

Список литературы

- 1 Врублевская В. И., Невзорова А. Б., Врублевский В. Б. Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них. – Гомель: БелГУТ, 2000. – 324 с.
- 2 Врублевская В. И., Невзорова А. Б., Врублевский В. Б. Износостойкие подшипники на основе природного полимера // Вузовская наука и промышленность: международное сотрудничество. Ч. 1: Материалы II междунар. науч.-практ. конф. Минск 14–16 октября 1998 г. – Минск, 1998. – С. 79–83.
- 3 Калиткин Н. Н. Численные методы. – М.: Наука, 1978. – 512 с.
- 4 Скурихин В. И., Шифрин В. Б., Дубровский В. В. Математическое моделирование. – К.: Техніка, 1983. – 270 с.
- 5 Грубов В. И. Математическое моделирование непрерывных технологических процессов. – К.: Вища школа, 1971. – 175 с.
- 6 Круг Г. В., Сосулин Ю. А., Фатуев В. А. Планирование эксперимента в задачах идентификации. – М.: Наука, 1977. – 207 с.
- 7 Кунц Р. С. Численный анализ. – К.: Техніка, 1964. – 390 с.
- 8 Дьяконов В. MATLAB: учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. – 560 с.
- 9 Бобровский С. Delphi 6 и Kylix: библиотека программиста. – СПб.: Питер, 2002. – 560 с.

Получено 30.10.2003

V. I. Vrublevskaja, K. M. Sidorenko, V. G. Khvoryhin, A. B. Nevzorova The use of mathematical modeling for forecasting of friction units tribotechnical properties with bearings on the basis of wood

The problem of forecasting of friction units tribotechnical properties is considered. Methods of friction regimes mathematical models.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2003. № 2(7)

УДК 621.315.592

О. А. САРКИСОВ, ассистент; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель.

МОРФОЛОГИЯ И АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК, ОБРАБОТАННЫХ В БАРЬЕРНОМ РАЗРЯДЕ

Исследована кинетика морфологических изменений, адсорбционных и адгезионных свойств поверхности полиимидной пленки в зависимости от дозы обработки в барьерном разряде. Показано, что обработка в плазме барьерного разряда существенно влияет на морфологию и адсорбционные свойства поверхности полиимида, приводит к увеличению адгезионной прочности сварного соединения полиимид-фторопласт (ПИ–ФТ). Предложен механизм активации полиимидно-фторопластовой пленки в плазме барьерного разряда.

При обработке полимерного материала в плазме электрических разрядов под действием высокоэнергетичных частиц, ионов и электронов, жесткого ультрафиолетового излучения в поверхностных слоях протекают сложные физико-химические процессы [1, 2], характер влияния которых на активационный эффект изучен недостаточно. В частности, в работах [3, 4] отмечено, что повышение адсорбционной активности обработанных в плазме тлеющего разряда полимеров в первую очередь обусловлено образованием в поверхностных слоях электретных структур. Известны данные о значительном влиянии процессов деструкции, сшивки, окисления, травления, протекающих при плазменной обработке, на структуру и свойства поверхностных слоев [5].

Комплексное, неоднозначное влияние этих процессов на свойства конкретного полимера определяет необходимость проведения в каждом отдельном случае экспериментальных исследований, на основании результатов которых можно выбрать и обосновать наиболее эффективный метод обработки поверхности, оптимизировать его технологические режимы.

Основной целью данной работы являлось изучение влияния воздействия барьерного разряда на изменение структуры и свойств поверхности полиимидно-фторопластовой пленки (ПМФ-351), установление зависимости кинетики изменения адгезионной прочности сварного соединения ПИ–ФТ от дозы обработки полиимидной пленки.

Методика исследования. Исследуемый материал представлял собой двухслойную полиимидно-фторопластовую пленку ПМФ-351 общей толщиной 50 ± 6 мкм (ПИ – 40 мкм, покрытие сополимера тетрафторэтилена с гексафторпропиленом – 10 мкм).

Обработка пленки производилась в плазме барьерного разряда при атмосферном давлении на установке мощностью 300 Вт, с линейной зоной обработки шириной 300 мм. Схема установки приведена на рисунке 1.

Об адгезионных свойствах пленок судили по величине адгезионной прочности сварного соединения ПИ–ФТ, которую измеряли методом нормального отрыва на разрывной машине РМП-2. Сварное соединение получали путем выдержки пленок в течение 45 секунд между плитами пресса при температуре 350 °С и удельном давлении $0,24$ Н/см².

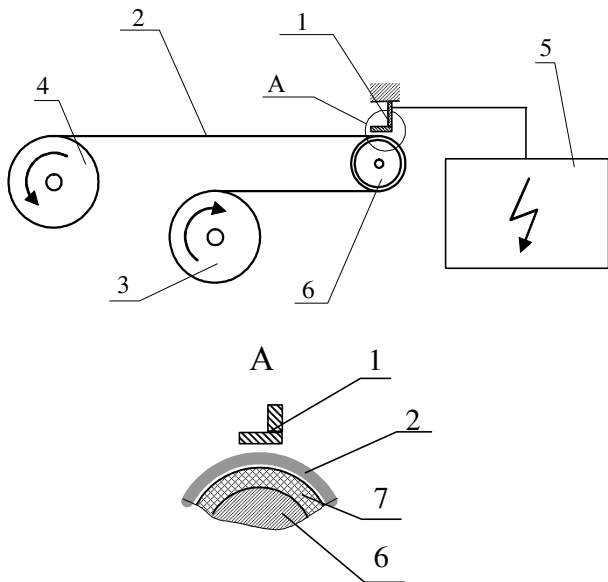


Рисунок 1 – Схема установки для обработки пленки в барьерном разряде: 1 – электрод; 2 – пленка; 3 – подающий барабан; 4 – приемный барабан; 5 – высоковольтный генератор; 6 – заземленный электрод; 7 – диэлектрическое покрытие

Исследования морфологии поверхности обработанных пленок проводили методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) с использованием измерительного комплекса "НАНОТОП-203". Сканирование производилось в режиме "tapping mode". Поверхностная энергия подложек, ее дисперсионная и полярная составляющие определялась на основании результатов измерений краевого угла смачивания поверхности образцов бидистиллятом воды (полярная) и диметилсульфоксидом (неполярная) по методу Фокса [6].

Результаты, полученные в этой работе, показывают, что барьерный разряд по характеру влияния на структуру поверхностных слоев является весьма эффективным при обработке поверхности полимеров. В частности, исследование пленки методом атомно-силовой микроскопии показало, что обработка разрядом в течение нескольких секунд приводит к существенным морфологическим изменениям (рисунок 2).

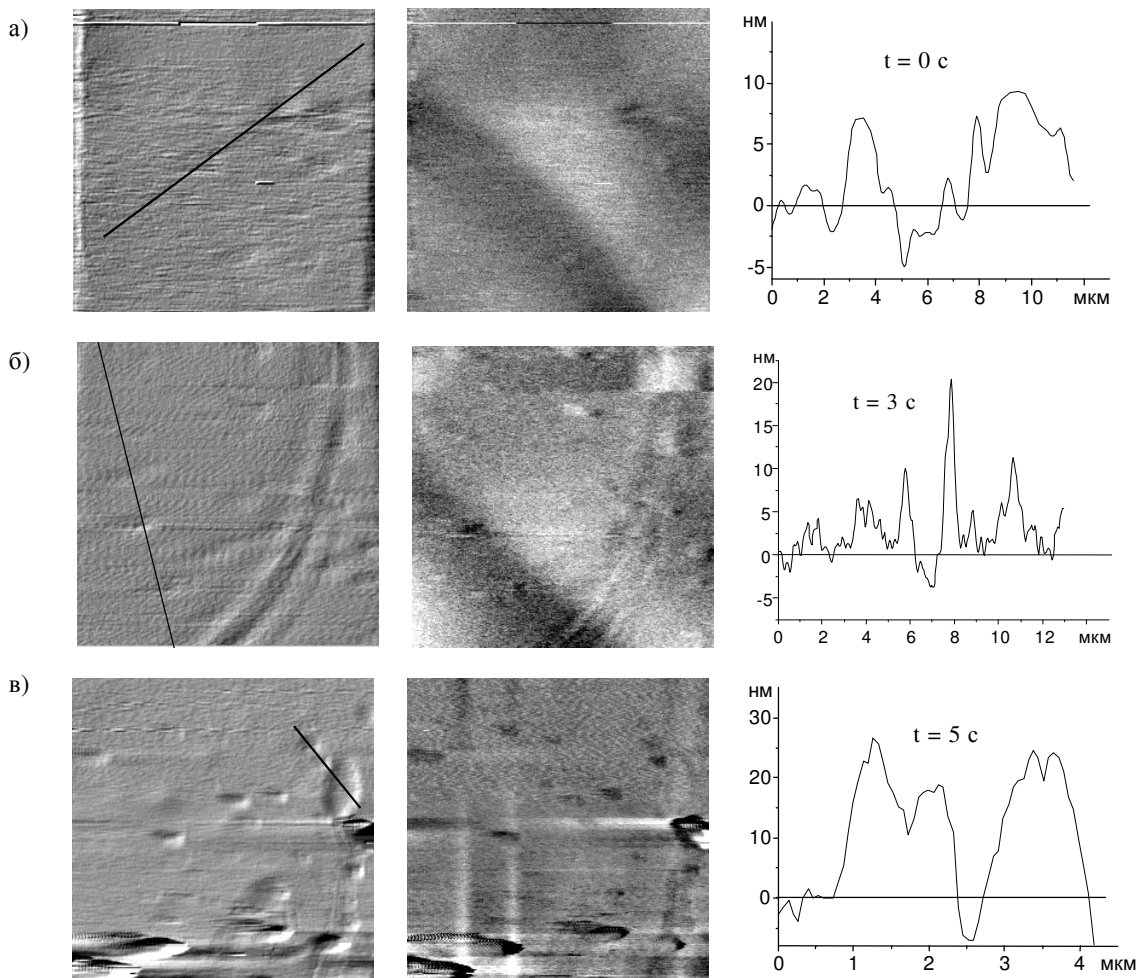


Рисунок 2 – АСМ-изображение поверхности полиимидной пленки: а – исходной, б – обработанной в плазме барьерного разряда, время обработки 3 с, в – 5 с (продолжение на с.61)

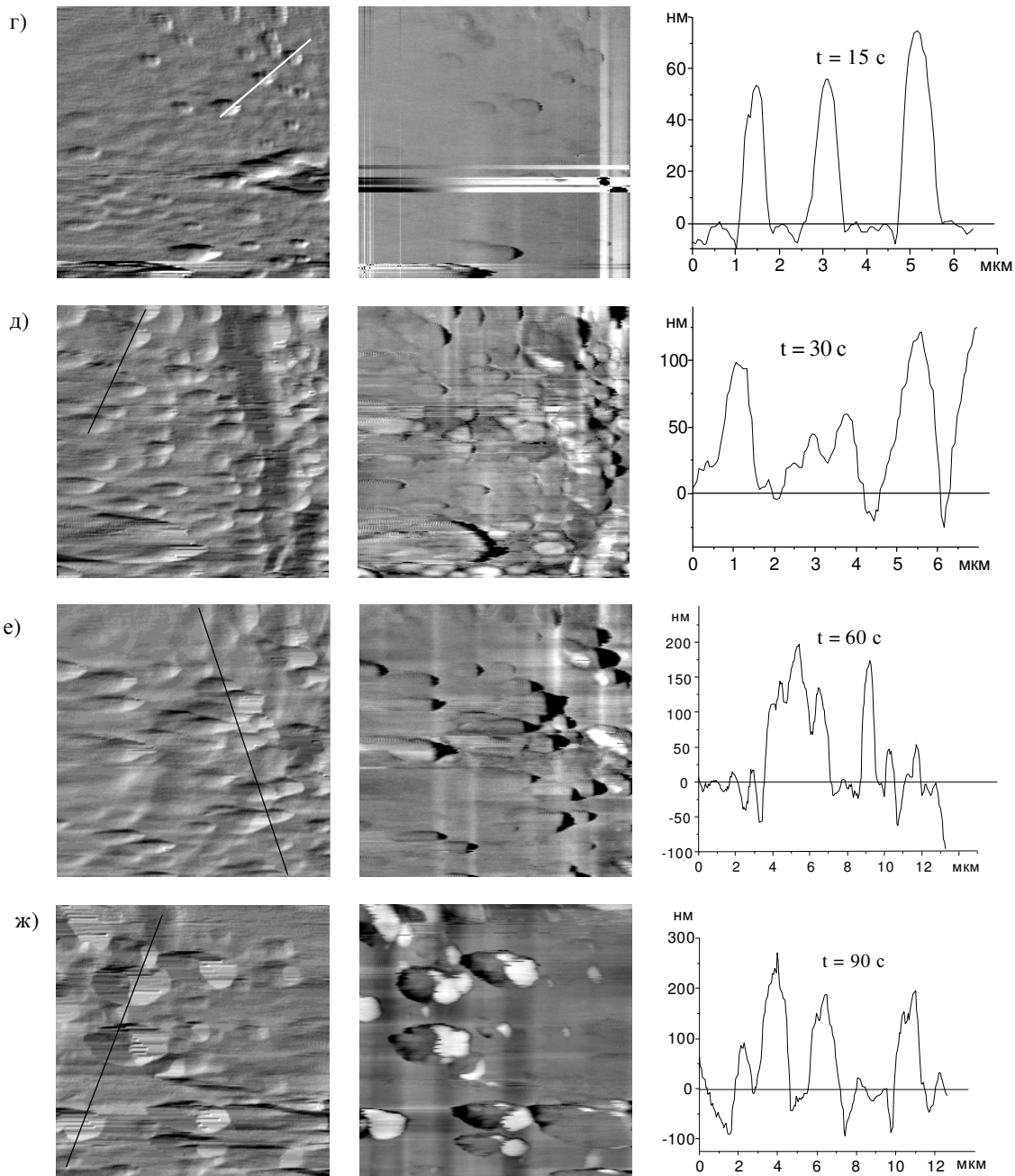


Рисунок 2 – АСМ-изображение поверхности полиимидной пленки (окончание): *г* – обработанной в плазме барьерного разряда, время обработки 15 с, *д* – 30 с, *е* – 60 с, *ж* – 90 с. Слева – топография поверхности, справа – изображение в режиме фазового контраста и профиль сечения соответственно. Размер скана $12,6 \times 12,6$ мкм

Как видно из приведенных АСМ-изображений, уже на начальных этапах обработки (1–3 секунды) на поверхности полиимида формируются структуры травления с характерным диаметром в основании около 2 мкм и высотой до 20 нм, что свидетельствует о селективном механизме разрушения полиимида. С последующим увеличением времени обработки (дозы обработки) глубина зон травления возрастает (рисунок 3, кривая 1).

Зависимость адгезионной прочности сварного соединения ПИ–ФТ от дозы обработки пленки ПИ в плазме барьерного разряда неоднозначна; она описывается кривой с максимумом, имеющим ме-

сто при дозе обработки $0,028$ МДж/м² (рисунок 3, кривая 2). При последующем увеличении дозы обработки значение адгезионной прочности снижается и стабилизируется. Такой вид зависимости можно объяснить следующим образом: в начальный момент времени (область I) в результате комплексного воздействия заряженных частиц, ультрафиолетового излучения на поверхность полимера происходит удаление остатков растворителя, низкомолекулярных фракций, продуктов деструкции (как правило, низкомолекулярные фракции легко мигрируют из поверхности в объем и обратно, образуя весьма неустойчивые адгезионные связи). В по-

верхностном слое пленки со временем происходит частичная деструкция макромолекул, накопление дефектов, возникновение и рост числа перекисных радикалов ($R-O-O$), $C=O$ -групп и других кислородосодержащих активных групп, что объясняется воздействием сильного окислителя – молекул озона, генерирующихся разрядом в воздухе. Также в слое могут присутствовать другие ненасыщенные соединения (NO_2 , NO_3), возникающие в результате разрушения имидных циклов [7].

Подтверждением увеличения концентрации на поверхности полярных групп является рост полярной составляющей поверхностной энергии (рисунок 4). При этом, в момент времени обработки, соответствующий максимальному значению адгезии, не происходит травление поверхности, уменьшение массы материала. Данный вывод сделан на основании данных, представленных на рисунке 5 и анализа результатов, полученных методом АСМ (см. рисунок 3, кривая 1).

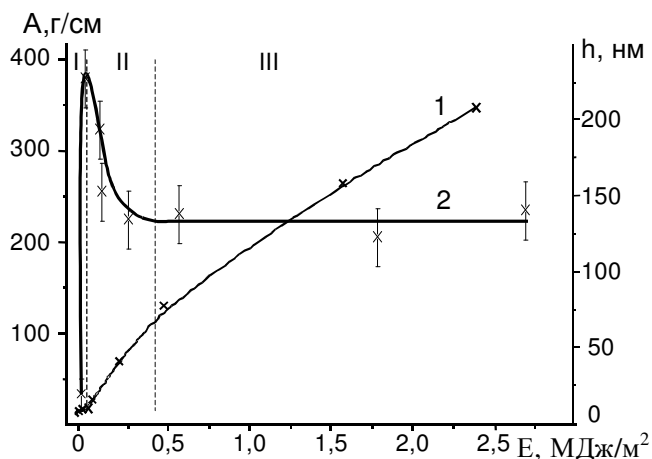


Рисунок 3 – Зависимость средней глубины зон травления на поверхности ПИ (1), адгезионной прочности соединения ПИ–ФТ от дозы обработки пленки ПМФ-351 со стороны полиимида в барьерном разряде (2)

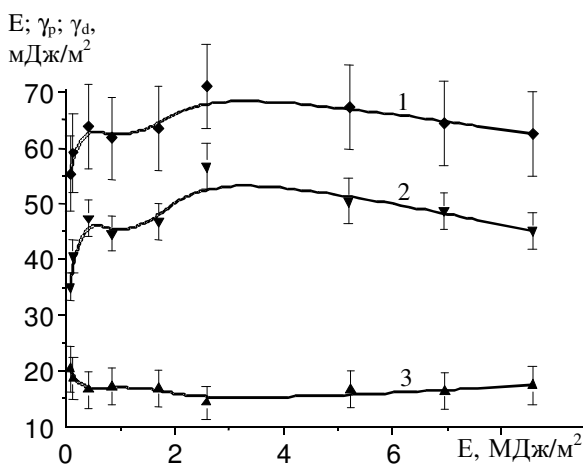


Рисунок 4 – Зависимость поверхностной энергии (1), ее полярной (2) и дисперсионной (3) составляющих от дозы (времени) обработки пленки ПМФ-351 со стороны полиимида в барьерном разряде

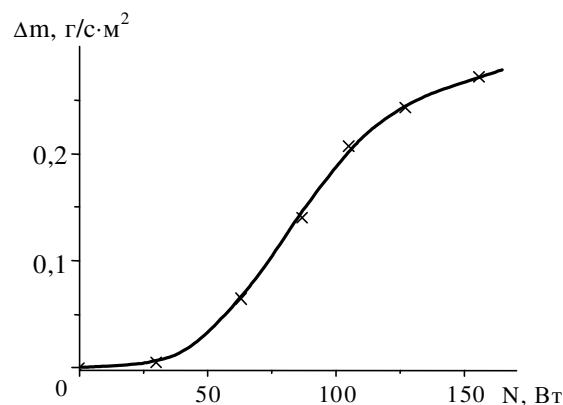


Рисунок 5 – Зависимость изменения скорости изменения массы пленки полиимида от мощности обработки

Величина неровностей на поверхности исходной пленки и обработанной в течение трех секунд примерно одинакова, также в течение этого времени дисперсионная составляющая (см. рисунок 4, кривая 3), зависящая от шероховатости поверхности, практически не меняется. Далее (область II) в поверхностных слоях интенсифицируются процессы окисления (полярная составляющая поверхностной энергии растет) и травления. Увеличивается глубина зон травления с 10 до 60 нм. В результате на поверхности образуется модифицированный слой, имеющий относительно низкую когезионную прочность, о чем свидетельствует снижение адгезионной прочности. При дальнейшей обработке (область III) скорость травления стабилизируется, что соответствует и стабилизации адгезионной прочности.

В результате проведенных исследований изучено влияние воздействия барьерного разряда на изменение структуры и свойств поверхности полиимидно-фторопластовой пленки (ПМФ-351). Получены зависимости кинетики изменения адгезионной прочности сварного соединения ПИ–ФТ от дозы обработки полиимидной пленки. Установлено, что увеличение адгезионной прочности сварного соединения ПИ–ФТ происходит в результате удаления с поверхности низкомолекулярных загрязнений и возникновения на поверхности активных полярных групп. Показано, что для полиимида характерно критическое значение дозы обработки ($0,028 \text{ МДж/м}^2$), при повышении которой адгезионная прочность сварного соединения снижается в результате образования на поверхности модифицированного слоя с низкой когезионной прочностью.

Список литературы

- 1 Липин Ю. В., Рогачев А. В., Сидорский С. С., Харитонов В. В. Технология вакуумной металлизации полимерных материалов. – Гомель: БИТА, 1994.
- 2 Ивановский Г. Ф., Петров В. И. Ионно-плазменная обработка материалов. – М.: Радио и связь, 1986.
- 3 Сидорский С. С., Рогачев А. В. Совершенствование технологии активационной обработки полимеров при их ва-

куумной металлизации // Физика и технология тонкопленочных материалов: Сб. науч. ст. – Гомель: БелГУТ, 1994. – С. 11–15.

4 Драчев А. И., Гильман А. Б., Кузнецов А. А. Образование избыточного заряда в полиимидно-фторопластовой пленке под действием тлеющего разряда и его перераспределение через межфазную границу // Полиматериалы–2001: Материалы МНТК. – М., 2001. – С. 103–105.

5 Бердичевский М. Г., Марусин В. В. Нанесение покры-

тий, травление и модифицирование полимеров с использованием низкоэнтальпийной неравновесной плазмы. – Новосибирск: Институт теплофизики, 1993.

6 Пугачевич П. П., Бегларов Э. М., Лавыгин И. А. Поверхностные явления в полимерах. – М.: Химия, 1982.

7 R. Seebock, H. Esrom, M. Charbonnier and M. Romand. Modification of Polyimide in Barrier Discharge Air-Plasmas: Chemical and Morphological Effects // Plasmas and Polymers 2000, Vol. 5, No. 2. P. 103–118.

Получено 14.10.2003

O.A. Sarkisov. Morphology and the adhesiveness properties of the polymeric films handled in the barrier discharge.

The kinetics of morphological changes, the adsorption and adhesiveness properties of a surface of a polyimide film depending on a dose of processing in the barrier discharge are explored. It is shown, that processing in plasma of the barrier discharge essentially influences morphology and the adsorption properties of a surface of polyimide (PI), gives polyimide - fluoroplastic in magnification of an adhesion strength of a welded joint. The mechanism of activation polyimide - fluoroplastic a film in plasma of the barrier discharge is offered.