

сти ламелей в виде поперечных полос, отражающих концентрации деформаций. Расстояние между полосами концентрации деформаций равно половине ширины образца. Увеличение нагрузки привело к нарушению адгезионного слоя и дальнейшему его разрушению. В результате этого деформации поверхностей ламелей снизились и после отрыва от стальной поверхности стабилизировались.

На рисунке 4 отчетливо видны остаточные деформации стальных пластин по плоскости контакта ламелей с поверхностью со стальными пластинами и в зоне контакта короткой стороны ламелей со стальными пластинами.

Заключение. Экспериментальные исследования деформации растяжения слоистого композита металл/клей/углеволокно позволили выявить локализацию деформации в разных местах на поверхности слоистого композита. Установлено, что с ростом степени деформации происходит эволюция локализации деформации от хаотической до упорядоченно-волновой с характерными размерами волны.

Список литературы

1. П.О. Марушак, С.В. Панин, А.З. Студент, Б.Б. Овечкин. Масштабные уровни деформации и разрушения теплостойких сталей. // Томск: ТПУ. 2013. - 236 с.
2. В.Е. Панин, Ю.В. Гриняев, Т.Ф. Елсукова, А.Г. Иванчин. Структурные уровни деформации твердых тел. // Известие ВУЗов. Физика. – 1982. – № 6. – С. 5–27.
3. В.С. Иванова Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов. М.: Наука., 1992. – 453 с.
4. В.П. Алехин Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов. Наука, Москва, 1983.

МЕХАНИЧЕСКИЕ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.М. ЛЕБЕДЕВ, О.С. ГЕФЛЕ, Е.Т. АМИТОВ
Томский политехнический университет
E-mail: lsm70@mail.ru

MECHANICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF NEW ELECTRICALLY CONDUCTIVE POLYMER MATERIALS

S.M. LEBEDEV, O.S. GEFLE, E.T. AMITOV
Tomsk Polytechnic University
E-mail: lsm70@mail.ru

Abstract. New electrically conductive polymer composites (CPC) filled with carbon black and single-walled carbon nanotubes were studied in this work. A small quantity of single-walled carbon nanotubes in carbon black/polymer composites significantly modifies mechanical and rheological properties of CPCs.

Введение. Уменьшение содержания электропроводящего наполнителя в электропроводящих полимерных композициях (ЭПК), которым, как правило, является технический углерод (сажа), очень важно с точки зрения переработки таких материалов с помощью традиционных методов экструзии или литья под давлением. В данной работе для уменьшения содержания сажи в электропроводящих композициях линейный полиэтилен низкой плотности/сажа (ЛПЭНП/С) мы применили способ

модификации механических и реологических свойств небольшим количеством одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ). Действительно, для снижения удельного сопротивления электропроводящих композиций в полимерном материале должна быть сформирована объемная сетка (segregated network) из частиц проводящего наполнителя [1-3]. В традиционных проводящих полимерных материалах такая объемная проводящая сеть формируется из наноразмерных частиц сажи, содержание которой в ЭПК варьируется от 20 до 40 вес.%. Добавка небольшого количества ОУНТ позволяет уменьшить концентрацию сажи, за счет того, что ОУНТ играют роль своеобразных мостиков, соединяющих отдельные агрегаты основного наполнителя – сажи.

Методика эксперимента

Определение основных физико-механических свойств ЭПК производилось в соответствии с ГОСТ 11262-80 (ИСО R527) с помощью универсальной разрывной машины Instron 3345. Для всех композиций были получены зависимости нагрузка-деформация, из которых были определены предел прочности при растяжении σ_p , относительное удлинение при растяжении Δl , модуль Юнга E_c и предел эластичности при растяжении σ_y . Начальная длина образцов составляла 40 мм, а скорость перемещения зажима машины составляла 50 мм/мин. Для каждой композиции было испытано по десять образцов.

Показатель текучести расплава (ПТР) был определен для всех ЭПК с помощью универсального измерителя ПТР марки MF20 (Instron Ceast) со стандартным соплом диаметром 2,09 мм и длиной 8 мм. При испытаниях нагрузка была постоянной и составляла 2,16 кг при температуре 190°C согласно стандарту ИСО 1133.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены зависимости относительного удлинения и модуля Юнга для композиций ЛПЭНП/С и ЛПЭНП/С/ОУНТ от содержания сажи. Видно, что удлинение при растяжении резко уменьшается при увеличении содержания сажи, что свидетельствует о том, что материалы становятся более хрупкими за счет присутствия наполнителя, который препятствует движению полимерных цепей, делая их более жесткими. Значения удлинения для этих композиций практически не отличаются друг от друга.

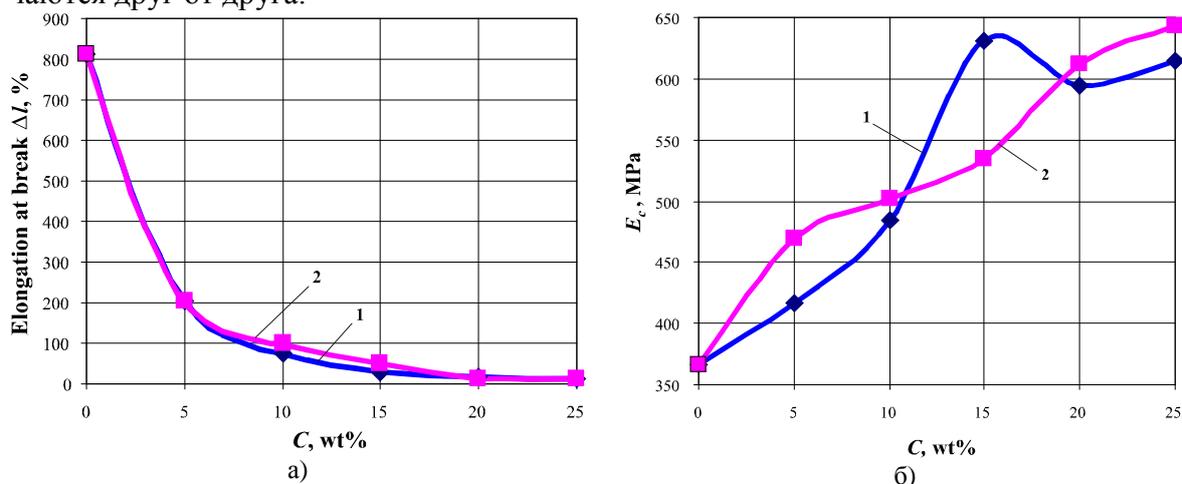


Рисунок 1 – а) удлинение при растяжении; б) модуль Юнга в зависимости от содержания сажи в композициях: 1– ЛПЭНП/С/ОУНТ при 0,1 вес.% ОУНТ; 2– ЛПЭНП/С

В то же время модуль Юнга значительно увеличивается с 366 МПа для полимерной матрицы до 630 МПа и 643 МПа для композиций ЛПЭНП/С/ОУНТ и ЛПЭНП/С соответственно. Для модуля Юнга наблюдается максимум при 15 вес.% сажи. Аналогичное поведение E_c было обнаружено в [4] для композиций на основе эпоксидной смолы, наполненной многостенными (МУНТ), и в [5] для композиций ЛПЭНП/МУНТ. В последней работе нелинейное поведение E_c при увеличении содержания МУНТ связывалось с двумя синергетическими эффектами: наличием МУНТ и повышением кристалличности полимерных композиций.

На рис. 2 для сравнения показано изменение удлинения при растяжении для композиций ЛПЭНП/ОУНТ и ЛПЭНП/С. Видно, что обе зависимости имеют нелинейный характер при увеличении степени наполнения. Необходимо отметить, что значение Δl для композиции ЛПЭНП/УНТ при 0,1 вес.% ОУНТ примерно равно таковому для композиции ЛПЭНП/С при 5 вес.% сажи ($\Delta l = 193\%$ и 205%), тогда как для композиции ЛПЭНП/ОУНТ при 3,0 вес.% ОУНТ оно равно таковому для композиции ЛПЭНП/С при 20 вес.% сажи ($\Delta l = 12,7\%$ and $12,5\%$). Таким образом, небольшое количество УНТ значительно снижает удлинение при растяжении композиций, а значение Δl соизмеримо с таковым для композиций ЛПЭНП/С при больших содержаниях сажи. Резкое снижение Δl с увеличением содержания ОУНТ может быть обусловлено разрушением на границе раздела полимерной матрицы и агрегатов ОУНТ.

Зависимости механических свойств композиций ЛПЭНП/УНТ от содержания ОУНТ представлены на рис. 3. Хорошо видно, что Δl уменьшается с ростом содержания ОУНТ, с той лишь разницей, что удлинение практически не зависит от содержания ОУНТ для композиций при больших содержаниях сажи (10 вес.% и 15 вес.%). То есть, Δl для этих композиций зависит только от содержания сажи.

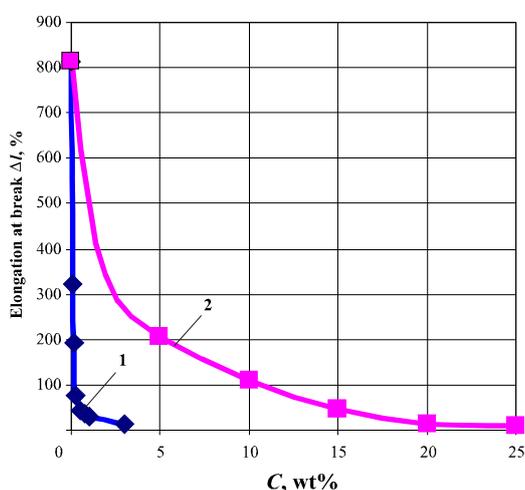


Рисунок 2 – удлинение при растяжении в зависимости от содержания наполнителя: 1 – для композиций ЛПЭНП/ОУНТ; 2 – для композиций ЛПЭНП/С

На рис. 3б показаны изменения предела эластичности для композиций ЛПЭНП/ОУНТ при изменении содержания ОУНТ.

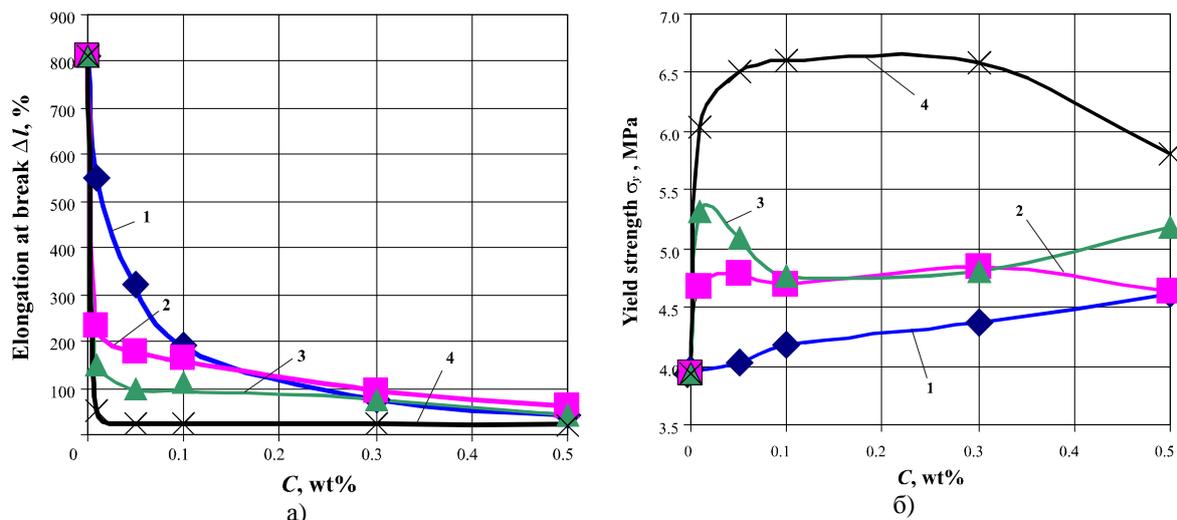


Рисунок 3 – а) удлинение при растяжении; б) предел эластичности как функции от содержания ОУНТ для композиций ЛПЭНП/С/ОУНТ при различном содержании сажи: 1 – 0 вес.%; 2 – 5 вес.%; 3 – 10 вес.%; 4 – 15 вес.%

Более сложное поведение предела эластичности для этих композиций при низких содержаниях ОУНТ обусловлено усиливающим эффектом за счет присутствия ОУНТ. При высоких содержаниях сажи в композициях эффект обусловлен только содержанием сажи. Необходимо также отметить, что аналогичное поведение σ_y было обнаружено в [5] для композиций ЛПЭНП/МУНТ.

На рис. 4 показаны изменения реологических свойств композиций ЛПЭНП/ОУНТ и ЛПЭНП/С. Видно, что ПТР для композиции ЛПЭНП/ОУНТ при 0,5 вес.% ОУНТ соизмерим с таковым для композиции ЛПЭНП/С при 10 вес.% сажи. То есть, небольшое количество ОУНТ приводит к резкому уменьшению ПТР композиций.

Изменение ПТР от содержания ОУНТ для композиций ЛПЭНП/С/ОУНТ при 15 вес.% сажи показано на рис. 5. Видно, что ПТР для этих композиций при 0,01-0,1 вес.% ОУНТ практически равен таковому для композиций ЛПЭНП/С при 15 вес.% сажи (см. рис. 4).

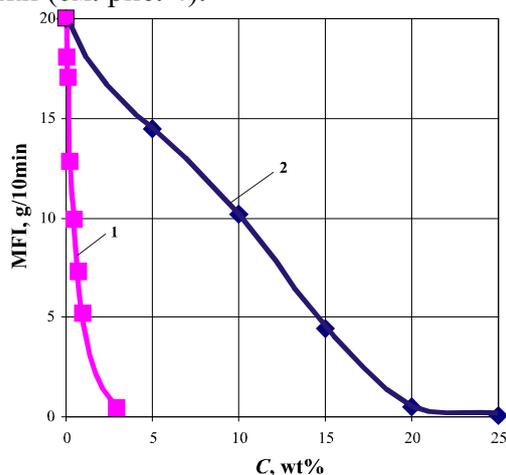


Рисунок 4 – зависимость ПТР от содержания наполнителя: 1 – для ЛПЭНП/ОУНТ; 2 – для ЛПЭНП/С

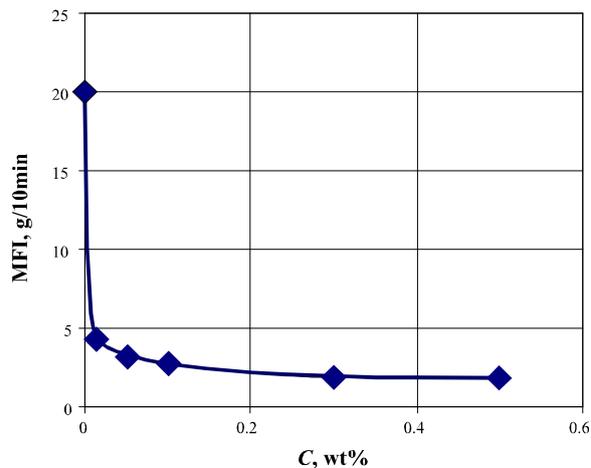


Рисунок 5 – зависимость ПТР от содержания ОУНТ для композиций ЛПЭНП/С/ОУНТ при 15 вес.% сажи

Таким образом, можно констатировать, что тройные композиции ЛПЭНП/С/ОУНТ с низким содержанием ОУНТ имеют ПТР, изменяющийся от 4,5 г/10мин до 2,0 г/10мин, что вполне достаточно для их переработки экструзией или литьем под давлением.

Список литературы

1. R.P. Kusy. Influence of particle size ratio on the continuity of aggregates. J. Appl. Phys., 1977, Vol. 48, P. 5301–5305.
2. S.M. Miriyala, Y.S. Kim, L. Liu, J.C. Grunlan. Segregated network of carbon black in poly(vinyl acetate) latex: Influence of clay on the electrical and mechanical behavior. Marcomol. Chem. Phys., 2008, Vol. 209, P. 2399–2409.
3. Y. Xi, A. Yamanaka, Y. Bin, M. Matsuo. Electrical properties of segregated ultra-high molecular weight polyethylene/multiwalled carbon nanotube composites. J. Appl. Polym. Sci., 2007, Vol. 105, P. 2868–2876.
4. F. Vahedi, H.R. Shahverdi, M.M. Shokrieh, M. Esmkhani. Effects of carbon nanotube content on the mechanical and electrical properties of epoxy-based composites. New Carbon Mater., 2014, Vol. 29, P. 419–425.
5. G. Gorrasi, M. Sarno, A. Di Bartolomeo, D. Sannino, P. Ciambelli, V. Vittoria. Incorporation of carbon nanotubes into polyethylene by high energy ball milling: Morphology and Physical Properties. J. Polym. Sci.: Part B: Polym. Phys., 2007, Vol. 45, P. 597–606.

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Г.С. БОЖЕНКОВА, А.П. САМОЧЕРНОВА, Р.В. АШИРОВ, А.А. ЛЯПКОВ

Томский политехнический университет

E-mail: bozhenkova@sibmail.com

NEW CONSTRUCTION POLYMERIC MATERIALS WITH IMPROVED PERFORMANCE

G.S. BOZHENKOVA, A.P. SAMOCHERNOVA, R.V. ASHIROV, A.A. LYAPKOV

Tomsk Polytechnic University

E-mail: bozhenkova@sibmail.com

Annotation. It was studied the influence of exo, exo-N,N'-ethylene-di(norbornene-2,3-dicarboximide) (exo-C2D) on the physical and mechanical properties of the polymer obtained from a mixture of exo,exo-and endo,endo-dimethyl esters norbornene-2,3-dicarboxylic acid. . It was found that exo-C2D can be used as a modifying agent in ROMP and result in an increase of the physical and mechanical properties of the polymer such as tensile modulus and flexural and tensile strength.

Введение. В течение последних лет возрастает интерес к метатезисной полимеризации с раскрытием цикла (ROMP-Ring Opening Metathesis Polymerization) производных норборнена, содержащих функциональные группы, с целью получения полимеров с привлекательными эксплуатационными свойствами [1]. Такие полимеры имеют широкую область применения благодаря их высокой прозрачности, химической стойкости и электрическим свойствам [2]. Применение высокоактивных металл-алкилиденовых инициаторов нового поколения открывает новые возможности в реакциях синтеза полимеров [3, 4]. Появление новых катализаторов позволило