

УДК 504.064.47

*А.Ю. Рыбалко, Ю.В. Бардадым, Э.А. Спорягин*

## **АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СМЕШЕНИЯ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ КОМПОЗИЦИЙ В КОМБИНИРОВАННЫХ ЭКСТРУДЕРАХ**

**Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара**

Переработка полимерных материалов и композиций на их основе является технологически сложным процессом и требует знания принципа действия оборудования, а также определенных навыков работы на этом оборудовании. Зависимость реологических параметров жидкости от кинематических характеристик течения усложняет проведение различного рода расчетов оборудования. Знание закономерностей течения таких материалов позволяет на достаточно высоком уровне осуществлять процесс их переработки при определенных параметрах (температура, давление, форма и размеры оснастки и др.).

В большинстве случаев в экструзионных технологиях качество конечного продукта зависит от процессов плавления, течения и смешения компонентов. Совершенствование оборудования и процесса производства, как это делается сегодня, требует больших затрат времени и средств. Часто необходимо построить сложное оборудование для визуализации потока, например, экструдеры с прозрачными корпусами, чтобы понять как осуществляется течение полимеров во время их переработки. Количественная оценка массо- и теплопереноса представляется еще более сложной задачей. Кроме того, воспроизвести свойства конкретной смеси в каждом эксперименте исключи-

тельно сложно. Не удивительно, что эти препятствия сделали численное моделирование реальной альтернативой для оптимизации и анализа процесса смешения пластических масс, эластомеров и энергонасыщенных композиций на основе полимерных материалов.

Смешение – процесс, уменьшающий композиционную неоднородность, является очень важной стадией в переработке полимеров, поскольку механические, физические и химические свойства, а также внешний вид изделий существенно зависят от композиционной однородности. Обычно определяют эту стадию как процесс, приводящий к повышению однородности многокомпонентно-

Состав композиций

№ композиции	NaCl, мас.%	СКН-10Ктр, мас.%	СКДМ-80, мас.%	АСД-4, мас.%	ПАВ, мас.%	ДОС, мас.%
Композиция № 1	81,50	18,50	–	–	–	–
Композиция № 2	81,50	–	18,50	–	–	–
Композиция № 3	80,00	12,27	–	4,00	0,73	3,00
Композиция № 3а	83,00	12,27	–	3,00	0,73	1,00
Композиция № 3б	85,00	12,27	–	1,00	0,73	1,00
Композиция № 4	74,25	–	10,20	12,70	–	2,85
Композиция № 5	68,50	–	11,50	18,00	0,50	1,50

го материала. В основе смешения лежит определение относительного движения ингредиентов материала. При экструзии полимеров обычно реализуется ламинарное течение, т.к. турбулентное течение не характерно для композиции высокой вязкости. Эффект смешения достигается в общем случае вследствие как продольного, так и сдвигового течения. При изучении этой стадии важно полностью охарактеризовать смесь, полная характеристика которой подразумевает определение размеров, формы, ориентации и пространственного положения каждой отдельной частицы материала.

В данной работе рассматривается методика определения качества смешения, в которой критерием качества выступает толщина полосы. Важной составляющей толщины полосы является коэффициент консистенции  $K$ . Для его нахождения необходимо прологарифмировать уравнение Оствальда-де-Вила

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n, \quad (1)$$

$$\ln \tau = \ln K + n \cdot \ln \dot{\gamma}, \quad (2)$$

Далее строится график зависимости  $\ln \tau$  от  $\ln \dot{\gamma}$  (рис. 1) и находится значение  $\ln K$  и  $n$  (индекс течения), где  $n = \text{tg} \alpha$ .

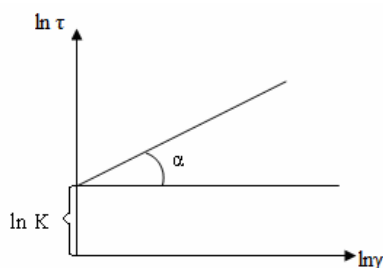


Рис. 1. График зависимости  $\ln \tau$  от  $\ln \dot{\gamma}$

Объектами исследования являлись модельные высоконаполненные композиции на основе низкомолекулярных каучуков марок СКН-10Ктр и СКДМ-80, составы которых представлены в таблице. В качестве инертного наполнителя в композиции использовался NaCl следующего гранулометрического состава: фракция 1 – до 130 мкм; фракция 2 – от 130 мкм до 160 мкм. Поверхностноактивными веществами были выбраны жир-

ные кислоты подсолнечного масла, стеариновая и олеиновая кислоты.

Смешение композиций проводили с помощью механической мешалки и лабораторного червячно-дискового (комбинированного) экструдера, схема которого представлена на рис. 2.

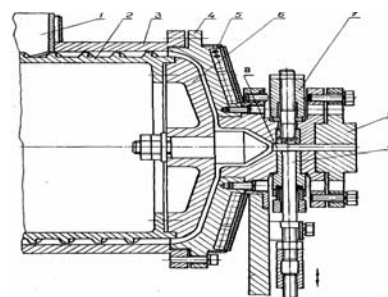


Рис. 2. Червячно-дисковый экструдер: 1 – бункер; 2 – диск; 3 – корпус; 4 – неподвижный диск; 5 – нагреватель; 6 – подвижный диск; 7 – термopара; 8 – выходное отверстие; 9 – формующая головка; 10 – датчик давления

В этих экструдерах достигается хороший смешительный эффект. Поэтому в них можно перерабатывать композиции, имеющие низкую вязкость и достаточно высокую эластичность.

Как уже указывалось выше, смешение в экструдерах представляет собой простое ламинарное смешение, так как движение материала в канале червяка происходит в условиях этого режима. Продолжительность подобного процесса смешения определяется толщиной полос в смеси. Если объем системы не изменяется, то уменьшение толщины полос обуславливается возникновением дополнительной площади поверхности раздела, которая, в свою очередь, зависит от величины деформации сдвига и первоначальной ориентации поверхности раздела [1].

Толщину полос можно рассчитать по следующему уравнением:

$$\ell = \frac{2\ell_0 x_0 x_1}{\sqrt{1 + \gamma_{\text{од}}^2 \frac{x_1^2}{y_1^2}}}, \quad (3)$$

где  $\gamma_{од}$  – обобщенная деформация сдвига.

$$\gamma_{од} = \frac{3}{2\sqrt{2}(1+\mu)} \gamma_{окт}, \quad (4)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\gamma_{окт}$  – октаэдрическая деформация сдвига, которую можно рассчитать для комбинированных и дисковых экструдеров по уравнению:

$$\gamma_{окт} = \frac{3}{2} \left[ \frac{(\gamma_{rr} - \gamma_{\phi\phi})^2 + (\gamma_{\phi\phi} - \gamma_{zz})^2 + (\gamma_{zz} - \gamma_{rr})^2 + \frac{3}{2}(\gamma_{r\phi}^2 + \gamma_{\phi z}^2 + \gamma_{rz}^2)}{2} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

где  $\gamma_{ii}$  и  $\gamma_{ij}$  ( $i, j=r, \phi, z$ ) – компоненты тензора деформации, которые могут быть рассчитаны по известным компонентам тензора скоростей деформации.

На рис. 3–6 показаны зависимости толщины полос от положения слоя в зазоре между дисками. Кривая построена без учета деформаций растяжения–сжатия на входе в зазор, и на выходе из него, то есть отражает влияние только обобщенной деформации [2].

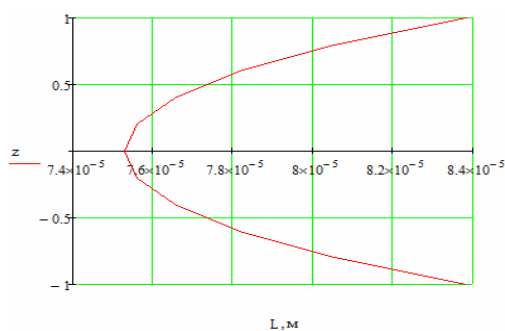


Рис. 3. Зависимость толщины полос от положения слоя в зазоре между дисками:  $w=2,1 \text{ c}^{-1}$ ;  $h=0,0037 \text{ м}$ ;  $k=4,876$

При малых зазорах и небольшой частоте вращения диска деформация растяжения–сжатия незначительно влияет на процесс смешения. Но с увеличением частоты вращения диска и величины зазора картина резко меняется, влияние деформации увеличивается, вызывая уменьшение толщины полос.

Для простого сдвигового течения при больших значениях деформаций площадь поверхности раздела оказывается прямо пропорциональной суммарной деформации. Следовательно, главным условием хорошего смешения является наличие больших деформаций компонентов смеси. Это требование должно быть дополнено не менее важным условием – распределением элементов поверхности раздела внутри системы. Иными словами, хорошее ламинарное смешение достигается

только при больших деформациях компонентов при условии макрооднородности смеси.

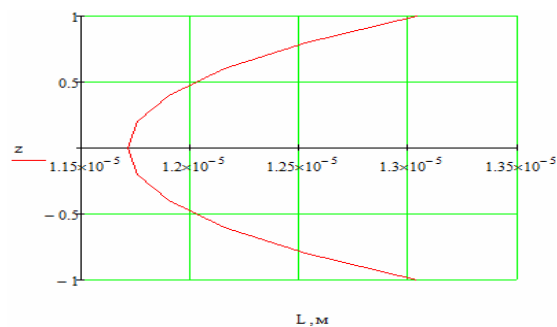


Рис. 4. Зависимость толщины полос от положения слоя в зазоре между дисками:  $w=2,1 \text{ c}^{-1}$ ;  $h=0,0037 \text{ м}$ ;  $k=4,357$

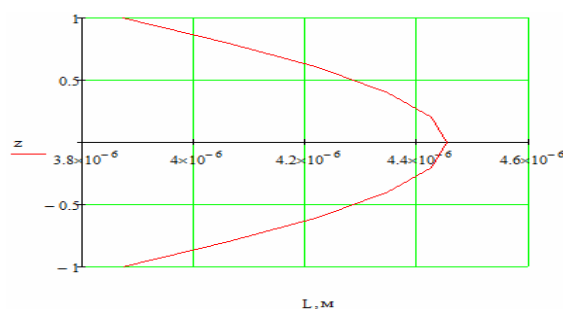


Рис. 5. Зависимость толщины полос от положения слоя в зазоре между дисками:  $w=2,1 \text{ c}^{-1}$ ;  $h=0,0037 \text{ м}$ ;  $k=2,165$

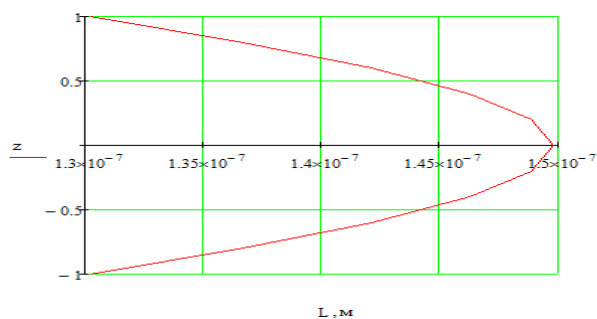


Рис. 6. Зависимость толщины полос от положения слоя в зазоре между дисками:  $w=2,1 \text{ c}^{-1}$ ;  $h=0,0037 \text{ м}$ ;  $k=1,755$

Для подтверждения проведенных расчетов, были проведены микроскопические исследования полимерных композиций, сделанных с помощью микроскопа марки Carl Zeiss Yena nu 2 с увеличением  $\times 50$  (рис. 7–12).

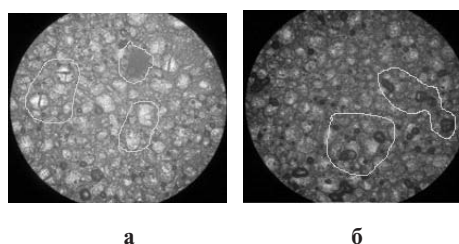
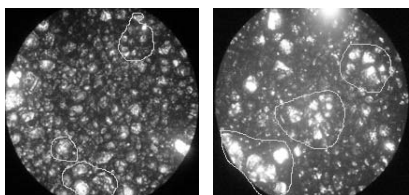


Рис. 7. Распределение наполнителя в полимерной матрице: а – композиция № 1 до смешения в экструдере;

б – композиция № 2 до смешения в экструдере



а б

Рис. 8. Распределение наполнителя в полимерной матрице: а – композиция № 3 до смешения в экструдере; б – композиция № 4 до смешения в экструдере

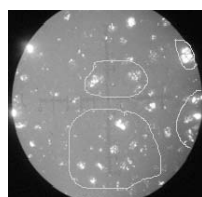
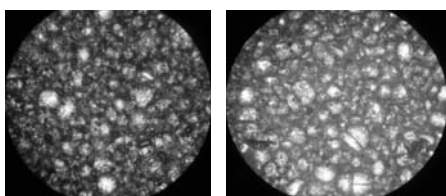


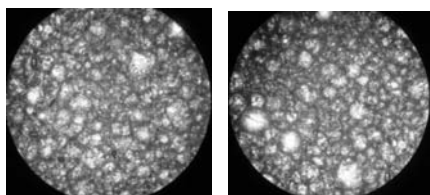
Рис. 9. Распределение наполнителя в композиции № 5 до смешения в экструдере

На рис. 7–9 мы видим неравномерное распределение наполнителя в композициях, в некоторых местах пустоты, крупные агломераты наполнителя. Это все следствие плохого смешения. Поэтому, учитывая неравномерное распределение наполнителя в подготовленных композициях, считаем целесообразным переработать их на комбинированном экструдере в целях получения композиционной однородности. Результаты переработки на комбинированном экструдере представлены на рис. 10–12.



а б

Рис. 10. Распределение наполнителя в полимерной матрице: а – композиция № 1 после смешения в экструдере; б – композиция № 2 после смешения в экструдере



а б

Рис. 11. Распределение наполнителя в полимерной матрице: а – композиция № 3 после смешения в экструдере; б – композиция № 4 после смешения в экструдере

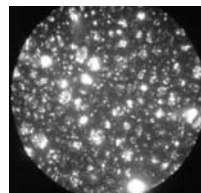


Рис. 12. Распределение наполнителя в композиции № 5 после смешения в экструдере

Предполагается, что представленные образцы отражают микроструктуру смесей в целом. Из данных снимков визуально видно, что достигнутое смешение совершенно различно. После смешения с помощью механической мешалки наблюдается неравномерное и хаотичное распределение частиц смеси. Смешение в экструзионных машинах приводит к повышению однородности многокомпонентного материала. Частицы диспергируемой фазы пересекают все линии тока, и поверхность раздела перпендикулярна направлению деформации сдвига. Этот эффект достигается в общем случае вследствие как продольного, так и сдвигового течения. Однако главную роль в процессе смешения играет сдвиговое течение. Полученные результаты подтверждают проведенные теоретические расчеты.

Увеличение площади поверхности раздела и перераспределение ее элементов, обеспечивающих эффективное смешение, зависит от начальных условий: от исходной ориентации поверхности раздела и исходного расположения ее составляющих. При этом может быть достигнута любая требуемая степень смешения в зависимости от частоты вращения шнека.

В общем можно сказать, что общая однородность является важным показателем при описании любой смеси, и от этой величины будет зависеть качество получаемого материала. Таким образом, деформация является характеристикой процесса, позволяющей установить связь между параметрами процесса смешения и качеством смеси.

Композиции с высоким качеством смешения легко и без проблем перерабатываются в экструзионных машинах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины: конструкции и технические расчеты. – С-Пб: Профессия, 2007. – 472 с.
2. Бардадим Ю.В., Спорягин Е.О. Оцінка якості змішування полімерних композицій // Вопр. химии и хим. технологии. – 2011. – № 6. – С.72-74.

Поступила в редакцию 19.10.2012