

Analiza kąta zwilżania materiałów polistyrenowych poddanych obróbce plazmą nietermiczną wytwarzaną w reaktorze typu dysza z wyładowaniem barierowym

Streszczenie. Dla właściwości materiałów polistyrenowych istotną rolę odgrywa hydrofobowość powierzchni. Niniejsza praca przedstawia wpływ plazmy nietermicznej na kąt zwilżania materiału poddanego obróbce przy zastosowaniu reaktora typu dysza z wyładowaniem barierowym.

Abstract. For the polystyrene material properties hydrophobicity of the surface plays an important role. This work shows the influence of non-thermal plasma on the contact angle of material treated using a barrier discharge jet type reactor. (*Analysis of the contact angle of polystyrene materials treated by the non-thermal plasma generated in a barrier discharge jet type reactor*)

Słowa kluczowe: dysza plazmowa pracująca pod ciśnieniem atmosferycznym, polistyren wysokoudarowy, kąt zwilżania.

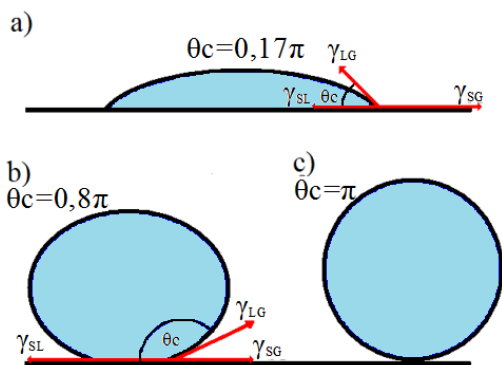
Keywords: atmospheric pressure plasma jet, high impact polystyrene, contact angle.

Wstęp

Materiały wykonane z tworzyw sztucznych, takich jak kopolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy (ABS), homopolimer polipropylenu (PP-H), oraz polistyren wysoko udarowy (HIPS), charakteryzują się różnymi właściwościami mechanicznymi, fizycznymi, chemicznymi oraz termicznymi. Ich wspólną cechą jest łatwość obróbki z wykorzystaniem energii cieplnej i mechanicznej, jak również wysoka odporność na związki chemiczne. Są one szeroko stosowane w wielu dziedzinach, np. w budownictwie, reklamie, przemyśle spożywczym (opakowania i palety do produktów spożywczych), i podobnych [1, 2].

Jedną z cech materiałów wykonanych z polistyrenu jest właściwość ich powierzchni zwana hydrofobowością.

Hydrofobowość jest to tendencja cząsteczek chemicznych do odpychania od siebie cząsteczek wody oraz cieczy zawierających wodę.



Rys.1. Wizualizacja kąta zwilżania powierzchni: a) bardzo dobra zwilżalność powierzchni, b) słaba zwilżalność, c) całkowity brak zwilżania [3]

Jako miarę hydrofobowości materiałów polimerowych można przyjąć kąt zwilżania powierzchni [3, 4] (rys. 1). Przez odpowiednią obróbkę powierzchni jej właściwości hydrofobowe (a także mechaniczne, termiczne i chemiczne) mogą być modyfikowane w zależności od aktualnych potrzeb. Jedną z metod, które można zastosować do zmiany tych właściwości jest wykorzystanie plazmy nietermicznej [5-7]. Niniejsza praca ma na celu analizę skuteczności zastosowania plazmy nietermicznej do zmiany właściwości powierzchni materiałów ABS, HIPS i PP-H przy wykorzystaniu reaktora plazmowego typu dysza z wyładowaniem barierowym.

Plazma i jej zastosowania

Plazma jest to zjonizowany gaz, w którym cząsteczki różnych pierwiastków łatwo wchodzi w reakcje z innymi substancjami chemicznymi. Plazma dzięki łatwości oddziaływania z innymi substancjami chemicznymi znalazła różnorodne zastosowania w wielu dziedzinach nauki i techniki.

Wykorzystanie reaktorów z wyładowaniem barierowym jest obecnie najbardziej rozpowszechnione w technologicznym uzdatnianiu wody pitnej, gdzie generowany w wyładowaniach ozon w znacznym stopniu zastąpił toksyczny chlor.

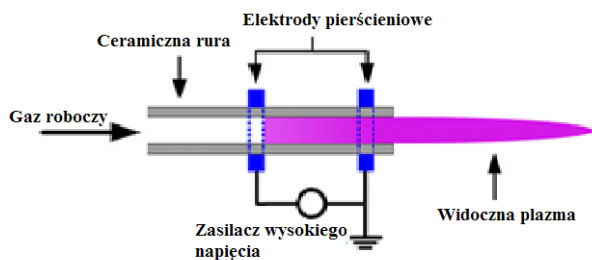
Główne zastosowania plazmy wyładowań barierowych obejmują [8-14]:

- 1) technikę i przemysł:
 - dekontaminacja wody, powietrza, gleby, opakowań i powierzchni;
 - usuwanie zanieczyszczeń z gazów wylotowych;
 - modyfikowanie właściwości powierzchni materiałów, poprzez zmianę ich właściwości fizykochemicznych.
- 2) medycynę i bioinżynierię:
 - sterylizacja tkanek i wspomaganie leczenia (zwłaszcza w dermatologii) – oddziaływanie plazmy na powierzchnie leczone pozwala na zmniejszenie ryzyka zakażenia, umożliwia szybsze gojenie ran i pomaga w leczeniu nowotworów skóry;
 - sterylizacja narzędzi medycznych – dzięki niskiej temperaturze plazmy można ją wykorzystać do odkażania narzędzi wykonanych z materiałów które nie są odporne na wysokie temperatury np. narzędzia z tworzyw sztucznych. Pozwala to na zmniejszenie ilości stosowanych środków chemicznych o znacznie większej trwałości;
 - pokrywanie implantów soczewek, biosensorów warstwami biokompatybilnymi. Pokrywając elementy z tworzyw sztucznych amorficznymi warstwami, pomoże zwiększyć tolerancję organizmu na kontakt z implantami protezami czy soczewkami;
 - zastosowanie przy produkcji i pakowaniu leków;
 - kuracja przy użyciu plazmy bądź ozonoterapia, które skutecznie niszczą większość bakterii, wirusów, pleśni.

Metoda doświadczalna

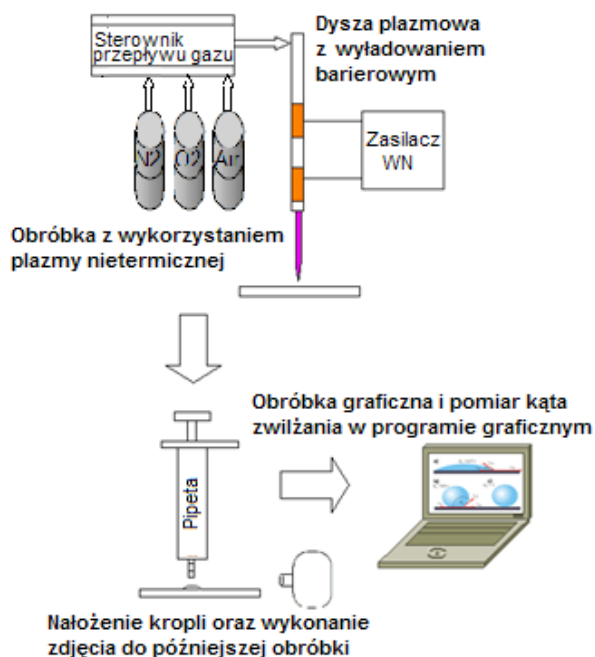
Badanie właściwości materiałów poddanych obróbce przy zastosowaniu plazmy nietermicznej przeprowadzono stosując reaktor typu dysza z wyładowaniem barierowym. Jego budowa została przedstawiona na rysunku 2.

Przedstawiony reaktor był zasilany z zasilacza wysokiego napięcia o parametrach wyjściowych: $U = 4 \text{ kV}$, $f = 17 \text{ kHz}$, odległość pomiędzy dyszą reaktora a badanym materiałem wynosiła 20 mm.



Rys. 2. Schemat budowy reaktora plazmowego typu dysza w układzie z dwiema elektrodami pierścieniowymi

Na rysunku 3 został przedstawiony schemat stanowiska badawczego do obróbki próbki materiałów polimerowych.



Rys. 3. Schemat stanowiska do analizy wpływu obróbki plazmą na właściwości powierzchni materiałów

Wszystkie próbki testowe miały wymiary 30 mm x 40 mm oraz grubość 2 mm. Pomiary wykonywane były w warunkach pozwalających na uzyskanie temperatury poniżej wytrzymałości termicznej materiału najmniej odpornego na działanie temperatury, która wynosiła 70°C , [15].

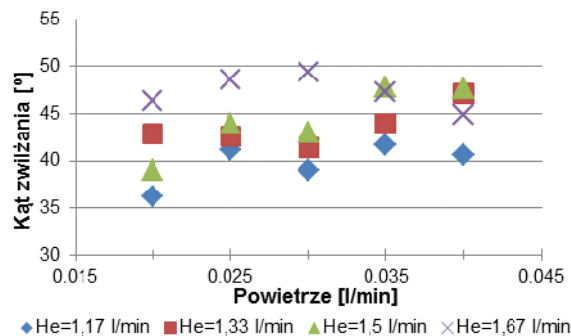
Po zastosowaniu plazmy próbki zostały zwilżone wodą destylowaną o objętości 10 μl przy użyciu pipety automatycznej. Po nałożeniu kropli wykonano zdjęcia poszczególnych próbek za pomocą przygotowanego aparatu cyfrowego.

Po wstępnej obróbce zdjęć dokonano pomiaru kątów zwilżania przy użyciu narzędzi zintegrowanych z programem do profesjonalnej obróbki graficznej.

Wyniki

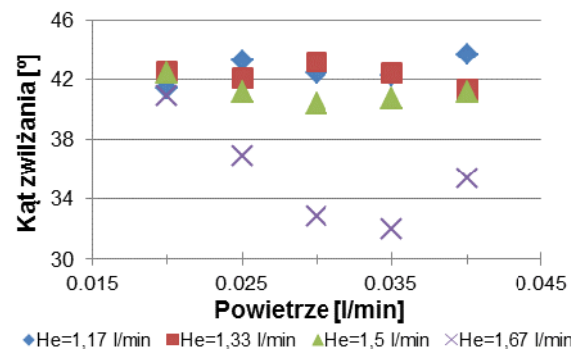
Kąt zwilżania dla materiału PP-H, w zależności od dodatku powietrza dla różnych wartości przepływu helu został przedstawiony na rysunku 4. Czas działania plazmy na powierzchnię próbki wynosił 30 sekund. Dla próbki kontrolnej kąt zwilżania wynosił 79 stopni. Obróbka przy

pomocy plazmy nietermicznej spowodowała zmniejszenie kąta zwilżania. Największe zmiany zaobserwowano dla 1,5 l/min natężenia przepływu helu, przy czym zwiększenie zawartości powietrza powodowało mniejsze zmiany.



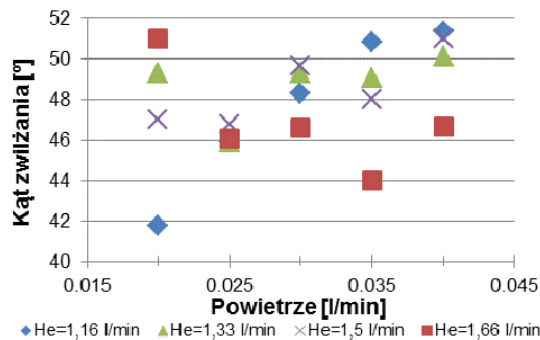
Rys. 4. Kąt zwilżania dla materiału PP-H czas obróbki plazmą 30 s.

Kąt zwilżania dla próbki kontrolnej materiału ABS wynosił 70 stopni. Na rysunku 5 przedstawiono wyniki wpływu obróbki plazmą na kąt zwilżania. Po zastosowaniu plazmy, kąt zwilżania uległ minimalnym zmianom. Jedynie dla 1,67 l/min natężenia przepływu helu otrzymano zdecydowaną redukcję wartości kąta.



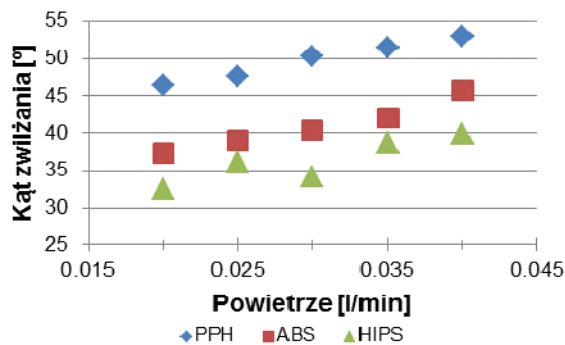
Rys. 5. Kąt zwilżania dla materiału ABS, czas obróbki plazmą 30 s

Kąt zwilżania dla próbki kontrolnej HIPS wynosił około 85 stopni. Po obróbce za pomocą plazmy można zaobserwować, że największą zmianę uzyskano dla 1,16 l/min natężenia przepływu helu (rys. 6) przy najmniejszym dodatku powietrza. Wraz ze wzrostem zawartości powietrza zmiana kąta zwilżania była mniejsza, zaś dla 1,66 l/min natężenia przepływu helu można zaobserwować niewielkie zmniejszenie kąta zwilżania wraz ze wzrostem dodatku powietrza.



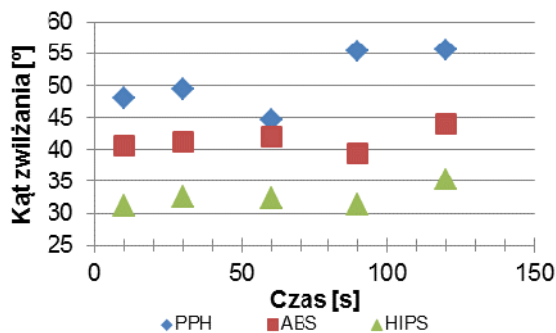
Rys. 6. Kąt zwilżania dla materiału HIPS, czas obróbki plazmą 30 s

Rysunek 7 przedstawia porównanie kątów zwilżania dla trzech materiałów poddanych działaniu strumienia plazmy przez 120 s. Najmniejsze kąty zwilżania uzyskano dla materiału HIPS, największe zaś dla materiału PP-H. Zwiększeniem dodatku powietrza spowodowało niewielki wzrost kąta.



Rys. 7. Wartość kąta zwilżania dla różnych materiałów w zależności od dodatku powietrza. Czas obróbki plazmowej 120 s, natężenie przepływu helu 1,33 l/min

Rysunek 8 przedstawia porównanie kąta zwilżania w zależności od trwania obróbki plazmą przy stałej objętości przepływu gazów roboczych: 1,33 l/min dla helu i 0,03 l/min dla powietrza. Zmiana czasu działania plazmą nie miała w tym przypadku istotnego wpływu na wynik pomiaru kąta zwilżania.



Rys. 8. Kąt zwilżania w zależności od czasu trwania obróbki plazmą, przepływ gazów roboczych: He = 1,33 l/min, powietrze = 0,03 l/min

Podczas przeprowadzonych badań wpływu plazmy na kąt zwilżania istotną rolę odegrały warunki gazodynamiczne. W przypadku małogabarytowych reaktorów typu jet z wyładowaniem barierowym kluczowe staje się utrzymanie stabilnej i homogenicznej plazmy na wylocie z dyszy. Stosowanie helu jako głównego komponentu gazu procesowego umożliwia uzyskanie i podtrzymanie wyładowania przy stosunkowo niewielkim nakładzie energetycznym; w takim przypadku powietrze stanowi jedynie niewielką domieszkę. Nadmierne zwiększenie wartości natężenia przepływu gazu, jak też zwiększenie ilości powietrza w gazie procesowym powoduje zmianę charakteru wyładowania i niestabilną pracę reaktora, co przekłada się na mniejszą zmianę kąta zwilżania powierzchni. W analizowanych przypadkach wpływ ten nie był jednak duży i dla danego materiału nie przekraczał 10 stopni.

Podsumowanie

Zaprezentowane wyniki wskazują, że zastosowanie plazmy nietermicznej wytworzonej przy pomocy reaktora

typu dysza z wyładowaniem barierowym pozwala na zmniejszenie hydrofobowości materiałów polimerowych. Dla badanych przypadków wzrost natężenia przepływu gazu lub niewielki wzrost dodatku powietrza w gazie procesowym nie wpłynął znacząco na zmianę kąta zwilżania.

¹ Uczestnik projektu "Kwalifikacje dla rynku pracy - Politechnika Lubelska przyjazna dla pracodawcy" współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Część pracy została wykonana w ramach badań statutowych Politechniki Lubelskiej oraz w ramach projektu COST Action TD 1208: Electrical discharges with liquids for future application.

Autorzy:

Mgr inż. Michał Kwiatkowski ¹, E-mail: m.kwiatkowski@pollub.pl;
 Mgr inż. Piotr Terebun ¹, E-mail: piotr.terebun@gmail.com;
 Mgr inż. Piotr Krupski: piotr-ij@o2.pl;
 Dr inż. Jarosław Diatczyk, E-mail: j.diatczyk@pollub.pl;
 Dr hab. inż. Joanna Pawłat, E-mail: askmik@hotmail.com;
 Politechnika Lubelska, Instytut Elektrotechniki i Elektrotechnologii,
 ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin

LITERATURA

- <http://www.plastics.pl/>
- <http://www.audioplex.pl/>
- http://www.face-kyowa.co.jp/english/en_science/en_the_ory/en_what_contact_angle/
- http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Physical_Properties_of_Matter/Bulk_Properties/Cohesive_And_Adhesive_Forces/Contact_Angles
- Zielecka M., Method of contact angle measurement as a tool for characterization of wettability of polymers, *Polimery*, 49 (2004), nr.5, 327-332.
- Pawłat J., Atmospheric pressure plasma jet for sterilization of heat sensitive surfaces, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012) nr.10b, 139-140,
- Singh, N.L., Pelagade, S.M., Rane, R.S., Mukherjee, S., Deshpande, U.P., Ganeshan, V., Shripathi, T., Influence of argon plasma treatment on polyethersulphone surface, *Pramana - Journal of Physics*, 80 (2013), nr.1, 133-141.
- Anzawa, E., Kral, M., Ogino, A., Nagatsu, M., Improvement of hydrophilicity of polymer surface by surface-wave excited Ar plasma with acetic acid, *Electrical Engineering in Japan*, 176 (2011), nr.4, 1-6.
- Kryża K., Szczepanik G., Zastosowanie techniki zimnej plazmy jako nowoczesna technologia zabezpieczania surowców żywnościowych, rsi.org.pl/index.php/pl/Nowosci/8, (2010).
- Nehra V., Kumar A., Dwivedi H. K., Atmospheric non-thermal plasma sources. *International Journal of Engineering 2* (2008), nr.1, 53-68.
- Pawłat J., Diatczyk J., Stryczewska H. D.: Low-temperature plasma for exhaust gas purification from paint shop-a case study. *Przegląd Elektrotechniczny* 87 (2011), nr.1, 245-248.
- Pawłat J., Samoń R., Stryczewska H. D., Diatczyk J., Giżewski T., RF-powered atmospheric pressure plasma jet for surface treatment. *The European Physical Journal Applied Physics*, 61 (2013), nr.2, 24322.
- Pawłat J., Atmospheric pressure plasma jet for decontamination purposes. *The European Physical Journal Applied Physics*, 61 (2013), nr.2, 24323.
- Sirajuddin D., Foster J. E., Plasma sterilization. www.itcanbeshown.com/NERS590, (2007).
- Topala I., Dumitrascu N., Dimitriu D., Experimental and theoretical investigations of dielectric-barrier plasma jet in helium. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 40 (2012), nr.11, 2811-2816.
- http://www.plastics.pl/content/zdjecia/file/katalog_tworzywa_techiczne_32_34.pdf