

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ISBN 978-985-468-924-1. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 5. Гомель, 2011

УДК 620.22 : 678.675

С. П. БОГДАНОВИЧ, И. Н. КОВАЛЕВА

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого
Национальной академии наук Беларуси, г. Гомель*

РОЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ И СОСТАВА КОМПАТИБИЛИЗАТОРА В ТРЕНИИ И ИЗНАШИВАНИИ ПОЛИМЕРНОЙ СМЕСИ ПА6/ПЭ

Исследовано влияние компатибилизирующей добавки на основе полиэтилена высокой плотности на механические и триботехнические свойства смеси полиамид 6/полиэтилен высокой плотности. Доля компатибилизатора (К) в общем содержании полиолефинового (ПО) компонента варьировалась от 0 до 100 %. Кроме того, менялся химический состав К путем прививки различного количества карбоксильных групп к макромолекулам полиэтилена. Выявлен диапазон оптимальных концентраций К, составляющий от 25 до 75 % от общего содержания полиолефинового компонента и позволяющий получить наилучшее сочетание механических и триботехнических характеристик смеси полиамид 6/полиэтилен.

Введение. Полимерные смеси – одно из наиболее перспективных направлений, активно развиваемых в настоящее время в материаловедении [1–4]. Причиной этому является то, что смесевые материалы зачастую обладают комплексом важнейших эксплуатационных свойств, которые недостижимы для компонентов их составляющих.

Следует отметить, что наиболее серьезным препятствием, часто встречающимся при получении полимерных смесей, является частичная или полная несовместимость их компонентов [1, 2]. Это приводит к слабому межфазному взаимодействию, выделению дисперсной фазы в крупные агрегаты и резкому ухудшению большинства характеристик смесевых материалов. Указанная проблема эффективно решается введением модифицирующей добавки – компатибилизатора [5–7]. Однако, несмотря на значительную ра-

боту, проведенную в области изучения влияния типа, концентрации и химической структуры К на реологические, механические и другие характеристики смесевых материалов, исследования, связанные с изучением влияния указанных параметров К на триботехнические свойства полимерных смесей, крайне ограничены.

Целью работы являлось исследование влияния К (его концентрации и количества полярных групп в составе макромолекулярной цепи) на базе полиэтилена, на механические и триботехнические свойства смеси полиамид 6 / полиэтилен (ПА6/ПЭ).

Материалы и методы исследований. Материалы и оборудование. При получении полимерных композиций в качестве базовых компонентов использовали ПА6 марки 210/310 (ТУ РБ 500048054.009-2001, ОАО «Гродно Химволокно») и полиэтилен высокой плотности (ПЭ) марки 277-73 (ГОСТ 16338-85). В качестве компатибилизирующей (К) добавки применяли полиэтилен функционализированный (ТУ РБ 03535279.027-97) ПФ-2, а также К на базе полиэтилена высокой плотности, в которых изменялась концентрация привитых карбоксильных групп. Смесевые композиции получали путем механического смешения компонентов с последующей их соэкструзией через одношнековый (диаметр шнека 36 мм, $L : D = 17$) пластикатор, охлаждением и гранулированием экструдата. Триботехнические исследования проводили на машине трения СМЦ-2 и микротрибометре возвратнопоступательного типа MTU-2K7, реализующих схемы испытания, соответственно, ролик из стали 40X – частичный вкладыш из полимерного материала и плоскость (полимерная пластина) – сфера из стали ШХ15. Физико-механические свойства исследуемых полимерных композиций оценивали с использованием универсальной испытательной машины Instron 5567 и контактного адгезиометра ADM-03. На рисунке 1 представлены внешний вид контактного адгезиометра и типичный результат измерения. Технические характеристики прибора:

– диапазон измеряемых сил, мкН	10–10000;
– диапазон перемещений рабочего тела, мм	10–10000;
– размеры образца (плоскость), мм	20×20×5;
– размеры пробного тела (шарик), мм	0,2–5;
– условия эксплуатации	760±40 мм Hg, 22±5 °С, RH<70 %.

Прибор ADM-03 предназначен для измерений аттракционных сил, возникающих в контакте твердых тел. Устройство состоит из пробного тела в форме шарика, расположенном на плече торсионных электромагнитных весов с отрицательной обратной связью. Исследуемый образец приводится в контакт с пробным телом до заданной начальной нагрузки. При последующем отводе строится зависимость действующих между телами сил от расстояния. Перемещение образца осуществляется с помощью линейного пьезодвижителя [8].

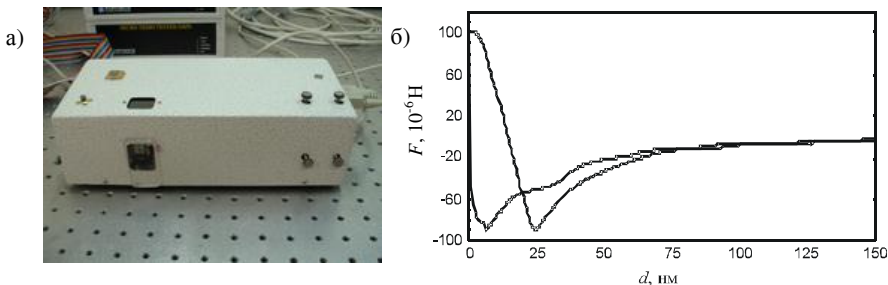


Рисунок 1 – Внешний вид контактного адгезиометра (а) и результаты измерения (б)

Результаты исследований. Установлено, что компатибилизация смеси ПА6/ПЭ сопровождается формированием квазиоднородной структурной морфологии и исключает агрегирование дисперсной фазы полиолефина в каплеподобные образования со слабой адгезией к матричному полимеру. В результате смеси ПА6/ПЭ, компатибилизированные полиэтиленом функционализированным ПФ-2, имеют повышенный уровень показателей физико-механических свойств (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние концентрации К (ПФ-2) в смеси ПА6/ПО – 20 % на показатели механических свойств

Состав смеси (абсолютное значение концентрации К, %)	Показатели		
	$\varepsilon_p, \%$	$\sigma_p, \text{МПа}$	$a_{\text{он}}, \text{кДж/м}^2$
1 ПА6/ПЭ – 20 % (0)	12	34	11
2 ПА6/(ПЭ/К – 10%) – 20 % (2)	15	36	17
3 ПА6/(ПЭ/К – 25%) – 20 % (5)	200	55	19
4 ПА6/(ПЭ/К – 75%) – 20 % (15)	250	58	20
5 ПА6/К – 20 % (20)	280	63	18

Особенно ярко эффект улучшения совместимости полимерных компонентов проявляется на деформационно-прочностных характеристиках материалов.

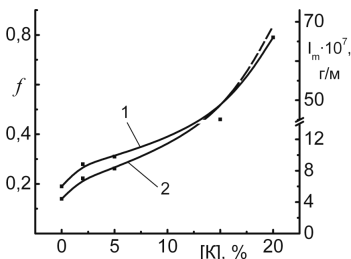


Рисунок 2 – Зависимость f (1) и I_m (2) от концентрации К; $v = 0,63 \text{ м/с}$, $p_k = 1 \text{ МПа}$, $\tau = 60 \text{ мин}$

Компатибилизация позволяет в несколько раз повысить деформируемость смесей, оцениваемую по величине относительного удлинения при растяжении. Положительное влияние К наиболее заметно проявляется, когда его концентрация находится в интервале от 25 до 75 мас. % от общего содержания полиолефинового компонента. Рост концентрации К приводит к увеличению f смеси (рисунки 2 и 3, кривая 1). Согласно молекулярно-механической теории трения коэффициент трения

определяется механической и молекулярной составляющими. Следовательно, увеличение концентрации компатибилизатора, содержащего привитые полярные группы, должно приводить к повышению молекулярной составляющей силы трения и вызывать рост f . Как результат, тепловое разрушение материала при содержании К более 15 мас. % (см. рисунок 2, кривая 2). Указанное предположение подтверждается

также данными о величине поверхностной энергии, полученными с помощью контактного адгезиометра (см. рисунок 3, кривая 2).

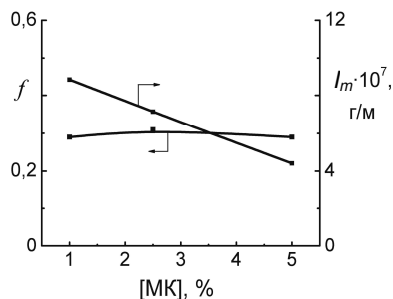


Рисунок 4 – Зависимость f и I_m ПА6/ПЭ – 15 %/К – 5 % от концентрации МК, используемой при получении К; $v = 0,63$ м/с; $p_K = 1$ МПа

усилении межфазного взаимодействия [1, 2] между полиолефином и полиамидом и, как следствие, улучшении способности смеси рассеивать энергию, в том числе генерируемую в процессе трения. Это объясняет снижение I_m до двух раз при увеличении концентрации МК до 5 мас. % (см. рисунок 4).

Таблица 2 – Механические свойства смесевых композиций ПА6/ПЭ – 15 %/К – 5 % с различным содержанием МК в составе К

Показатель	[МК], %		
	1	2,5	5
σ_T , МПа	54	53	53
ϵ_p , %	200	282	282
$\sigma_{сж}$, МПа	72	69	68
$a_{он}$, кДж/м ²	19	29	32
$E_{ц}$, ГПа	1,64	1,54	1,51

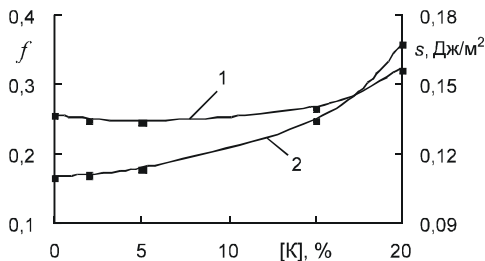


Рисунок 3 – Зависимость f (1) и s (2) от концентрации К; $v = 0,63$ м/с, $p_K = 1$ МПа, $\tau = 60$ мин

Результаты триботехнических испытаний (рисунок 4) позволяют полагать, что механизм трения смеси ПА6/ПЭ, компатибилизированной полиэтиленом, содержащим в своем составе различное количество полярных (карбоксильных) групп, одинаков.

Увеличение количества полярных групп в составе К путем повышения концентрации метилбутандиовой кислоты (МК), используемой при функционализации ПЭ с 1 до 5 мас. %, приводит к заметному росту $a_{он}$, σ_p и ϵ_p смеси (таблица 2), что свидетельствует об

Заключение. Введение К (более 25 мас. % от общего содержания ПО компонента) в смесевую систему ПА6/ПЭ позволяет существенно улучшить ее механические характеристики: повысить $a_{он}$, ϵ_p и σ_p смеси, соответственно, до 2, 16 и 1,6 раза. Выявлено, что увеличение количества полярных групп в составе К усиливает межфазное взаимодействие в полимерной смеси и позволяет снизить I_m до двух раз при концентрации МК 5 мас. %.

Установлено, что имея в своем составе полярные группы К влияет на f смеси, повышая его. Это, в свою очередь, приводит интенсификации разогрева контактирующих поверхностей с увеличением содержания К и, как следствие, росту интенсивности изнашивания полимерной композиции, вплоть до ее теплового разрушения при концентрациях К выше 15 мас. %. Указанное увеличение f связывается с ростом молекулярной составляющей силы трения, что подтверждается данными об изменении величины поверхностной энергии, полученными с помощью контактного адгезиометра.

Обозначения:

К – компатибилизатор;

МК – метилбутандиовая кислота;

ПА6 – полиамид 6;

ПО – полиолефин;

ПФ-2 – полиэтилен функционализированный;

ПЭ – полиэтилен высокой плотности;

L – длина;

D – диаметр;

$a_{он}$ – ударная вязкость, определенная на образцах с острым надрезом;

$E_{и}$ – модуль упругости при изгибе;

I_m – интенсивность изнашивания массовая;

f – коэффициент трения скольжения;

p_k – контактная нагрузка;

s – поверхностная энергия;

ϵ_p – относительное удлинение при разрыве;

σ_t – предел текучести при растяжении;

σ_p – прочность при разрыве;

$\sigma_{сж}$ – предел текучести при сжатии;

τ – время;

v – скорость скольжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Полимерные смеси.** В 2 т. / пер. с англ. Ю. К. Годовского и В. С. Папкова. – М.: Мир, 1981. – Т. 1: Полимерные смеси. – 550 с.; Т. 2: Полимерные смеси. – 453 с.

2 **Кулезнев, В. Н.** Смеси полимеров / В. Н. Кулезнев. – М.: Химия, 1980. – 304 с.

3 **Песецкий, С. С.** Смесевые полиамидные композиции и технология их получения (Обзор) / С. С. Песецкий, А. А. Богославский // *Материалы, технологии, инструменты.* – 1999. – Т. 4. – № 2. – С. 27–38.

4 **Беспалов, Ю. А.** Многокомпонентные системы на основе полимеров / Ю. А. Беспалов, Н. Г. Коновалов. – Л.: Химия, 1981. – 88 с.

5 **Blends of polycarbonate and polysulphone-polydimethyl-siloxane block copolymers: analysis of compatibility and impact strength** / S. S. Pesetskii [etc.] // Journal of Applied Polymer Science. – 1999. – Vol. 73. – P. 1823–1834.

6 **Influence of Interfacial Agents on the Physicochemical Characteristics of Binary Polyethylene/Polyamide 6 and Ternary Polyethylene/Polypropilene/Polyamide 6 Blends** / P. L. Beltrame [etc.] // Journal of Applied Polymer Science. – 1996. – Vol. 60. – № 4. – P. 579–590.

7 **Samios, C. K.** Compatibilization of poly(ethylene terephthalate) / C. K. Samios, N. K. Kalfoglou / Polyamide-6 alloys: Mechanical, thermal and morphological characterization // Polymer. – 1999. – Vol. 40. – № 17. – P. 4811–4819.

8 **Измерение аттракционного взаимодействия технических поверхностей** / А. Я. Григорьев [и др.] // Трение и износ. – 2003 (24). – № 4. – С. 405 – 412.

S. P. BOGDANOVICH, I. N. KOVALIOVA

ROLE OF COMPATIBILIZER CONCENTRATION AND COMPOSITION IN PA6/PE POLYMER MIXTURE FRICTION AND WEAR

The effect of high-density polyethylene compatibilizing additives on mechanical and tribological properties of polyamide 6/high-density polyethylene mixture was studied. The percentage of compatibilizers (C) in the general polyolefin content was from 0 to 100 %. In addition, the chemical composition of C was changed by grafting different amounts of carboxyl groups to macromolecules of polyethylene. The range of optimal concentrations of C – from 25 to 75 % of the total polyolefin component – allowing to obtain the best combination of mechanical and tribological characteristics of polyamide 6/polyethylene mixture was identified.

Получено 28.12.2010

**ISBN 978-985-468-924-1. Mechanics. Scientific researches
and methodical development. Vol. 5. Gomel, 2011**

UDC 666.653

P. VERA SERNA

Universidad Politécnica de Tecámac, Tecámac, Mexico

A. M. BOLARIN MIRO, F. SANCHEZ DE JESUS

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Mexico

CHARACTERIZATION OF MANGANESE FERRITES OBTAINED BY MECHANOSYNTHESIS

Manganese ferrite $MnFe_2O_4$ was obtained by mechanosynthesis, high energy milling was used and chemical reaction was based on precursor oxides Fe_2O_3 and MnO . Charac-