Физико-математические науки / Physical and mathematical sciences
1.3.8. Физика конденсированного состояния

УДК 620.186 DOI: 10.69537/VKNIIRAN.2025.22.3.012

ИЗМЕНЕНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

© Акаева Маднат Магомедовна (a, b)

(a) Чечнский государственный университет им. А.А. Кадырова
(b) Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова

Аннотация. Методом сканирующего электронного микроскопа исследованы изменения морфологии поверхности образцов полибутилентерефталата до и после ведержки в жидких агрессивных средах. Показано, что водный раствор серной кислоты приводит к повышению степени неоднородности поверхности образцов полибутилентерефталата и оказывает наиболее деградирующее воздействие по сравнению с гидроксидом натрия.

Ключевые слова: Мрфология поверхности, агрессивня среда, полибутилентерефталат, полимер, пластичность.

CHANGES IN THE SURFACE MORPHOLOGY OF POLYBUTYLENE TEREPHTHALATE IN AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

© Akaeva Madnat Magomedovna (a, b)

(a) Kadyrov Chechen State University
(b) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences

Abstract. The scanning electron microscope method was used to study changes in the surface morphology of polybutylene terephthalate samples before and after exposure to liquid aggressive environments. It was shown that an aqueous solution of sulfuric acid leads to an increase in the degree of heterogeneity of the surface of polybutylene terephthalate samples and has the most degrading effect compared to sodium hydroxide.

Key words: Surface morphology, aggressive environment, polybutylene terephthalate, polymer, plasticity.

Полибутилентерефталат (ПБТ) с химической формулой (C12H12O4) n – кристаллизующийся полимер, относящийся к сложным насыщенным полиэфирам.

Благодаря сочетанию физико-химических, механических, диэлектрических свойств и высокой скорости кристаллизации ПБТ в последние годы заметно расширилась сфера практического применения, а также композитов на его основе в различных областях промышленности и, прежде всего, в машиностроении, радиотехнической и электронной промышленности. Мировые производственные мощности ПБТ составляют свыше 1,1 млн тонн в год и сосредоточены в Европе, США и в азиатских странах — в первую очередь в Китае, Японии и Тайване. В маркетинговом исследовании ПБТ Market ожидается, что рынок будет расти с темпом 5,2 % в год и к 2033 г. достигнет 4,6 млрд долларов. По этой причине было проведено множество работ по исследованию физических свойств и поверхности композитных материалов в процессе экспонирования в различных агрессивных средах с использованием различных методов. Как известно, полимеры характеризуются низкой поверхностной энергией, для улучшения контактных свойств поверхности полимеров применяют различные методы модификации поверхности [1,2].

В работе исследована стойкость поверхности образцов ПБТ к действию химических сред [7]. Изменение морфологии поверхности ПБТ в агрессивных средах представляет собой сложный процесс, обусловленный взаимодействием химических, физико-химических и структурных факторов. При экспонировании ПБТ в растворах кислот и щелочей при повышенных температурах наблюдается гидролитическая деструкция эфирных связей макромолекул, что приводит к снижению молекулярной массы и нарушению кристалличности материала [3]. Это сопровождается увеличением доли аморфных областей, что подтверждается ослаблением дифракционных пиков на рентгенограммах, а также снижением термической стабильности, выявляемой методами ДСК [3]. Агрессивные среды индуцируют процессы сорбции полярных молекул в межфазные области, что нарушает когезионные взаимодействия и усиливает релаксационные процессы. Это проявляется в образовании микротрещин, кратерообразных дефектов и локальных зон набухания, что подтверждено данными сканирующей электронной микроскопии [1]. Динамика изменения диэлектрических характеристик свидетельствует о перераспределении свободного объема в поверхностных слоях при длительном контакте с реактивами [1,4]. Таким образом, морфологическая трансформация ПБТ в агрессивных средах определяется конкурентными процессами деструкции и рекристаллизации, чья кинетика зависит от pH среды, ионной силы и температуры.

Морфологию поверхности образцов определяли перед погружением и после извлечения из, поверхность образцов выдержанных в воде (рисунок 3) вовсе без изменений.

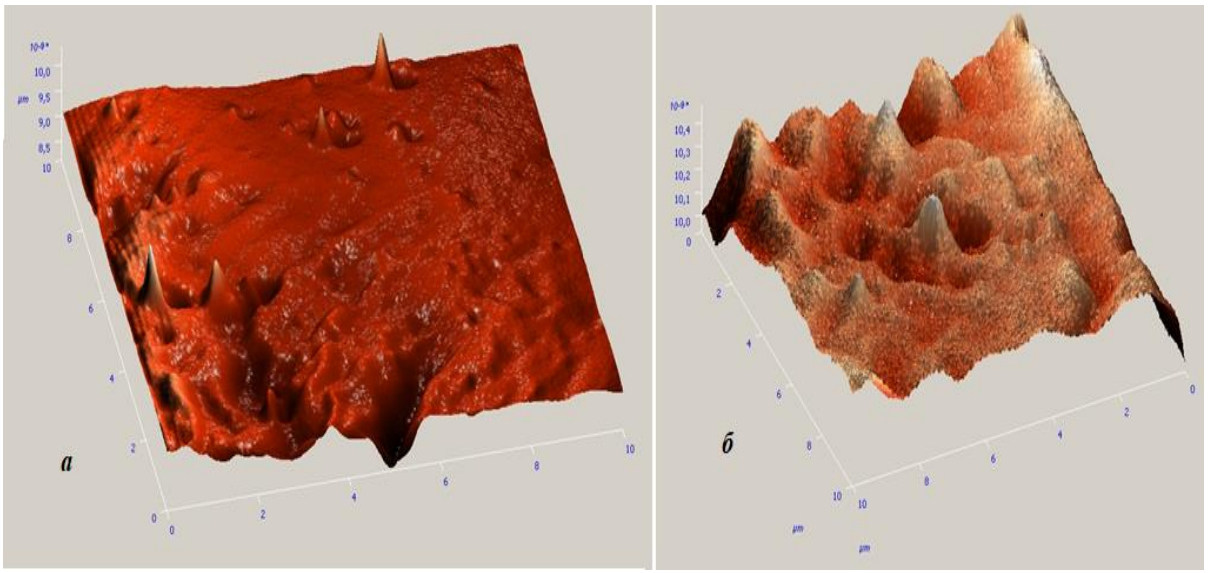

Рис. 1. Образцы ПБТ а) до экспонирования, б) после экспонирования 72 ч. в 5 % - ном растворе серной кислоты

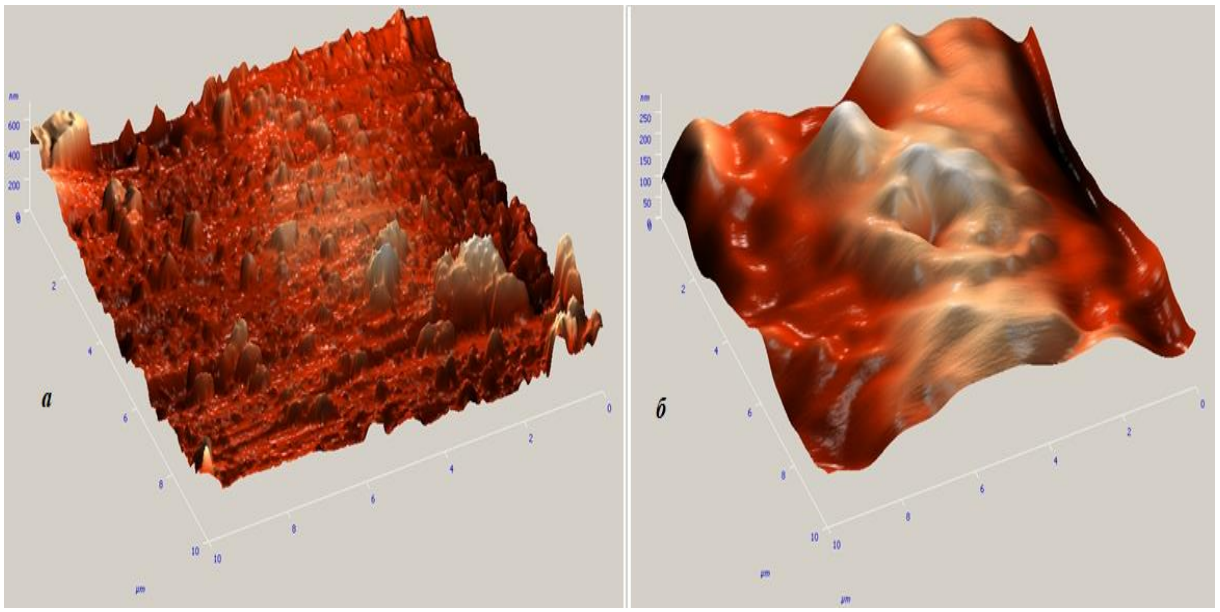

Рис. 2. Образцы ПБТ а) до экспонирования, б) после экспонирования 72 ч в 5 % - ном растворе гидроксида натрия

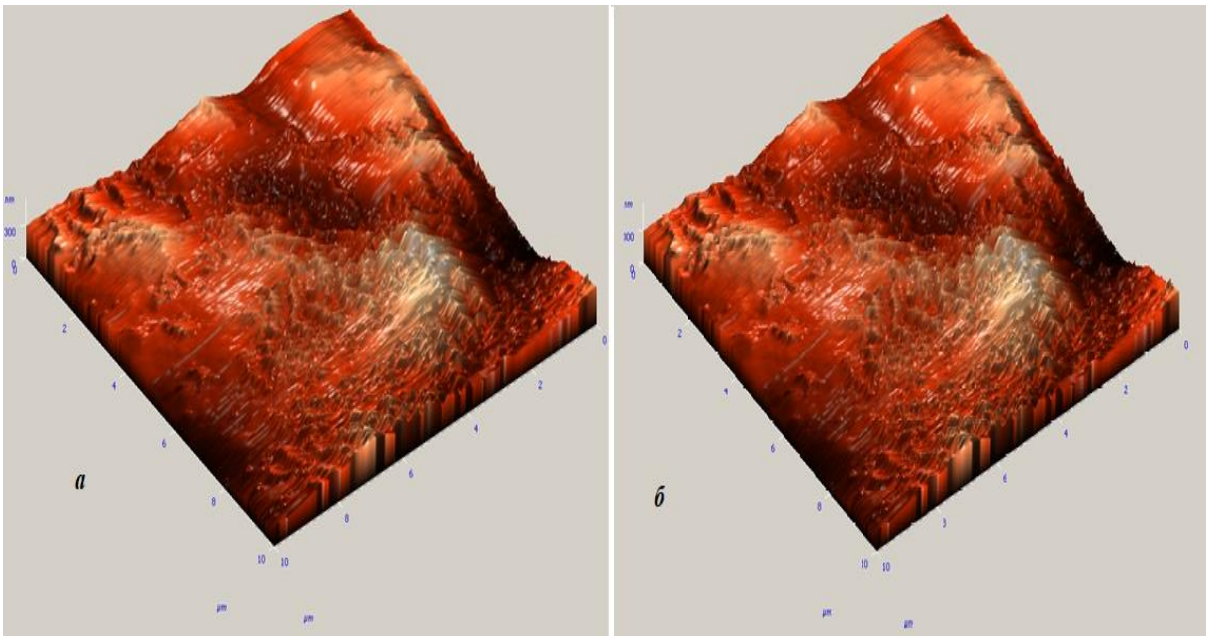

Рис. 3. Образцы ПБТ а) до экспонирования, б) после экспонирования 72 ч в дистиллированной воде

Воздействие жидких сред значительно осложняет картину разрушения материалов по сравнению с разрушениями в вакууме или на воздухе. Кинетика разрушения в этом случае может определяться не только частотой термических флуктуаций связей, ускоряемых действующими в вершине разрушающей трещины напряжениями, но также процессами поверхностного, объёмного, физического и химического взаимодействия полимера и среды, процессами растворения и резкого ослабления межмолекулярного взаимодействия в полимере, скоростью диффузии среды к перенапряжённым участкам полимерного образца. Поверхностно-адсорбционные эффекты воздействия среды усиливают действие механических напряжений. Таким образом, при одновременном действии механических напряжений и жидких сред характер и механизм разрушения материала может не только количественно, но и качественно отличаться от разрушения в агрессивных средах в отсутствие напряженного состояния [3,4]. Характерная особенность влияния агрессивных сред на полимеры состоит в том, что эти среды вызывают понижение прочности и повышение пластичности материала, в то время как у низкомолекулярных веществ они приводят к уменьшению прочности и к резкому снижению пластичности [5].

На рис. 1 представены результаты напряжения разрушения ПБТ в зависимости от времени экспонирования в агрессивных средах ненагруженном состоянии.

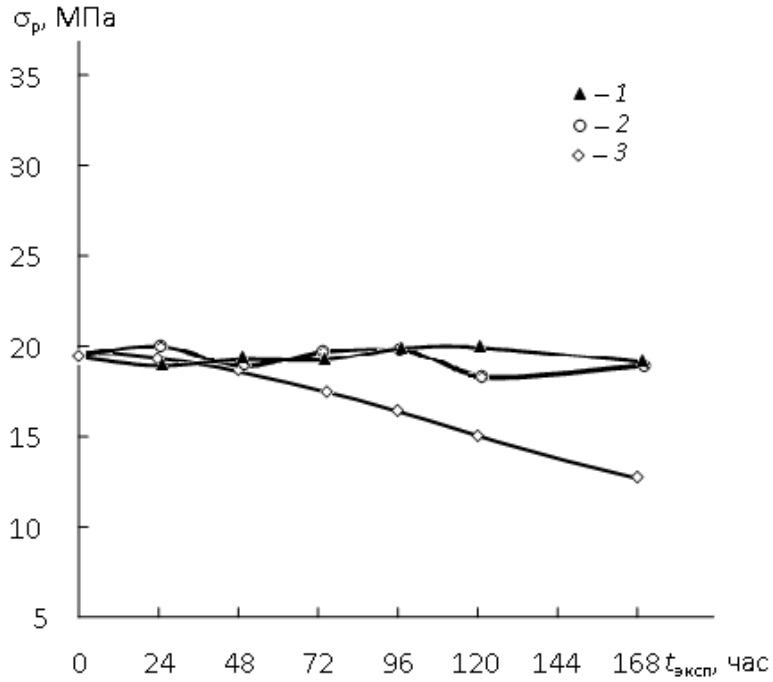

Рис. 4. Зависимость величины напряжения разрушения $\sigma_р$ в испытаниях по Шарпи от времени выдержки в дистиллированной воде (1), 10%-м растворе NaOH (2), 10%-м растворе H_2SO_4 (3) образцов ПБТ.

Как видно из рис 1. максимально понижается напряжение разрушения образца ПБТ выдержанного в водном растворе серной кислоты, для образцов выдержанных в дисстилированной воде и гидроксиде натрия характерна относительная стабильность значений наряжения разрушения $\sigma_р$, что косвенно доказывает отсутствие интенсивных деструктивных процессов в образцах.

Изучение поведения ПБТ водных растворах представлялось важным потому, что водные растворы щелочей и кислот, а также вода оказывают значительное воздействие на матрицу термопластов, и в первую очередь, на кинетику гидролитических процессов, которые отражаются на конкретных механических свойствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балданов Б. Б., Ранжуров Ц.В Химия высоких энергий //Институт физического материаловедения СО РАН. 2021, Т. 55. № 2. С. 166-168.
2. Акаева М.М. Стойкость к агрессивным средам полимер-полимерных композиций. Известия Чеченского государственного университета им. А. А. Кадырова. 2016. № 1 (1). С. 10-12.
3. Акаева М.М., Машуков Н.И. Исследование изменения физико-механических свойств композиционных материалов на основе полиамида и полипропилена в процессе выдержки в агрессивных средах В сборнике: Экологическая ситуация на Северном Кавказе: проблемы и пути их решения. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2008. С. 372-375.
4. Ciardiello, R.; D'Angelo, D.; Cagna, L.; Croce, A.; Paolino, D. S. Политехнический институт Турина. Влияние плазменной обработки на клеевые соединения

полипропилена, используемые в автомобильной промышленности / В: Труды Института инженеров-механиков. Часть С, Журнал по машиностроению. ISSN 0954-4062. Elettronico – 2021. URL:.095440622110653. [10.1177/09544062211065361]

5. Акаева М.М., Машуков Н.И Исследование стойкости к агрессивным средам композиционных материалов на основе ПБТ+ПЭВП // Пластические массы. 2008. № 11. С. 5-8.

REFERENCES

1. Baldanov B.B., Ranzhurov Ts.V. High Energy Chemistry // Institute of Physical Materials Science SB RAS. 2021. T. 55. № 2. C. 166-168.
2. Akaeva M.M. Resistance to aggressive environments of polymer-polymer compositions. Izvestiya of the Kadyrov Chechen State University 2016. No. 1 (1). Pp. 10-12.
3. Akayeva M.M., Mashukov N.I. Investigation of changes in the physico-mechanical properties of composite materials based on polyamide and polypropylene during exposure to aggressive media In the collection: Environmental situation in the North Caucasus: problems and solutions. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. 2008. Pp. 372-375.
4. Ciardiello, R.; D'Angelo, D.; Cagna, L.; Croce, A.; Paolino, D. S. POLITECNICO DI TORINO Effects of plasma treatments of polypropylene adhesive joints used in the automotive industry / - In: Proceedings of the institution of mechanical engineers. Part C, Journal of mechanical engineering science. ISSN 0954-4062. Elettronico – 2021. URL:.095440622110653. [10.1177/09544062211065361]
5. Akaeva M.M., Mashukov N.I. Study of resistance to aggressive environments of composite materials based on PBT + HDPE // Plastics. 2008. № 11. C. 5-8.