

mgr inż. AGNIESZKA BROCHOCKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy

Materiały filtracyjne z dwuskładnikowych włóknin pneumotermicznych

Podstawowym materiałem przeciwareozolowych ochron układu oddechowego są powszechnie wytwarzane materiały filtracyjne zaliczane do dwóch głównych grup: włókniny igłowane, powstałe w wyniku zgrzeblenia surowca włókienniczego (włókien) i włókniny otrzymywane bezpośrednio z polimeru. W ostatnich latach obserwuje się znaczący rozwój technik wytwarzania włóknin bezpośrednio z polimeru, takich jak:

- spun-bonded
- rozwłókniania folii
- pneumotermiczna znana w literaturze światowej jako melt-blown

Spośród wymienionych technologii największe zastosowanie do konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego znalazła technologia włóknin pneumotermicznych.

Powstała ona w amerykańskim Morskim Laboratorium Badawczym, a pierwsze prace w tej dziedzinie opublikował Wente [2]. Prowadził on badania zmierzające do uzyskania wysoko skutecznego materiału do filtracji aerozoli, a ich wynikiem były włókniny zbudowane z super cienkich włókien (poniżej 1 μm).

Publikacje znane z literatury omawiają głównie warunki wytwarzania włóknin w szczególności techniczne rozwiązania głowic i dysz. Brak jest natomiast kompleksowego opracowania ujmującego zagadnienia technologii i właściwości włóknin w odniesieniu do przebiegu zjawiska filtracji aerozoli.

Wprowadzenie ładunku elektrycznego do formowanej włókniny wpłynęło na efektywne zwiększanie intensywności filtracji przy stałym poziomie oporów przepływu powietrza. Oprócz mechanicznego zatrzymywania dużych cząstek pyłów, dzięki siłom elektrycznym występuje przyciąganie małych cząstek przechodzących zwykle przez materiał filtracyjny bez ładunku elektrycznego.

Najpowszechniej stosowaną metodą nanoszenia ładunku elektrycznego jest ładowanie koronowe, polegające na wytworzeniu różnicy potencjałów między dwiema elektrodami, z których jedną stanowi przewodząca prąd struna, a drugą - uziemiony wałek odbiorczy włókniny.

Badania prowadzone nad zjawiskiem filtracji aerozoli w filtrach stosowanych do ochrony układu oddechowego [2, 3] wykazały niestabilność wielkości ładunku zgromadzonego w materiałach filtracyjnych wytwarzanych tą metodą. Istnieje zatem potrzeba opracowania innego sposobu powstawania ładunków elektrycznych w materiałach filtracyjnych. Powinien on zapewniać trwalsze związanie ładunków z elementarnym składnikiem włókniny, jakim jest włókno. Z danych literaturowych [2, 4, 5] wynika, że wymagania te spełnia elektryzowanie w wyniku wytworzenia efektu tryboelektrycznego. Prace takie podejmowano w odniesieniu do włóknin igłowanych.

Z uwagi na znaczne grubości włókien stosowanych do ich wytwarzania (średnica 15-25 μm) i w konsekwencji dużą porowatość, przydatność tych materiałów była ograniczona do filtracji wstępnej (dużych cząstek aerozoli).

W celu poprawy skuteczności filtracji podjęto próby opracowania mieszkankowych włóknin igłowanych wykorzystujących efekt tryboelektryczny [4, 5, 6]. Prezentowane wyniki prac wykazują, iż efekt ten uzyskany przy zastosowaniu dwóch rodzajów włókien pochodzących z różnych miejsc szeregu tryboelektrycznego (różnoimienne ładunki), wpływał znacząco na poprawę skuteczności filtracji tych materiałów. Jednakże trudności technologiczne w przerobieniu surowca włókienniczego bez preparacji antyelektrostatycznej, która przeciwdziała zjawisku elektryzacji, sprawiają, że technologia ta do dziś nie znalazła powszechnego zastosowania.

Alternatywą dla elektretowych włókien igłowanych mogłaby być technika pneumatyczna. Jednoczesne formowanie dwóch różnych włókien (dwa różne polimery) stwarza teoretyczne możliwości wywołania ładunków różnoimiennych i zwiększenia skuteczności filtracji wytworzonej z nich włókniny. Skłoniło to autorów do podjęcia badań zmierzających do określenia możliwości wytworzenia dwuskładnikowej włókniny pneumatycznej z efektem tryboelektrycznym.

W kraju prowadzono badania nad procesem otrzymywania włókien pneumatycznych z polipropylenu, który ze względu na bardzo dobre właściwości przetwórcze jest spośród innych polimerów najczęściej przetwarzanym surowcem.

Z opublikowanych materiałów wynika, że podejmowano także próby [2] wytworzenia włókniny pneumatycznej z mieszanki polimerów o różnych właściwościach dielektrycznych. Ponieważ do tego celu wykorzystywano tylko jedną wyłaczarkę, ograniczało to rodzaj stosowanego granulatu polimerów o zbliżonych właściwościach. Ze względu na brak kontroli stopnia równomierności wymieszania proces był trudny do monitorowania, a włóknina o dobrych parametrach powstawała jedynie w wąskim przedziale temperatur poszczególnych stref grzejnych, wydatku polimeru i powietrza. Nie ma natomiast jakiegokolwiek informacji o próbach wytwarzania włókien z dwóch różnych polimerów wyłaczanych niezależnie przez dwie współpracujące ze sobą wyłaczarki. W związku z tym zastosowano rozwiązanie techniczne umożliwiające przeprowadzenie takich eksperymentów. Przygotowano stanowisko do wytwarzania włókien, stosując rozwiązanie z dwiema wyłaczarkami działającymi niezależnie.

W tej pracy skoncentrowano się nad procesem wytwarzania materiałów filtracyjnych na bazie dwuskładnikowych włókien pneumatycznych wyłaczanych jednocześnie z dwóch wyłaczarek. Przyjęto, iż polimery różnić się będą charakterystyką elektryczną, w szczególności zaś odmiennymi właściwościami dielektrycznymi. Założono, iż takie formowanie włókien pozwoli na tryboelektryczne wywoływanie ładunków różnoimiennych w istotny sposób poprawiających efektywność filtracji aerozoli. Podstawą przyjęcia takiej tezy były wyniki prac dotyczących włókien igłowanych wytwarzanych z mieszanek włókien pozbawionych preparacji różniących się parametrami stałej dielektrycznej [4] oraz włókien pneumatycznych wytwarzanych z mieszanki polimerów o różnych właściwościach dielektrycznych przy wykorzystaniu jednej wyłaczarki.

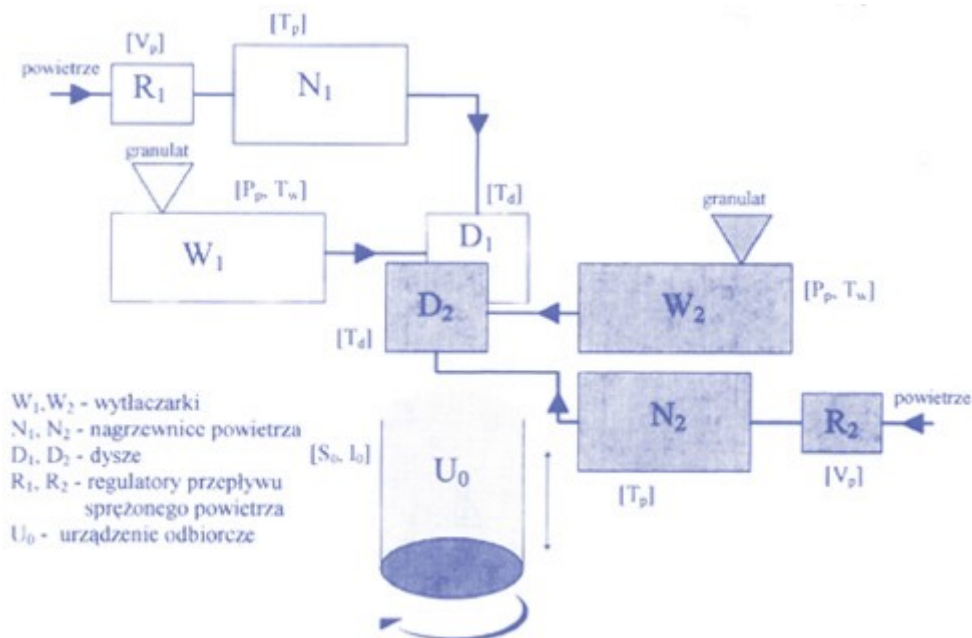
Charakterystyka materiału badawczego

Jak wykazały badania wstępne [2, 3, 4] metodą pneumatyczną można wytwarzać włókniny z różnych surowców termoplastycznych. Najbardziej odpowiedni dla tej technologii - jak już wspomniano wcześniej - jest polipropylen zarówno z powodu łatwego przetwarzania, jak i ze względów ekonomicznych.

Z przeglądu literatury [3, 1] wynika, że do wytwarzania włókien metodą pneumatyczną należy stosować polimer o wysokich wartościach wskaźnika płynięcia (niska lepkość). Z dostępnych w kraju polimerów do dalszych badań wytypowano poliester produkowany w Toruńskich Zakładach Włókien Chemicznych ELANA typ Elpet 2A, polipropylen typ Malen P S-702 produkowany przez Petrochemię Płocką, polistyren koreański typ PSM-118, poliamid produkowany przez Gorzowskie Zakłady Włókien Chemicznych STILON S.A. typ S-23, S-25 oraz poliamid szwajcarski GRILON typ A28 Natur. Granulaty z poliamidu 6 wytwarzane w Zakładach STILON noszą nazwę handlową STILAMIDY S. Charakteryzują się one dobrymi właściwościami dielektrycznymi, niskim współczynnikiem tarcia oraz odpornością na działanie wielu substancji chemicznych. Wadą tych granulatów jest duża absorpcja wody.

Charakterystyka procesu technologicznego

Schemat stanowiska badawczego do formowania włókien dwuskładnikowych metodą pneumatyczną przedstawiono na rysunku 1. Stanowisko składa się z dwóch wyłaczarek typu BX-12, z których każda ma własne oprzyrządowanie. Wspólnym ich elementem jest urządzenie odbiorcze służące do formowania runa włóknistego.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska doświadczalnego do formowania dwuskładnikowych włókien metodą pneumatyczną

Wprowadzone do wylączarek W_1, W_2 granulatory polimerów zostają stopione i wstępnie ogrzane do temperatur T_w . Stopy polimerów o wydatkach P_p są wprowadzane do dysz (D_1, D_2), gdzie zostają ogrzane do temperatur T_d i wylączane przez odpowiednio rozmieszczone otworki. Po wyjściu z otworków są rozdmuchiwane silnymi strumieniami gorącego powietrza o temperaturach T_p i wydatkach V_p zasilanych z nagrzewnic powietrza (W_1, N_2). Powstające mikrowłókienka są rozciągane w strefie między dyszami a urządzeniem odbiorczym U_0 . Obracający się ze stałą prędkością walec zbiera padające na niego włókienka tworząc zwarte runo (włókninę).

Walec ten obraca się wokół własnej osi ze stałą prędkością obrotową 91 obr/min oraz przesuwają się jednocześnie ruchem jednostajnym z nastawianą prędkością. Może on również przesuwać się w kierunku pionowym, następuje wtedy zmiana odległości między wylotem dysz a powierzchnią walca.

Do zasilania dysz stopionym polimerem zastosowano wylączarki laboratoryjne firmy AXON o średnicy ślimaka 12 mm. Każda z nich ma cztery strefy grzewcze o możliwości regulacji temperatur wylączania w zakresie 20-999°C. Podstawowym elementem wylączarki jest ślimak, którego prędkość obrotowa zależy od obrotów silnika regulowanych za pomocą falownika. Ślimak jest luźno połączony z wałem napędowym i utrzymywany w miejscu przez przeciwnie skierowane ciśnienie wytwarzane wskutek uplastycznienia się materiału. Do cylindra ślimaka zamocowano lej dozujący, do którego wsypuje się granulat. Cylinder ślimaka w strefie pobierania granulatu jest zaopatrzone w kanały chłodzące.

Przebieg badań

Wszystkie badane włókienki uzyskano na omówionym stanowisku doświadczalnym. Badaniom poddano następujące włókienki jednorodny i dwuskładnikowe:

- włókienki jednorodny
 - PP** - włókienka polipropylenowa
 - PA** - włókienka poliamidowa
 - PES** - włókienka poliestrowa
 - PS** - włókienka polistyrenowa
- włókienki dwuskładnikowe
 - PP/PP** - włókienka z granulatu polipropylenowego
 - PP/PA** - włókienka z granulatu polipropylenowego i poliamidowego
 - PP/PES** - włókienka z granulatu polipropylenowego i poliestrowego
 - PP/PS** - włókienka z granulatu polipropylenowego i polistyrenu

Włókny przeznaczone do badań miały jednakową masę powierzchniową wynoszącą ok. 120 g/m². Dla konkretnego przypadku ustalono warunki technologiczne pracy pierwszej i drugiej wyłaczarki, a następnie ich wspólnego działania. Prace te prowadzono dla jednego rodzaju polimeru - polipropylenu. Te same czynności powtórzono dla następujących polimerów: poliamidu, poliestru i polistyrenu. Efektem tych prac było wytworzenie ww. mieszkankowych włóknin pneumatycznych.

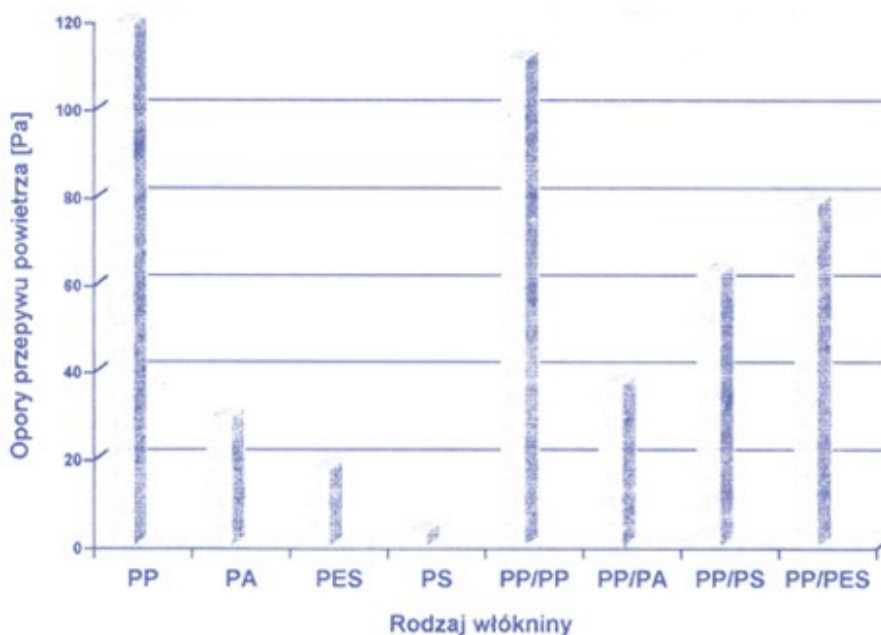
Dla jedno- i dwuskładnikowych włóknin wyznaczono właściwości filtracyjne:

Opór przepływu powietrza

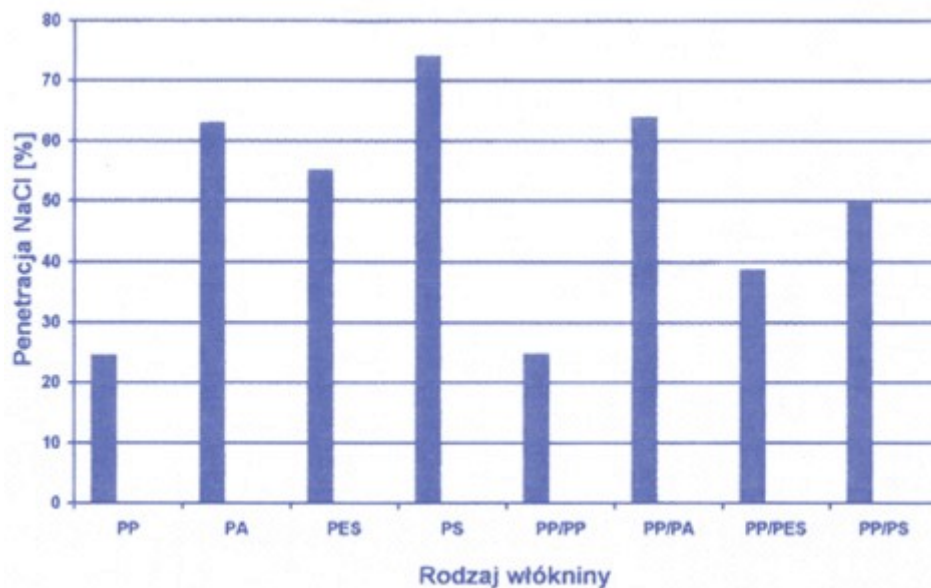
Wyznaczenie oporu przeprowadzono w warunkach ciągłego przepływu powietrza o objętościowym natężeniu 95 l/min. Opór przepływu określano za pomocą mikromanometru elektronicznego jako różnicę ciśnień statycznych przed i za włókniną.

Penetracja aerozolem chlorku sodu

Wskaźnik penetracji, rozumiany jako stosunek koncentracji aerozolu za filtrem do koncentracji aerozolu przed filtrem, wyznaczono stosując aerosol chlorku sodu, w którym masowa mediana średnicy cząstek wynosiła 0,6 μm. Penetrację określano przy objętościowym natężeniu przepływu 95 l/min. Wyniki badań przedstawiono w tabeli, a przebieg zmian oporów przepływu powietrza i wskaźnika penetracji NaCl na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Wartości oporów przepływu powietrza dla pneumatycznych włóknin jednorodnych i dwuskładnikowych



Rys. 3. Wartości penetracji NaCl dla włóknin pneumatycznych jednorodnych i dwuskładnikowych

CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI FILTRACYJNYCH PNEUMOTERMICZNYCH WŁÓKNIN JEDNORODNYCH I DWUSKŁADNIKOWYCH

Właściwości filtracyjne	Rodzaj włókny							
	PP	PA	PES	PS	PP/PP	PP/PA	PP/PES	PP/PS
Opory przepływu powietrza [Pa]	141	30	18	4	112	37.7	79.2	63
Wskaźnik penetracji NaCl [%]	23.5	63	55.1	74	24.7	64	38.6	49.6

Wnioski

Przedstawione w tabeli 1 wyniki badań penetracji i oporu przepływu powietrza wykonane dla wytworzonych pneumatycznych włókien jednorodnych i dwuskładnikowych wykazały, że włókien te posiadały zadowalające właściwości pod względem oporu przepływu powietrza, przy jednoczesnej znacznej wartości penetracji chlorku sodu. Najniższe opory oddychania uzyskała jednorodna włókna poliamidowa, poliestrowa i polistyrenowa oraz dwuskładnikowa włókna polipropylenowo-poliestrowa. Natomiast najniższy wskaźnik penetracji NaCl uzyskała jednorodna włókna polipropylenowa, dwuskładnikowa włókna z granulatu polipropylenowych oraz dwuskładnikowa włókna z granulatu polipropylenowego i poliestrowego. Jednak zastosowanie włókien pneumatycznych z dwóch polimerów w stosunku do jednorodnej włókny polipropylenowej nie spowodowało polepszenia penetracji.

Zaprezentowane wyniki badań oporu przepływu powietrza i penetracji metodą chlorku sodu należy rozpatrywać jednocześnie, gdyż materiały filtracyjne stosowane w sprzęcie ochrony układu oddechowego muszą stanowić kompromis między wysoką skutecznością usuwania cząstek z przepływającego przez nie powietrza a niską wartością oporu przepływu powietrza, decydującym o fizjologicznym komforcie ochrony. Z przedstawionych wykresów (rys. 2, 3) wynika, że pod względem oporów przepływu powietrza każdy rodzaj wytworzonej włókny spełnia wymagania norm i może być stosowany w sprzęcie ochrony układu oddechowego. Jednakże wartość penetracji klasyfikuje te materiały powyżej najniższej klasy ochronnej. Spełnienie wymagań w zakresie obu tych parametrów jednocześnie decyduje dopiero o właściwościach filtracyjnych materiałów przeznaczonych na ochrony układu oddechowego. Z tego względu wytworzone dwuskładnikowe włókien pneumatyczne nie spełniają tych wymagań. Mogą być wykorzystywane jedynie jako filtr wstępny, którego zadaniem jest oczyszczanie powietrza z grubych cząstek, a który umieszczony jest przed filtrem głównym. Właściwości uzyskanego materiału dają podstawę do prowadzenia dalszych prac związanych z wprowadzeniem ładunku elektrycznego metodą wyładowań koronowych, która przyczyniłaby się do uzyskania włókny filtracyjnej spełniającej wymagania norm w zakresie obu parametrów filtracyjnych.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Ciach T., Czwaro L., Gradoń L.: *Metody zwiększania sprawności filtracji materiałów włókninowych. Gotowe włókien filtracyjne*. Prace Wydziału Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej, T.XXII, z. 1-2, 1995
- [2] Ciach T., Czwaro L., Gradoń L.: *Metody zwiększania sprawności filtracji materiałów włókninowych. Włókien pneumatyczne*. Prace Wydziału Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej, T.XXII, z. 1-2, 1995
- [3] Krzyżanowski J.: *Struktura właściwości włókien formowanych z polipropylenu techniką pneumatyczną przy zmiennych parametrach energetycznych*. Praca doktorska IW, 1986
- [4] Smith P.A., East G.C., Brown C.R., Wake D.: *Generation of triboelectric charge in extile fibre mixtures and their use as air filters*. Journal of Electrostatic t.21, s. 81, 1988
- [5] Brochocka A.: *Efekt tryboelektryczny w materiałach włókninowych*. Bezpieczeństwo Pracy nr 10, październik 1997
- [6] Gajewski A.S.: *Elektryczność statyczna*. Instytut Wydawniczy Związków Zawodowych, Warszawa 1987