

деталей, так и пресс-форм для их производства, достигнуто автоматизацией конструкторских работ, а также унификацией и нормализацией деталей форм, что дало возможность свести задание конструктора к проектированию формообразующего профиля матрицы с учетом усадки и технологических допусков. Изготовление деталей цепных передач из полимерных композитов малоотходно и не энергоемко. Из них проще изготовить детали сложной формы, они настолько технологичны, что дают возможность создавать так называемые интегрированные детали, производство которых из металла гораздо дороже или вообще невозможно. Например, вместо шести металлических деталей, из которых состоит звено роликовой приводной цепи, можно изготовить одно монолитное звено из полимерного композита. Поскольку плотность полимерных композиционных материалов в несколько раз ниже плотности чугуна и стали, из которых традиционно изготавливались детали цепных передач, как следствие уменьшаются их моменты инерции, энергопотребление на разгон и торможение, что позволяет на 40% повысить частоту вращения. В то же время за счет вязкоупругой характеристики полимерного материала снижаются динамические и ударные нагрузки в передаче, в результате чего ресурс элементов механизма увеличивается в 1,5-2 раза.

Детали цепных передач из полимерных композитов (приводные и натяжные звездочки, подшипники скольжения, элементы цепей) внедрены в серийное производство на ряде машиностроительных предприятий.

Выводы. Представлена новая концепция синтеза цепных передач от создания теоретических основ новых методов расчета и конструирования с учетом реальных динамических процессов, которые происходят во время их эксплуатации, использования новых прогрессивных материалов, ресурсосберегающих технологий и оборудования для их осуществления вплоть до серийного внедрения и промышленного освоения цепных передач, оснащенных новыми комплектующими деталями.

Результаты проведенных расчетных исследований показывают, что использование разработанных моделей и систем учета механических и термических свойств полимерных композитов в деталях передач зацеплением позволяют достаточно точно определить общую картину деформирования полимерных деталей, установить характер распределения напряжений в теле детали и зоны их концентрации в зависимости от применяемых материалов, режимов работы, типоразмеров и вариантов конструктивного исполнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pilipenko O.I. Reinforced Plastics in Designing and Applications of the Driving Parts of Machines. Proceedings of XVI-th International Conference "Reinforced Plastics - 91", Karlovy Vary, Czechoslovakia, 1991, p.111—122.
2. Пилипенко О.И. Развитие теории и синтез цепных передач на основе новых материалов и технологий. Вестник СевГТУ, №8, Севастополь, 1997, с.74—78.

УДК 678.762

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ И ПЭВД

Р. М. ДОЛИНСКАЯ¹, С. С. МИГАЛЬ¹, В. В. РУСЕЦКИЙ², Е. И. ЩЕРБИНА¹

¹ Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова 13а, 220630 г. Минск, Беларусь.

² АО «Беларусьрезинотехника», ул. Минская 102, 213828 г. Бобруйск, Беларусь.

Введение. Несмотря на возможность решения широкого круга технических задач, применение термопластичных резин (ТПР) в промышленности сдерживается отсутствием систематических исследований их структуры и свойств, закономерностей процесса совмещения компонентов, научно обоснованных методов улучшения эксплуатационных свойств.

Цель работы и методика исследований. Целью настоящей работы является разработка новых композиционных материалов на основе каучуков общего назначения и пластиков с ре-

гулируемыми показателями эксплуатационных свойств и исследование их фазовой структуры.

В качестве основных объектов исследований выбраны многотоннажные, выпускаемые в широком ассортименте каучуки — изопреновый (СКИ-3) и бутадиеновый (СКД) и полиэтилен высокого давления (ПЭВД) марки «Вилотерм».

Композиции ТПР готовили на лабораторных обогреваемых вальцах ЛВ 320 160/160 П по методике, описанной в [1].

Исследовали механические смеси на основе комбинаций каучуков (СКИ-3 и СКД) и ПЭВД, а также ТПР, полученные методом «динамической вулканизации» [2]. Для вулканизации использовали серноускорительную систему, обеспечивающую близкие скорости сшивания каучуков СКИ-3 и СКД.

Структуру ТПР изучали методами рентгеноструктурного (ШУРР), дифференциально-термического (ДТА), термомеханического анализа (ТМА) и электронной микроскопии. Физико-механические показатели композиций определяли стандартными методами.

Обсуждение результатов исследований. Установлено, что общей характерной особенностью смесевых и динамических ТПР является изменение кинетики кристаллизационного процесса по сравнению с гомополимерами. Об этом свидетельствуют изменения температуры плавления, а также понижение степени кристалличности изученных композиций (табл. 1).

Таблица 1. Результаты структурных исследований смесевых и динамических ТПР*

Содержание ПЭВД, мас. %	Метод исследования			
	ШУРР		ДТА	
	$W_{кр.} \%$	$\Phi_{ПЭ} \cdot W_{ПЭ}$	$T_{пл}^{max}$	$T_{пл}^k$
15	9,5 / 9,2	9,8	— / 97	— / 120
30	18,8 / 18,4	19,5	97 / 99	110 / 122
47	25,7 / 25,2	30,6	99 / 100	115 / 124
58	32,6 / 32,1	37,7	102 / 102	118 / 125
65	35,4 / 35,0	42,3	104 / 103	120 / 126
100	65,0 / 65,0	65,0	110	133

* В числителе приведенные данные для смесевых, а в знаменателе — для динамических ТПР

Обнаруженные факты, видимо, связаны с формированием в композициях ТПР граничных слоев различного строения.

Для смесевых композиций угловое положение максимумов дифракционных рефлексов пластика на рентгенограммах практически не изменяется независимо от содержания компонентов в смеси (рис. 1а), что, видимо, свидетельствует о выделении кристаллической фазы полиэтилена без включения макромолекул каучуков в состав кристаллитов. Подтверждением того, что в рассмотренных композициях не происходит взаиморастворения компонентов, и взаимодействие между фазами реализуется лишь в граничном слое без образования заметного по величине межфазного слоя, служат также представленные на рис. 2а термомеханические кривые ТПР, являющиеся наложением соответствующих зависимостей индивидуальных полимеров, взятых для смешения.

Для динамических ТПР угловое положение максимумов дифракционных рефлексов ПЭВД смещается в сторону меньших углов (рис. 1б). Форма перехода в области между температура-

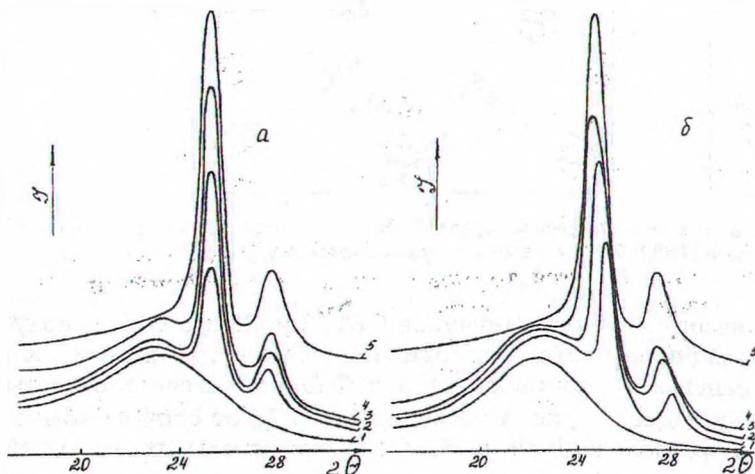


Рис. 1. Рентгенограммы смесевых (а) и динамических (б) ТПР: 1 — комбинация каучуков (СКИ-3 и СКД); 2 — композиции на основе комбинации каучуков (СКИ-3 и СКД) и ПЭВД (15 мас. %); 3 — композиции на основе комбинации каучуков (СКИ-3 и СКД) и ПЭВД (47 мас. %); 4 — композиции на основе комбинации каучуков (СКИ-3 и СКД) и ПЭВД (65 мас. %); 5 — ПЭВД

ми текучести (T_f) полимеров на термомеханических кривых также усложняется, T_f эластомерной фазы смещается в сторону меньших температур (рис. 2б), что, вероятно, указывает на частичное совмещение каучуков и ПЭВД и является косвенным подтверждением существования заметного по величине межфазного слоя.

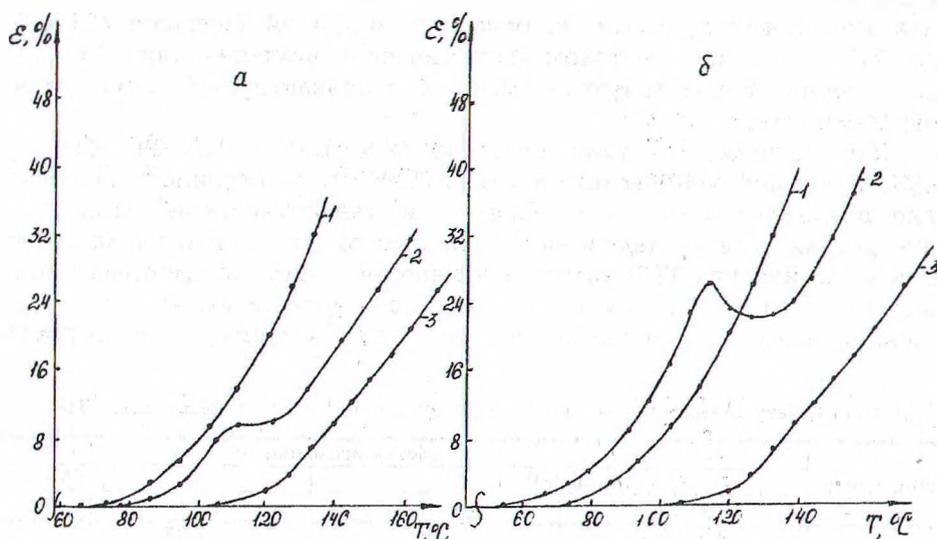


Рис. 2. Термомеханические кривые смесевых (а) и динамических (б) ТПР: 1 — комбинация каучуков (СКИ-3 и СКД); 2 — композиции на основе комбинации каучуков (СКИ-3 и СКД) и ПЭВД (47 мас.%); 3 — ПЭВД

Данные электронно-микроскопического анализа позволяют идентифицировать гетерогенность формируемых структур и существующий граничный слой как для смесевых, так и для динамических термопластичных резин. При этом для смесевых композиций в области всех изученных составов сосуществуют непрерывные фазы ПЭВД и каучуков (рис. 3а). Для динамических же ТПР характерна структура, состоящая из непрерывной матрицы пластика и диспергированных в ней микрогелевых частиц сшитых каучуков (рис. 3б), что хорошо согласуется с результатами структурных исследований ТПР на основе полимеров с близкими энергиями когезии [3, 4].

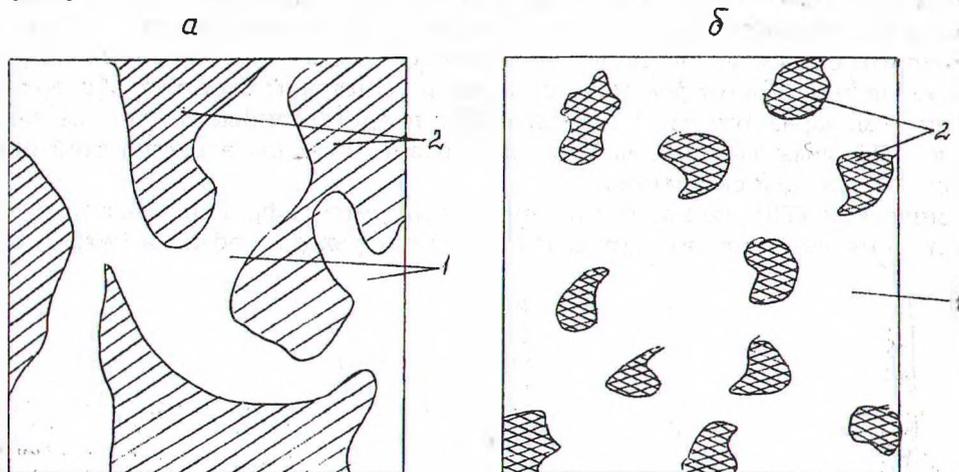


Рис. 3. Морфология ТПР: (а) смесевые композиции: 1 — непрерывная фаза ПЭВД; 2 — непрерывная эластомерная фаза; (б) динамические ТПР: 1 — непрерывная фаза ПЭВД; 2 — гелевые частицы сшитых каучуков

Несмотря на термодинамическую несовместимость каучуков СКИ-3 и СКД с ПЭВД, полученные на их основе смесевые композиции являются термодинамически устойчивыми. Это подтверждают проведенные нами на основании теории растворов Флори—Хаггинса расчеты свободной энергии смешения ($\Delta G_{см}$). Как видно из рис. 4, зависимость $\Delta G_{см}$ от состава композиций изображается вогнутой кривой, расположенной в области отрицательных значений $\Delta G_{см}$. При этом максимальной термодинамической устойчивостью композиция обладает в точ-

ке минимума (т. А), а в области концентраций пластика от 30 до 65 мас.% (отрезок АВ) композиция характеризуется устойчивым сосуществованием двух фаз (эластомеров и пластика).

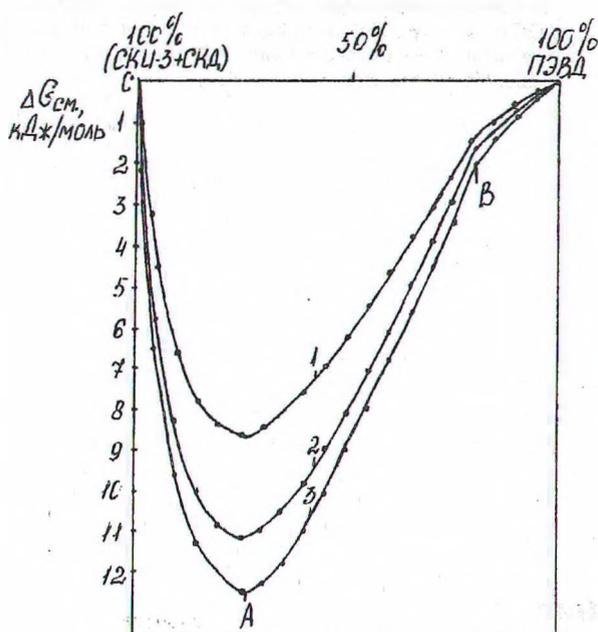


Рис. 4. Зависимость свободной энергии смешения от состава для смешевых композиций на основе комбинации каучуков (СКИ-3 и СКД) и ПЭВД; 1 — 100°С; 2 — 150°С; 3 — 200°С

Изучение физико-механических показателей смешевых и динамических ТПР в указанном выше интервале показало, что основные упруго-прочностные и реологические свойства зависят, главным образом, от содержания пластика, а эластичные и низкотемпературные свойства связаны с каучуковой фазой (табл. 2).

Таблица 2. Влияние содержания ПЭВД на физико-механические показатели смешевых и динамических ТПР*

Показатели	Содержание ПЭВД, мас.%			
	30	47	58	65
Условный предел прочности при растяжении, МПа	3,9 / 7,3	4,3 / 8,3	4,6 / 13,1	5,4 / 12,6
Относительное удлинение при разрыве, %	420 / 430	300 / 430	260 / 480	220 / 460
Сопротивление раздиру, кН/м	20 / 29	22 / 30	25 / 37	29 / 36
Твердость по Шору А, усл. ед.	35 / 59	40 / 62	43 / 71	54 / 60
Эластичность по отскоку, %	34 / 33	30 / 30	28 / 29	26 / 28
Пластичность, усл. ед.	0,06 / 0,05	0,04 / 0,04	0,03 / 0,02	0,01 / 0,01
ТПР, г/10 мин	2,2 / 0,9	3,0 / 1,5	3,8 / 2,1	4,0 / 2,9
Температура хрупкости, °С	-48 / -48	-46 / -47	-40 / -43	-35 / -40

* В числителе приведенные данные для смешевых, а в знаменателе — для динамических ТПР

Причем, если для смешевых композиций наблюдается практически монотонное улучшение физико-механических показателей, то для динамических ТПР характер зависимости свойств от состава — экстремальный (табл. 2). При этом максимальное отклонение наблюдается при одном и том же определенном составе композиций (≈ 30 мас.%), что удовлетворительно совпадает с точкой минимума на рис. 4.

Для достижения высокого уровня физико-механических показателей композиций ТПР определяющим фактором является обеспечение оптимальных условий переработки. Как видно из рис. 5, температурный интервал формования композиций должен на ≈ 15 °С превышать температуру плавления пластика. При переработке в условиях более высоких температур свойства ТПР ухудшаются. Вероятно, чрезмерный нагрев способствует уменьшению прочности связи между фазами после охлаждения.

Выводы. Таким образом установлено, что общей характерной особенностью смешевых и динамических ТПР, полученных на основе комбинации каучуков СКИ-3 — СКД и ПЭВД марки «Вилотерм», является формирование в композициях граничных слоев различного строения, с условиями образования и перестройки которых связаны свойства ТПР. Разработаны рецептуры композиций термопластичных резин и технология производства на их основе резино-технических изделий различного назначения.

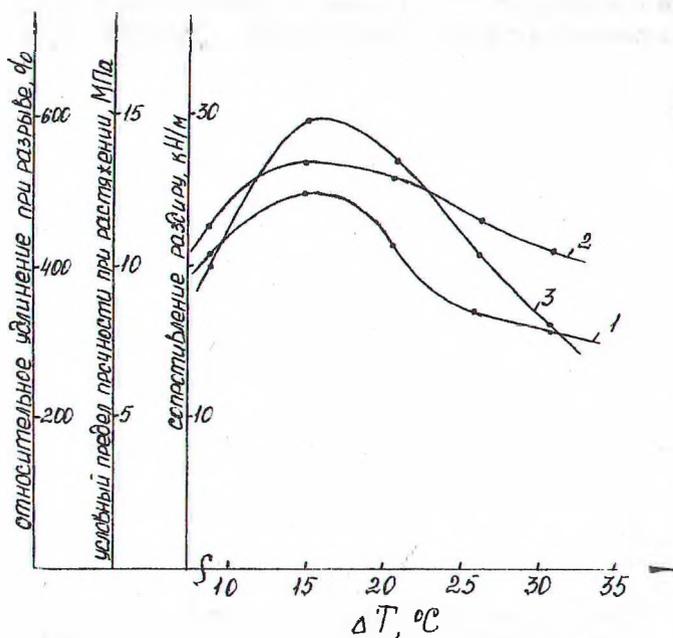


Рис. 5. Влияние разницы между температурами формования и плавления ПЭВД на свойства ТПР на основе комбинации каучуков (СКИ-3 и СКД) и ПЭВД; 1 — условный предел прочности при растяжении; 2 — относительное удлинение при разрыве; 3 — сопротивление раздиру

ОБОЗНАЧЕНИЯ

T_t — температура текучести; $\Delta G_{см}$ — свободная энергия смешения; $W_{кр}$ — степень кристалличности ТПР; $\varphi_{ПЭ}$ — содержание ПЭВД в композициях ТПР (мас.%); $W_{ПЭ}$ — степень кристалличности ПЭВД; $T_{пл}^{max}$ — температура максимума плавления композиций; $T_{пл}^k$ — температура конца плавления композиций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долинская Р.М., Мигаль С.С., Русецкий В.В., Щербина Е.И. Свойства и применение эластомерных материалов на основе полимерной композиции СКИ + СКД / полиолефин // Каучук и резина. — 1997. — № 5. — С. 7—10.
2. Долинская Р.М., Мигаль С.С., Русецкий В.В., Щербина Е.И. Получение и свойства термопластичных резин на основе СКИ, СКД и ПВХ // Каучук и резина. — 1998. — № 2. — С.10—13.
3. Канаузова А.А., Юмашев М.А., Донцов А.А. Получение и свойства термопластичных резин методов «динамической вулканизации» и их свойства. — М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1985. — 66 с.
4. Вольфсон С.И., Хусайнов А.Д., Кимельблат В.И. Получение, свойства и применение динамических термоэластопластов на основе каучука СКИ-3 и полипропилена // Производство и использование эластомеров. — 1993. — № 5. — С. 15—22.

Molecular structure and properties of thermoplastic materials have been studied the methods of DTA, SHURR, TMA and electron microscopy.