЛАЕВА (guliiaziza488@gmail.com), Ойшабону ЭРКИНОВА (ayhaan_02to@mail.ru) Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан

Целью данного исследования является изучение условий термического отверждения ненасыщенных полиэфиров с помощью ИК спектров и термическим анализом. Изучено отверждение синтезированных ненасыщенных полиэфиров на основе продуктов алкоголиза вторичного полиэтилентерефталата. Показано влияние системы отвердителей на процесс отверждения. На основе термического анализа показано, что с повышением количества ускорителя от 0,3 до 0,5 масс. ч. у НПЭФ марки ПН-МА-03 наблюдается уменьшение времени гелеобразования от 13,5 до 12,0 мин., продолжительности саморазогрева полиэфира от 27,5 до 25,0 мин. и повышение температуры экзотермии от 121 до 135 °С. Исследован процесс отверждения ненасыщенного полиэфира марки ПН-МА-03. Выявлено, что в интервале температур 80-140 °С происходят более глубокое структурирование и процесс отверждения НПЭФ протекает за счет полимеризации винильных (у стирола) и транс-аллильных групп (у НПЭФ). Показано влияние количества ускорителя на технологические параметры отверждения.

Ключевые слова: ненасыщенный полиэфир марки ПН-МА-03, отверждение, термомеханический анализ, ИК спектральный анализ

SANOAT MIQYOSIDA OLINGAN IKKILAMCHI POLIETILENTEREFTALAT ASOSIDAGI TO'YINMAGAN POLIEFIRLARNI QOTISHINI IQ SPEKTRI YORDAMIDA O'RGANISH

Asror JURAYEV (asror_tcti@mail.ru), Muzafar ALIMUXAMEDOV (MGA1953@mail.ru), Farxad Magrupov (farkhad44@mail.ru), Aziza RAXMATULLAYEVA (guliiaziza488@gmail.com), Oyshbonu ERKINOVA (ayhaan_02to@mail.ru) Toshkent kimyo-texnologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

Ushbu maqolaning maqsadi IQ spektroskopiya va termik tahlil usullari yordamida to'yinmagan poliefirlarning termik qotish jarayonini tadqiq qilishdir. Sintez qilingan ikkilamchi polietilentereftalatning alkogoliz mahsuloti asosidagi to'yinmagan poliefirning qotirish jarayoni o'rganilgan. Qotish jarayoniga qotiruvchilar tizimining ta'siri ko'rsatilgan. Termik tahlil asosida tezlatgichning miqdori 0,3 mas.q dan 0,5 mas.q gacha ko'payganda, PN-MA-03 markali to'yinmagan poliefirning gellanish vaqtini 13,5 dan 12,0 minutga, poliefirning o'z-o'zidan qizish haroratining davomiyligini 27,5 dan 25,0 minutga kamayishi va ekzotermiya haroratini 121 dan 135 °C gacha ko'tarilishi kuzatildi. PN-MA-03 markali to'yinmagan poliefirni qotish jarayoni o'rganildi. 80-1400S harorat oralig'ida chuqur strukturalanishi sodir bo'lib, to'yinmagan poliefirning qotishi jarayoni stiroldagi vinil va TPE dagi trans-allil bog'lari bo'yicha polimerlanishi hisobiga sodir bo'lishi aniqlandi.

Kalit so'zlar: PN-MA-03 markali to'yinmagan poliefir, qotirish, termomexanik tahlil, IQ spektr analizi

DOI: 10.34920/cee202234

Введение

Ненасыщенные полиэферы (НПЭФ), обладающие высокой прочностью, коррозионной стойкостью, негорючестью, водо- и биостойкостью, в качестве связующего широко используются в строительстве, автомобилестроении, судостроении, самолетостроении, машиностроении, химической промышленности, электротехнической промышленности и при производстве товаров народного потребления. При этом, как правило, они используются в сочетании со стеклотканями и наполнителями для усиления механических свойств изделия и снижения себестоимости

материала. В разных отраслях промышленности они успешно конкурируют с такими традиционными материалами, как металлы и их сплавы, бетон, стекло, керамика, дерево [1, 2].

К достоинствам НПЭФ следуют отнести невысокую стоимость и хорошие технологические свойства (возможность отверждения при комнатной и повышенной температурах, низкая вязкость, отсутствие летучих при отверждении), удовлетворительные физико-механические показатели и высокую стойкость по отношению к воздействию химически агрессивных сред.

Литературные источники и наше исследование показали возможность получения ненасыщенных полиэфиров на основе вторичного полиэтилентерефталата [3-13].

В большинстве работ исследованы способы получения ненасыщенных полиэфиров, влияние сырья, влияние количества отвердителей на технологические и прочностные свойства ненасыщенных полиэфиров общего назначения. Следует отметить, что информация об изучении структурирования и формирования ненасыщенных полиэфиров ограничена. Например, авторы сообщают о механизме термического отверждения ненасыщенных полиэфиров методом ИК спектроскопии [14], при этом показано влияние состава и структуры исходных реагентов и олигомеров на процесс отверждения. С.С. Спаский и другие провели термомеханическое исследование сополимеризации ненасыщенных полиэфиров [15, 16], показали влияние константы сополимеризации НПЭФ с винильными мономерами. Однако в этих работах не представлены структурирование и формирование ненасыщенных полиэфиров полученных на основе вторичного полиэтилентерефталата.

Обычно структурирование сополимеров с повышением концентрации двойных связей приводит к улучшению прочностных свойств [17]. Кроме этого, процесс отверждения можно контролировать по изменению времени гелеобразования (технологический параметр), выходу гель-фракции, термомеханическому анализу отвержденных образцов.

В этой связи данная статья посвящена исследованию условий термического отверждения ИК спектроскопическим методом.

Методы исследования

В качестве основного спиртового компонента использовали продукты алкоголиза ВПЭТ полученного при соотношении ВПЭТ:диэтиленгликоль (ДЭГ)=1:2 моль эл.звена/моль, в течении 6 часов по методике [9], а сам НПЭФ синтезировали по методике приведенной в работе [8].

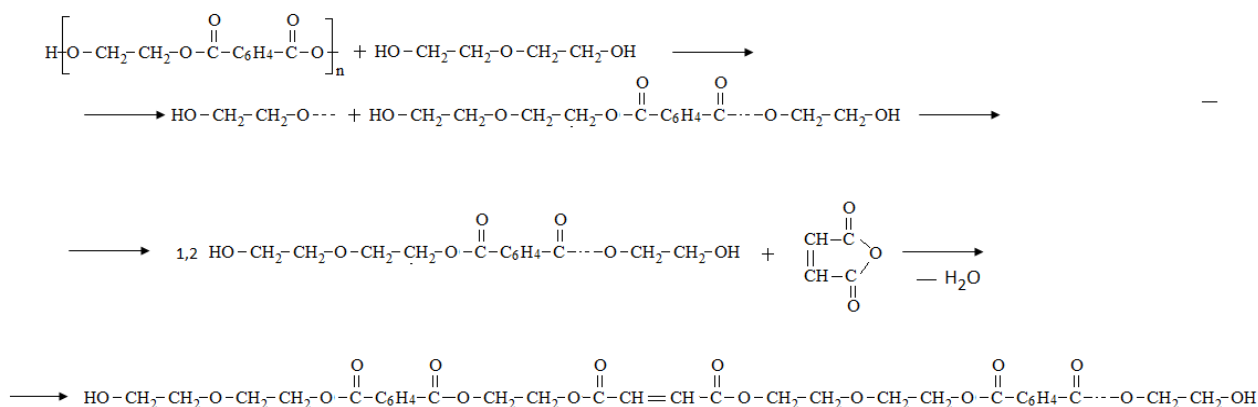
Объектом исследования был выбран разработанный НПЭФ марки ПН-МА-03 на основе вторичного полиэтилентерефталата. Марка ПН-МА-03 имеет следующие технологические свойства: плотность – 1100 кг/м³, вязкость по Брукфильду – 420 мПа×с, содержание сухого остатка – 66 %.

В исследованиях в качестве инициатора был выбран раствор перекиси метилэтилкетона, а в качестве ускорителя использовали 1% стирольный раствор нафтената кобальта.

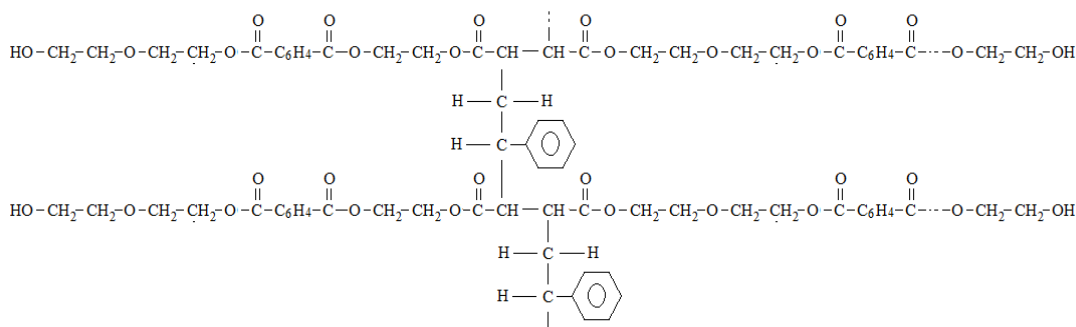
Пригодность НПЭФ к переработке оценивали по следующим технологическим параметрам, принятым в производстве труб: внешний вид – визуально, условная вязкость – на приборе Брукфильда при 23 °С, время желатинизации по ГОСТ 22181-91, максимальную температуру экзотермии при отверждении и продолжительность саморазогрева определяли по ГОСТ 21970-70. Термомеханическую кривую определяли методом Каргина [18]. ИК спектры образцов снимали на спектрометре “Спекорд-75УР”. Массовую долю нелетучих веществ определяли по ГОСТ 17537-72.

Результаты и их обсуждение

В результате процесса алкоголиза вторичного полиэтилентерефталата с диэтиленгликолем и поликонденсацией образуется следующая структура гидроксилсодержащего полиэфирполиола и ненасыщенного полиэфира:



После добавлении инициатора и ускорителя приобретает следующую структуру:



Процесс отверждения ненасыщенных полиэфиров сопровождается интенсивным тепловыделением, скорость и время которого определяют условия переработки этих олигомеров. Результаты термического анализа при варьировании количества ускорителя от 0,3 до 0,5 масс. ч. Представлены на рисунках 1 и 2.

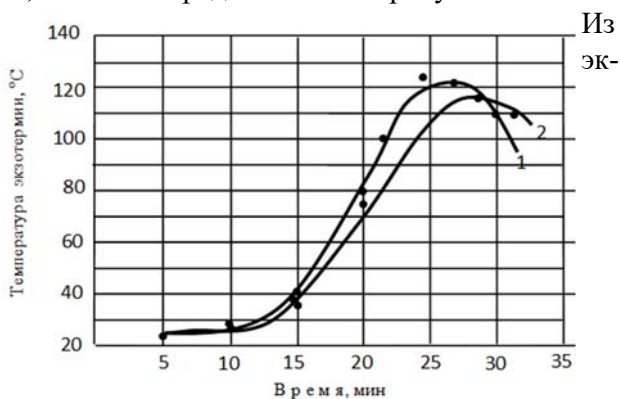


Рисунок 1. Экзотермические кривые отверждения полиэфиров с содержанием ускорителя нафтената кобальта – 0,3 масс. ч.: 1-ПН-МА-03; 2-промышленный образец.

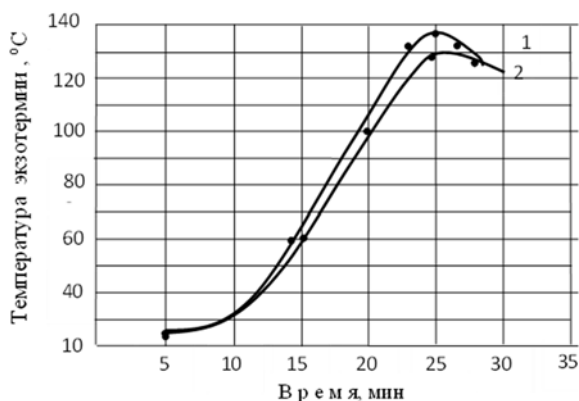


Рисунок 2. Экзотермические кривые отверждения полиэфиров с содержанием ускорителя нафтената кобальта – 0,5 масс. ч.: 1-ПН-МА-03; 2-промышленный образец.

Из экзотермических кривых (рис. 1 и 2) видно, что с повышением количества ускорителя от 0,3 до 0,5 масс. ч. у НПЭФ марки ПН-полиэфир МА-03 (кр. 1) наблюдается уменьшение времени гелеобразования с 13,5 до 12 мин., продол-

жительности саморазогрева с 27,5 до 25 мин. и повышение температуры экзотермии с 121 до 135 °С. Значения этих величин для промышленного образца меньше. Кроме этого, выход гель фракции этих образцов составил 97-98%.

Полученные данные показывает, что повышение количества нафтената кобальта приводит к повышению скорости отверждения изучаемых образцов. Для уточнения полученных данных было сняты термомеханические кривые на весах Каргина (рис. 3).

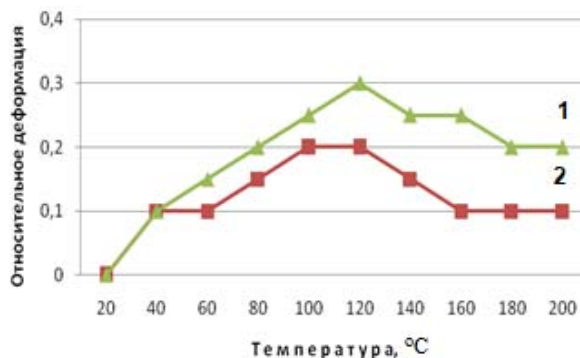


Рисунок 3. Термомеханические кривые отвержденных НПЭФ образцов: 1 – ПН-МА-03; 2 - промышленный образец. Условия отверждения: ПМЭК:НК=1,0:0,5 масс.ч/масс.ч; время отверждения 2 суток при комнатной температуре.

Из рисунка 3 видно, что образец 1, отвержденный в течении двух суток частично начинает размягчаться уже при температурах 40-70 оС и проявляет высокую эластичность в интервале температур 80-140 оС. При этих температурах в них происходят более глубокое структурирование. Это приводит к уменьшению значения относительной деформации. Начиная с 170 оС все образцы уже не деформируются (кр. 1). А у образца 2 также начинается деформация в интервале 40-70 оС, но высокая эластичность наблюдается в интервале 60-160 оС, после 160 оС она не меняется. Полученные данные подтверждают глубину отверждения гель фракции образцов.

Процесс отверждения, кроме стандартных методов, изучали ИК спектральным анализом. Спектры

образцов – полиэфир, раствор полиэфира в стироле и отвержденный, представлены на рисунке 4 и таблице.

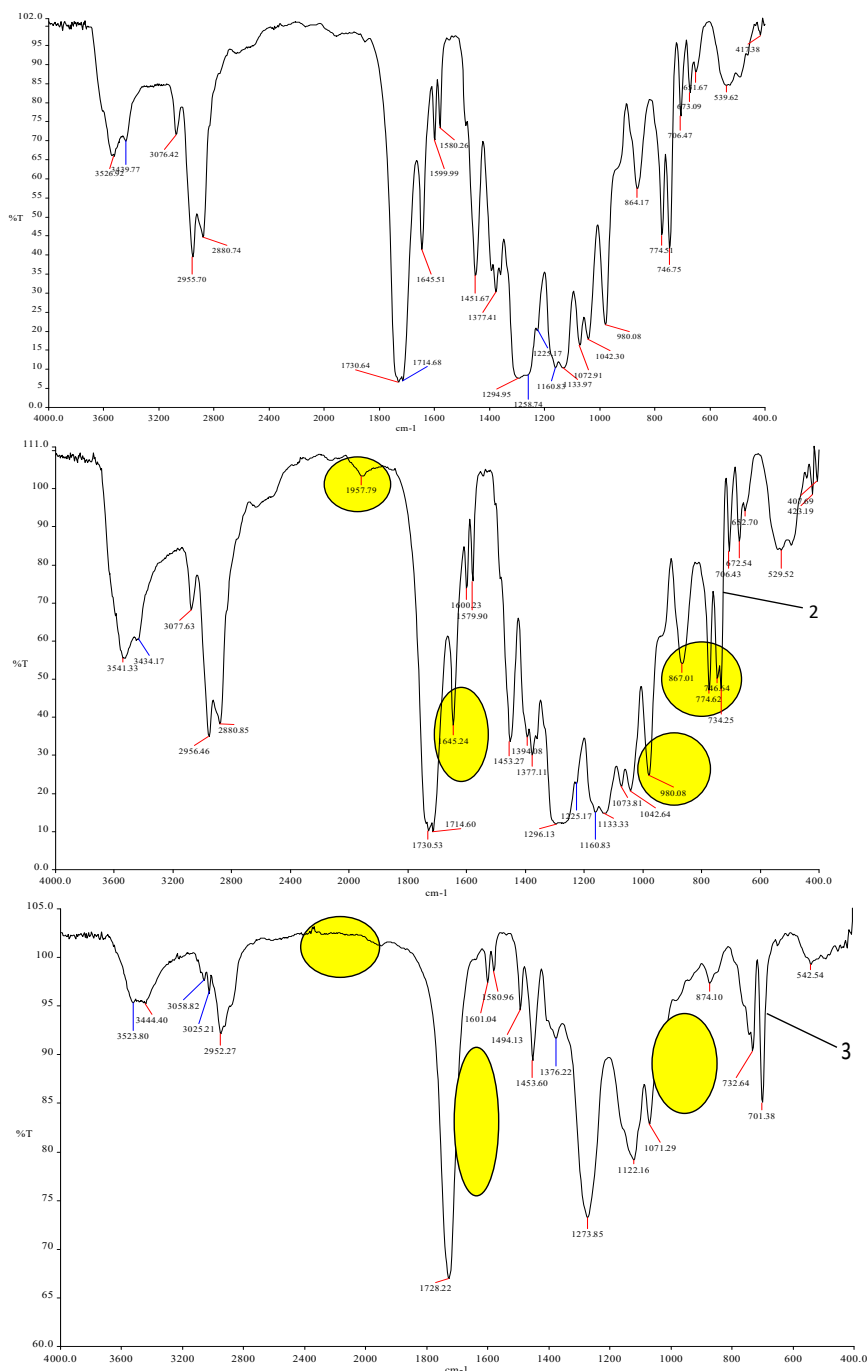


Рисунок 4. ИК спектры: 1-полиэфир; 2-раствор полиэфира в стироле; 3-отвержденный образец.

ИК спектроскопическое исследование структуры и процесса отверждения НПЭФ марки ПН-МА-03 показало, что НПЭФ, полученные из продуктов алкоголиза ВПЭТФ, также подчиняются общим закономерностям процессов отверждения НПЭФ [17].

Например на ИК спектрах полиэфира (1) имеются полосы поглощения при 3530, 3048, 1599, 1580 см⁻¹ ароматических колец, 1730, 1161

см⁻¹ характерные для сложноэфирных групп, полосы поглощения при 1644, 980, 775 см⁻¹ свидетельствуют о присутствии С=С связей (содержит смесь цис и транс конфигурации), 2956, 2885, 1451 см⁻¹ указывают на наличие метиленовых групп. После растворения на ИК спектрах (2 образец) кроме всех перечисленных полос поглощения при 1957 см⁻¹ появляется ароматический обертоном относящейся к стиролу, 1133 см⁻¹

ИК спектры образцов

Образец-1 (полиэфир)		Образец-2 (раствор полиэфира в стироле)		Образец-3 (отвержденный полиэфир)	
Частоты поглощения, см ⁻¹	Группы	Частоты поглощения, см ⁻¹	Группы	Частоты поглощения, см ⁻¹	Группы
3524	Связанное ароматическое кольцо	3541	Связанное ароматическое кольцо	3523	Связанное ароматическое кольцо
3076	Ароматическое кольцо	3077	Ароматическое кольцо	3058-3028	Ароматическое кольцо
2956	-CH ₂	2956	-CH ₂	2952	-CH ₂
2885	-CH ₂	2880	-CH ₂	-	
-	-	1957	Обертон стирола	-	Обертон стирола
1729	C=O	1730	C=O	1728	C=O
1644	CH=CH	1645	CH=CH	-	CH=CH
1599-1580	Ароматическое кольцо	1600-1570	Ароматическое кольцо	1601-1580	Ароматическое кольцо
1451	Ароматическое кольцо -CH ₂ -CO-	1453	Ароматическое кольцо -CH ₂ -CO-	1494-1453	Ароматическое кольцо -CH ₂ -CO-
		1394	-CH ₂		
1377	-CH ₂	1377	-CH ₂	1376	-CH ₂
1294-1258	-C-O	1296	-C-O	1273	-C-O
1224	C=O	1225	C=O		
1161	C-O-C	1160	C-O-C	1122	C-O-C
		1133	C-O-C		
1072-1042	C=O	1073-1042	Ароматические кольца	1071	Ароматические кольца
980	CH=CH	980		-	
864	Аллильная группа	867	Аллильная группа	874	Аллильная группа
775	-C=C-	774	-C=C-		-C=C
746	-CH ₂	746	-CH ₂	732	-CH ₂
706		706		701	
670	Монозамещенное ароматическое кольцо	672	Монозамещенное ароматическое кольцо	-	

соответствует сложноэфирной группе [19, 20].

После отверждения на ИК спектрах сшитого полимера исчезают полосы поглощения винильных групп (обертон $-\text{CH}=\text{CH}_2$) при 1957 см⁻¹, транс аллильных групп при 1645, 980, 775 см⁻¹ и резкое снижение полос поглощения при 732-731 см⁻¹ относящиеся к цис-аллильным связям.

Резкое уменьшение полос поглощения отвержденных НПЭФ свидетельствует о том, что полимеризация сначала протекает за счет винильных (у стирола) и транс-аллильных

групп (у НПЭФ), а затем после израсходования транс аллильных групп, за счет полимеризации цис-аллильных групп. При этом также происходит и гомополимеризация стирола с образованием олигомеров, которые участвуют в сшивке НПЭФ.

Заключение

Исследование процесса отверждения ненасыщенных полиэфира марки ПН-МА-03 на основе продуктов алкоголиза вторичного полиэтилентерефталата показало, что с повышени-

ем количества ускорителя (% раствор нефтената кобальта) от 0,3 до 0,5 масс. ч. у НПЭФ марки ПН-МА-03 наблюдаются уменьшение времени гелеобразования от 13,5 до 12 мин., продолжительности саморазогрева от 27,5 до 25 мин. и повышение температуры экзотермии со 121 до 135 °С.

Определено, что деформация начинается при температурах 40-70 °С и высокая эластич-

ность наблюдается до 180 °С, сопровождающейся с невысокой величиной относительной деформации, сохраняющейся без изменения после 180 °С. Полученные данные подтверждают глубину отверждения гель фракции.

Сравнение с промышленным аналогом показало, что отверждение НПЭФ протекает за счет полимеризации винильных (у стирола) и транс-аллильных групп (у НПЭФ).

REFERENCES

1. Lebedev I. K., Naumets V.N. *Korroziionno-stoykiye trubiy i yemkosti iz stekloplastikov: materialy, svoystva, tekhnologii* [Corrosion-resistant pipes and containers made of fiberglass: materials, properties, technologies]. Moscow, Enas Publ., 2015, 448 p.
2. Reyblan A.I. *Zashchitnyye lakokrasochnyye pokrytiya* [Protective paint coatings]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 520 p.
3. Kicho-Walcrak-Ewa. Unsaturated polyesters with enhanced chemical and thermal resistance as well as improved mechanical strength. *Polim. Tworz. Wielkoszasteczki*, 1990, vol. 35, no. 1-2, pp. 24-26.
4. Farahat Medhat S., Abdel-Azim Abdel-Azim A., Abdel-Raouf Manar E. Modified unsaturated polyester resins synthesized from poly (ethylene terephthalate) waste. *Macromol Materials and Engineering*, 2000, vol. 83, no. 2, pp. 1-6.
5. Tawjick M.E. Preparation and character: ration of water – ektened polyester based on recycled poly (ethylene terephthalate). *Journal Applied Polymer Science*, 2003, vol. 83, no. 13, pp. 3693-3699.
6. Sunain Katoch. Kinetics study of Unsaturated Polyester synthesized from waste PET. *Asian Journal of advanced basis sciences*, 2013, no. 1, pp. 87-92.
7. Juraev A.B. Sintez nenasyshchennykh poliefirov prednaznachennykh dlya stekloplastikovykh trub [Synthesis of unsaturated polyesters intended for fiberglass pipes]. *Kompozitsionnyye materialy*, 2016, no. 4, pp. 28-32.
8. Juraev A.B., Adilov R.I., Nizomov T.A., Alimukhamedov M.G., Magrupov F.A. Synthesis and Research of unsaturated Polyethers on the Basis of Secondary Polyethylene Terephthalate. *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, 2014, no. 4, pp. 41-44.
9. Juraev A.B., Nizomov T.A., Adilov R.I., Alimukhamedov M.G., Magrupov F.A. PET soderzhashchiye bytovyye otkhody kak istochnik syr'ya dlya nenasyshchennykh poliefirov [PET containing household waste as a source of raw materials for unsaturated polyesters]. *Plasticheskiye massy*, 2011, no. 4, pp. 55-59.
10. Juraev A.B., Nizomov T.A., Adilov R.I., Alimukhamedov M.G., Magrupov F.A. [Study of technological parametres of curing of unsaturated polyesters based on recycled polyethylene terephthalate]. *Trudy "Mezhdunarodnoy konferentsii po khimicheskoy tekhnologii KHT-07" posvyashchennoy 100 letiyu so dnya rozhdeniya akademik Zhavronkova N.M.* [Proceedings of the "International Conference on Chemical Technology KHT-07" dedicated to the 100th anniversary of the birth of academician Zhavronkova N.M.]. Moscow, 2007, vol. 5, pp. 161-164.
11. Juraev A.B., Magrupov F.A., Alimukhamedov M.G., Adilov R.I., Shokirova M.M., Ishmukhamedova M.G. Studying the curing conditions of unsaturated polyesters from secondary polyethylene terephthalate alcoholysis products. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 2020, vol. 10, no. 4, pp. 77-86. DOI: 10.4236/ojchem.2020.104005.
12. Pimpan V., Sirisook R., Chuayjuljit S. Synthesis of unsaturated polyester resin from postconsumer PET bottles: Effect of type of glycol on characteristics of unsaturated polyester resin. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2003, vol. 88, no. 3, pp. 788-792.
13. Suh D.J., Park O.O., Yoon K.H. The properties of unsaturated polyesters based on polyethylene terephthalate modified with various glycols. *Polym.*, 2000, vol. 41, no. 2, pp. 461-466.
14. Vologirov A.K., Kumykov R.M., Mikitayev A.K. Issledovaniye termicheskogo otverzheniya nenasyshchennykh aromaticheskikh poliefirov oligomerov metodom IK-spektroskopii [Study of thermal curing of unsaturated aromatic polyester oligomers by IR – spectroscopy]. *Plasticheskiye massy*, 2007, no. 2, pp. 14-16.
15. Spasskiy S.S., Mat'kova M.Ye., Tokaev A.V. Sopolimerizatsiya nenasyshchennykh poliefirov vinil'nykh monomerov [Copolymerization of unsaturated polyesters with vinyl monomers]. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya*, 1960, vol. 2, no. 9, pp. 1297-1300.
16. Spasskiy S.S., Molchanova T.V. Sopolimerizatsiya nenasyshchennykh poliefirov vinil'nykh monomerov [Copolymerization of unsaturated polyesters with vinyl monomers]. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya*, 1960, vol. 2, no. 9, pp. 1320-1322.
17. Sedov L.N., Mikhaylova Z.V. *Nenasyshchennykh poliefirov* [Unsaturated polyesters]. Moscow, Khimiya Publ., 1977. 232 p.
18. Toroptseva A.M., Belgorodskaya K.V., Bondarenko V.M. *Laboratnoy praktikum po kximii i tekhnologii visokomolekulyarnykh soyedineniy* [Laboratory workshop on chemistry and technology of macromolecular compounds]. Moscow, Khimiya Publ., 1972. 416 p.
19. Kazitsyna L.A., Kupletskaya N.B. *Primeneniye UF-, IK-, YaMR – spektroskopii v organicheskoy khimii* [Application of UV, IR, NMR – spectroscopy in organic chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 264 p.
20. Nakanishi K. *Infrared Absorption Spectroscopy*. Holden-Day Publ., Inc., San Francisco and Nankodo Company Limited. Tokyo. 1962. 213 p. (Russ.ed.: Nakanishi K. *Infrakrasniye spektry i stroeniye organicheskikh soyedineniy*. Moscow, MIR Publ., 1965. 210 p.