

В-третьих, рост вязкости у исходного PERT при температуре более после 232°C (кривая 1), по нашему мнению, связан с образованием пространственно развитых структур, содержащий гексильный боковой фрагмент сополимера этилена с октеном-1, а падение вязкости после 262°C – с началом процесса разрушения такого рода структур и возможной термической деструкцией полимера.

Для более подробного изучения длительного теплового воздействия на реологические свойства расплавов были измерены изотермы вязкости при температуре 255°C у образцов исходного и наполненных образцов PERT. Результаты испытаний приведены на рис.2.

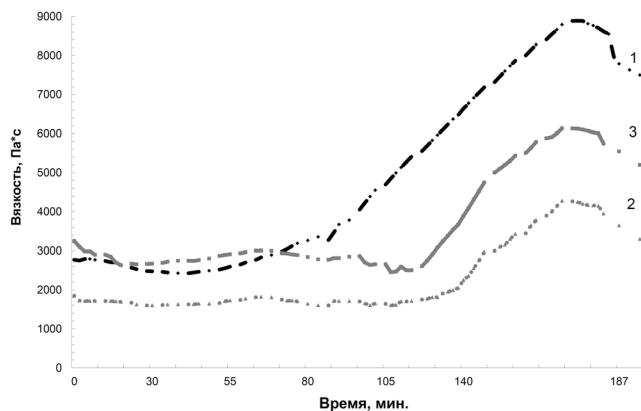


Рис. 2. Изотермы вязкости исследуемых композиций.

Как видно из рис.2, на кривых изотермического нагрева исходного PERT (образец 1), базальто-наполненной (образец 2) и стекло-наполненной композиций (образец 3) можно выделить три участка. На первом участке представленных изотерм при выдержке образцов во времени вязкость их расплавов практически не меняется, так, в случае, с исходным PERT длительность этого участка достигает 55–60 мин., для стекло наполненного – 115–120 мин, а для базальто наполненного композита – 125 мин. На втором участке кривых изотермического нагрева образцов 1, 2, 3 наблюдается непрерывный и достаточно значительный ее рост (2–3 раза), причем, для ненаполненного полимера этот подъем занимает время порядка 120 мин, а для базальто- и стеклонаполненных композиций от 50 мин до 60 мин., соответственно.

Третий участок кривых характеризуется завершением роста вязкости и резким ее падением. Для исходного PERT точка перегиба наблюдается при 180 мин экспозиции, для модифицированных образцов – около 175 мин.

Наблюдаемая особенность поведения исходного PERT при изотермическом нагреве коррелируют с результатом, полученным при определении его профиля вязкости (рис.1), где также отмечен сначала рост, а затем падение вязкости, обусловленное образованием и распадом пространственно развитых структур. Различия в характере изотерм не наполненного и наполненных образцов, вероятно, связаны с рядом факторов, таких как, большей их теплопроводностью в сравнении с PERT, при которой улучшается теплопередача от образца к системе "конус-плита" реометра, т. е. они в меньшей степени перегреваются и, вероятно, характером сдвигового или иного механического воздействия на пространственные структуры данного полимера.

Полученные результаты позволяют сформулировать ряд рекомендаций, которые будут учтены при отработке технологических процессов производства наполненных композиций и литья изделий из них на ТПА:

1. При наполнении PERT нецелесообразно применять сразу два армирующих наполнителя (базальтовые и стеклянные волокна) ввиду их ограниченной совместимости и большой вязкости получающихся композиций.

2. Использование в качестве наполнителя базальтовых волокон, с точки зрения лучшей стабильности реологических свойств композиций на основе PERT, несколько предпочтительнее, чем стеклянных волокон.

3. При литье изделий из ненаполненного PERT не следует применять температуры переработки этого полимера выше 230°C.

4. При переработке как исходного полимера, так и его композиций, наполненных базальтовыми и стеклянными волокнами, следует учитывать, что нахождение расплавов этих материалов в нагревательном цилиндре литьевой машины не должно превышать 60 мин для PERT и 120–125 мин для композитов.

#### Выводы

1. Определены профили и изотермы вязкости расплавов для исходного и наполненного базальтовыми и стеклянными волокнами PERT.

2. Для ненаполненного PERT установлено, что подъем температуры выше 232 °C приводит к значительно росту вязкости расплава.

3. Для наполненных композиций установлено, что композиции, содержащие стекловолокна и смесь базальтовых и стекловолокон, обладают меньшей текучестью, чем базальто наполненные композиции. Высказан ряд предположений по поводу наблюдавшихся особенностей реологических свойств данных материалов.

4. Сформулированы рекомендации, которые будут учтены при отработке технологических процессов производства наполненных композиций и литья изделий из них на ТПА.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора между АО "НПО "СПЛАВ" и МГУ им. М.В. Ломоносова по теме "Разработка технологии изготовления термостойких и химически стойких композиционных компонентов трубопроводов" согласно Постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 "О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства". Договор № 02.G25.31.0169 от 01 декабря 2015 г.

#### Литература

- Detlef Schramm. PE-RT: A New Class of Polyethylene for Industrial Pipes. 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Volume 3: Safety and Reliability; Materials Technology; Douglas Faulkner Symposium on Reliability and Ultimate Strength of Marine Structures. Hamburg, Germany, June 4-9, 2006. Paper No. OMAE2006-92266, pp. 513-521
- Michel Biron. Thermoplastics and Thermoplastic Composites. Oxford, UK: Elsevier Ltd. 2014.
- Справочник по композиционным материалам в 2 книгах, под ред. Дж. Любина, М.: Машиностроение, 1988, книга первая, с. 154-178.
- Зимин Д.Е. Армированный базальтовыми волокнами полимерный композиционный материал с повышенной тепло - и химической стойкостью/ Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Бийск, ИПХЭТ СО РАН. 2009. - 24 с.

## Реологические свойства нанокомпозитов на основе линейного полиэтилена низкой плотности и везувиана

*Н.Т. КАХРАМАНОВ<sup>1</sup>, И.В. БАЙРАМОВА<sup>1</sup>, С.С. ПЕСЕЦКИЙ<sup>2</sup>,  
Н.Б. АРЗУМАНОВА<sup>1</sup>, Р.В. КУРБАНОВА<sup>3</sup>, Ю.Н. КАХРАМАНЛЫР<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт Полимерных Материалов Национальной АН Азербайджана

<sup>2</sup> Институт Механики и Металло-Полимерных Систем АН Республики Беларусь

<sup>3</sup> Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности

najaf1946@rambler.ru

Приводятся результаты исследования влияния концентрации минерального наполнителя - везувиана на реологические особенности течения нанокомпозитов на основе линейного полиэтилена низкой плотности. Показаны закономерности изменения скорости сдвига в зависимости от напряжения сдвига, температуры и концентрации наполнителя.

*Ключевые слова:* вязкость, скорость сдвига, напряжение сдвига, нано-композиты, расплав полимера, везувиан.

### Rheological properties nanocomposites on the basis of linear polyethylene of low density and vesuvianite

Results of research of influence of concentration mineral filler - vesuvianite on rheological features of a current nanocomposite on the basis of linear polyethylene of low density are resulted. Laws of change of speed of shift depending on pressure of shift, temperatures and concentration filler are shown.

*Keywords:* viscosity, speed of shift, pressure of shift, nanocomposites, melt polymer, vesuvianite

Полиолефины относятся к числу наиболее крупнотоннажных полимерных материалов, благодаря уникальному сочетанию физико-механических, физико-химических и технологических свойств. Это объясняется, прежде всего, их способностью перерабатываться в различные виды конструкционных изделий, которые успешно используются в машиностроении, авиационной, космической, военном космической, военной технике и т.д. Однако, какими бы характеристиками не обладал первичный полиолефин, последний в ряде случаев не обладает достаточным комплексом свойств для их практического использования в жестких экстремальных условиях эксплуатации. Объясняется это тем, что требования к качеству полимерных материалов непрерывно растут, в связи с чем, ученые и специалисты сталкиваются с необходимостью модификации их свойств и совершенствования технологии их переработки в различные виды изделий [1–3].

Одним из распространенных методов модификации структуры и свойств, выпускаемых в промышленном масштабе полиолефинов, является введение в их состав различных типов минеральных наполнителей. Подобная практика модификации полимеров предполагает одновременное решение ряда проблем, направленных на повышение физико-механических характеристик наполненных композитов, снижение их себестоимости при условии сохранения на удовлетворительном уровне перерабатываемость в основном методами литья под давлением и экструзии. Совершенно очевидно, что введение минерального наполнителя, как правило, способствует увеличению вязкости расплава и ухудшению ее текучести. Для достижения поставленной цели дополнительно в состав полимера вводят различные агенты смазки, пластификаторы, которые в определенной степени способствуют улучшению текучести наполненных полимерных композитов [4].

Однако, как показали результаты проводимых нами исследований, введение природных наноразмерных минеральных наполнителей способствует не только усилинию композита, но и существенным образом оказывается на улучшении показателя текучести расплава (ПТР) [5].

В связи с этим, целью проводимых исследований являлось изучение комплекса реологических характеристик наноком-

позитов (скорости сдвига, эффективной вязкости расплава) в зависимости от концентрации природного наполнителя, температуры расплава и напряжения сдвига.

### Экспериментальная часть

В качестве полимерной матрицы использовали линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП), представляющий собой сополимер этилена с бутиленом и обладает нижеследующими свойствами: разрушающее напряжение – 25.5 МПа, относительное удлинение – 900%, ПТР равен – 5.6 г/10мин.

Везувиан – природный минерал желто-зеленый минерал, силикат кальция и алюминия сложного состава со структурой островного типа из группы везувиана. Кристаллы везувиана часто имеют столбчатую, призматическую или пирамидальную форму. Крупные кристаллы обычно находят в известковых скарнах. В данном случае, в качестве природного минерального наполнителя используется Везувиан Кедебекского месторождения Азербайджана следующего состава:  $\text{Ca}_{10}(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}_4[\text{SiO}_4] \cdot [\text{Si}_2\text{O}_7]_2(\text{OH})_4$ .

Наночастицы везувиана получали на аналитической мельнице А-11 при максимальной скорости 28000 об/мин.

Размер наночастиц определяли на приборе модели STA PT1600 Linseiz (Германия) и составлял 20–110 нм.

Полимерные нанокомпозиты на основе ЛПЭНП и везувиана получали в процессе смешения на вальцах при температуре 190°C. После расплавления ЛПЭНП на вальцах в течение 8 минут везувиан вводили по частям. На основе полученного полимерного композита прессовали пластины толщиной 2 мм при температуре 190°C, время выдержки под давлением 30 минут. Под давлением 90 МПа снижали температуру прессованной пластины до 130°C. На основе полученной пластины вырубали лопатки для определения разрушающего напряжения и относительного удлинения образцов в соответствии с ГОСТ 11262-80.

Теплостойкость определяли по методу Вика.

Реологические исследования полимерных материалов проводили на капиллярном реометре марки MELT FLOW TESTER, CEAST MF50 (INSTRON, Италия) в температурном диапазоне 190–250°C и в интервале нагрузок – 2.16–21.6 кг, отношение длины сопла к диаметру капилляра равно – 24.

*Результаты и их обсуждение*

При оценке реологических особенностей течения промышленных полимеров и для маркировки полученных материалов в обязательном порядке пользуются таким показателем, как ПТР. Этот показатель удобен для разделения полимерной продукции в основном на экструзионные и литьевые марки. Но, однако, этот показатель не всегда точно отображает реологическое поведение расплава полимера, которое существенным образом зависит от температуры и напряжения сдвига и поэтому, в широком смысле слова, не может быть критерием оценки свойств при проведении исследовательских разработок. Проведение исследований в широком диапазоне температур и напряжений сдвига позволяет исследователю глубже взглянуть на процессы, протекающие в материальном цилиндре оборудования и, тем самым, сделать довольно убедительные прогнозы относительно поведения полимерной массы в вязко-текущем состоянии. Особую важность реологические исследования приобретают в том случае, когда объектом исследования являются наполненные минеральными наполнителями нанокомпозиты. Интерпретируется это тем, что формирование микроструктуры полимерной матрицы в присутствии наноразмерных частиц наполнителя отличается от структуры, образованной обычными мелкодисперсными наполнителями. Возможно, такая разница в механизме формирования надмолекулярной структуры возникает в результате того, что наночастицы взаимодействуют между собой и с матрицей иначе, чем относительно крупные частицы. Мы не исключаем, что расстояние, на котором возможно это взаимодействие, соизмеримо с размерами наночастиц [6, 7].

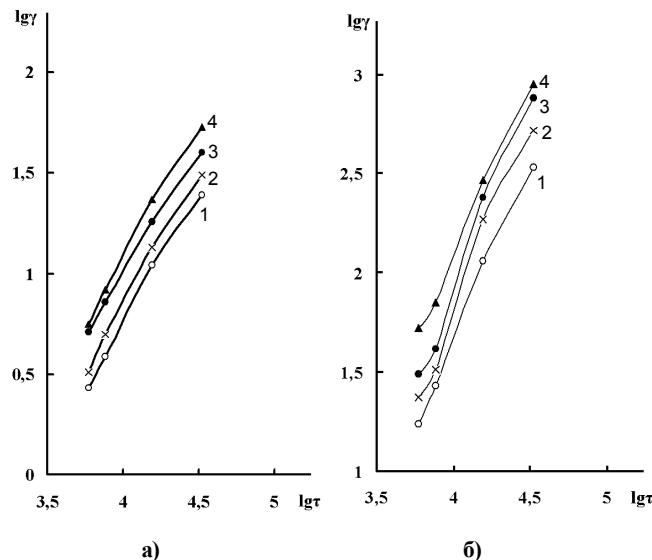


Рис. 1 (а, б). Кривые течения исходного ЛПЭНП (а) и нанокомпозита ЛПЭНП + 5 % масс. везувиана при различных температурах, °С: 1 – 190; 2 – 210; 3 – 230; 4 – 250.

На рис. 1(а) приводятся кривые течения исходного ЛПЭНП, которые выражены практически по линейной зависимости скорости сдвига от напряжения сдвига. Независимо от температуры небольшой уклон кривых течения при высоком

напряжении сдвига (4.52 Па) свидетельствует о том, что в этой области расплав ЛПЭНП в определенной степени приближается к ньютоновской области течения. Неньютоновская область характеризуется тем, что процесс возрастания напряжения сдвига сопровождается структурными изменениями в расплаве, которое можно интерпретировать разрушением более крупных агломератов макроцепей на мелкие. Именно поэтому эта область рассматривается, как область "структурного течения", в результате которого скорость разрушения структурных агрегатов становится равным скорости их восстановления. По мере возрастания температуры и термофлюктуационного поведения макроцепей в расплаве установлено закономерное повышение скорости сдвига, сопровождаемое разрушением сравнительно крупных агломератов на более мелкие.

Для сопоставления на рис.1(б) иллюстрируются кривые течения нанокомпозита ЛПЭНП+5%масс. везувиана. Сопоставляя кривые течения можно установить, что, вопреки общепринятым представлениям, введение 5.0 масс.% наполнителя в состав полимерной матрицы способствует росту скорости сдвига в 1.7–1.8 раза. Сопоставляя данные в этой таблице можно заметить, что аналогичная закономерность установлена и для нанокомпозитов с 10 и 15 % масс. содержании везувиана, которая иллюстрируется в таблице 1. Согласно данным этой таблицы, с увеличением концентрации везувиана в составе полимерной матрицы от 5.0 до 15.0 масс. наблюдается закономерное возрастание скорости сдвига и, соответственно, снижение вязкости нанокомпозитов. При 15 % масс. наполнении везувианом скорость сдвига повышается в 2.2 раза. Последнее обстоятельство имеет чрезвычайно важное значение, так как, во-первых, она противоречит общепринятым представлениям о текучести наполненных полимерных систем, а во-вторых, открывает новые перспективные возможности переработки высоконаполненных полимерных композитов методами литья под давлением и экструзии [7].

В процессе рентгенфазового анализа структуры везувиана было установлено наличие в его составе 9–10 % масс. каолинита или наноглины, который, как известно, характеризуется слоистой структурой. Смешение и термомеханическое воздействие на расплав нанокомпозита в материальном цилиндре экструдера приводят к интеркаляции макроцепей в межслоевое пространство с последующим распадом слоистой структуры наноглины, т.е. "эксфолиированием" на более мелкие [7, 8].

Слоистая структура наноглины, с одной стороны, и имеющиеся в межслоевом пространстве обменные катионы или анионы, глицерин и различные поверхностно-активные вещества в процессе эксфолиирования мигрируют в полимерную матрицу. В процессе смешения полимерного композита в материальном цилиндре эти полярные жидкости, выполняя своеобразную роль смазки, способствуют улучшению текучести расплава нанокомпозита. Это обстоятельство, собственно, и предопределяет сравнительно высокую текучесть нано-композитов. Во всяком случае, на сегодня это альтерна-

Таблица 1. Влияние концентрации везувиана и температуры на эффективную вязкость и скорость сдвига нанокомпозитов при напряжении сдвига, равном 4.52 Па.

№№	Состав композита	Скорость сдвига, $lg\dot{\gamma}$				Вязкость расплава, $lg\eta$			
		190°C	210°C	230°C	250°C	190°C	210°C	230°C	250°C
1	ЛПЭНП	1.40	1.48	1.60	1.74	3.12	2.94	2.89	2.64
2	ЛПЭНП+5%масс. вз	2.53	2.72	2.88	2.95	1.99	1.80	1.64	1.57
3	ЛПЭНП+10%масс. вз	2.73	2.86	2.94	3.00	1.79	1.66	1.58	1.52
4	ЛПЭНП+15%масс. вз	2.87	3.02	3.43	3.82	1.65	1.50	1.09	0.70

вз – везувиан

тивное предположение интерпретирующее такой всплеск в улучшении текучести расплава нанокомпозитов [9, 10].

Такое резкое повышение скорости сдвига нанокомпозита с ростом концентрации везувиана однозначно свидетельствует о многофункциональности этого природного минерала, которое подтверждается данными, представленными в таблице 2. Как видно из этой таблицы введение 1.0 % масс везувиана в состав ЛПЭНП способствует возрастанию разрушающего напряжения на 17.0%, при 5.0 % масс. ее величина возрастает на 14.0%. Дальнейшее повышение концентрации везувиана до 15% масс. приводит к закономерному снижению разрушающего напряжения. Такое резкое увеличение разрушающего напряжения нанокомпозита при введении 1.0 % везувиана свидетельствует о том, что наночастицы везувиана проявляют свойства характерные для "структурообразователя". Последнее обстоятельство подтверждает мысль о том, что везувиан относится к числу многофункциональных наполнителей: улучшает текучесть композитов, обладает структурообразующими свойствами и усилителем прочности полимерной матрицы. Снижение относительного удлинения образцов с ростом концентрации наполнителя это характерная особенность композитных материалов. С другой стороны, повышение теплостойкости образцов подтверждает возрастание адгезионного контакта в граничной области полимер-наночастица. На основании вышеизложенного можно считать, что часть наночастиц везувиана участвует в формировании гетерогенных центров кристаллизации, а другая часть в процессе охлаждения и роста сферолитных образований выталкивается в межфазную область, армируя тем самым "проходные цепи" в аморфной области. Накапливаясь в аморфной области, наночастицы увеличивают ее жесткость, в результате чего "проходные" макроцепи, предопределяющие пластичность полимерной матрицы, в процессе одноосного растяжения теряют свою конформационную подвижность, способствуя тем самым ухудшению относительного удлинения, вплоть до ее хрупкого разрушения [11]. Характерно, что, чем больше кристалличность исходной полимерной матрицы, тем меньше наполнителя необходимо для ее хрупкого разрушения. По мере снижения кристалличности полимера, увеличивается доля аморфной области для равномерного диспергирования наполнителя в полимерной массе. Это обстоятельство, в свою очередь, в определенной степени позволяет вводить сравнительно большие концентрации наполнителя в состав полукристаллических полимеров [12].

Таблица 2. Влияние концентрации везувиана на физико-механические свойства нанокомпозитов ЛПЭНП+везувиан.

№ №	Состав нанокомпозита	Разрушающее на- прижение, МПа	Относите- льное удли- нение, %	Тепло- стойко- сть, °C
1	Исходный ЛПЭНП	25.5	850	110
2	ЛПЭНП + 1%масс.вз	29.8	850	110
3	ЛПЭНП + 5%масс.вз	29.1	750	110
4	ЛПЭНП + 10%масс.вз	27.3	345	112
5	ЛПЭНП + 15%масс.вз	26.0	110	112

\*вз - везувиан

Для получения достаточно полной информации о влиянии наночастиц наполнителя на процессы, происходящие в вязкотекучем состоянии, на рис.2 (а,б) показана закономерность изменения вязкости расплава от скорости сдвига для исходного ЛПЭНП и его нанокомпозита. Сопоставляя полученные кривые на рис. 2 (а), можно установить, что независимо от температуры зависимость  $\lg \eta = f(\lg \gamma)$  совершенно отчетливо показывает существование области с наименьшей ньютоновской вязкостью. Эта область, как правило, характеризуется

постоянством значения вязкости расплава при определенных значениях скоростей сдвига. В данном случае, постоянство значения вязкости расплава начинается при напряжении сдвига 4.19 Па и выше.

Если проанализировать кривые на рис. 2(б) можно обратить внимание на тот факт, что в отличие от исходного ЛПЭНП у нанокомпозитов, проявляется "наибольшая ньютоновская" область при сравнительно низких значениях напряжения сдвига и соответственно скорости сдвига. Более точно, независимо от температуры формирование этой области происходит при напряжении сдвига, равном 3.88 Па и ниже.

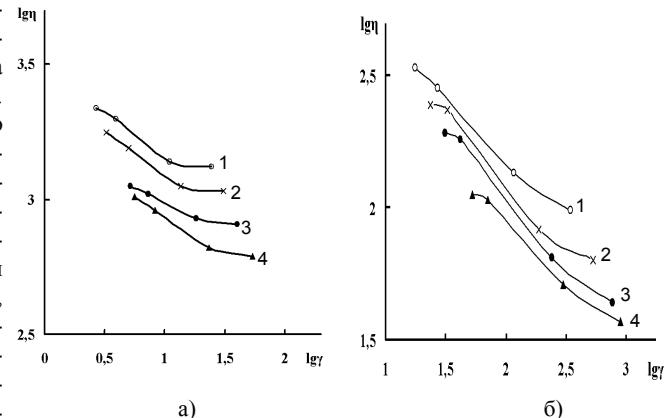


Рис. 2. (а,б). Зависимость вязкости расплава исходного ЛПЭНП (а) и нанокомпозита - ЛПЭНП+5.0 %масс. (б) от скорости сдвига при различных температурах, °C: 1 – 190; 2 – 210; 3 – 230; 4 – 250.

Очень часто при квалифицированном подходе к оценке перерабатываемости какого-либо полимерного композита, как правило, обращаются к оценке зависимости эффективной вязкости от температуры. Эта зависимость позволяет получить достаточно полную информацию о поведении расплава полимера в материальном цилиндре экструдера или литьевого оборудования. Так, например, анализируя кривые зависимости вязкости от температуры, приведенной на рис.3 (а, б), при первом приближении, можно зафиксировать сам факт снижения вязкости расплава нанокомпозитов. Кроме того, становится очевидным, что напряжение сдвига в большей степени влияет на изменение эффективной вязкости нанокомпозитов, чем исходного ЛПЭНП. Согласно данным, приведенным на рис.3, максимальное и минимальное значение вязкости при напряжении сдвига 4.52 Па для исходного ЛПЭНП изменяется в 1.2 раза, а для нанокомпозита в 2 раза. Все это однозначно свидетельствует в пользу того, что процесс разрушения и восстановления агломератов для исходного полимера и нанокомпозита протекает по разным механизмам. Гомогенные центры зародыше-образования в расплаве полимерной матрицы сформированы в результате самоориентации макроцепей между собой с последующим образованием своеобразных первичных агломератов, ответственных за "структурное течение" в условиях термомеханического воздействия шнека экструдера в материальном цилиндре. Есть основание полагать, что соизмеримость наночастиц с первичными структурными образованиями в расплаве полимерной матрицы одновременно сопровождается формированием гетерогенных центров зародышеобразования. Этот процесс сопровождается ростом ориентированных макросегментов на поверхности наночастиц, в результате которого создаются благоприятные условия для усиления адгезионного контакта на границе раздела полимер - наполнитель. Этим, собственно, и объясняется увеличение разрушающего напряжения и теплостойкости нанокомпозитов.

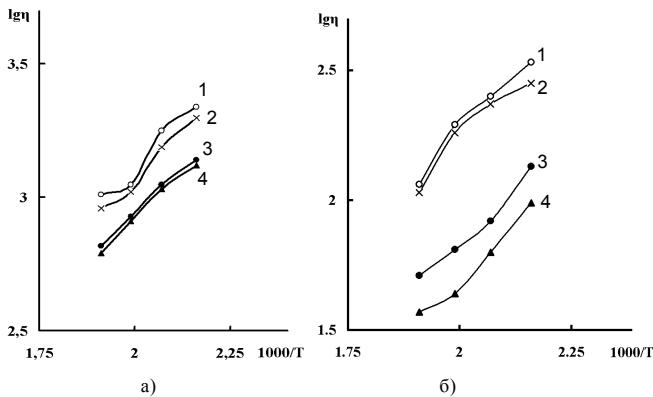


Рис. 3 (а, б). Зависимость вязкости расплава исходного ЛПЭНП (а) и нанокомпозита – ЛПЭНП+5.0 масс.% (б) от температуры при различных значениях напряжения сдвига, Па: 1 – 3.77; 2 – 3.88; 3 – 4.19; 4 – 4.52.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно утверждать, что наиболее перспективным и эффективным многофункциональным наполнителем, является природный минерал – везувиан. Использование этого наполнителя на наноразмерном уровне обеспечивает возможность улучшения технологических свойств и перерабатываемости нанокомпозитов. Вместе с тем отмечается возможность улучшения качественных характеристик нанокомпозитов при минимальных концентрациях наполнителя. Последнее обстоятельство позволяет утверждать о том, что природный минеральный наполнитель – везувиан обладает весьма полезными многофункциональными свойствами, в которых нуждается современная промышленность по переработке пластмасс.

Несмотря на то, что коммерческое применение нанокомпозитов находится еще на ранней стадии своего развития, однако прогноз практического развития этого направления материаловедения на ближайшую перспективу является многообещающим.

## Литература

- Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ошман В.Г. Принципы создания композиционных материалов. М.: Химия, 1990. 240 с.
- Симонов-Емельянов И.Д., Кулезнев В.Н., Трофимичева Л.З. Обобщенные параметры дисперсной структуры наполненных полимеров. // Пластические массы, 1989, №1, с.19-22.
- Кахраманов Н.Т., Ismailzade A.D., Arzumanova N.B., Mammadli U.M., Martinova Q.S. Filled composites based on polyolefins and clinoptilolite. // American Scientific Journal, №4 (4), 2016, p.60-65.
- Ермаков С.Н., Кербер М.Л., Кравченко Т.П. Химическая модификация и смешение полимеров при реакционной экструзии. // Пластические массы. 2007. №10. С.32-41.
- Кахраманов Н.Т., Исмаилзаде А.Д., Арзуманова Н.Б., Осипчик В.С., Мартынова Г.Ш. Структура и свойства полимерных композитов на основе везувиана и полиолефинов. // Пластические массы. Москва. 2017, №3-4, с.42-48.
- Бессонова Н.П., Крашенинников С.В., Коробко А.П. и др. Структура и свойства низкокристаллических полиолефинов, модифицированных наноалмазами. // Высокомолек. соед. 2015, т.57, №6, с.544-554.
- Кахраманов Н.Т., Арзуманова Н.Б., Осипчик В.С. Реологические свойства композитных материалов на основе рандом полипропилена и везувиана. // Перспективные материалы. Москва. 2017, №4, с.35-47.
- Кахраманов Н.Т., Арзуманова Н.Б., Осипчик В.С. Реологические свойства композитных материалов на основе рандом полипропилена и везувиана. // Перспективные материалы. Москва. 2017, №4, с.35-47.
- Чердынцева С.В., Белоусов С.И., Крашенинников С.В. и др. Влияние вида органического модификатора монтмориллонита на физико-химические свойства нанокомпозитов на основе полиамида-6, полученных смешением в расплаве. // Пластические массы, 2013, №5, с.39-43.
- Kakhramanov N.T., Azizov A.G., Osipchik V.S., Mammadli U.M., Arzumanova N.B. Nanostructured composites and polymer materials. // International Polymer Science and technologi, 2017, Vol.44, No 2, p.37-47.
- Арзуманова Н.Б., Кахраманов Н.Т., Мамедли У.М. Физико-механические свойства нанокомпозитов на основе блок-сополимера этилена с пропиленом. // журн. Химические проблемы, 2017, (15), №2, с.167-173.
- Петрюк И.П. Влияние параметров дисперсной структуры на содержание межфазного слоя в наполненных полимерах. // Пластические массы, 2014, №5-6, с.7-9.

УДК 541.64:539.2:546.284

## Композитные материалы на основе полипропилена и модифицированного $\text{Na}^+$ -монтмориллонита $\text{N,N}$ -диаллиламиноизогексановой кислотой

*M.B. БЕГИЕВА, Ю.А. МАЛКАНДУЕВ, А.К. МИКИТАЕВ*

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик  
bsk@kbsu.ru

Композиты на основе полипропилена и модифицированного монтмориллонита получены смешением в расплаве на двухшнековом экструдере фирмы "Jiangsu Xinda Science&Technology". Структура полученных композитов исследована с помощью рентгеноструктурного анализа и сканирующей электронной микроскопией. Показано, что по сравнению с ненаполненным полипропиленом, модуль упругости, ударная вязкость, показатель текучести композитов повышается, а время горения и скорость распространения пламени уменьшается.

**Ключевые слова:**  $\text{N,N}$ -диаллиламиноизогексановая кислота, композит, полипропилен, модифицированный  $\text{Na}^+$ -монтмориллонит

Composite materialis based on polypropylene and modified  $\text{Na}^+$ - montmorillonite  $\text{N,N}$ -diallil aminoizogeksanoic acid

Composites based on polypropylene modified montmorillonite prepared by mixing in a twin screw melt extruder of the company "Jiangsu Xinda Science & Technology". The structure of the composites was investigated using X-ray diffraction and scanning electron microscopy. It is shown that, compared with the unfilled polypropylene, modulus, toughness , melt flow index composites increases, and the time of combustion and the flame propagation velocity is decreased.

**Keywords:**  $\text{N,N}$ -diallilaminoizogeksanic acid, composite, polypropylene, modified  $\text{Na}^+$  - montmorillonite

### Введение

В настоящее время наблюдается повышенный интерес исследователей к получению новых полимерных нанокомпо-

зитных материалов с улучшенными физико-химическими и физико-механическими свойствами на основе полимеров и слоистых силикатных материалов, в частности монтморил-