ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПЛЕНОК ПОЛИЭТИЛЕНА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В АТМОСФЕРЕ

М.А. Мокеев, М.С. Воробьёв, С.Ю. Дорошкевич, М.С. Торба, Р.А. Картавцов Институт сильноточной электроники СО РАН, пр. Академический 2/3, Томск 634055, Россия, maks_mok@mail.ru

В статье рассмотрена возможность модификации адгезионных свойств пленок полиэтилена электронным пучком в атмосфере с целью производства композиционных материалов. Модификацию проводили на широкоапертурном (750×150 мм) низкоэнергетическом (до 200 кэВ) ускорителе электронов «ДУЭТ» с сеточным плазменным катодом на основе дуги низкого давления и выводом субмиллисекундного пучка большого сечения в атмосферу. Методом исследования краевого угла смачивания определено, что модификация пленок полиэтилена в различных пострадиационных интервалах улучшает адгезионные свойства, а краевой угол был снижен с 101° исходных до 83°. Методом инфракрасной спектроскопии обнаружено формирование кислородосодержащих (С=О, С-О) функциональных групп и увеличение относительной интенсивности полос поглощения, что свидетельствует о химическом изменении структуры поверхности, способствующие улучшению адгезионных свойств.

Ключевые слова: электронный пучок; ускоритель электронов; плазменный катод; полимерные пленки; адгезия; полиэтилен; модификация.

RESEARCH OF ADHESIVE PROPERTIES OF POLYETHYLENE FILMS MODIFIED BY AN ELECTRON BEAM IN THE ATMOSPHERE

M.A. Mokeev, M.S. Vorobyov, S.Yu. Doroshkevich, M.S. Torba, R.A. Kartavtsov Institute of High Current Electronics, SB RAS, 2/3 Akademichesky Ave., 634055 Tomsk, Russia, maks_mok@mail.ru

The article considers the possibility of modifying the adhesive properties of polyethylene films by an electron beam in the atmosphere in order to produce composite materials. The modification was carried out on a wide-aperture $(750\times150 \text{ mm})$ low-energy (up to 200 keV) electron accelerator "DUET" with a grid plasma cathode based on a low-pressure arc and the output of a submillisecond beam of large cross-section into the atmosphere. By the method of investigation of the wetting edge angle, it was determined that the modification of polyethylene films in various radiation intervals improves the adhesive properties, and the edge angle was reduced from 101° of the original to 83°. Infrared spectroscopy revealed the formation of oxygen-containing (C = O, C-O) functional groups and an increase in the relative intensity of the absorption bands, which indicates a chemical change in the structure of the surface, contributing to the improvement of adhesive properties.

Keywords: electron beam; electron accelerator; plasma cathode; polymer films; adhesion; polyethylene; modification.

Введение

Композиционные материалы на основе полимерных пленок находят всё большее применение в промышленности [1], в частности, можно отметить необходимость создания липких лент, которые используются для изоляции трубопроводов [2]. Одной из технических особенностей полимеров является их низкая гидрофильность, что приводит к необходимости принятия дополнительных мер по ее увеличению с

целью улучшения адгезионных свойств поверхности.

Применение новых композиционных материалов в том числе обусловлено разработкой и использованием новых методов и подходов, а в частности, разработкой и созданием нового оборудования для модификации, удовлетворяющего промышленным требованиям (не только по качеству, но и по производительности). Например, для их создания могут использоваться низкоэнергетические ускорители электронов,

позволяющие осуществлять генерацию электронных пучков большого сечения с их выводом в атмосферу [3, 4].

Целью данной работы являлось определение принципиальной возможности модификации пленок полиэтилена (далее ПЭ) низкоэнергетическим (до 200 кэВ) субмиллисекундным электронным пучком большого сечения, выведенным в атмосферу.

Модификацию проводили на модернизированном импульсном широкоапертурном ускорителе электронов «ДУЭТ» с сеточным плазменным катодом и выводом генерируемого пучка большого сечения (15×75 см²) в атмосферу [5]. Принципиальная схема ускорителя приведена на рисунке 1.

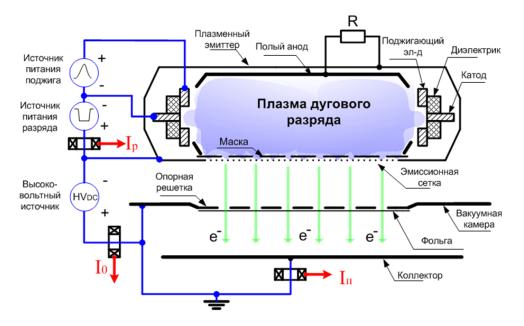


Рис. 1. Принципиальная схема ускорителя "Дуэт"

Модификация пленок полиэтилена толщиной 150 мкм осуществлялась при ускоряющем напряжении 160 кВ, плотности тока пучка в импульсе ≈ 10 мА/см², длительности импульса 100 мкс и частоте следования импульсов 2 с¹. Режимы модификации пленок полиэтилена отличались количеством импульсов: 100, 500 и 1000.

Основная часть

Из литературных данных известно, что модификация пленок полиэтилена в атмосфере приводит к изменению краевого угла смачивания — основного показателя смачиваемости поверхности [6]. Для определения краевого угла смачивания применялся метод "лежащей капли". В качестве жидкости для исследования применялась дистиллированная вода. Резуль-

таты проведенных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. Краевой угол смачивания пленок полиэтилена

Количество им-	Краевой угол сма-
пульсов	чивания, °
0 (исходный поли-	101
этилен)	101
100	92
500	85
1000	83

Полученные результаты свидетельствуют о снижении краевого угла смачивания после модификации, что приводит к улучшению смачиваемости и гидрофильности поверхности. Краевой угол смачивания модифицированной пленки ПЭ по сравнению с исходной уменьшился до 83, что может являться следствием изменения

химического строения поверхности и ее функционализации.

Методом инфракрасной (ИК) спектроскопии было изучено химическое строение поверхности пленок ПЭ, модифицированных электронным пучком в атмосфере [7]. Исследование проведено согласно ГОСТ Р 57941-2017 «Композиты полимерные. Инфракрасная спектроскопия. Качественный анализ» при помощи ИК-спектрометра ALPHA (Bruker, США) с приставкой МНПВО (кристал ZnSe), на оборудовании лаборатории Химии полимеров БИП СО РАН. Результаты исследования представлены на рисунке 2.

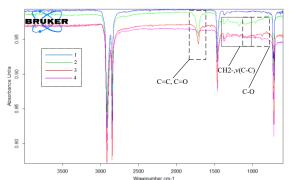


Рис. 2. Инфракрасные спектры пленок полиэтилена: 1-исходный, 2-100 импульсов, 3-500 импульсов, 4-1000 импульсов

При различных пострадиационных интервалах на поверхности модифицированных пленок ПЭ наблюдается формирование новых функциональных групп: в области 1700-1650 см⁻¹ групп C=С и C=O; в области 1300-1100 см-1 отмечены колебания, вызванные формирование СН2- и v(C-C) групп, в области 1200-1000 см⁻¹ – валентные колебания С-О-групп, указывающие на окисление и функционализацию поверхности. При увеличении количества импульсов разряда наблюдается увеличение относительной интенсивности полос поглощения, что может свидетельствовать об увеличении концентрации углерода (С) и кислорода (О) относительно водорода (Н), находящимся в составе исходной пленки ПЭ.

Заключение

На основании проведенных исследований было установлено, что модификация пленок полиэтилена электронным пучком в атмосфере обеспечивает образование кислородосодержащих функциональных групп (C-O; C=O), способствующих улучшению адгезионных свойств и смачиваемости. Это открывает новые дополнительные возможности использования ускорителей электронов в промышленности, обеспечивая не только удовлетворительное качество поверхности обрабатываемого изделия, но и удовлетворительную производительность радиационного электронно-пучкового процесса облучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Проект № 20-79-10015-П).

Библиографические ссылки

- 1. Власенко Ф.С., Раскутин А.Е. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях. *Труды ВИАМ* 2013; (8): 4-13.
- 2. Заикин А.Е., Софьина С.Ю., Стоянов О.В. Полимерные ленты с клеевым слоем для антикоррозионой изоляции трубопроводов. Вестик Казанского технологического университета 2010; (6): 98-112.
- 3. Бугаев С.П., Крейндель Ю.Е., Щанин П.М. Электронные пучки большого сечения. М:: Энергоатомиздат, 1984. 112 с.
- 4. Коваль Н.Н., Окс Е.М., Протасов Ю.С., Семашко Н.Н. Эмиссионная электроника. М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 596 с.
- 5. Воробьёв М.С., Коваль Н.Н., Сулакшин С.А. Источник электронов с многоапертурным плазменным эмиттером и выводом пучка в атмосферу. *ПТЭ* 2015; (5): 112-120.
- 6. Ананьев В.В., Перетокин Т.Н., Заиков Г.Е., Софьина С.Ю. Модификация адгезионных свойств полимерных пленок обработкой коронным разрядом. Вестинк Казанского технологического университета 2014: 17(5): 116-119.
- 7. Наканиси К. Инфракрасная спектроскопия и строение органических соединений. М.: Мир. 1965. 216 с.