

УДК 541.64:536.7

ВЛИЯНИЕ МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА СТЕПЕНЬ ДИСПЕРСНОСТИ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ НЕСОВМЕСТИМЫХ ПОЛИМЕРОВ

© 2000 г. Ю. П. Мирошников, Ю. Н. Волошина

Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова
117571 Москва, пр. Вернадского, 86

Поступила в редакцию 11.02.99 г.

Принята в печать 30.03.99 г.

Исследовано влияние межфазного взаимодействия на размер частиц дисперсной фазы, формирующейся при смешении изовязких несовместимых эластомеров. В пяти смесях фиксированного состава 20 : 80 матрицей служил СКЭНТ, а дисперсной фазой – различные эластомеры. Выравнивание вязкости смешиваемых полимеров осуществляли пластикацией более вязких компонентов, так что различия значений вязкости фаз в смесях не превышали 20%. Из-за отсутствия в литературе значений межфазных натяжений интенсивность межфазных взаимодействий в исследованных системах характеризовали разностью поверхностных натяжений и плотностей энергии когезии компонентов. Установлено, что размер частиц дисперсной фазы изовязких смесей уменьшается при снижении разностей поверхностных натяжений или плотностей энергии когезии. Обсуждены проблемы, связанные с экспериментальным изучением межфазных эффектов при смешении расплавов полимеров.

Смешение расплавов несовместимых полимеров приводит к получению гетерогенных систем, часто называемых эмульсиями масло в масле. Под действием вязких сил, генерируемых потоками в смесителе, изначально крупные капли дисперсной фазы деформируются в жидкие волокна (цилиндры), которые впоследствии разрушаются на более мелкие фрагменты. Одновременно протекает обратный процесс коалесценции доменов с образованием более крупных капель. Каждый из актов повторяется многократно; смешение считается завершенным (степень дисперсности системы перестает меняться) при установлении динамического равновесия дробление–коалесценция. Конечная фазовая структура эмульсии формируется под влиянием многих факторов, в число которых входит тип и характеристики потока, соотношение компонентов, вязкоупругие и поверхностные свойства полимеров. Исследование процессов смешения заключается в анализе влияния каждого из факторов на степень дисперсности и тип морфологии смесей полимеров.

В соответствии с классической теорией Тейлора [1] для низкомолекулярных систем минималь-

ный радиус капли дисперсной фазы, способной разрушиться в сдвиговом потоке, определяется формулой

$$b = \frac{2\gamma_{12} 19\mu + 16}{g\eta_2 16\mu + 16}, \quad (1)$$

где γ_{12} – межфазное натяжение; g – скорость сдвига в потоке; η_2 – вязкость дисперсионной среды (матрицы); $\mu = \eta_1/\eta_2$ – соотношение вязкостей фаз (η_1 – вязкость дисперсной фазы). В результате смешения размер капель дисперсной фазы тем меньше, чем ниже межфазное натяжение, выше вязкость среды и скорость сдвига.

В теории Токиты [2] получено выражение для радиуса частиц, образующихся при условии динамического равновесия при смешении, т.е. при равенстве скоростей дробления и коалесценции:

$$b = \frac{12p\gamma_{12}\Phi_1}{\pi\eta_2 g} \frac{1 + 4p\Phi_1 E_p}{\pi\eta_2 g} \quad (2)$$

Здесь p – вероятность слияния капель при их столкновении; Φ_1 – доля дисперсной фазы; E_p – макроскопическая энергия разрушения внутренней фазы.

Несмотря на то, что уравнение (2) не выдержало экспериментальной проверки, оно, подобно формуле (1), прогнозирует уменьшение размера частиц при снижении межфазного натяжения и повышении скорости сдвига и вязкости матрицы.

Изучению влияния скорости сдвига и соотношения вязкостей фаз на размер частиц дисперсной фазы в эмульсиях посвящено много работ. В полимер-полимерных смесях экспериментальные зависимости размера частиц от соотношения вязкостей фаз (при $\gamma_{12} = \text{const}$) описываются U-образными кривыми [2–7] с минимумом в области $\mu \leq 1$. Повышение скорости сдвига в смесителе сопровождается асимптотическим уменьшением размера частиц [4, 8–12] с тенденцией к реверсии зависимости при высоких g [13–15].

Существенно меньше работ посвящено изучению роли межфазного натяжения в процессах смешения полимеров. Дело в том, что величина γ_{12} для данной смеси определяется химической природой компонентов. Поэтому возможности варьирования межфазного натяжения в конкретной полимер-полимерной системе весьма ограничены и сводятся в основном к введению блок- или привитых сополимеров или ПАВ [16].

Широко известен способ [2, 10, 15, 17] изучения процессов смешения с использованием безразмерного параметра, называемого капиллярным числом k и включающим межфазное натяжение

$$k = \frac{bg\eta_2}{\gamma_{12}} \quad (3)$$

Построение экспериментальных данных в координатах $k = f(\mu)$ позволяет получить зависимости, инвариантные по отношению к использованным смесям полимеров [17]. Однако выделить отсюда влияние собственно межфазного натяжения на размер частиц можно только при условии использования смесей с одинаковыми значениями η_2 и μ .

Список известных нам экспериментальных работ, в которых анализируется зависимость $b(\gamma_{12})$ в отсутствие поверхностно-активных добавок, невелик. Grace [15] установил, что повышение межфазного натяжения в 1.7 раза требует 17-кратного увеличения скорости сдвига для достижения того же размера частиц эмульсии, текущей в статическом миксере Кеникса. Следует отметить эксперименты [8, 9], проведенные с использованием биополимеров. Гетерогенные водные растворы смесей декстран-желатина при значениях $5.1 < \text{pH} < 4.5$ гомогенизировались, что сопровождалось снижением межфазного натяжения до ну-

ля. Это вызывало резкое повышение степени асимметрии капель (и, следовательно, уменьшение их толщины) в сдвиговом потоке. Понятно, что последующее разрушение более тонких волокон приведет к образованию более мелких частиц дисперсной фазы. В работе [11] анализировали зависимость степени дисперсности смесей (20 : 80) СКЭПТ/ПП, ПС/ПП и бромбутилкаучук-ПП от энергии, затрачиваемой при смешении, и межфазного взаимодействия между полимерами. При фиксированной энергии смешения размер частиц дисперсной фазы был заметно ниже в смесях с более низким межфазным натяжением. Вместо значений межфазного натяжения использовали разность значений поверхностного натяжения индивидуальных полимеров, измеренных при 30°C. Как отмечают сами авторы, полученная зависимость носит оценочный характер, поскольку соотношения вязкости фаз в использованных смесях сильно различались.

Цель настоящей работы – изучение влияния межфазного взаимодействия на границе раздела фаз на степень дисперсности и морфологию несocomместимых смесей полимеров с изовязкими компонентами. Использование таких смесей позволило исключить из числа переменных соотношение вязкостей фаз, существенно влияющее на размер частиц, образующихся при смешении полимеров.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектами исследования служили промышленные эластомеры: бутилкаучук (БК), хлорбутилкаучук, содержащий 1.2 мас. % Cl (ХБК), хлорсульфирированный полизиэтилен, содержащий 27 мас. % Cl и 1.5 мас. % S (ХСПЭ), синтетический *цис*-1,4-полизопрен СКИ-3, бутадиенакрилонитрильный сополимер СКН-40 и тройной этилен-пропиленовый сополимер СКЭПТ-50. Во всех смесях СКЭПТ был дисперсионной средой и его содержание составляло 80 мас. %. Вязкость исходных каучуков существенно различалась. Для их выравнивания более вязкие эластомеры подвергали пластикации (механодеструкции) на холодных вальцах на воздухе. Необходимую в каждом случае продолжительность пластикации определяли по предварительно полученным для каждого эластомера кинетическим кривым. Выбор указанных полимеров обусловливался стремлением получить как можно более широкий интервал варьирования разности поверхностных натяжений матрица-дисперсная фаза.

Смешение полимеров осуществляли на лабораторных микровальцах при 105°C и продолжи-

тельности смешения 10 и 25 мин. Скорость сдвига g в зазоре h между валками, вращающимися со скоростями ω_1 и ω_2 , рассчитанная по формуле [18]

$$g = \frac{\pi d(\omega_1 - \omega_2)}{h}, \quad (4)$$

составляла величину порядка 16 c^{-1} .

Реологические свойства индивидуальных полимеров измеряли на капиллярном реометре постоянных давлений при 105°C с использованием трех капилляров диаметром 1.47 мм и длиной 11.0, 20.9 и 29.0 мм.

Значения первой разности нормальных напряжений N определяли по разбуханию струи с использованием формулы Таннера [19]

$$N = 2\tau[2(D_e/D_c)^6 - 2]^{1/2}, \quad (5)$$

где τ – напряжение сдвига на стенке капилляра; D_e и D_c – соответственно диаметры экструдата и капилляра. Корректные измерения разбухания струи, вышедшей из капилляра вискозиметра при $g > 10 \text{ c}^{-1}$, оказались невозможными из-за искажения формы экструдата вследствие эластической турбулентности. В связи с этим необходимые значения N при скорости сдвига, реализующейся в процессе смешения компонентов ($g = 16 \text{ c}^{-1}$), получали методом экстраполяции нормальных напряжений, полученных при более низких скоростях сдвига, с использованием формулы [20]

$$N = a\tau^2 + b\tau + c \quad (6)$$

(a , b и c – константы).

Значения поверхностного натяжения γ_i для СКИ-3, СКН-40 и СКЭПТ при 20°C заимствовали из литературы [21–23]; величины γ_i для других полимеров находили по парциальным групповым вкладам [22]. Последний способ использовали и для расчета значений плотности энергии когезии e_c полимеров.

Реологические и поверхностные характеристики индивидуальных полимеров и их смесей представлены в таблице.

Морфологию смесей эластомеров изучали с использованием трансмиссионного электронного микроскопа "Tesla BS-242E". Ультратонкие срезы с образцов готовили на ультрамикротоме фирмы LKB, снабженном криоскопической приставкой. Количественные характеристики фазовой структуры определяли с использованием метода компьютерного анализа изображений [24]. Для построения одной кривой распределения обрабатывали не менее 300 частиц.

Некоторые характеристики изовязких смесей эластомеров при 105°C и скорости сдвига $g = 16 \text{ c}^{-1}$

Система	$\mu = \eta_1/\eta_2$	$\Psi = N_1/N_2$	$e_{c1}/e_{c2} \times 10^{-4}$, кДж/м ³ (20°C)	$\gamma_1/\gamma_2, \text{ мН/м}$ (20°C)
СКН-40/СКЭПТ	1.11	0.87	44.5/26.8	41.7/34.5
ХСПЭ/СКЭПТ	1.12	0.76	34.8/26.8	38.5/34.5
СКИ-3/СКЭПТ	1.06	1.45	28.9/26.8	32.7/34.5
БК/СКЭПТ	0.91	2.09	25.5/26.8	33.6/34.5
ХБК/СКЭПТ	0.96	1.86	25.5/26.8	33.9/34.5

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты опытов по сближению вязкостей эластомеров, использовавшихся в работе, приведены на рис. 1а. Большая часть кривых течения пересекается в интервале скоростей сдвига 7–13 c^{-1} ; однако и при $g = 16 \text{ c}^{-1}$ (скорость сдвига при смешении на вальцах) они располагаются довольно близко друг к другу, что свидетельствует о примерно одинаковых значениях вязкости. Соотношения вязкостей фаз при $g = 16 \text{ c}^{-1}$, приведенные в таблице, показывают, что интервал изменения μ в данных условиях не превышает 20%. Учитывая относительно слабую зависимость размера частиц дисперсной фазы, образующихся при смешении, от соотношения вязкостей фаз компонентов [3–7], полученный результат можно считать вполне приемлемым.

Упругость компонентов (характеризуемая в нашем случае первой разностью нормальных напряжений N), как и вязкость, оказывает влияние на процессы смешения. Результаты, представленные на рис. 1б и в таблице, указывают на то, что значения N для изовязких полимеров заметно различаются. Так, величины нормальных напряжений в СКН-40 и ХСПЭ немного ниже, а в СКИ-3, ХБК и БК – в 1.5–2 раза выше, чем для матрицы СКЭПТ. Полученные данные качественно не противоречат известной информации о том, что ПИБ и сополимеры на его основе отличаются очень высокой упругостью.

Тем не менее, было желательным хотя быкосвенно подтверждение корректности проведенных измерений N . Использование в работе трех капилляров различной длины позволило определить для каждого из изовязких полимеров величину входовых потерь $\Delta P_{\text{вх}}$. Представленная на

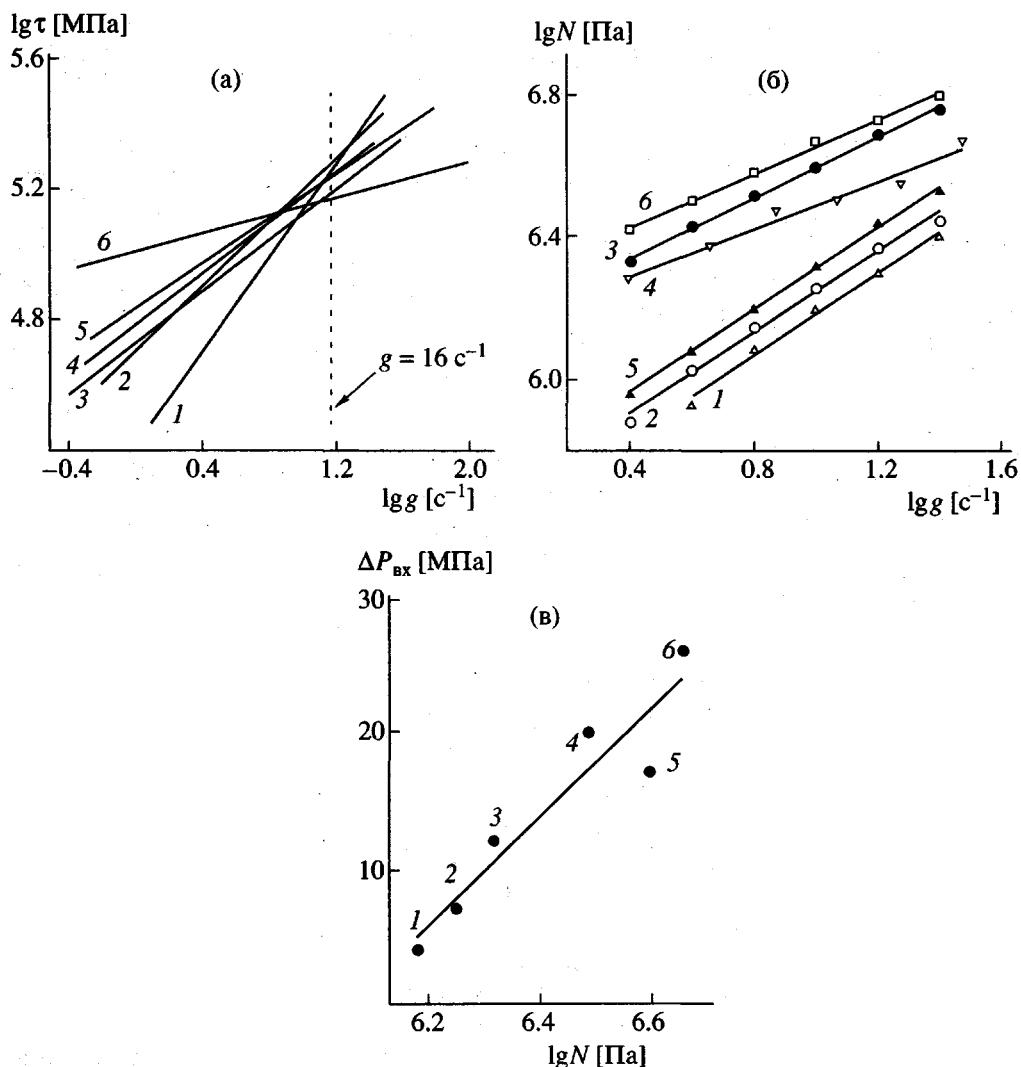


Рис. 1. Зависимости напряжения сдвига (а), первой разности нормальных напряжений (б) от скорости сдвига, а также входовых потерь от первой разности нормальных напряжений (в) при 105°C: 1 – ХСПЭ, 2 – СКН-40, 3 – ХБК, 4 – СКИ-3, 5 – СКЭПТ-50, 6 – БК

рис. 1в зависимость этого параметра от N качественно согласуется с данными [25, 26] о прогрессирующем росте входовых потерь при повышении эластичности полимера и подтверждает в целом отсутствие грубых ошибок при оценке N по разбуханию струи.

Итак, представленные на рис. 1 реологические характеристики индивидуальных полимеров, часть из которых была подвергнута пластикации на вальцах, свидетельствуют о примерно одинаковых значениях эффективной вязкости компонентов. В то же время различия в упругости эластомеров не нивелированы: величины соотношения нормальных напряжений фаз ($\psi = N_1/N_2$) в смесях меняются от 0.76 до 2.09 (таблица).

Морфология исследованных композиций представлена на рис. 2 типичными микрофотографиями ультратонких срезов смесей 20 : 80 СКН-40/СКЭПТ (а), СКИ-3/СКЭПТ (б) и ХБК/СКЭПТ (в) при продолжительности смешения 25 мин. Визуально фиксируется явное уменьшение размера частиц дисперсной фазы в представленном ряду смесей.

Количественные характеристики параметров фазовой морфологии исследуемых композиций получены с использованием компьютерного анализа изображений. Кривые распределения частиц дисперсной фазы по размерам, изображенные на рис. 3, дают представление как о наиболее вероятном (в точке максимума) диаметре частиц, так и о полидисперсности систем. В выбранном масштабе рис. 3 положение максимумов кривых различается несущественно, хотя можно видеть, что для смесей

СКЭПТ с ХБК (кривая 1) и СКН-40 (кривая 5) наиболее вероятный размер частиц составляет 0.3 и 0.55 мкм соответственно. Для этих же смесей характерны соответственно наиболее узкое и широкое распределение частиц по размерам, причем во второй системе присутствуют достаточно крупные домены СКН-40 диаметром до 3.5 мкм.

Однако величина наиболее вероятного размера частиц $d_{\text{вер}}$ в максимуме кривой распределения недостаточно репрезентативна, особенно в случае высокой полидисперсности системы. Так, анализ кривых 1 и 5 (рис. 3) показывает, что наиболее вероятным размером характеризуются соответственно только 40 и 13 (!) % частиц от их общего числа в каждом из массивов. В этом плане средний размер частиц d , несущий в себе информацию о всех без исключения компонентах массива, представляется более полной и более чувствительной интегральной характеристикой гетерогенной системы. В соответствии с высказанными соображениями степень дисперсности смесей полимеров выражали в терминах как среднего, так и наиболее вероятного размеров частиц.

Переходя к рассмотрению основной задачи, поставленной в работе, необходимо отметить следующее. Экспериментальное измерение значений поверхностного и межфазного натяжения полимеров связано со значительными трудностями [23, 27] и требует высокой квалификации исполнителя. Следствием является отсутствие в литературе данных не только о межфазном натяжении полимер–полимер, но и о поверхностном натяжении даже широко используемых полимеров. Нам не удалось найти экспериментальных или расчетных значений межфазного натяжения ни для одной из пар полимеров, использованных в работе, а также расчетных или экспериментальных значений поверхностного натяжения для БК, ХБК и ХСПЭ.

Относительно доступный метод измерения поверхностного натяжения твердых полимеров по краевым углам смачивания дает величину критического поверхностного натяжения γ_c , которая представляет собой лишь часть истинной свободной поверхностной энергии, обусловленную (в зависимости от природы используемых смачивающих жидкостей) дисперсионными или полярными взаимодействиями [27]. Поэтому использование данного метода для нашего случая, когда среди объектов исследования присутствуют как сильно полярные, так и неполярные полимеры, было признано нецелесообразным.

Нередко прибегают к расчетным способам оценки поверхностного и межфазного натяжений с

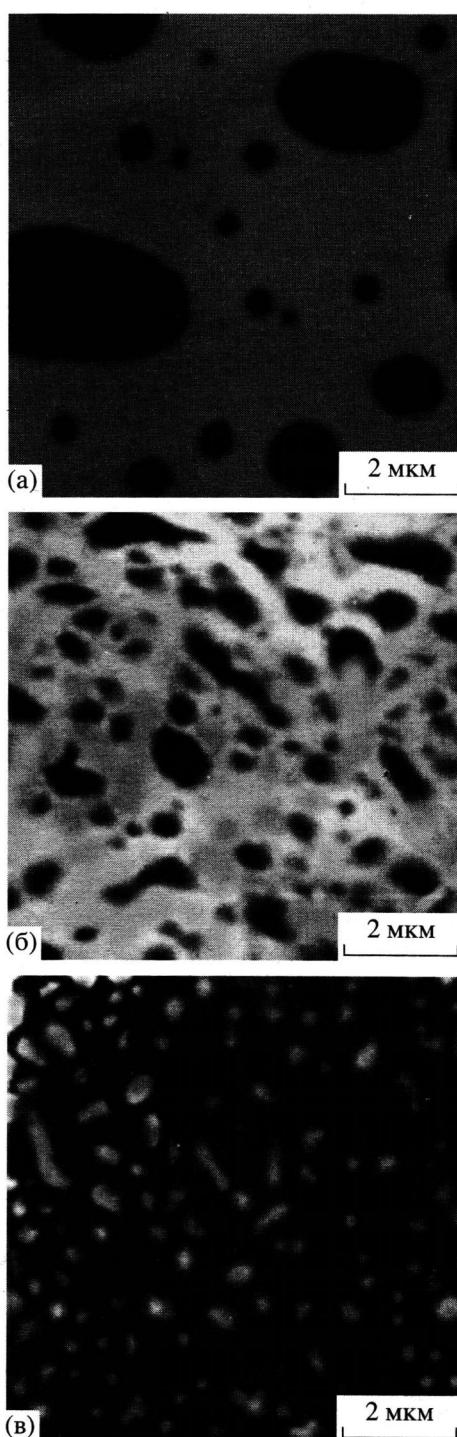


Рис. 2. Микрофотографии ТЭМ ультратонких срезов смесей СКН-40/СКЭПТ (а), СКИ-3/СКЭПТ (б) и ХБК/СКЭПТ (в) фиксированного состава 20 : 80. Продолжительность смешения 25 мин.

использованием соответственно парабора и уравнения гармонического среднего [22]. Расчеты поверхностного натяжения по групповым вкладам в парабор могут привести к заметным погрешностям [27].

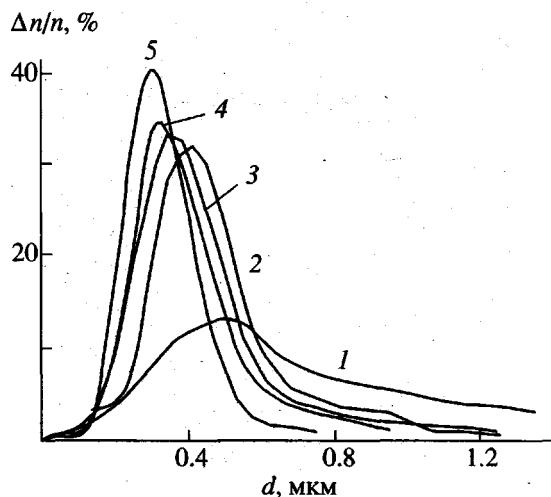


Рис. 3. Кривые распределения частиц дисперсной фазы по диаметрам в смесях СКЭПТ с СКН-40 (1), ХСПЭ (2), СКИ-3 (3), БК (4) и ХБК (5). Время смешения 25 мин.

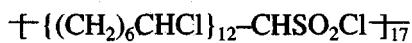
В уравнение гармонического среднего помимо поверхностных натяжений индивидуальных полимеров входят их дисперсионные и полярные составляющие, значение которых зачастую неизвестны. В подобной ситуации было решено отказаться от расчета межфазных натяжений и ограничиться использованием значений поверхностного натяжения полимеров.

БК и ХБК представляют собой статистические сополимеры изобутилена с небольшим количеством (до 5 мас. %) изопрена (99% цис-1,4). В случае ХБК атомы Cl (1.1–1.3 мас. %) находятся в α -положении к двойной связи изопреновых звеньев [28]. Поскольку экспериментальные значения поверхностных натяжений для ПИБ и ПИ табулированы, значение γ_i для БК рассчитаны по правилу аддитивности [22, гл. 3] с учетом долей сомономеров ϕ , как

$$\gamma_{\text{БК}} = \gamma_{\text{ПИБ}}\phi_{\text{ПИБ}} + \gamma_{\text{ПИ}}\phi_{\text{ПИ}}$$

В качестве $\gamma_{\text{ПИ}} = 32.7$ мН/м использовали среднее из трех найденных в литературе величин (31, 35 [23] и 32 [21] мН/м; первое и третье значения — это γ_c , второе — расчет по парабору). Подобным образом, предварительно рассчитав по парабору значение γ_i для хлорированного цис-1,4-ПИ (степень хлорирования 30%), нашли поверхностное натяжение для ХБК.

По парабору рассчитано значение поверхностного натяжения ХСПЭ, имеющего структуру повторяющегося звена [28]



Экспериментальные величины γ_i для других полимеров заимствованы из работы [21] (таблица). Поскольку температурные коэффициенты поверхностного натяжения для большей части изученных полимеров неизвестны, пользовались величинами γ_i при 20°C.

В отсутствие значений межфазного натяжения допустимо применение абсолютной разности поверхностных натяжений для соответствующих компонентов [11], также являющейся мерой межфазного взаимодействия. Данные рис. 4а иллюстрируют линейное (в первом приближении) увеличение диаметра частиц дисперсной фазы при повышении разности $|\gamma_1 - \gamma_2|$.

Относительно надежности представленных результатов следует сказать следующее. Данные о размере частиц получены в двух независимых сериях опытов, представленных двумя временами смешения (10 и 25 мин). Кроме того, для каждой серии определены средний d и наиболее вероятный $d_{\text{вер}}$ (по положению максимума кривой распределения) диаметры частиц дисперсной фазы. Зависимость $d_{\text{вер}} = f(|\gamma_1 - \gamma_2|)$ для времени смешения 10 мин опущена, чтобы не перегружать рисунок. Весомые сомнения относительно низкой надежности использованных (особенно расчетных) значений поверхностного натяжения попытались разрешить путем дублирования их величинами плотности энергии когезии e_c . Такой прием представляется оправданным, поскольку ряд авторов (например, работа [29]) предполагает прямую зависимость между γ_i и e_c . В отличие от использованных значений γ_i , три из которых получены экспериментально, величины e_c для всех полимеров были рассчитаны по групповым вкладам.

Сравнение рис. 4а и 4б свидетельствует, видимо, о том, что представленные результаты верно (по крайней мере качественно) отражают реальную картину повышения степени дисперсности композиций при усилении взаимодействия полимеров на границе раздела фаз. Отметим еще раз, что зависимость $d = f(|\gamma_1 - \gamma_2|)$ получена нами в "чистом" виде, т.е. в отсутствие заметного влияния соотношения вязкостей фаз компонентов. К сожалению, использование вместо межфазного натяжения его "суррогата" $|\gamma_1 - \gamma_2|$ не позволяет судить на количественном уровне о степени влияния γ_{12} на размер частиц, образующихся в процессе смешения полимеров. Тем не менее полученные данные свидетельствуют о том, что замена полярного СКН-40 на неполярный БК с той же вязкостью приводит к двукратному повышению степени дисперсности композиций.

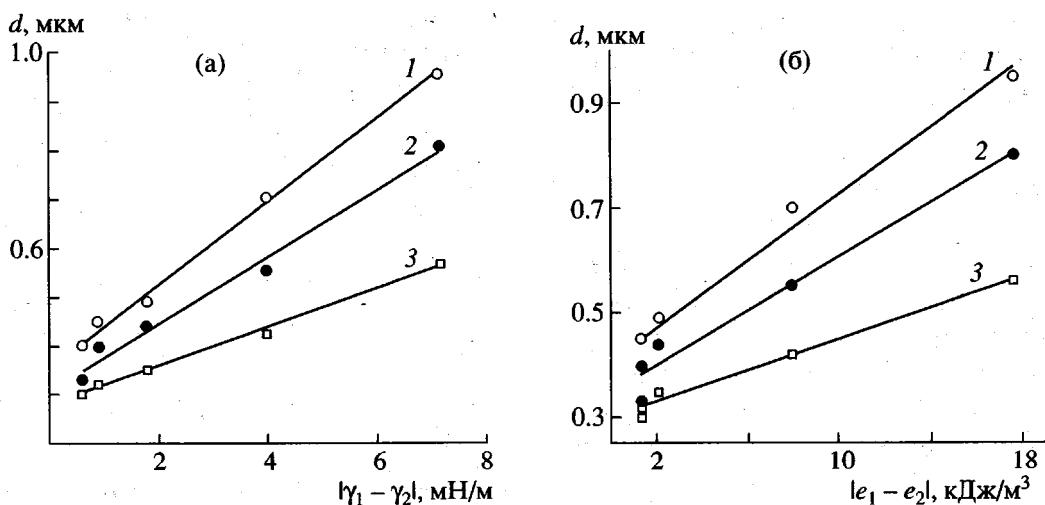


Рис. 4. Зависимость диаметра частиц дисперсной фазы от разности значений поверхностного натяжения (а) и разности плотности энергии когезии (б) в исследованных смесях изовязких полимеров: 1, 2 – средний диаметр доменов при продолжительности смешения 10 (1) и 25 мин (2); 3 – наиболее вероятный диаметр частиц при продолжительности смешения 10 мин. Экспериментальные точки принадлежат смесям (слева направо) СКЭПТ с ХБК, БК, СКИ-3, ХСПЭ и СКН-40 соответственно.

Этому явлению можно дать следующее толкование.

Снижение межфазного натяжения эквивалентно усилению взаимодействия разнородных макромолекул на границе контакта двух полимеров. Это в свою очередь приводит к увеличению взаимодиффузии фрагментов макромолекул, формированию более объемного переходного слоя и в целом – к повышению межфазной адгезии [7, 16, 27]. Усиление межфазного взаимодействия способствует более эффективной передаче сдвиговых напряжений в потоке от матрицы к частице и деформации последней в более тонкое анизометрическое тело. Последующее разрушение таких более тонких жидкых нитей на более мелкие фрагменты обусловливает повышение степени дисперсности смесей.

В заключение остается коснуться влияния на процессы смешения первой разности нормальных напряжений фаз. В отличие от вязкости, значения N полимеров в исследованных парах могут различаться в 2 раза (таблица). Однако, судя по данным рис. 4, такой интервал варьирования N заметно не сказывается на размере частиц, по крайней мере в пределах общей погрешности опыта. Обращает внимание лишь то, что во всех сериях опытов диаметр доменов наиболее упругого БК больше, чем менее упругого ХБК (при сравни-

мых значениях γ) и близок к размеру частиц СКИ-3, имеющему более высокое поверхностное натяжение (рис. 4а).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Межфазное натяжение является одним из важных параметров, определяющих морфологию и свойства смесей несовместимых полимеров. В отсутствие адекватной теории смешения полезно выявлять частные количественные закономерности, лежащие в основе главных механизмов деформации, разрушения и коалесценции капель дисперсной фазы. Но даже такие задачи являются непростыми, так как параметры фазовой структуры являются, как правило, функциями нескольких переменных (см. уравнения (1), (2)). Поэтому изучение роли одной из переменных требует фиксации остальных.

Экспериментальные исследования влияния межфазного натяжения на процессы смешения, удовлетворяющие сформулированному выше условию, развиваются в двух главных направлениях, определяющихся способом варьирования γ_{12} . Один из них состоит в изменении межфазного взаимодействия путем введения в одну и ту же смесь полимеров различных количеств поверхностно-активной добавки. Недостатком этого под-

хода являются трудноразрешимые вопросы, связанные с распределением добавки в полимерах и измерением ее концентрации на границе раздела фаз.

Второй способ, представленный в настоящей работе, заключается в варьировании γ_{12} путем использования в композициях полимеров различной природы. В данном случае для нивелирования влияния μ необходимо использование полимеров с одинаковой (в условиях смешения) эффективной вязкостью. В смесях на основе эластомеров этого можно достичь механодеструкцией более вязких компонентов.

Для обоих способов принципиальной трудностью остается точное измерение (или расчет) межфазного напряжения, что, по-видимому, является основным препятствием на пути дальнейшего развития экспериментальных работ в обсуждаемой области. Поэтому прогресс в изучении межфазных эффектов при смешении полимеров во многом зависит от развития простых и надежных способов измерения или расчета межфазного напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Taylor G.I.* // Proc. Roy. Soc. A. (London). 1934. V. 146. P. 501.
2. *Rumscheidt F.D., Mason S.G.* // J. Colloid Interface Sci. 1961. V. 16. № 1. P. 238.
3. *Tokita N.* // Rubber Chem. Technol. 1977. V. 50. № 2. P. 292.
4. *Кулезнев В.Н., Грачев А.В., Мирошников Ю.П.* // Коллоид. журн. 1976. Т. 38. № 2. С. 265.
5. *Мирошников Ю.П., Гольман А.М., Кулезнев В.Н.* // Коллоид. журн. 1979. Т. 41. № 6. С. 1120.
6. *Мирошников Ю.П., Каминский М.Л., Кулезнев В.Н.* // Коллоид. журн. 1979. Т. 41. № 6. С. 1112.
7. *Кулезнев В.Н.* Смеси полимеров. М.: Химия, 1980.
8. *Гулов В.Я.* Дис... канд. хим. наук. М.: ИНЭОС, 1973.
9. *Толстогузов В.Б.* Дис... д-ра хим. наук. М.: ИНЭОС, 1975.
10. *White J.L., Min K.* // Makromol. Chem., Macromol. Symp. 1988. V. 16. № 1. P. 19.
11. *Schreiber H.P., Olguin A.* // Polymer Eng. Sci. 1983. V. 23. № 3. P. 129.
12. *Lee B.-L., Singleton C.J.* // Macromol. Sci., Phys. 1983. V. 22. № 5/6. P. 665.
13. *Мирошников Ю.П., Виллиамс Х.Л.* // Высокомолек. соед. А. 1982. Т. 24. № 8. С. 1606.
14. *Danesi S., Porter R.S.* // Polymer. 1975. V. 19. № 4. P. 448.
15. *Grace H.P.* // Chem. Eng. Commun. 1982. V. 14. P. 225.
16. Полимерные смеси / Под ред. Пола Д., Ньюмена С. М.: Мир, 1981. Т. 1, 2.
17. *Wu S.* // Polym. Eng. Sci. 1987. V. 27. № 5. P. 335.
18. *Торнер Р.В.* Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1977.
19. *Tanner R.J.* // J. Polym. Sci. A-2. 1970. V. 8. № 12. P. 2067.
20. *Виноградов Г.В., Малкин А.Я., Шумский В.Ф.* // Высокомолек. соед. А. 1968. Т. 10. № 12. С. 2672.
21. *Wu S.* // Polymer Handbook / Ed. by Brandrup J., Immergut E.N. New York: Wiley, 1989. P. VI/411.
22. *Ван-Кревелен Д.В.* Свойства и химическое строение полимеров. М.: Химия, 1976.
23. *Пугачевич П.П., Бегляров Э.М., Лавыгин И.А.* Поверхностные явления в полимерах. М.: Химия, 1982.
24. *Летучий М.К., Клеппер Л.Я., Мирошников Ю.П.* // Высокомолек. соед. А. 1999. Т. 41. № 2. С. 297.
25. *Thomas D.P., Hagan R.S.* // Polym. Eng. Sci. 1969. V. 9. № 1. P. 164.
26. *Ballenger T.F., White J.L.* // J. Appl. Polym. Sci. 1971. V. 15. № 8. P. 1919.
27. *Липатов Ю.С.* Межфазные явления в полимерах. Киев: Наукова думка, 1980.
28. *Донцов А.А., Лозовик Г.Я., Новицкая С.П.* Хлорированные полимеры. М.: Химия, 1979.
29. *Hobin T.P.* // J. Adhesion. 1972. V. 3. № 3. P. 237.

Effect of Interfacial Interactions on the Dispersity of Binary Blends of Incompatible Polymers

Yu. P. Miroshnikov and Yu. N. Voloshina

Lomonosov State Academy of Fine Chemical Technology,
pr. Vernadskogo 86, Moscow, 117571 Russia

Abstract—The effect of interfacial interactions on the size of particles in a disperse phase formed upon blending isoviscous incompatible elastomers was studied. The experiments were performed in a series of five 20 : 80 blends comprising an EPDM matrix with various elastomers as the disperse phase. Viscosities of the blend components were leveled by mastication of a more viscous polymer in a roll mill, so that a difference between the viscosities of phases did not exceed 20%. Since no published data on the interfacial tensions of the polymers studied were found, the interphase interactions in the system were characterized by differences of the surface tensions or cohesive energy densities of the components. It was established that the size of the disperse phase particles in the blends of isoviscous polymers decreases with the difference of the surface tensions or cohesive energy densities of the blend components. Problems related to the experimental investigation of interfacial effects accompanying blending of the polymer melts are discussed.