

WŁAŚCIWOŚCI I STRUKTURA POWŁOK TRÓJWARSTWOWYCH Z PVC MODYFIKOWANEGO ŚRODKIEM PORUJĄCYM

Aneta Tor

Katedra Procesów Polimerowych, Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, a.tor@pollub.pl

Streszczenie. Technologia wytłaczania porującego tworzyw termoplastycznych jest w ostatnich latach jedną z szybciej rozwijających się metod przetwórstwa tych materiałów. Ma ona na celu otrzymanie kształtowników, kabli i powłok porowatych o zmniejszonej gęstości oraz pozbawionych zapadnięć na powierzchni wytłoczyny i wykazujących minimalny skurcz przy jednoczesnym zachowaniu zbliżonych właściwości wytworów wytłaczanych metodą konwencjonalną. W celu uzyskania struktury porowatej modyfikuje się właściwości wytłoczyny poprzez zastosowanie odpowiedniego tworzywa lub wprowadzenie do niego środków pomocniczych. W artykule scharakteryzowano proces wytwarzania powłok trójwarstwowych kabli i przewodów metodą współwytłaczania porującego, przedstawiono specyfikację środka porującego zastosowanego w procesie wytłaczania oraz warunki przetwórstwa. Omówiono wybrane wyniki badań właściwości wytłoczyny porowatej, które zostały wykonane w ramach projektu badawczego realizowanego w Katedrze Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej.

Słowa kluczowe: wytłaczania porujące, środek porujący, powłoka kabla

WSTĘP

Nowe możliwości zastosowania oraz konieczność podwyższania jakości powłok kabli oraz przewodów, a także wzrastająca potrzeba zwiększania produkcji przy jednoczesnym zmniejszeniu jej kosztów sprawiają, że konstruktorzy udoskonalają proces ich wytwarzania zarówno przez zmiany konstrukcyjne narzędzi i maszyn wykorzystywanych w procesie wytłaczania, jak również poprzez modyfikację struktury tworzywa [Sikora i in. 2007].

W Katedrze Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej opracowano proces technologiczny wytłaczania porującego w odniesieniu do powłok kabli oraz przewodów, w wyniku którego otrzymano nowe powłoki o zmienionych właściwościach, np. mniejszej gęstości tworzywa polimerowego. Skutkuje to zmianą właściwości i cech powłok.

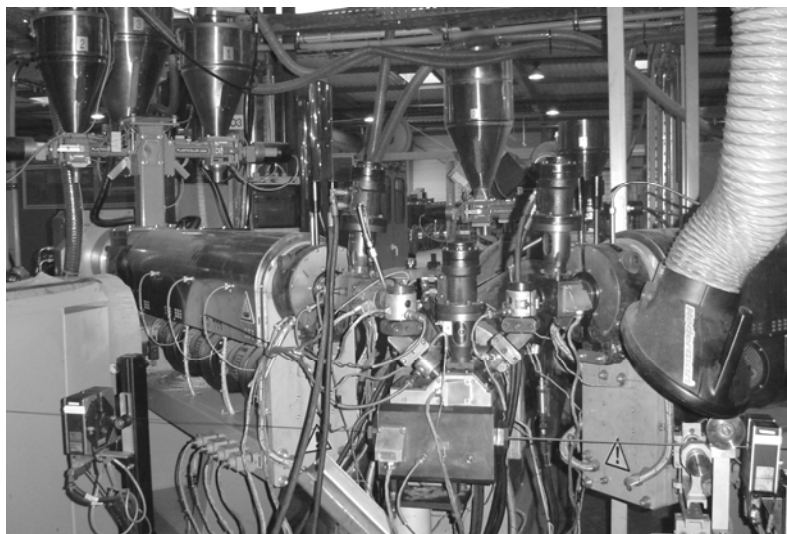
Modyfikacja powłoki przewodu metalowego odbywa się w czasie jego wytwarzania poprzez wprowadzenie do układu uplastyczniającego wytłaczarki razem z tworzywem wejściowym środka porującego (poroforu), który po osiągnięciu odpowiedniej

temperatury rozkłada się, powodując porowanie wytłaczanej powłoki. W procesie tym ważny jest dobór tworzywa wejściowego oraz rodzaj środka porującego. Może on być w postaci gazu, proszku, granulatu lub mikrosfer. Przy jego doborze należy uwzględnić sposób dozowania, rodzaj tworzywa wejściowego, temperaturę jego rozkładu oraz budowę układu uplastyczniającego [Garbacz i in. 2005, Sikora i in. 2006].

Zmiana mikrostruktury tworzywa następuje również po odpowiednim dobraniu warunków procesu wytłaczania porującego, tj. temperatury w poszczególnych strefach układu uplastyczniającego oraz strefach głowicy wytłaczarskiej, a także dzięki cechom konstrukcyjnym maszyn i narzędzi wykorzystywanych w tym procesie. Odpowiednio dobrane warunki przetwórstwa umożliwiają otrzymanie wytworów o nowych, zmodyfikowanych właściwościach fizycznych i technologicznych, o zmniejszonej masie (a co za tym idzie zużyciu tworzywa), lepszych właściwościach tłumiących (ciepło, hałas) oraz zmniejszonym skurczu przetwórczym, przy zachowanych lub zbliżonych właściwościach mechanicznych [Bielński 2004, Garbacz 2007, Tor 2007].

CHARAKTERYSTYKA PROCESU

Proces wytwarzania powłoki trójwarstwowej przeprowadzono na linii technologicznej współwytłaczania powlekającego kabli, składającej się z trzech wytłaczarek jednoślیمakowych Rosendahl o średnicy ślimaka 120 mm, wyposażonych w dozowniki tworzywa (fot. 1). Wytłaczarka główna miała dodatkowo specjalny dozownik ślimakowy, umożliwiający podawanie środka porującego w ilości od 0,1% mas.



Fot. 1. Fragment linii technologicznej porującego współwytłaczania powlekającego

Phot. 1. Section of a technological line for cellular coating co-extrusion process

W procesie użyto polichlorku winylu plastyfikowanego PXI-92-155-000, który modyfikowano środkiem porującym Hydrocerol 530 o endotermicznej charakterystyce rozkładu, zawierającym 50% efektywnego poroforu. Środek ten dozowano w ilościach od 0,2 do 1,0% mas.

Proces współwytłaczania porującego zrealizowano przy następujących warunkach: temperatura stref grzejnych układu uplastyczniającego: 40, 160, 170, 180, $175 \pm 1^\circ\text{C}$; temperatura głowicy wytaczarskiej odpowiednio: 170, 165, 170, 170, $175 \pm 1^\circ\text{C}$; temperatura czynnika chłodzącego: $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Proces współwytłaczania porującego przebiegał przy zadanej prędkości odbioru wytwarzanej powłoki kabla wynoszącej 500 m/min. Podczas zwiększania zawartości środka porującego zauważono zmianę wartości szybkości obrotowej ślimaka poszczególnych wytłaczarek. Wartości te umieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Szybkość obrotowa ślimaka w zależności od zawartości środka porującego

Table 1. Screw rotational speed in dependent on contents of porophor

Zawartość środka porującego %	Szybkość obrotowa ślimaka obr/min		
	wytłaczarka 1 główna	wytłaczarka 2 dodatkowa	wytłaczarka 3 dodatkowa
0	12,5	16,1	22,9
0,2	12,1	15,7	22,4
0,4	12,0	15,4	22,0
0,6	8,6	11,1	15,8
0,8	7,8	10,0	14,3
1,0	7,7	9,9	14,2

W efekcie procesu otrzymano powłokę kabla trójwarstwową, w której warstwa zewnętrzna oraz wewnętrzna wykonana jest z PVC litego, natomiast warstwa środkowa z PVC zawierającego środek porujący (fot. 2). Grubość poszczególnych warstw wynosi: 1 – 0,2 mm, 2 – 0,37 mm, 3 – 0,1 mm.

Otrzymane próbki powłok trójwarstwowych poddano badaniom właściwości fizycznych i strukturalnych. Wykonano pomiar gęstości, stopnia sporowacenia, odporności na nawijanie w niskiej temperaturze oraz ocenę struktury powłok na podstawie sporządzonych obrazów cyfrowych.

BADANIA GĘSTOŚCI I STOPNIA SPOROWACENIA POWŁOK

Do oznaczania gęstości próbek powłok z porowanej żyły przewodu elektrycznego zastosowano metodę piknometryczną. Pomiary wykonano zachowując zalecenia normy PN-EN ISO 1183-1: 2006 (Metody oznaczania gęstości tworzyw sztucznych) oraz normy PN-EN 60811-1-1-3: 1999 (Wspólne metody badania materiałów stosowanych na izolację i powłoki przewodów oraz kabli elektrycznych. Metody ogólnego zastosowania). Pomiary przeprowadzono na próbkach pochodzących z powłok, których masa zawierała się w przedziale od 1 do 5 g. Do wykonania oznaczania gęstości wykorzystano wagę laboratoryjną WA-34 oraz piknometr laboratoryjny o pojemności 50 ml. Jako cieczy immersyjnej użyto wody destylowanej.

Z uwagi na to, że otrzymana powłoka składa się z dwóch warstw litych oraz jednej warstwy porowatej, niemożliwych do jednoznacznego oddzielenia od siebie podczas oznaczania gęstości, obliczona gęstość próbek powłok z PVC nie stanowi bezpośredniego gęstości warstwy sporowaczonej powłoki.

Znając grubość poszczególnych warstw oraz na podstawie porównania matematycznego określono, że grubość warstwy litej stanowi 40% grubości całej powłoki,

a procesowi mikroporowania ulega pozostałe 60% powłoki. Powoduje to, że 40% powłoki ma gęstość stałą tworzywa litego, czyli $\rho_n = 1470 \text{ kg/m}^3$, zaś 60% powłoki ma gęstość ρ_s warstwy sporowaczonej. Można ją wyznaczyć na podstawie równania:

$$\rho = \rho_n \cdot 0,4 + \rho_s \cdot 0,6 \quad (1)$$

które po przekształceniu przybiera postać:

$$\rho_s = \frac{\rho - \rho_n \cdot 0,4}{0,6} \quad (2)$$

w której:

- ρ – gęstość próbek powłok z PVC, kg/m^3 ,
- ρ_n – gęstość tworzywa litego, kg/m^3 ,
- ρ_s – gęstość warstwy sporowaczonej, kg/m^3 .

Stopień sporowaczenia powłoki oznaczano zgodnie z zależnością:

$$p = \frac{\rho_n - \rho_s}{\rho_n} 100 \% \quad (3)$$

gdzie:

- p – stopień sporowaczenia, %
- ρ_n – gęstość tworzywa litego, kg/m^3 ,
- ρ_s – gęstość warstwy sporowaczonej, kg/m^3 .

W tabeli 2 przedstawiono wyniki oznaczania gęstości warstwy sporowaczonej oraz stopnia jej sporowaczenia, wytworzonej przy różnej zawartości środka porującego.

Tabela 2. Wyniki pomiarów gęstości oraz stopnia sporowaczenia

Table 2. Results of density and porosity degree researches

Zawartość środka porującego %	Gęstość ρ próbek powłok kg/m^3	Gęstość ρ_s warstwy sporowaczonej kg/m^3	Stopień sporowaczenia p %
0	1470	1470	0,0
0,2	1402	1356	8,0
0,4	1330	1236	16,0
0,6	1086	830	43,0
0,8	1025	728	50,0
1,0	1014	710	52,0

BADANIA ODPORNOŚCI NA NAWIJANIE W NISKIEJ TEMPERATURZE

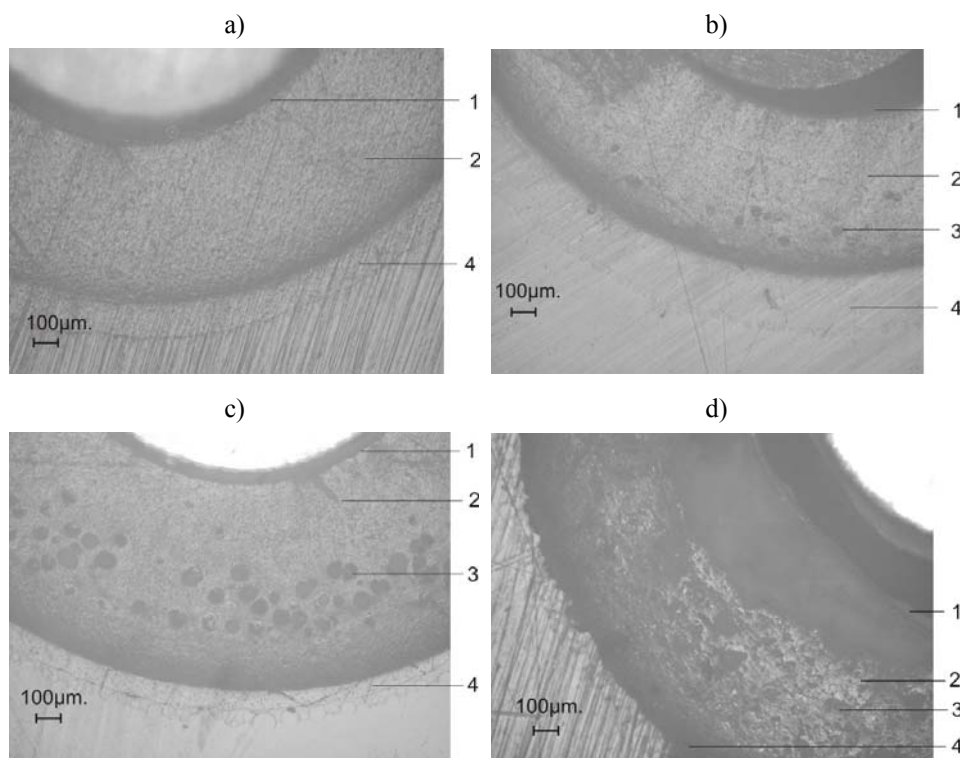
Oznaczanie odporności powłok z PVC na nawijanie w niskiej temperaturze wykonano zgodnie z normą PN-EN 60811-1-4: 1999 (Wspólne metody badania materiałów stosowanych na izolację i powłoki przewodów i kabli elektrycznych. Badania w niskiej temperaturze). Badaniu poddano próbki powłok zawierające środek porujący w ilości 0–0,4%. W badaniach nie uwzględniono powłok, w których środek porujący dozowany w ilości 0,6–1,0%, ze względu na jej niejednorodność i gęsto rozmieszczone pęknięcia.

Próbki zostały nawinięte na trzpień metalowy o średnicy 8 mm i podzielone na dwie grupy. Pierwsza grupa była zanurzona w wodzie na 24 h, a następnie niezwłocznie umieszczona w komorze niskich temperatur na 16 h. Drugą grupę umieszczono bezpośrednio w komorze niskich temperatur na 16 h. Temperatura oznaczania w obu przypadkach wynosiła -25°C .

Próbki powłok z PVC zarówno bezpośrednio umieszczone w komorze niskich temperatur, jak i uprzednio zanurzone w wodzie, a następnie bezpośrednio umieszczone w komorze niskich temperatur nie wykazały jakichkolwiek pęknięć i złuszczeń.

BADANIA MIKROSKOPOWE

Badania te wykonano przy użyciu mikroskopu optycznego Zeiss Neophot 2 w świetle jasnym. Analiza wykonanych fotografii (fot. 2) wykazała, iż w powłoce o zawartości 0,4% środka porującego wyraźnie widoczna jest warstwa zewnętrzna lita oraz występuje



Fot. 2. Wygląd mikrostruktury powłok trójwarstwowych zawierających środek porujący w ilości: a) 0%, b) 0,2%, c) 0,4%, d) 0,8%; 1 – warstwa wewnętrzna lita, 2 – warstwa środkowa porowata, 3 – por, 4 – warstwa zewnętrzna lita

Phot. 2. View of three-layered coatings microstructure inclusive blowing agent in amount: a) 0%, b) 0.2%, c) 0.4%, d) 0.8%; 1 – solid internal layer, 2 – porous middle layer, 3 – pore, 4 – solid external layer

najbardziej równomierny rozkład porów, a ich rozmiary są zbliżone. W przypadku powłok z zawartością środka porującego w ilości 0,2% rozkład ten jest nierównomierny, sporadyczny, a widoczne pory są niewielkich rozmiarów. Natomiast w powłoce zawierającej 0,6÷0,8% środka porującego widoczne jest zbyt duże zagęszczenie porów różnych rozmiarów, powodujące nieciągłość, przerwania powłoki.

PODSUMOWANIE

Współwytłaczanie porujące ma duże znaczenie w procesie przetwórstwa tworzyw polimerowych. Umożliwia wytwarzanie powłok i kształtowników wielowarstwowych, w których można zmienić strukturę poszczególnych warstw wytłoczonej poprzez modyfikację tworzywa przetwarzanego wybranym środkiem porującym, dozowanym stopniowo i w odpowiednich ilościach.

W przeprowadzonych badaniach rodzaj oraz ilość dozowanego środka porującego dobrano tak, że przy zadanych warunkach przetwórstwa otrzymano powłokę żyły kabla trójwarstwową z litą warstwą zewnętrzną i wewnętrzną oraz porowatą warstwą środkową.

Na podstawie analizy wyników badań gęstości, stopnia sporowacenia, odporności na nawijanie w niskiej temperaturze oraz mikroskopowych powłok trójwarstwowych można przyjąć, iż optymalna zawartość środka porującego w tworzywie powinna wynosić 0,4%. Świadczy o tym otrzymany wynik stopnia sporowacenia (16%) oraz gęstości (1236 kg/m^3). Jednocześnie zachowano ciągłość powłoki w całym przekroju, a także równomierny rozkład porów oraz ich przybliżone rozmiary.

W przypadku powłoki zawierającej 0,2% środka porującego wartości stopnia sporowacenia (8%) oraz gęstości (1402 kg/m^3) są niewystarczające. Szeroki rozrzut porów w powłoce może być spowodowany nierównomiernym dozowaniem tak małej ilości środka. W przypadku powłok, w których dozowano środek porujący w ilości 0,6% i więcej otrzymane wartości stopnia sporowacenia (43–52%) oraz gęstości ($1086\text{--}1014 \text{ kg/m}^3$) są bardzo dobre, zważywszy na grubość poszczególnych warstw powłok. Jednak powstałe przerwania i nieciągłość powłoki, powodujące przebicia elektryczne uniemożliwiają zastosowanie takiej dozy środka porującego.

Dodanie środka porującego do tworzywa przetwarzanego umożliwia otrzymywanie kształtowników i powłok o zmodyfikowanych właściwościach fizycznych, technologicznych i użytkowych. Zmniejszenie gęstości powoduje mniejsze zużycie tworzywa przetwarzanego, a co za tym idzie kosztów jego zakupu. Dodatkowo zaobserwowana zmiana szybkości obrotowej ślimaka wszystkich wytłaczarek pozwala stwierdzić, iż podczas procesu wytłaczania porującego następuje także zmiana zużycia energetycznego linii technologicznej, co skutkuje oszczędnościami energetycznymi.

PIŚMIENNICTWO

- Bieliński M. 2004. Techniki porowania tworzyw termoplastycznych, Bydgoszcz.
- Garbacz T., Tor A. 2007. Wpływ zawartości środka porującego na właściwości użytkowe zewnętrznych powłok kabli wytwarzanych metodą wytłaczania porującego. *Polimery*, 52, 4.
- Garbacz T., Samujło B., Jachowicz T. 2005. Foaming of extruded layers of telecommunication cables using endothermal foaming agents. 21st Polymer Processing Society, Germany.

- Sikora R. (red.) 2006. Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne, Lublin.
- Sikora R., Tor A., Garbacz T. 2007. Selected issues of cellular extrusion process of polyvinyl chloride coatings. Polymer Processing Society Europe/Africa Regional Meeting, Gothenburg, Sweden.
- Tor A. 2007. Selected problems of extrusion process of cellular cable layers. 10th International Symposium of Students and Young Mechanical Engineers „Advances in Mechanical Engineering”, Gdańsk.

PROPERTIES AND STRUCTURE OF THREE-LAYERED COATINGS OF PVC MODIFIED BY BLOWING AGENT

Summary. Technology of cellular extrusion of thermoplastic materials has been one of the fastest developing methods of their processing in the recent years. The process is aimed at obtaining cellular shapes and coats with reduced density, presenting no hollows on the surface of extruder product, and displaying minimal contraction under concurrent maintenance of properties similar to properties of products extruded by means of conventional method. In order to obtain cellular structure, the properties of extruder product are modified by applying suitable plastic or inserting auxiliary agents. The paper describes the manufacturing process of cable and conduit three-layered coatings by cellular co-extrusion method, presents specifications of blowing agents used in the extrusion process and process conditions. The paper demonstrates selected results of cellular product examination, which was made within the framework of a large research project.

Key words: cellular co-extrusion process, blowing agent, cable coating

KOMPOZYTY POLIMEROWO-DRZEWNE

Stanisław Zajchowski, Jolanta Tomaszewska

Zakład Technologii Polimerów, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
ul. Seminaryjna 3, 85-326 Bydgoszcz, jolanta.tomaszewska@utp.edu.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono problemy nazewnictwa kompozytów polimerowo-drzewnych oraz rys historyczny i kierunki ich rozwoju. Scharakteryzowano najważniejsze składniki stosowane do wytwarzania WPC.

Słowa kluczowe: kompozyty polimerowo-drzewne, terminologia, napelniacze, środki pomocnicze

Doniesienia literatury z ostatnich lat wskazują na gwałtownie rosnące zainteresowanie zarówno ośrodków badawczych, jak i przemysłu kompozytami z tworzyw polimerowych zawierających napelniacze pochodzenia roślinnego. Tematowi temu poświęcono kilka światowych, regularnie odbywających się konferencji, np. w Kassel, Madison czy Wiedniu, a ostatnio w Kolonii [2 Deutscher WPC-Kongress 2007, Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium, International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, Wood Plastic Composites], gdzie szczególną uwagę skupiono na kompozytach polimerowo-drzewnych (WPC).

Wyróżnić można trzy powody, dla których kompozyty te cieszą się coraz większym zainteresowaniem, zarówno w krajach, gdzie drewno jest surowcem tanim, jak i w krajach, gdzie występuje jego deficyt. WPC stanowią wówczas cenny jego substytut. Przewiduje się, że roczny przyrost produkcji WPC na świecie do roku 2010 będzie wynosił dla różnych krajów od 10 do 20% [Information 2006].

Pierwszym powodem jest wyczerpywanie się, bez możliwości odnowy, złóż ropy i gazu, których cena stale wzrasta, co wpływa na wzrost cen polimerów. Częściowe ich zastąpienie w wytworach drewnem, surowcem tanim i odnawialnym, jest racjonalne ze względów ekonomicznych, a poza tym ekologicznych.

Drugim powodem zainteresowania kompozytami polimerowo-drzewnymi są dobre właściwości wytworów z nich otrzymanych poprzez połączenie korzystnych cech składników podstawowych: drewna i tworzywa polimerowego. Wytwory z kompozytów napelzionych mączką drzewną wykazują korzystne właściwości mechaniczne, wyższą sztywność, a w porównaniu z drewnem i tworzywami drzewnymi znacznie niższą nasią-