

Е.В. Матыгуллина, Л.Е. Макарова, А.А. Нестеров
E.V. Matygullina, L.E. Makarova, A.A. Nesterov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ
ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ,
СОДЕРЖАЩИХ ТРГ**

**FEATURES OF FORMATION AND DESTRUCTION
OF POLYMER COMPOSITES BASED
ON EXPANDED GRAPHITE**

Опробован способ получения прутков и труб из композиции на основе терморасширенного графита и полиамида 11 методом экструзии, определены прочностные характеристики композита при сжатии, рассмотрены особенности разрушения образцов из полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова: терморасширенный графит, экструзия, полимер, композит, термопласт, реактопласт.

In work tested method of extrusion for rods and tubes of compositions based on expanded graphite and various plastics, determined the strength characteristics of composites in compression, the features of the destruction process of polymer composite samples.

Keywords: expanded graphite, extrusion, polymer, composite, thermoplastic.

В последнее время активно ведутся работы, направленные на изучение возможностей повышения механических и антифрикционных характеристик уплотнений из терморасширенного графита (ТРГ), применяемых в энергетике, арматуростроении, нефтепереработке, авиастроении, ракетостроении и других отраслях. Целью наших исследований является повышение рабочих температур, износостойкости, химической инертности, снижения коэффициента трения уплотнений из ТРГ при различных условиях эксплуатации, а также упрощение технологического процесса изготовления и снижение себестоимости изделий [1–4].

Одним из направлений данных исследований является разработка полимерных композиций на основе ТРГ и применение перспективных методов их

переработки. На начальном этапе исследований авторы использовали двухкомпонентную смесь измельченного крупночешуйчатого терморасширенного графита с размером частиц до 300 мкм и порошка полиамида 11 (ПА 11) с размером частиц 20–30 мкм. Содержание в смеси порошка ТРГ варьировали от 30 до 60 %. Выбор полиамида обусловлен высокими физико-механическими характеристиками, химической стойкостью, высокой износостойкостью, низким коэффициентом трения и способностью к переработке [5, 6].

Основным методом получения готовых изделий (кольцевых уплотнений, графитовой фольги и др.), используемым на отечественных и зарубежных предприятиях [1], является прессование. Авторами для изучения экспериментальных образцов был выбран экструзионный метод переработки, позволяющий получить лучшие физико-механические и эксплуатационные показатели изделий при меньших трудозатратах [6, 7]. На рис. 1 представлена принципиальная схема процесса формирования изделия в поршневом экструдере.

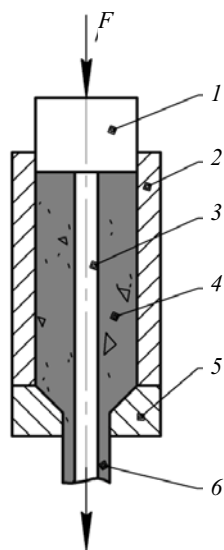


Рис. 1. Принципиальная схема процесса экструзии: 1 – пуансон; 2 – цилиндр; 3 – экструзионная головка; 4 – игла (опционально для изготовления трубок); 5 – исходная смесь; 6 – изделие (пруток или трубка)

Экструзия сопровождается уплотнением и нагревом смеси, поэтому важной задачей исследования процесса получения композита являлось определение оптимального соотношения

компонентов, установление режима нагрева, подбор давления и скоростных характеристик пуансона, обеспечивающих требуемую адгезию полиамида и чешуек ТРГ.

В результате проведенных исследований были определены основные стадии процесса получения изделий из полимерного композита методом экструзии:

- подготовка ТРГ-наполнителя (измельчение, отсев нужной фракции);
- высушивание ТРГ-наполнителя (удаление из пор материала воды, которая в значительной степени снижает адгезионную связь между компонентами исходной смеси) при 150–200 °С;
- перемешивание связующего и наполнителя до однородного состояния во всем объеме;

- поэтапное брикетирование рабочей смеси в экструдере для получения компактной заготовки (оптимальное давление на данном этапе около 50 МПа);
- при отсутствии нагревательных элементов по периметру цилиндра необходим нагрев смеси с оснасткой в муфельной печи при температуре 250 °С в течение 1 ч;
- формирование изделия (экструзия).

В случае недостаточной температуры нагрева, давления брикетирования, превышения оптимальной скорости экструзии или изменения некоторых других параметров количество годных изделий резко уменьшается, существенно увеличивается количество дефектов (появление поверхностных трещин вплоть до деструкции изделия на выходе из фильеры, больших температурных деформаций, вспучивания и т.д., рис. 2, 3).



Рис. 2. Экструдированное изделие с поверхностными дефектами



Рис. 3. Деструкция изделия на выходе из фильеры

Изучение структуры полученных изделий показало, что вне зависимости от дисперсности компонентов и их соотношения в прутках и трубках образуются дискретные слоистые элементы в виде усеченного конуса, поочередно вставленные друг в друга в направлении экструзии. Данные геометрические особенности, возникающие при формировании структуры изделия, в нашем случае можно считать макродефектами [8].

По ГОСТ 4651–82 [9] из экструдированных изделий были подготовлены образцы для испытаний на сжатие. Испытание проводили на испытательной машине МИ-40КУ с постоянной скоростью 1 мм/мин. В процессе испытания таких образцов выявляется особенность разрушения, выраженная в том, что происходит отслоение внешнего слоя образца находящегося в контакте с подвижной траверсой машины. Внешний слой раскрывается, образуя трещины идут в направлении деформации по границам образований в слоях конусообразного элемента, деформированных под углом в процессе экструзии (рис. 4, 5).



Рис. 4. Отслоение внешнего слоя образца



Рис. 5. Сформированный конусообразный элемент после разрушения

Внутренний слой этой же части образца также имеет вид усеченного конуса. Оставшаяся часть образца (под зоной разрушения) остается целой. Исходя из этого, следует считать напряжение поэлементно, т.е. после каждого отслоения конусообразных элементов, по формуле [9]

$$\sigma = \frac{P}{S_{\text{бок}}} = \frac{P}{\pi dh},$$

где d – диаметр образца; h – высота конусообразного элемента.

Поэлементный расчет более информативен, так как показывает истинные локальные напряжения по слоям образований в исследуемом материале

и демонстрирует равномерность распределения напряжений по образцу, если элементы равнонапряжены, или показывает слабые места в изделии, которые следует учесть, изучая причину ослабления прочности этого участка.

В ходе испытаний были получены прочностные и упругие характеристики композита: предел прочности на сжатие 30–40 МПа, модуль Юнга $E \approx 1100 \dots 1300$ МПа (в зависимости от количественного содержания связующего), рис. 6.

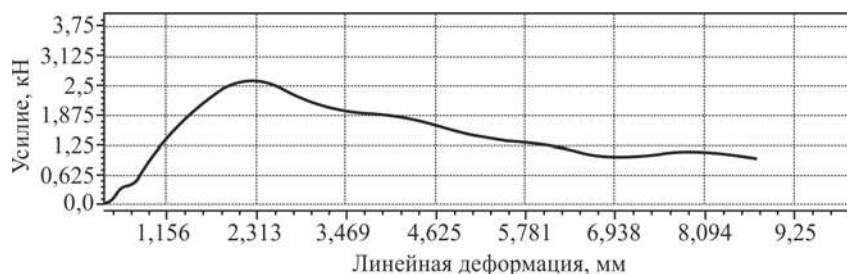


Рис. 6. Зависимость линейной деформации от усилия нагружения при испытании на сжатие экструдированных образцов (содержание ПА 11 50 %)

Таким образом, определены параметры технологического процесса, который позволяет методом экструзии получать изделия из полимерных композиционных материалов на основе ТРГ и ПА 11, имеющие различную плотность, физико-механические характеристики, структуру и т.д. Рассмотрена особенность механизма разрушения исследуемых образцов. Полученные результаты послужат основой для дальнейшего изучения структуры, прочностных и упругих характеристик, механизма разрушения изделий из полимерных композиционных материалов на основе ТРГ.

Список литературы

1. Технология и аппаратное оформление процесса производства уплотнительных материалов из терморасширенного графита / О.Ю. Исаев, Д.В. Смирнов, В.П. Лепихин, М.Ю. Белова, С.М. Колесова // Конструкции из композиционных материалов. – 2006. – № 4. – С. 76–79.
2. Модифицированные уплотнения из терморасширенного графита / М.Ю. Белова, И.А. Малкова, А.С. Кольшкин, О.Ю. Исаев, Т.М. Кузинова // Арматуростроение. – 2006. – № 3 (42). – С. 69–73.
3. Соловьев Ю.В. Особенности монтажа и эксплуатации уплотнений из ТРГ в трубопроводной арматуре // Арматуростроение. – 2005. – № 7 (39). – С. 50–52.
4. Белова М.Ю. От «черного мела» к уплотнениям из ТРГ // Арматуростроение. – 2008. – № 1 (52). – С. 36–43.

5. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М.Л. Кербер [и др.]; под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.

6. Технические свойства полимерных материалов: учеб.-справ. пособие / В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Панيماتченко, Ю.В. Крыжановская. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Профессия, 2007. – 240 с.

7. Нестеров А.А., Москалев В.А., Макарова Л.Е. Получение полимерных композиционных материалов с ТРГ-наполнителем методом экструзии // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Машиностроение, материаловедение. – 2012. – Т. 14, № 2. – С. 37–40.

8. Разрушение / под ред. Г. Либовица – М.: МИР, 1976. – Т. 7, ч. 1. – 641 с.

9. ГОСТ 4651–82. Пластические массы. Метод испытания на сжатие. – М.: Изд-во стандартов, 1998.

Получено 15.02.2013

Матыгуллина Елена Вячеславовна – доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: sirotenko@pstu.ru).

Макарова Луиза Евгеньевна – ведущий инженер, Пермский национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: makarova.l.e@yandex.ru).

Нестеров Александр Александрович – старший преподаватель, Пермский национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: pstutmk-03@rambler.ru).

Matygullina Elena Vyacheslavovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: sirotenko@pstu.ru).

Makarova Louiza Evgenyevna – Chief Engineer, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: makarova.l.e@yandex.ru).

Nesterov Aleksandr Aleksandrovich – Senior Lecturer, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: pstutmk-03@rambler.ru).