

EDN: PYQKOK

УДК 678.742

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КРЕЙЗОВЫХ ЦЕНТРОВ В ПОЛИМЕРАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЛАЗМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

*М.А. Курбанов, И.С. Рамазанова, Г.Х. Гусейнова, У.В. Юсифова,
М.В. Кязимов, А.Ф. Нуралиев, Ф.Ф. Яхьяев*

Институт Физики Министерства Образования и Науки
Азербайджан, пр. Г. Джавида, 33, Баку, Az1143

Аннотация. В работе излагаются результаты исследования по формированию крейзовых центров в полимере (ПЭВП) под действием плазмы электрического разряда при наличии на поверхности образцов дополнительных полимерных диэлектрических барьеров разной толщины (80 мкм, 160 мкм, 240 мкм). Установлено, что в результате увеличения толщин диэлектрических барьеров при плазменной обработке уменьшается вероятность образования крейзовых центров.

Ключевые слова: крейзы, крейзовые центры, плазма электрического разряда, диэлектрический барьер.

Введение

В настоящее время универсальным методом к созданию такого рода инновационных материалов является крейзинг полимеров [1], который представляет собой фундаментальный вид пластической деформации полимеров и тем самым, приводящих к наноструктурированию. Характерной особенностью деформации данного вида является развитие в полимере нанометровой пористости [2]. Морфологически такого рода пористость реализуется путем возникновения и роста особых зон пластически деформированного полимера.

Для однородной обработки полимерного образца в системе МДГДМ используется плазма электрического разряда в воздушной среде между диэлектриками.

Цель данной статьи-влияние наличия дополнительного диэлектрического барьера в системе МДГДМ на образование крейзовых центров в полимерных образцах.

Методика эксперимента

Методика модифицирования полимерной пленки с применением плазмы электрического разряда, ограниченного диэлектрическими барьерами, подробно описана нами в работах [3, 4, 6]. В данной работе использованы дополнительные диэлектрические барьеры (в дальнейшем–ДДБ) разной толщины (80 мкм, 160 мкм, 240 мкм) в схеме ячейки системы МДБГДМ (металл–диэлектрик–барьер–газ–диэлектрик–металл), рис. 1.

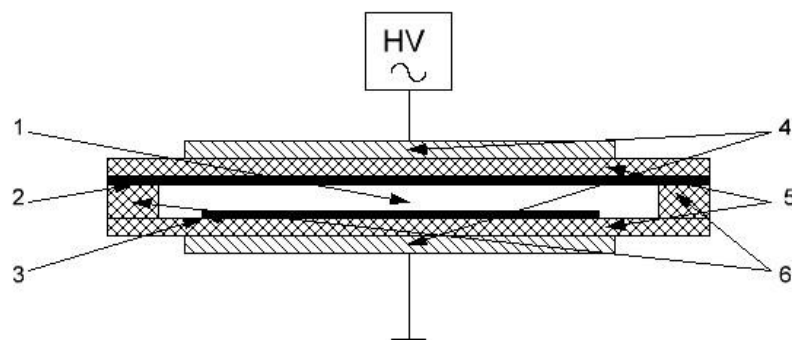


Рис. 1. Схема ячейки МДБГДМ системы: 1 — воздушный зазор, 2 — дополнительный диэлектрический барьер, 3 — полимерная пленка, 4 — металлические электроды, 5 — диэлектрический слой, 6 — регулятор толщины газового промежутка

Ориентационную вытяжку образцов осуществляли в специальной ячейке [3]. В качестве исследуемых образцов были использованы пленки из полиэтилена (ПЭ) длиной 30 мм, шириной 15,5 мм, толщиной 75 мкм. Модифицирование пленок осуществляли электрическим разрядом между двумя диэлектрическими пластинами. Расстояние между пластинами составляет 1 мм. Длительность модифицирования полимеров составляла 1 час. В качестве диэлектрического барьера использовали полиэтиленовые пленки. К электродам (диэлектрический анод и катод) прикладывали синусоидальное электрическое напряжение частотой 50Hz и амплитудой 2–9 kV. Величину эффективной пористости вычисляли по методике, приведенной в работе [5]. Эффективную объемную пористость пленок формировали в технологических режимах [4, 7, 8, 9].

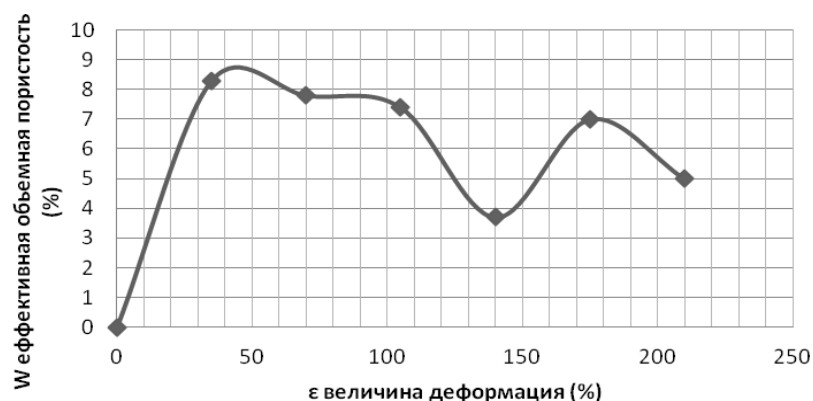
Полученные экспериментальные результаты являются средним значением из 8 опытов.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

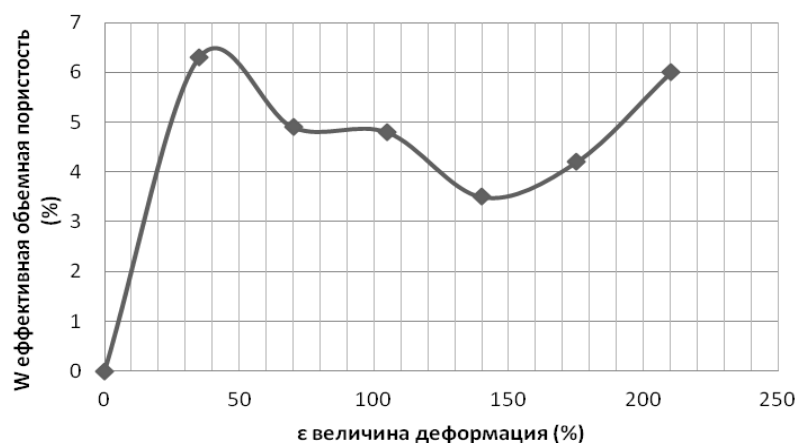
В работе проанализирована зависимость эффективной объемной пористости ПЭВП от величины деформации обработанная плазмой электрического газового разряда при различных значениях толщины дополнительного диэлектрического барьера. Добавление диэлектрического слоя во время действия плазмы электрического разряда приводит к равномерной модификации полимерного образца. Известно, что под воздействием плазмы электрического газового разряда на поверхности образца образуются свободные радикалы. В этих радикалах локализируются кислородные группы, образующиеся в газовом зазоре во время плазмы. Также во время плазменной модификации происходит уменьшение аморфной фазы полимера и увеличение степени кристалличности [6]. Увеличение степени кристалличности существенно влияет на образование крейзовых центров. Добавление дополнительного диэлектрического барьера приводит к уменьшению образования крейзовых центров при условии, что режим плазмы не меняется.

На рисунке 2 (а, б, в) представлена зависимость эффективной объемной пористости ПЭВП от величины деформации, обработанная плазмой электрического газового разряда при различных значениях толщин дополнительного диэлектрического барьера. Здесь толщина дополнительного диэлектрического барьера составляет 80 – 240 мкм. Отсюда следует, что образование эффективных крейзовых центров уменьшается по мере увеличения толщины диэлектрического барьера. Образование крейзовых центров происходит при деформации растяжении до 100-150 % [4]. Дальнейшее увеличение

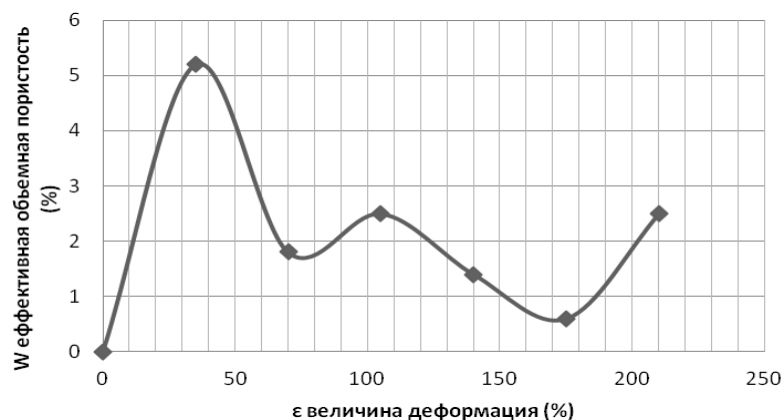
деформации растяжения приводит к уменьшению крейзовых центров, а это в свою очередь приводит к коллапсобразованию. Этот метод можно использовать для получения полимерных нанокомпозитов.



а)



б)



в)

Рис. 2. Зависимость эффективной объемной пористости полиэтилена высокой плотности от величины деформации

а) при толщине дополнительного диэлектрического барьера (ДДБ)-80 мкм,

б) при толщине дополнительного диэлектрического барьера (ДДБ)-160 мкм,

в) при толщине дополнительного диэлектрического барьера (ДДБ)-240 мкм

На рис. 3 показано сравнение зависимостей эффективной объемной пористости от деформации при различных толщинах дополнительного диэлектрического барьера. Отчетливо видно, что с увеличением толщины дополнительного диэлектрического барьера наблюдается уменьшение крейзовых центров. Это уменьшение обусловлено уменьшением интенсивности энергии $h\nu$ при возникновении плазмы в газовом зазоре и уменьшением воздействия на поверхность полимера.

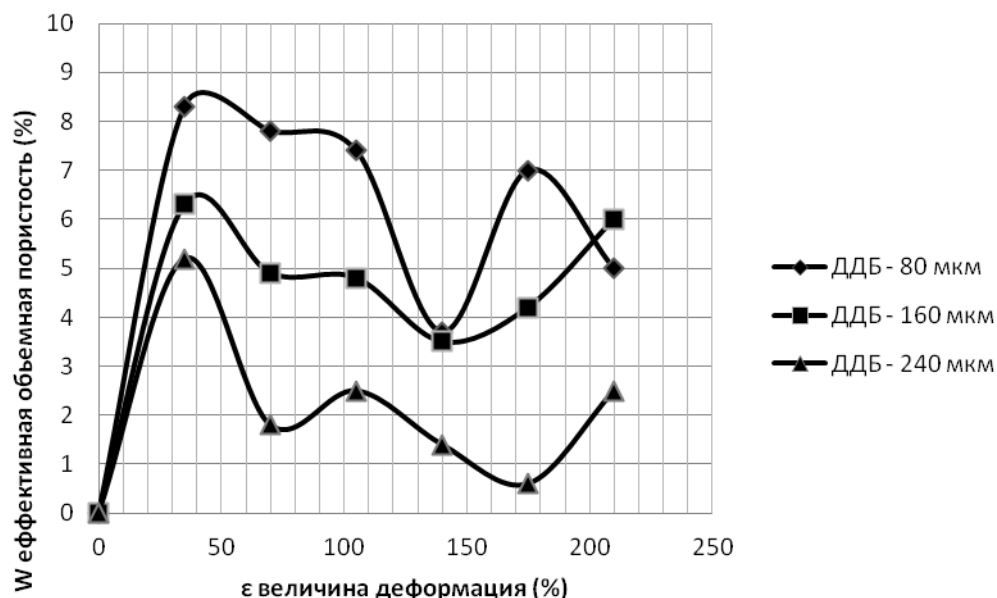


Рис 3. Зависимость эффективной объемной пористости полиэтилена высокой плотности от величины деформации при различных толщинах дополнительного диэлектрического барьера (ДДБ)

Заключение

Из проведенного эксперимента следует, что добавление диэлектрического слоя во время плазменной обработки приводит к равномерному распределению крейзовых центров по всей поверхности полимерного образца. При увеличении толщин дополнительного диэлектрического барьера (ДДБ) в условиях действия плазмы электрического разряда наблюдается уменьшение образования эффективных объемных пор в зависимости от деформации растяжения.

Список литературы

1. Волынский А.А. Структурная самоорганизация аморфных полимеров / А.А. Волынский, Н.Ф. Бакеев. - М.: Физмалит. – 2005. - 232 с.
2. Чвалун С.Н. Полимерные нанокомпозиты / С.Н. Чвалун // Природа. – 2000. - № 7. - С. 22-30.
3. Курбанов М.А. Крейзы в плазмомодифицированных полимерных материалах / М.А. Курбанов, И.С. Рамазанова, В.А. Гольдаде и пр. // Журнал технической физики. – 2020. - том 90. - Вып. 6. - С. 979-981.
4. Курбанов М.А. Создание центров крейзообразования в полимерных пленках под действием плазмы электрического разряда / М.А. Курбанов, В.А. Гольдаде, С.В. Зотов и пр. // Журнал технической физики. - 2018. - том 88. - вып. 7. - С. 995-999.

5. Н.И. Никонорова, Е.С. Трофимчук, Е.В. Семенова, А.Л. Волынский, Н.Ф. Бакеев //ВМС. Серия А. - 2000. - т. 42. - № 8. - С. 1298–1306.
6. Курбанов М.А. Плазменная кристаллизация композитов полимер сегнето-пьезоэлектрическая керамика и их пьезоэлектрические свойства / М.А. Курбанов, И.С. Султанахмедова, Э.А. Керимов и пр. // Физика твердого тела. - 2009. - том 51, вып. 6. - С. 1154 – 1160.
7. Курбанов М.А. Поляризация полиэтилен-терафталатных волокон при крейзинге / М.А. Курбанов, А.Ф. Нуралиев, В.А. Гольдаде и др. // Материалы Технологии Инструменты. - Т. 20. – 2015. - № 1. -С. 82-86.
8. Волынский А.А. Структурная самоорганизация аморфных полимеров / А.А. Волынский, Н.Ф. Бакеев // М.: Физмалит. – 2005. - 232 с.
9. Курбанов М.А. Исследование процессов поляризации-деполяризации в полиэтилен-терефталатных волокнах / М.А. Курбанов, И. С. Рамазанова, А. Ф. Нуралиев // Вестник технологического университета. -2016. - т.19. - №13. - С. 20-27.

FEATURES OF CREASE CENTER FORMATION IN POLYMERS UNDER THE ACTION OF ELECTRIC DISCHARGE PLASMA

*M.A. Kurbanov, I.S. Ramazanova, G.Kh. Guseynova, U.V. Yusifova,
M.V. Kyazimov, A.F. Nuraliev, F.F. Yakhyayev*

Institute of Physics of the Ministry of Education and Science
Azerbaijan, G. Javid Ave, 33, Baku, AZ1143

Abstract. The paper presents the results of a study on the formation of craze centers in a polymer (LDPE) under the action of electric discharge plasma in the presence of additional polymer dielectric barriers of different thicknesses (80 μm , 160 μm , 240 μm) on the surface of the samples. It was found that increasing the thickness of the dielectric barriers during plasma treatment reduces the probability of craze center formation.

Keywords: crazes, craze centers, electric discharge plasma, dielectric barrier.

Материалы представлены на Международной научно-практической конференции «Современные подходы и практические инициативы в инженерных науках» (г. Казань, 2-3 октября 2025 года).

Статья представлена в редакцию 15 августа 2025 г.