

УДК 535.37:537.312:539.16.04

ПОЛИМЕРНЫЕ ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

^{1,2)} Купчишин А.И., ¹⁾ Таипова Б.Г., ¹⁾ Тронин Б.А., ¹⁾ Шаханов К.Ш.¹⁾ *Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан*²⁾ *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

В работе рассмотрены полимерные изоляционные материалы: полиэтилентерефталатная, полиимидная, фенилоновая. Исследованы их механические свойства. Предложены различные модели разрушения материалов. Установлено, что механические свойства пленок зависят от структуры и условий их синтеза. Глобулярная структура полимеров определяет их хрупкость. Разрушение, как правило, происходит по границам глобул, слабо связанных между собой. Механические воздействия приводят к способности глобулы разворачиваться, а глобулярная структура – переходит в фибриллярную, что приводит к сильным деформациям полимеров. При одноосном нагружении материалов произведен расчет по экспоненциальной модели. Получено хорошее согласие расчетных данных с экспериментальными.

ВВЕДЕНИЕ

Прогрессивное развитие техники требует от физики и химии полимеров растущий спрос на новые типы электроизоляционных материалов [1]. Полимерные пленки занимают промежуточное положение между компактными твердыми телами и дисперсными системами, и их особенностью является определенное соотношение между массой и поверхностью. Фактор, определяющий поведение полимеров – это температура. В результате внутреннего вращения одних групп макромолекул относительно других образуются пространственные изомеры. Регулярность следования поворотных изомеров вдоль цепи формирует как ближний, так и дальний конформационный порядок [2, 3].

Полиимидные пленки (ПИ) используют, в основном, для электроизоляции, т.к. они обладают высокой термостойкостью при длительных сроках эксплуатации и сохраняют пластичность вплоть до температуры термического разложения [4]. Их получают поликонденсацией диангидридов тетракарбоновых кислот и ароматических диаминов по одно- или двухстадийной схеме, что и определяет их величину молекулярной массы. При двухстадийных процессах их электромеханические свойства улучшаются.

Лавсановые полимеры все шире используются в промышленности и в быту. Их прочностные и другие свойства являются достаточно привлекательными для различных целей (к примеру, как электроизоляторы, для изготовления пленок, волокон и т.д.). Свойства ПЭТФ обусловлены особенностями строения лавсанов. Они имеют основное звено вида: $[-O-CH_2-CH_2-O-CO-C_6H_4-CO-]_n$ – это полиэтиленгликольтерефталат или сокращенно ПЭТФ. Полиэфирные волокна в разных странах изготавливаются из продуктов переработки нефти по близкой технологии и имеют разные назначения [5].

Линейный ароматический полиамид – поли-м-фениленизофталамида, $[-HMC_6H_4NHOC_6H_4CO-]_n$ называют фенилоном, который в США известен как «номекс».

Способ получения фенилона – поликонденсация дихлор-ангидрида изофталевого кислоты и м-фенилендиамина в эмульсии или растворе. Он белого цвета, $t_{стеклов.} = 270^\circ C$. Кристаллизуется при нагревании до $340-360^\circ C$, $t_{пл} = 430^\circ C$; молярная масса 20 000–120 000. Растворим в концентрированной серной кислоте, диметилацетамиде и диметилформамиде, содержащих добавки, например LiCl или CaCl₂. Не горит, химически устойчив в кипящей воде, к действию масел, некоторых минеральных и органических кислот, щелочей, радиационно-стоек. Изделия из фенола характеризуются высокой прочностью (при сжатии и изгибе ~ 240 Мн/м², или 2409 кгс/см²) [6].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе были исследованы следующие виды полимерных пленок: полиэтилентерефталатная, полиимидная, фенилоновая. Образцы полимерных диэлектриков проходили механические испытания [7]. Пленки исследовались на растяжение по ГОСТ 14-236-69, при котором определялось разрушающее напряжение и относительное удлинение. Велась автоматическая запись «нагрузка-деформация» для механических испытаний.

Для унификации параметров пленок был изготовлен специальный разрезной станок, обеспечивающий высокое качество изготовления кромки пленки, а специальная система зажимов обеспечивала действие силовых нагрузок вплоть до разрывных. Совокупность применяемых методов и оборудования позволили обеспечить небольшую погрешность измерений (5 %) и хорошую воспроизводимость опытов.

Исследуемые образцы представляли собой полоски шириной 10, рабочей длиной 50 мм, толщиной 100 мкм для ПЭТФ, ПИ и фенилона – 50 мкм.

Механические испытания проводились на разрывной машине типа РМУ-0,05-1 со скоростью раздвижения зажимов $36,09 \pm 0,05$ мм/мин. Пленочные образцы испытывались на одноосное растяжение при нормальных условиях вплоть до разрыва (при $T = 20 \pm 2^\circ C$, относительной влажности воздуха $(45 \pm 5)\%$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В таблице представлены зависимости относительного удлинения от напряжения и расчетные данные, полученные по предложенной экспоненциальной модели, для исследованных полимерных пленок.

Таблица. Зависимость относительного удлинения от напряжения для различных материалов

Материал	$\varepsilon_{\text{эксп}}, \%$	$\sigma_{\text{эксп}}, \text{МПа}$	$\sigma_{\text{расч}}, \text{МПа}$
ПЭТФ	104,6	141,12	142,8
Фенилон	50	44,1	43,3
ПИ	30,2	166,6	165,2

Как видно из таблицы, наиболее прочная из трех пленок – полиимидная при относительном удлинении (ε) 30 %. По деформационным характеристикам – лучше полиэтилентерефталатная пленка с $\varepsilon = 104,6 \%$. Промежуточное положение по деформационным характеристикам занимает фенилоновая пленка с относительным удлинением порядка 50 %, но с наименьшими показаниями прочности $\sigma = 44 \text{ МПа}$. Из всех исследованных пленок полиэтилентерефталатная обладает лучшими механическими свойствами. В зависимости от применения пленок стоит отметить, что по прочностным характеристикам (σ) – лучшая полиимидная, по деформационным (ε) – полиэтилентерефталатная.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галыгин В.Е., Баронин Г.С., Таров В.П., Завражин Д.О. Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 180 с.
2. Зуев В.В., Успенская М.В., Олехнович А.О. Физика и химия полимеров/ Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 45 с.
3. Волькенштейн М.В. Конфигурационная статистика полимерных цепей. – М.: Изд.АН СССР, 1959. – 466 с.
4. Кудайкулова С.К., Искаков Р.М., Кравцова В.Д., Умерзакова М.Б., Abadie M., Жубанов Б.А. и др. Полимеры специального назначения. – Алматы, 2006. – 310 с.
5. Уайт Дж.Л., Чой Д.Д. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины. – СПб.: Профессия, 2006. – 368 с.
6. Абакумова Н.М., Гудимов М.М., Финогенов Г.Н., Андреева Г.Г., Михеев С.А. Физико-механические свойства ароматических полиамидов марки фенилон// Электронная версия доступна по адресу: www.viam.ru/public.
7. Шах В. Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения / пер. с англ. под ред. А.Я. Малкина. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 732 с.
8. Kupchishin A.I., Taipova B.G., Kupchishin A.A., at all. Catastrophic models of materials destruction // IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. 110. 012037. – 2016. – P. 1–5.
9. Kupchishin A.I., Taipova B.G., Voronova N.A. Study of the influence of filler on the mechanical properties of composites based on polyimide// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 168 012015. – 2017. – P. 1–4.

Механические свойства полимеров связаны с их структурой. Структурные неоднородности, обусловленные наличием в них областей с различной степенью разупорядоченности и дефектности, определяют неравномерность напряжений и перенапряжений на отдельных участках и ответственны за зарождение трещин. Глобулярная структура полимеров определяет их хрупкость и разрушение, которые, как правило, происходят по границам глобул, слабо связанных между собой. При механических воздействиях глобулы имеют способность разворачиваться, а глобулярная структура – переходить в фибриллярную, что приводит к сильным деформациям полимеров [3].

В работах [8, 9] были предложены различные модели разрушения полимерных материалов. Расчет производился по экспоненциальной модели. Получено хорошее согласие расчетных данных с экспериментальными.

Выводы

Механические свойства полимерных материалов сильно зависят от структуры и условий их синтеза. Наилучшими прочностно-деформационными свойствами обладают полиэтилентерефталатная и полиимидная пленки.

Проведен расчет по экспоненциальной модели при одноосном нагружении материалов. Получено хорошее согласие расчетных данных с экспериментальными.

ПОЛИМЕРЛІ ОҚШАУЛАҒЫШ МАТЕРИАЛДАР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

^{1,2)} А.И. Купчишин, ¹⁾ Б.Г. Таипова, ¹⁾ Б.А. Тронин, ¹⁾ К.Ш. Шаханов

¹⁾ *Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан*

²⁾ *ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан*

Жұмыс барысында полиэтилентерефталат, полиимид, фенилон полимерлік оқшаулау материалдары зерттелді. Олардың механикалық қасиеттері зерттелді. Материалдарды бұзудың түрлі үлгілері ұсынылды. Пленкалардың механикалық қасиеттері олардың синтезінің құрылымы мен шарттарына байланысты екені анықталды. Полимерлердің глобулярлық құрылымы олардың иілгіш екенін анықтайды. Қирау, әдетте, бір-бірімен әлсіз байланысқан глобул шекаралары бойынша жүреді. Механикалық әсер ету глобуланың иілу қабілетіне әкеледі, ал глобулярлық құрылым-фибриллярға өтеді, бұл полимерлердің қатты деформациясына әкеледі. Материалдарды бір осьтік жүктеу кезінде экспоненциалды модель бойынша есеп жүргізілді. Есептік деректердің эксперименталдық мәліметтермен сәйкестігі алынды.

POLYMER INSULATING MATERIALS AND THEIR MECHANICAL PROPERTIES

^{1,2)} A.I. Kupchishin, ¹⁾ B.G. Taipova, ¹⁾ B.A. Tronin, ¹⁾ K.Sh. Shakhanov

¹⁾ *Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan*

²⁾ *Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan*

The paper discusses polymeric insulating materials: polyethyleneterephthalate, polyimide, phenylone. Their mechanical properties are investigated. Various models of materials destruction are proposed. It was established that the mechanical properties of the films depend on the structure and conditions of their synthesis. The globular structure of polymers determines their fragility. The destruction, as a rule, occurs along the boundaries of globules weakly interconnected. Mechanical influences lead to the ability of the globule to unfold, and the globular structure becomes fibrillar, which leads to severe deformations of polymers. In the case of uniaxial loading of materials, an exponential model was calculated. A good agreement between the calculated and experimental data was obtained.