

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА СВОЙСТВА УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Представлены результаты исследования влияния излучения на свойства полимерных упаковочных материалов и использования экспресс-метода фотодеформаций для прогнозирования их долговечности и прочностных свойств.

The results of a study of the influence of radiation on the properties of polymer packaging materials and the use of the express photodeformation method to predict their durability and strength properties are presented.

Ключевые слова: полимерные упаковочные материалы; долговечность; ультрафиолетовое излучение; фотодеформационный эффект.

Key words: polymer packaging materials; durability; ultraviolet radiation; photodeformation effect.

В современных условиях упаковка товара становится едва ли не единственным средством непосредственной коммуникации с потребителем. Она играет роль носителя информации о ценности продукта и является одним из наиболее важных и очевидных способов создания дифференциации между продуктами [1].

С совершенствованием технологии получения упаковочных материалов расширяются и функции упаковки. Упаковка должна не только сохранять свойства упакованной продукции и способствовать улучшению товарного вида, но и быть экологически безопасной.

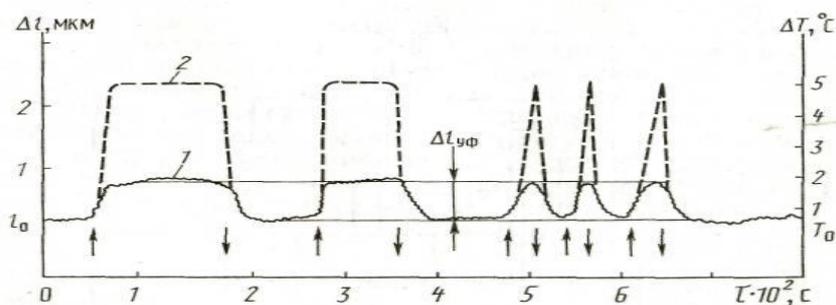
Одной из причин широкого использования полимерных материалов для упаковки пищевых продуктов являются их высокие прочностные свойства, долговечность и стабильность в различных условиях эксплуатации. Важность прогнозирования стабильности функциональных свойств этих материалов диктуется требованиями гарантии их применения в условиях воздействия ультрафиолетового облучения, тепловых и силовых полей, влажности, различных сред, в том числе агрессивных, и других факторов.

Изучение фотоупругих свойств полимерных упаковочных материалов является необходимым для прогнозирования их долговечности в различных условиях при интегральном и дифференциальном воздействии различных факторов. Например, целенаправленное исследование фоторелаксационных процессов в пленках позволит получить новые закономерности взаимодействия ультрафиолетового (УФ) излучения с поверхностными слоями твердых тел различной природы, какими являются и пищевые продукты, и разработать способы защиты их от преждевременной порчи.

В качестве модельных объектов исследований при изучении деформации пленок из полимерных материалов при одновременном воздействии УФ-излучения и одноосного растяжения в области малых напряжений и упругих деформаций, когда УФ-облучение оказывает существенное влияние на долговечность материалов, были выбраны полимерные пленки из полиэтилена, поливинилбутирала, фторопласта, пентапласта, полиметилметакрилата, поликарбоната и поливинилхлорида. Эти полимеры наиболее часто используют для изготовления упаковочных материалов как однослойных, так и комбинированных. Деформацию измеряли с помощью прибора, снабженного лампой УФ-излучения ДРТ-400 12, при диапазоне длин электромагнитных волн 240–320 нм [2].

Результаты многочисленных измерений деформации пленок из поликарбоната при УФ-облучении показали, что при воздействии последнего они удлиняются на некоторую величину $\Delta l_{\text{УФ}}$ и уменьшаются на ту же величину после прекращения его воздействия. В дальнейшем при отсутствии облучения размеры пленок остаются постоянными, если приложенные растягивающие нагрузки не создают в пленках напряжений, превышающих предел пропорциональности. При многократном периодическом воздействии УФ-излучения процесс повторяется (рисунок).

Деформация пленки из поликарбоната при периодическом УФ-облучении



Примечания:

1. Направление стрелок: вниз – облучение выключено, вверх – включено.
2. Условные обозначения: 1 – деформация пленки; 2 – повышение температуры, обусловленное генерируемым в пленке теплом.

Как видно из рисунка (кривая 2), наряду с деформацией наблюдается изменение температуры в образцах. Для оценки рассеивания энергии излучения в образце и превращения ее в тепловую энергию одновременно с термопарой, вплавленной в образец, подвергали воздействию УФ-облучения термопару, которая находилась в свободном состоянии, помещая ее перед образцом, и сравнивали их показания.

При сопоставлении величин удлинения пленки от воздействия УФ-облучения ($\Delta l_{\text{УФ}}$) с термическим удлинением ($\Delta l_{\text{ИК}}$), возникающим при нагревании пленки до адекватной температуры с помощью ИК-излучателя, обнаружено, что у пленок всех исследованных материалов наблюдается различие абсолютных значений $\Delta l_{\text{УФ}}$ и $\Delta l_{\text{ИК}}$, зависящее от природы материала, его химической и физической структур (таблица).

Деформация пленок из разных материалов при УФ- и ИК-облучении

Материал	Толщина пленки, мкм	Напряжение растяжения, МПа	Повышение температуры в образце, °C	Величина деформации, мкм/град		
				$\Delta l_{\text{ИК}}$	$\Delta l_{\text{УФ}}$	δ
Полиэтилен низкого давления	200	3,00	3,0	3,00	2,25	0,75
Полиэтилен высокого давления	200	1,00	7,5	3,56	2,90	0,66
Поливинилбутираль	130	1,00	5,5	1,65	1,58	0,07
Фторопласт-4	150	2,30	3,0	0,94	0,78	0,16
Поликарбонат	160	4,45	6,5	0,84	0,77	0,07
Пентапласт	200	4,75	4,5	1,84	1,35	0,29
Полиметилметакрилат	200	2,50	3,8	1,49	0,96	0,52
Поливинилхлорид	600	0,23	4,7	1,60	1,49	0,11

Из данных таблицы следует, что при периодическом действии УФ-излучения на полимерные пленки под нагрузкой наблюдаются обратимые деформации, обусловленные изменением температуры в образцах. Деформации удлинения полимерных пленок, нагреваемых до одной и той же температуры, меньше при облучении в УФ-диапазоне, чем в ИК. Разница между удлинениями полимерных пленок в случае УФ- и ИК-облучений при адекватной температуре не зависит от величины напряжения одноосного растяжения. Существенная разница между $\Delta l_{\text{УФ}}$ и $\Delta l_{\text{ИК}}$ свидетельствует о том, что в полимерных материалах действие УФ-излучения препятствует расширению материала, при этом появляется эффект уплотнения (сжатия) материала в микрообъемах. Абсолютное значение обратимых микродеформаций для полимерного материала сохраняется постоянным в широком интервале упругих деформаций растяжения.

Замеченное явление в твердых телах под действием УФ-излучения названо фотодеформационным эффектом [2].

При возникновении фотодеформационного эффекта воздействие УФ-излучения вызывает в твердом теле появление напряжений сжатия, тормозящих свободное расширение тела и обуславливающих сдвиговые деформации в микрообъемах твердого тела. В полимерных материалах в соответствии с принципом Франка – Кондона переход в другое электронное состояние молекулы приводит к нарушению ее равновесной конформации и изменению колебательной

энергии. Эти процессы являются причиной неодинаковой устойчивости к воздействию УФ-излучения полимеров с одной химической структурой, но с разной упаковкой элементов надмолекулярной структуры и конформационной энергией цепей.

После определенного для каждого полимерного материала времени воздействия УФ-излучения возникают необратимые деформации, наблюдается ползучесть материала. Вследствие происходящих процессов сжатия-растяжения наблюдаются усталостные явления, накапливаются необратимые деформации, проявляясь в виде локальной пластической деформации. В пластической зоне деформации наблюдается значительная анизотропия свойств материала (резко выражен оптический дихроизм, изменяется ориентация кристаллических элементов, подвижность и конформация молекул). Такие области представляют собой наиболее дефектные места, в них зарождаются и развиваются трещины.

Факт выявления фотодеформационного эффекта, обусловленного УФ-излучением, позволил проанализировать процессы разрушения материалов и изучить кинетику зарождения дефектов и развития трещин. Обнаружено, что при действии на полимеры в твердом состоянии УФ-излучения даже с небольшой интенсивностью (2 Вт/см^2) температура в поверхностных слоях возрастает на $3\text{--}7 \text{ }^\circ\text{C}$.

Тепловое расширение и изменение электронного состояния молекул, вызванные фотодеформационным эффектом, приводят к нарушению равновесных конформаций и варьированию колебательной энергии макромолекул.

Оценка энергетического состояния деформированных молекулярных связей при возбуждении и дезактивации молекул показала, что в локальных объемах материала под действием УФ-излучения возникают напряжения сжатия. Происходит уплотнение материала, что подтверждается уменьшением межплоскостных расстояний кристаллических элементов. Создаются зоны с напряжениями различного знака (сжатие в одних, растяжение в других), проявляются перенапряжения на проходных цепях полимера. Уплотнение материала в кристаллических зонах обуславливает возникновение сдвиговых деформаций, развитие прямолинейных дефектов дислокационного характера.

Анализ результатов исследований позволяет сделать вывод об определяющем влиянии деформационно-реологических процессов в начальный период зарождения трещин в полимере под действием УФ-излучения, при перепаде температур, знакопеременных силовых нагрузках. Кинетика процесса разрушения полимерных пленочных материалов свидетельствует о том, что чем больше диапазон деформации (Δl), тем меньше долговечность пленок при хранении и эксплуатации.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что с помощью метода фотодеформаций, оценивая упругие свойства твердых тел, можно прогнозировать долговечность полимерных пленок и разработать методы защиты упаковочных материалов, подвергающихся воздействию факторов окружающей среды [3–5].

Список использованной литературы

1. **Попов, Н.** Как сделать конкурентное преимущество из упаковки? [Электронный ресурс] / Н. Попов // Advertology – наука о рекламе. – Режим доступа: <http://www.advertology.ru/article26300.htm>. – Дата доступа: 01.04.2024.
2. **Ухарцева, И.** Долговечность полимерных материалов. Дифференциальное и интегральное влияние различных факторов / И. Ухарцева, Л. Корецкая. – Германия : LAMBERT Acad. Publ., 2014. – 95 с.
3. **Корецкая, Л. С.** Исследование эксплуатационных свойств полимерных упаковочных материалов для пищевых продуктов / Л. С. Корецкая, И. Ю. Ухарцева // Вестн. Рос. ун-та кооп. – 2012. – № 4 (10). – С. 103–110.
4. **Метод** прогнозирования свойств полимерных материалов в условиях воздействия факторов внешней среды / Л. С. Корецкая [и др.] // Потребит. кооп. – 2011. – № 3 (34). – С. 69–74.
5. **Гладышева, А. Д.** Исследование структуры и свойств полимерных упаковочных материалов [Электронный ресурс] / А. Д. Гладышева, И. Ю. Ухарцева // Молодежь и наука : материалы XII междунар. форума молодых ученых, Гомель, 19 мая 2023 г. / Бел. торгово-экон. ун-т потребит. кооп. ; редкол.: С. Н. Лебедева [и др.]. – Гомель, 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).