

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРОВ В ФАКЕЛЕ АРГОНОВОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Провлоцкая Д.В., Панфиленко Е.Д., Соловей А.А., Аксюциц А.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент каф. МНЭ

Рассматривается влияние обработки холодной плазмой атмосферного давления на поверхностные свойства поликарбоната. Анализируются два режима плазмообразования: чистый аргон и смесь аргона с парами воды. Раскрываются механизмы модификации поверхности полимера, связанные с изменением полярной составляющей поверхностной энергии. Особое внимание уделяется определению оптимального времени обработки, обеспечивающего переход поверхности из гидрофобного состояния в гидрофильное, а также перспективам применения данного метода в промышленных технологиях подготовки полимерных поверхностей к склеиванию и нанесению покрытий.

Введение. Полимерные материалы, в частности поликарбонат, находят широкое применение в авиастроении, медицине, автомобильной промышленности и электронике благодаря уникальному сочетанию прочности, термостойкости и оптической прозрачности. Однако низкая поверхностная энергия поликарбоната, обусловленная отсутствием достаточного количества полярных групп на поверхности, приводит к плохой смачиваемости и низкой адгезии, что затрудняет его склеивание и нанесение защитных или функциональных покрытий. В связи с этим актуальной задачей является разработка эффективных методов модификации поверхностных свойств полимеров без изменения их объемных характеристик.

Основная часть. Одним из наиболее перспективных и экологически безопасных методов модификации поверхности полимеров является обработка в холодной плазме атмосферного давления. В отличие от вакуумных технологий, плазма атмосферного давления не требует сложного и дорогостоящего оборудования для создания и поддержания вакуума, позволяет обрабатывать материалы с сохранением их объемных свойств и легко интегрируется в существующие технологические линии [1].

В настоящем исследовании обработка поверхности поликарбоната проводилась на экспериментальном стенде, включающем газоразрядную систему коаксиального типа с диэлектрическим барьерным разрядом и импульсный источник питания. Генерация плазмы осуществлялась при атмосферном давлении в двух режимах: плазма чистого аргона (расход 179 л/ч) и плазма смеси аргона с парами воды (169 л/ч аргона и 10 л/ч водяного пара). Параметры питания подбирались таким образом, чтобы исключить термическую деструкцию поверхности образца [1,2].

Оценка изменения свойств поверхности проводилась методом измерения краевого угла смачивания с использованием воды в качестве тестовой жидкости [3]. На основе полученных экспериментальных данных с применением модели Фоукса рассчитывались значения полной поверхностной энергии, а также ее дисперсионной и полярной составляющих [4].

В ходе экспериментальных исследований установлено, что исходный поликарбонат обладает гидрофобными свойствами с высокими значениями краевого угла смачивания. Обработка поверхности в плазме аргона приводит к заметному уменьшению краевого угла в течение первых 30 секунд воздействия, после чего наблюдается выход на плато, что свидетельствует о достижении предельной степени гидрофилизации для данного режима.

На рисунках 1 и 2 представлены графики изменения угла смачивания поликарбоната в зависимости от времени обработки поверхности в холодной плазме атмосферного разряда.

Рисунок 1 показывает изменение угла смачивания поверхности полимера, обработанного в плазме аргона. Здесь в течении 30 секунд угол смачивания уменьшается, после чего его значения изменяются в пределах доверительной погрешности.

Более выраженный эффект зафиксирован при обработке в плазме аргона с добавлением паров воды (рисунок 2). В этом случае резкое снижение угла смачивания наблюдается уже в первые 20 секунд, после чего значения стабилизируются [5]. Анализ компонент поверхностной энергии по модели Фоукса показал, что улучшение смачиваемости обусловлено преимущественным ростом полярной составляющей, что связано с образованием на поверхности полимера кислородсодержащих полярных функциональных групп (гидроксильных, карбонильных и др.). Пик полярной компоненты достигается на 20-й секунде обработки, что предшествует моменту насыщения угла смачивания. Дальнейшее увеличение времени обработки не приводит к значимому росту полярной составляющей, что объясняется завершением процесса функционализации поверхности и установлением равновесия между активацией и возможной рекомбинацией радикалов.

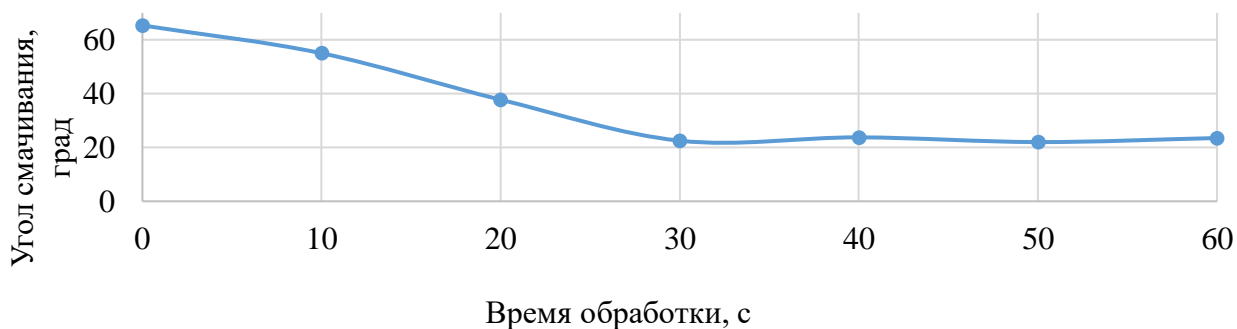


Рисунок 1 – Зависимость угла смачивания поверхности поликарбоната от времени обработки в плазме атмосферного разряда (чистый аргон)

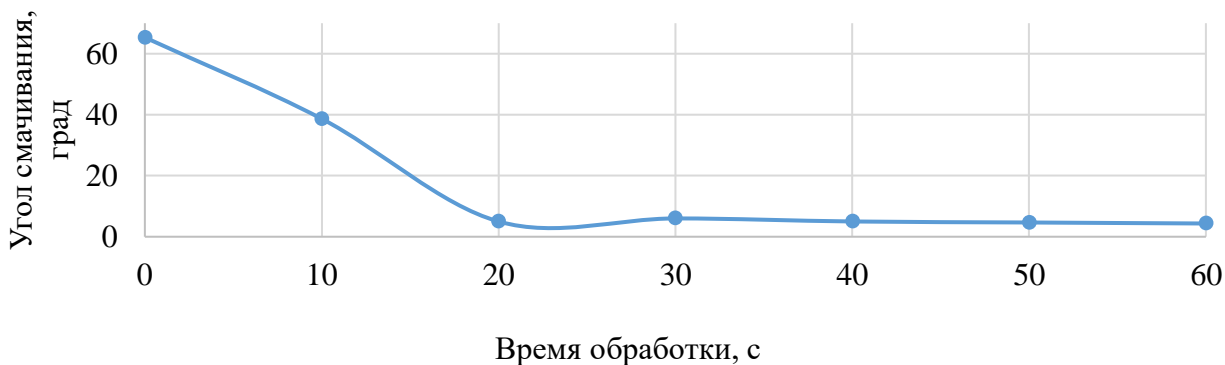


Рисунок 2 – Зависимость угла смачивания поверхности поликарбоната от времени обработки в плазме атмосферного разряда (аргон и пары воды)

Исходя из вышеуказанных графиков можно заметить, что выбранные для исследования полимерные материалы обладали высокими гидрофобными свойствами и низкой адгезией. Из полученных результатов видно, что обработка в плазме аргона и паров воды оказывается более эффективной с точки зрения улучшения поверхностных свойств. Также мы сталкиваемся с контактным углом насыщения – значением угла, при достижении которого, дальнейшая обработка поверхности не приводит к улучшению адгезионных свойств. Это может быть обусловлено тем, что в данном значении угла смачивания – поверхностная энергия достигает своего максимума и поверхность приобретает гидрофильные свойства.

В контексте современных тенденций развития технологий поверхностной обработки особую значимость приобретает воспроизводимость результатов и возможность интеграции плазменной обработки в промышленные процессы. Использование холодной плазмы атмосферного давления позволяет автоматизировать процесс подготовки поверхности, сократить время обработки и отказаться от применения химических реагентов, что соответствует принципам «зеленой» химии и ресурсосберегающих технологий.

Заключение. Обработка в факеле аргоновой плазмы при атмосферном давлении является эффективным методом управления поверхностными свойствами поликарбоната. Добавление паров воды в плазмообразующий газ позволяет достичь более значительного и быстрого увеличения полярной составляющей поверхностной энергии, что приводит к выраженному переходу поверхности из гидрофобного состояния в гидрофильное. Определено оптимальное время обработки (20–30 секунд), обеспечивающее максимальную гидрофилизацию поверхности. Полученные результаты могут служить основой для разработки воспроизводимых технологических процессов подготовки полимерных поверхностей к склеиванию, нанесению защитных или функциональных покрытий в различных отраслях промышленности.

Список использованных источников:

1. Zhang, J. A novel cold plasma jet generated by atmospheric dielectric barrier capillary discharge / J. Zhang [et al.] // *Thin Solid Films*. – 2006. – Vol. 506. – P. 404-408.
2. Laroussi, M. Room-temperature atmospheric pressure plasma plume for biomedical applications / M. Laroussi, X. Lu // *Applied Physics Letters*. – 2005. – Vol. 87. – No. 11. – P. 113902.
3. Young, T. III. An essay on the cohesion of fluids / T. Young // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. – 1805. – No. 95. – P. 65-87.
4. Fowkes, F.M. Attractive forces at interfaces / F.M. Fowkes // *Industrial & Engineering Chemistry*. – 1964. – Vol. 56. – No. 12. – P. 40-52.
5. Lu, X.P. Dynamics of an atmospheric pressure plasma plume generated by submicrosecond voltage pulses / X.P. Lu, M. Laroussi // *Journal of Applied Physics*. – 2006. – Vol. 100. – No. 6. – P. 063302.