

Anna JACKIEWICZ¹, Łukasz WERNER¹, Szymon JAKUBIAK², Aleksander DAWIDZIUK²

e-mail: a.jackiewicz@ichip.pw.edu.pl

¹ Katedra Inżynierii Procesów Zintegrowanych, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

² Zakład Projektowania Materiałów, Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Separacyjne właściwości włókien polipropylenowych modyfikowanych cząstkami SiO₂

Wstęp

W ciągu ostatnich lat modyfikacje powierzchni materiałów prowadzące do zmian ich właściwości zyskują na znaczeniu w wielu sektorach przemysłu, np. w procesach separacyjnych, w procesach powlekania, przy wytwarzaniu powierzchni samooczyszczających się, przy wytwarzaniu specjalnych wyrobów włókienniczych [Ma i in., 2008; Zhang i in., 2011; Lee i in., 2011]. Tego typu modyfikacje można przeprowadzać różnymi sposobami, zarówno na etapie formowania materiału, jak również modyfikując już istniejący.

W ramach niniejszej pracy podjęto próbę poprawienia skuteczności działania filtrów polipropylenowych wykonanych techniką rozdmuchu stopionego polimeru przez modyfikację ich włókien nanocząstkami krzemionki [Wei i in., 2013; Funk i in., 2014]. Miało to za zadanie zmienić zwilżalność oraz zwiększyć stopień rozwinięcia powierzchni włókien polimerowych, co znacznie wpływa na adhezję cząstek, szybkość ociekania w przypadku kropeł oraz spadek ciśnienia na filtrze. Ogranicza to również powtórne uwalnianie już zdeponowanych kropeł oraz cząstek stałych do przepływającego gazu.

Modyfikacja włókniny

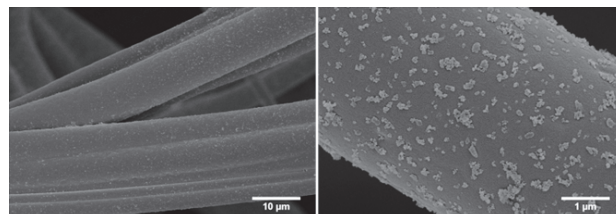
Materiały i metodyka

Jako podstawę do modyfikacji wykorzystano polipropylenową włókninę o średniej średnicy włókien równej 11,1 μm, grubości 2,7 mm i gęstości upakowania 7,2%, wytworzoną metodą rozdmuchu pneumatycznego (*melt-blown*). Metoda ta pozwala na uzyskanie materiału o kontrolowanej strukturze.

W celu zwiększenia energii powierzchniowej włókninę poddano wyładowaniu plazmowemu w reaktorze z generatorem z zakresu radiowego *Dionex 2000* o mocy 50 W przez 5 min. Proces prowadzono w atmosferze utleniającej. Modyfikacja ta pozwoliła na zmniejszenie kąta zwilżania mierzonego dla wody z 135 do 105°.

Modyfikację nanocząstkami SiO₂ prowadzono w dwóch wariantach. W pierwszym z nich wykorzystano hydrofilową krzemionkę *Orisil 200*. Zawiesinę krzemionki w acetonie o stężeniu 0,1% wag. mielono przez 15 minut w młynie ścierającym. Analiza rozkładu wielkości cząstek przy wykorzystaniu analizatora *Horiba LA-950* pokazała, że otrzymana w wyniku mielenia zawiesina charakteryzuje się rozkładem normalnym z maksimum przy 200 nm. Po mieleniu zawiesinę rozcieńczono do stężenia 0,02% wag. Krzemionkę наносzono na włókninę przez zanurzenie jej w przygotowanej zawieszynie pod ciśnieniem 70 mbar. Następnie włókninę suszono odśrodkowo w temperaturze pokojowej w celu uniknięcia powstawania mostków pomiędzy włóknami oraz dosuszano w temperaturze 35°C. Proces nanoszenia krzemionki powtarzano dwukrotnie. Obserwacje mikroskopem skaningowym wykazały, że włókna pokryte są aglomeratami cząstek krzemionki o wielkości zgodnej z wynikiem analizy przeprowadzonej dla zawiesziny po mieleniu (Rys. 1). Modyfikacja jest równomierna w objętości materiału.

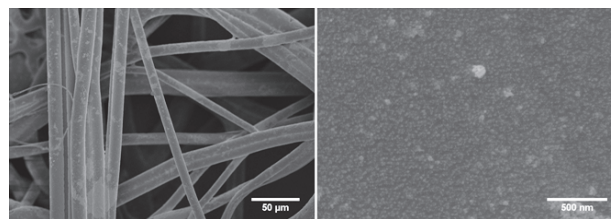
W drugim wariantcie do modyfikacji wykorzystano zawiesinę krzemionki koloidalnej *Ludox SK*. Zawiesina ta jest stabilizowana rozpuszczalnymi w wodzie polimerami i ma zdolność do tworzenia cienkich pokryć na modyfikowanych powierzchniach. Do modyfikacji włókniny wyjściową zawiesinę rozcieńczono w wodzie w stosunku wagowym 1:100. Proces nanoszenia prowadzono analogicznie jak w poprzednim wariantcie.



Rys. 1. Zdjęcia SEM włókniny polipropylenowej po modyfikacji krzemionką *Orisil 200*

Wyniki

Analiza zdjęć SEM wykazała, że otrzymano jednorodne, jednowarstwowe pokrycie powierzchni włókien cząstkami krzemionki o rozmiarze 15÷30 nm (Rys. 2).



Rys. 2. Zdjęcia SEM włókniny polipropylenowej po modyfikacji krzemionką koloidalną *Ludox SK*

Filtracja w zmodyfikowanej włókninie

W ramach niniejszej pracy sprawdzono jak materiały przygotowane według opisanych powyżej metod filtrują z powietrza nanokrople oleju, czy zastosowanie krzemionki wpłynęło na poprawę skuteczności ich separacji.

Aerozol testowy

Do generowania aerozolu testowego użyto sebacynianu dietyloheksylu DEHS, który jest rekomendowany przez normy (*EN 779:1993*, *EN 1822:2000*) do tego typu badań. Zakres rozmiarów powstających kropeł obejmował 20÷320 nm.

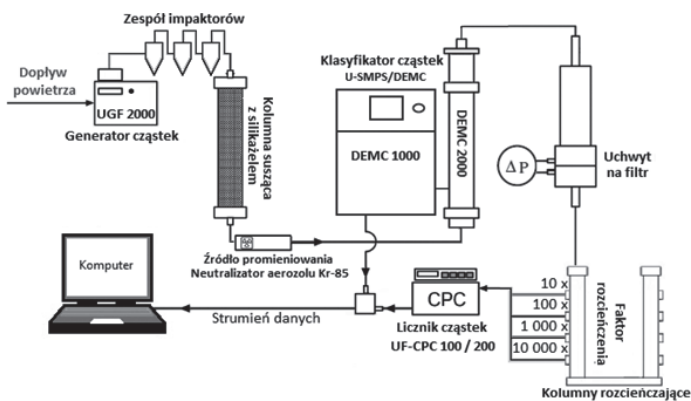
Aparatura

Badania filtracji nanokropeł mgły olejowej DEHS z powietrza przeprowadzono na stanowisku *MFP Nano Plus* firmy *Palas*. Umożliwia ono obserwowanie zmian sprawności filtracji oraz spadków ciśnienia na materiale separującym w miarę biegu procesu. Schemat aparatury przedstawiony został na rys. 3. Głównymi elementami instalacji badawczej są:

- różnicowy analizator ruchliwości DEMC,
- kondensacyjny licznik cząstek *UFPCP 100/200*,
- generator nanoaerozoli ciekłych i stałych z roztworu *UGF 2000*,
- pneumatyczny uchwyt z badanym filtrem,
- kolumny rozcieńczające o możliwych faktorach rozcieńczenia: 10, 100, 1000, 10000.

Metodyka badawcza

Sprawność filtracji dla każdej próbki filtra była określana na podstawie pomiarów stężenia liczbowego i masowego kropeł generowanych z 0,03% roztworu DEHS w izopropanolu wykonanych przed i za ma-



Rys. 3. Schemat aparatury pomiarowej do badania filtracji nanoaerozoli

teriałem separującym. Dla każdej próbki przeprowadzono 5 pomiarów, każdy trwający 300 sekund. Ponadto były również mierzone spadki ciśnienia na włókninie podczas trwania procesu. Wszystkie testy przeprowadzono w jednolitych warunkach procesowych, dla prędkości przepływu aerozolu równej 0,2 m/s.

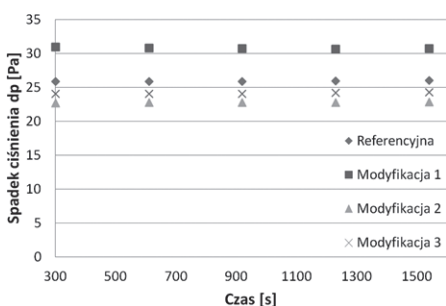
Zbadano skuteczność działania czterech próbek, które w następujący sposób oznaczono w legendzie na rys. 4–7:

- Referencyjna – próbka filtra o średniej średnicy włókien 11,1 μm niemodyfikowanego;
- Modyfikacja 1 – próbka filtra o średniej średnicy włókien 11,1 μm modyfikowanego za pomocą plazmy;
- Modyfikacja 2 – próbka filtra o średniej średnicy włókien 11,1 μm modyfikowanego za pomocą plazmy i hydrofilowej krzemionki Orisil 200;
- Modyfikacja 3 – próbka filtra o średniej średnicy włókien 11,1 μm modyfikowanego za pomocą plazmy i koloidalnej krzemionki Ludox SK.

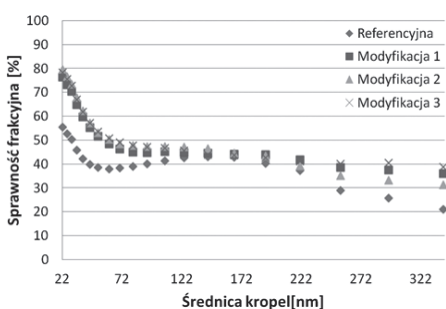
Wpływ modyfikacji włókien SiO₂ na skuteczność filtracji

Otrzymane dane doświadczalne sprawności filtracji oraz spadków ciśnienia dla włókniny referencyjnej oraz trzech zmodyfikowanych włókien porównano na rys. 4–7. Na zaprezentowanych wykresach widać, iż główne parametry mówiące o działaniu filtra, tj. sprawność filtracji oraz spadek ciśnienia, nie zmieniają się z czasem, jak ma to miejsce przy separowaniu cząstek submikronowych i mikronowych z gazu.

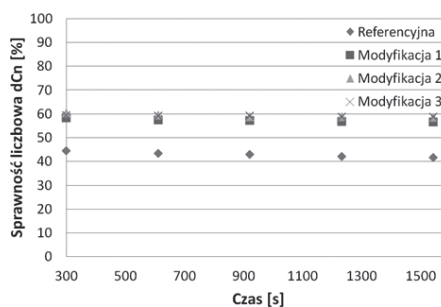
Widoczne na rys. 4 spadki ciśnienia odnotowane dla czterech analizowanych próbek są do siebie zbliżone. Niewielkie różnice wynikają najprawdopodobniej z niejednorodnej struktury samej maty filtracyjnej,



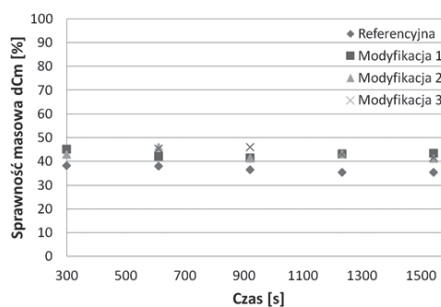
Rys. 4. Zależność spadku ciśnienia na filtrze od czasu filtracji



Rys. 5. Zależność sprawności filtracji od średnicy kropeł DEHS



Rys. 6. Zależność całkowitej sprawności liczbowej od czasu filtracji



Rys. 7. Zależność całkowitej sprawności masowej od czasu filtracji

z której wycinane były próbki, charakteryzującej się polidispersyjnym rozkładem średnic włókien i porowatości, aniżeli z przeprowadzonych modyfikacji.

Dla włókien zmodyfikowanych trzema sposobami (Modyfikacje 1÷3) otrzymano bardzo podobne wyniki sprawności frakcyjnej (Rys. 5), liczbowej (Rys. 6) i masowej (Rys. 7). Można natomiast zaobserwować różnice w porównaniu z wynikami dla próbki referencyjnej, czyli niemodyfikowanej żadną metodą. Zmiana właściwości włókniny przez naniesienie na powierzchnię jej włókien nanocząstek krzemionki poprawiła sprawność usuwania z powietrza kropeł najmniejszych o rozmiarach od około 20 do 120 nm (Rys. 5). Różnice te są największe i wynoszą około 25% dla najmniejszych kropeł z tego zakresu. Fakt ten można również zauważyć na rys. 6, gdzie różnice pomiędzy sprawnościami liczbowymi próbki niemodyfikowanej, a sprawnościami dla próbek poddawanych modyfikacjom wynoszą około 15%. Oznacza to, że filtry z włóknami z nanokrzymionką separują z powietrza lepiej najmniejsze krople oleju DEHS, których jest najwięcej w generowanym aerozolu. Masowo stanowią one niewielką część całego strumienia, dlatego też różnice w sprawnościach masowych dla nie są już tak znaczne (Rys. 7).

Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, iż filtry z naniesionymi na włókna nanocząstkami krzemionki lepiej separują z powietrza nanokrople mgły olejowej.

Ponadto przeprowadzone modyfikacje nie powodują wzrostu spadku ciśnienia na filtrze, co jest bardzo istotne z punktu widzenia długości jego pracy.

LITERATURA

Funk C.S., Winzer B., Peukert W., 2014. Correlation between shape, evaporation mode and mobility of small water droplets on nanorough fibres. *J. Coll. Interface Sci.*, **417**, 171–179. DOI: 10.1016/j.jcis.2013.11.005

Lee, C. H., Johnson, N., Drelich, J., Yap, Y. K., 2011. The performance of superhydrophobic and superoleophilic carbon nanotube meshes in water-oil filtration. *Carbon*, **49**, 669–676. DOI:10.1016/j.carbon.2010.10.016

Ma M., Hill R.M., Rutledge G.C., 2008. A review of recent results on superhydrophobic materials based on micro- and nanofibers. *J. Adhes. Sci. Technol.*, **22**, 1799–1817, DOI: 10.1163/156856108X319980

Wei K., Zeng H., Zhao Y., 2013. Substrate material affects wettability of surfaces coated and sintered with silica nanoparticles. *Appl. Surface Sci.*, **273**, 32–38, DOI: 10.1016/j.apsusc.2013.01.077

Zhang W., Wan S., Pu J., Wang L., Liu X., 2011. Highly hydrophobic and adhesive performance of graphene films. *J. Mater. Chem.*, **21**, 12251–12258, DOI: 10.1039/C1JM12087E

Praca została częściowo sfinansowana z projektu LIDER III Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.