

динамического термогравиметрического анализа (ТГА) согласно СТБ 1333.0-2002. По результатам испытаний установлено, что самое высокое значение энергии активации по сравнению с другими полимерными материалами демонстрирует композиция ПА-6+МаПЭ+3% ОМТ – 178 кДж/моль.

Физико-механические свойства образцов, вырезанных из лент в продольном и поперечном направлении, проводили согласно ГОСТ 11262 при температурах от «минус» 50 до «плюс» 150 °С. При повышении температуры испытаный значение модуля упругости уменьшалось на 48% для ПА-6+МаПЭ+3% ОМТ и на 80% для ПП, соответственно; значение предела текучести – с 30 МПа до 12 МПа для ПП, а для композиции ПА-6+МаПЭ+3% ОМТ на 20% до полного исчезновения при 100 °С. Следует отметить, что при достижении температуры 150 °С наблюдалось интенсивное плавление образцов ПП.

Определение коэффициентов газопроницаемости осуществляли согласно ISO 15105-1 при следующих условиях: по O<sub>2</sub> при 23 °С (относительная влажность 0 и 90%) и при 70, 80, 90 °С (относительная влажность 45%). Из получен-

ных зависимостей можно отметить, что с повышением температуры свыше 70 °С наблюдается резкое падение барьерных свойств всех материалов по отношению к кислороду. СЭВС 32 по сравнению с композицией ПА-6+МаПЭ+3% ОМТ обладает высокими барьерными свойствами только при низких температурах, с увеличением температуры во влажной среде его барьерные свойства снижаются.

Старение образцов проводилось в климатической камере Voetsch VC<sup>3</sup> 7034 при температуре 95 °С (относительная влажность 95%) и термическом шкафу на воздухе при температуре 120 °С. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что СЭВС 32 теряет свои барьерные свойства с увеличением времени выдержки в климатической камере в большей степени, чем ПА-6+МаПЭ+3% ОМТ.

Композиция на основе полиамида-6, содержащая 3 мас.% ОМТ, демонстрирует высокие барьерные и физико-механические свойства при повышенных температурах по сравнению с другими полимерными материалами. Применение данной композиции в качестве барьерного слоя для труб горячего водоснабжения действительно является актуальным.

## КАТАЛИТИЧЕСКИЙ ТЕРМОЛИЗ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА

Я.Е. Ермолаев, И.А. Прокудин

Научный руководитель – к.х.н., доцент Т.Н. Волгина

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, yarik.er\_uk@mail.ru*

С ростом потребления полимеров все актуальней становится проблема переработки промышленных и бытовых отходов пластмассы. Существуют несколько путей полезного использования вторичного полимерного сырья: сжигание, вторичная переработка, повторное использование и термическое разложение.

Сжигание – это самый не рентабельный способ утилизации, при котором происходит потеря ценного химического сырья и загрязнение окружающей среды. С экономической и экологической точки зрения, повторное использование и вторичная переработка полимеров является предпочтительнее, но, несмотря на это, в настоящее время все больше внимания уделяется термическому разложению, в результате которого происходит деструкция полимерных отходов до

низкомолекулярных продуктов, большую часть из которых составляют мономеры.

Пластмассой возрастающего значения является полилактид (или полимолочная кислота), который наиболее широко используется в качестве упаковочного материала [1]. Положительное свойство этого материала состоит в том, что он является биоразлагаемым, биосовместимым и безопасным для окружающей среды.

Поэтому целью настоящей работы является выбор условий проведения каталитического термолиза полимерных отходов на основе полилактида, при которых выход мономер будет максимальным, а степень чистоты соответствовать требованиям, которые предъявляются к мономеру при синтезе полимера.

В качестве объекта исследования исполь-

**Таблица 1.** Влияние давления и катализатора на выход ( $\beta_{л-с}$ ) и чистоту ( $T_{пл}$ ) лактида, а также на выход лактида-сырца ( $\beta_{л-с}$ )

Полимерная смесь	Катализатор	Давление, мбар	$\beta_{л-с}$ , %	$\beta_{л}$ , %	$T_{пл}$ , °C
Исходный полимер	ZnO	10	83	42	92–94
Исходный полимер	ZnO	30	96	47	86–90
Исходный полимер	ZnO	500	80	37	70–73
Исходный полимер	Sn(Oct) <sub>2</sub>	30	98	61	94–96
I	ZnO	10	87	50	88–92
II	ZnO	10	82	33	85–87
III	ZnO	100	82	33	102–108
IV	ZnO	500	70	21	120–125
Смесь II–III	ZnO	500	57	13	105–115
Смесь II–III	Sn(Oct) <sub>2</sub>	30	81	22	90–100
Смесь I–IV	Sn(Oct) <sub>2</sub>	30	89	30	90–97

зовали изделия, полученные из полилактида (I) и его смесей с неорганическими пигментами (TiO<sub>2</sub> (II) и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (III)). Полимерные смеси для исследований получали смешением в расплаве на роторном смесителе при температуре 185 °C и 45 оборотах в минуту в течении 10 минут. Далее полилактид и его полимерные смеси подвергались горячему прессованию при температуре 180–185 °C и давлении 20 тонн в течении 20 минут. Из полилактида также методом экструзии получали прутик для 3D печати (IV) с поперечным сечением в среднем около 1 мм.

Каталитический термолиз проводили на лабораторной установке для вакуумной перегонки в течении 30 минут в присутствии катализаторов (оксид цинка, октоат олова) в количестве 0,5–1 % от загружаемой массы полимера, при температуре – 200–250 °C и давлении 10–500 мбар. Идентификацию продукта проводили с помощью

ИК-спектроскопии. Эффективность процесса оценивали, определяя выход лактида-сырца и чистого лактида. Чистоту мономера (после однократной перекристаллизации этилацетатом) определяли по температуре плавления и кислотному числу [2], характеризующим присутствие молочной кислоты.

Исследования показали (табл. 1), что при термолизе изделий из полимерных смесей, которые были подвержены термической переработки (смешение, прессование, экструзия) один и более раз, при давлении 100–500 мбар образуется мономер в виде рацемической смеси L, D-лактида и м-лактида.

Несмотря на сложный состав получаемых мономеров при их последующей полимеризации получается полилактид со средневязкостной молекулярной массой 50000–100000.

### Список литературы

1. Венделин Г., Хакль М., Фейхтингер К. Способ переработки полимолочной кислоты. Заявка: RU 2010150609 А. Дата публикации заявки: 20.06.2012 Бюл. №17.
2. Одабабян Г.В. Лабораторный практикум по химии и технологии основного органического и нефтехимического синтеза. – М.: Химия, 1982. – 240с.