

TOMASZ GARBACZ, ANETA TOR

Politechnika Lubelska
Katedra Procesów Polimerowych
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
e-mail: t.garbacz@pollub.pl, a.tor@pollub.pl

Wpływ zawartości środka porującego na właściwości użytkowe zewnętrznych powłok kabli wytwarzanych metodą wytłaczania porującego^{*)}

Streszczenie — Na podstawie literatury szczegółowo omówiono proces wytłaczania porującego, ze szczególnym uwzględnieniem typów wykorzystywanych do tego celu głowic oraz stosowanych środków porujących, w tym charakterystykę ich rozkładu. Wykorzystując zmodernizowaną linię technologiczną do wytłaczania powlekającego, obejmującą próżniowo-ciśnieniowy kalibrator własnej konstrukcji, wytworzono z PVC, w ustalonych warunkach, zewnętrzne powłoki kabli elektroenergetycznych z porowatym rdzeniem i litą powierzchnią zewnętrzną. W charakterze środka porującego o endotermicznym przebiegu rozkładu zastosowano mieszaninę wodorowęglanu sodu i kwasu cytrynowego w ilości do 1 % mas. w przeliczeniu na tworzywo. Wykazano, że w tym przedziale zawartości poroforu uzyskuje się powłoki zewnętrzne o dobrych właściwościach użytkowych (stopień sporowacenia, gęstość, wytrzymałość mechaniczna).

Słowa kluczowe: powlekające wytłaczanie porujące, głowice wytłaczarskie, kalibratory, środki porujące, kable elektroenergetyczne, powłoki zewnętrzne, poli(chlorek winylu), właściwości użytkowe.

EFFECT OF POROPHOR CONTENT ON THE USEFUL PROPERTIES OF EXTERNAL COATINGS OF CABLES OBTAINED BY FOAMING EXTRUSION

Summary — Basing on the literature data the process of foaming extrusion was discussed in details including the types of extrusion heads used (Fig. 1—5) and porophors used in the process, with their decomposition characteristics. Using modernized technological line for coating extrusion, containing a vacuum-pressure calibrator of own construction (Fig. 6—8), the external PVC coatings of electrical power cables, with porous core and solid surface, were prepared in steady-state conditions. The mixture of sodium bicarbonate and citric acid, in the amount up to 1 wt. % per polymer, was used as blowing agent showing endothermic course of decomposition. It was shown that in this range of porophor content the external coatings showed good useful properties (porosity degree, density, and mechanical strength — Table 2 and 3).

Key words: foaming extrusion, extrusion heads, calibrators, porophors, electrical power cables, external coatings, poly(vinyl chloride), useful properties.

ISTOTA WYTŁACZANIA PORUJĄCEGO

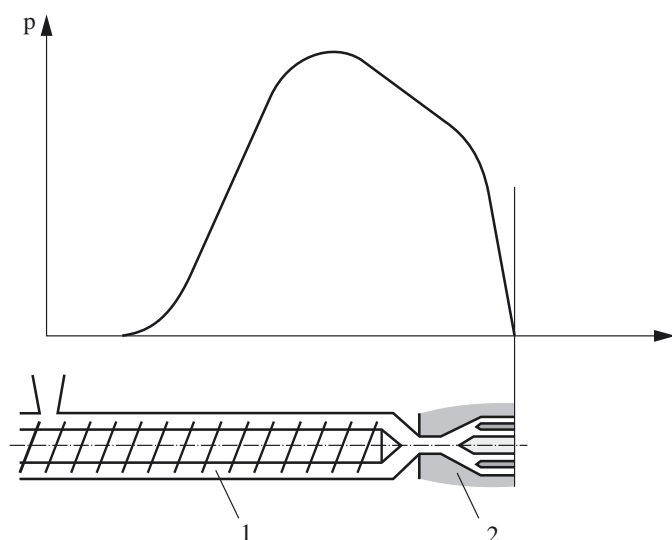
Wytłaczanie tworzyw porowatych — w odróżnieniu od wytłaczania tworzyw litych (por. np. [1]) — w wyniku procesu przetwórczego nadaje wytworowi strukturę dwufazową tworzywo/gaz charakteryzującą się obecnością możliwie małych i równomiernie rozmieszczonych pęcherzyków gazu. Strukturę taką uzyskuje się dzięki wprowadzeniu do wejściowego tworzywa środka porującego (poroforu) w postaci gazu obojętnego, cieczy niskowrzącej lub ciała stałego (ciekły lub stały poro-

for w określonych warunkach procesu wytłaczania przechodzi w gaz) [2—6].

Gazy obojętne a także ciecze niskowrzące wprowadza się podczas wytłaczania pod ciśnieniem bezpośrednio do strefy zasilania układu uplastyczniającego wytłaczarki za pomocą specjalnych urządzeń dozujących. Niektóre ciecze i ciała stałe miesza się natomiast z tworzywem (tak jak pigmenty) w sposób typowy, tj. przed dostarczeniem do zasobnika wytłaczarki lub nawet wprowadza się do tworzywa już w procesie jego wytwarzania. W odpowiedniej temperaturze, pod wpływem gazu, następuje proces tworzenia się licznych mikrosfer; które dzięki panującemu ciśnieniu i rozwinięciu powierzchni natychmiast ulegają rozpuszczeniu w otaczającym tworzywie. Powstające pory mogą być wypełnio-

^{*)} Artykuł oparty na treści referatu przedstawionego w ramach XI Profesorskich Warsztatów Naukowych, Bydgoszcz—Pieczęyska, 11—14 czerwca 2006 r.

ne zarówno powietrzem, jak i innymi gazami, np. CO₂ lub N₂, ale później, w wyniku dyfuzji, zostają zastąpione powietrzem [7, 8]. Strumień przetworzonego tworzywa wraz z rozpuszczonym w nim gazem pod ciśnieniem jest transportowany do głowicy wycłaczarskiej, w której wstępnie formuje się wytwór. Ciśnienie powinno być na tyle duże, by gaz nie wydzielił się w strumieniu tworzywa w postaci odrębnej fazy (mikrobanieczek) aż do wylotu z dyszy wycłaczarskiej. Gdyby zaistniało takie niepożądane zjawisko, to na skutek naprężenia ścinającego w przepływającym tworzywie zniszczeniu mechanicz-



Rys. 1. Przebieg zmian wartości ciśnienia porowanego tworzywa wzdłuż długości układu uplastyczniającego (1) i dyszy głowicy (2) [3]

Fig. 1. Course of the changes of cellular polymer pressure along the length of plasticizing system (1) and a die (2) [3]

nemu uległyby przegrody rozdzielające banieczki gazu; uzyskanie jednorodnej struktury porowatej byłoby wówczas niemożliwe. Wartość ciśnienia w tworzywie porowatym rośnie wzdłuż długości układu uplastyczniającego, zmniejsza się nieco w końcowej części tego układu i na początku głowicy wycłaczarskiej a gwałtownie maleje w dyszy głowicy aż do wartości ciśnienia atmosferycznego (rys. 1).

ŚRODKI PORUJĄCE

Temperatura rozkładu środka porującego, używanego w postaci cieczy lub ciała stałego i właściwie dobrego do rodzaju tworzywa, powinna być wyższa od temperatury topnienia tworzywa, ale niższa od temperatury jego wycłaczania. Tworzywo porowate w stanie ciekłym nie jest jeszcze układem stabilnym, albowiem w wyniku działania dyfuzji oraz napięcia powierzchniowego na granicy faz tworzywo/gaz zmniejsza się w materiale liczba porów, powiększają się natomiast ich wy-

miary (efekt niepożądany). Pory rosną do chwili osiągnięcia stanu równowagi między ciśnieniem gazu a napięciem powierzchniowym. Korzystną strukturę (z małymi porami) gotowego wytworu zachowuje się dzięki jak najszybszemu ochładzaniu i zestalaniu tworzywa [3, 9, 10].

Porofory w procesie wycłaczania ulegają takim samym operacjom jak przetwarzane tworzywo jeszcze przed porowaniem, to jest nagrzewaniu, sprężaniu, homogenizowaniu i transportowaniu do głowicy wycłaczarskiej. Gazy obojętne oraz ciecze niskowrzące mogą ulegać rozpuszczeniu w tworzywie uplastycznionym, przy czym szybkość rozpuszczania tych poroforów zwiększa się wraz ze wzrostem intensywności mieszania i ciśnienia gazu. Odpowiednie warunki procesu przetwórstwa zazwyczaj dobiera się doświadczalnie.

Środki porujące mające zastosowanie w procesie wycłaczania tradycyjnie (choć niezbyt ściśle) dzieli się na fizyczne oraz chemiczne [2, 7, 11, 12].

Porofory fizyczne to substancje zmieniające w procesie porowania jedynie stan skupienia a nie swoją strukturę chemiczną. Są to zatem ciecze lub gazy, które wprowadzone pod ciśnieniem rozpuszczają się w tworzywie a następnie, po podwyższeniu temperatury i obniżeniu ciśnienia, odparowują lub wydzielają się w postaci mikrobanieczek. Do tej grupy poroforów należą ciecze organiczne o niskiej temperaturze wrzenia (węglowodory alifatyczne oraz ich chlorofluoropochodne) [7, 13]. Ważną cechą poroforu fizycznego jest możliwie niewielka prężność pary w temperaturze pokojowej i duża szybkość odparowywania w temperaturze procesu przetwórstwa.

Porofory chemiczne działają w podobny sposób jak porofory fizyczne, ale powodujące porowanie produkty gazowe powstają w wyniku rozkładu tych środków w tworzywie. Substancje te dzieli się na nieorganiczne i organiczne. Porofory nieorganiczne to przede wszystkim niektóre węglany i wodorowęglany (np. wodorowęglan sodu) [7].

Najważniejszą grupę poroforów stosowanych w procesach wycłaczania (oraz wtryskiwania) tworzyw stanowią obecnie porofory organiczne, takie jak związki azowe, pochodne hydrazyny, semikarbazyny, azydki, związki N-nitrozowe, triazole i tetrazole oraz pochodne mocznika. Najważniejszy z nich to związek azowy — diamid kwasu azomrówkowego (azodikarbonamid).

Chemiczne środki porujące mogą mieć egzotermiczną lub endotermiczną charakterystykę przebiegu rozkładu [2, 3, 9, 11, 13, 14]. Porofory stosowane dotychczas w procesie wycłaczania rozkładają się w procesie egzotermicznym, który często może przyczyniać się do lokalnych przegrzań i powstawania nieregularnej struktury porowatego wytworu. Zapoczątkowany w takim przypadku dalszy rozkład poroforu przebiega samoczynnie, nawet po odcięciu dopływu ciepła. Dlatego też wytwory porowane tego rodzaju środkami należy długo i intensywnie ochładzać aby zapobiec odkształceniom i zach-

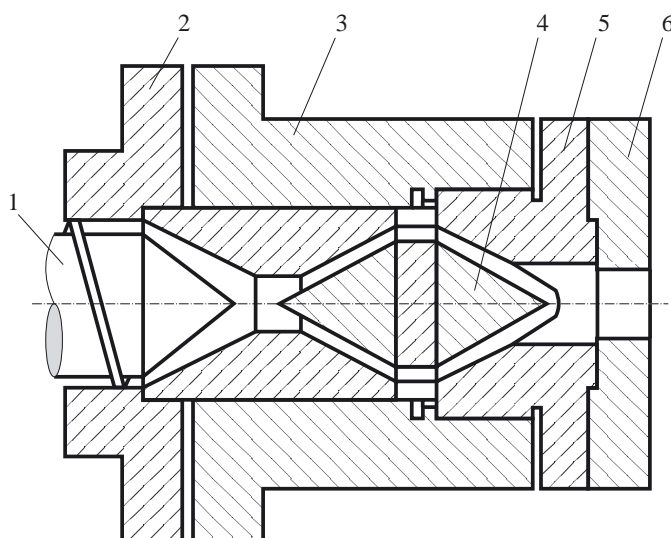
wać właściwą strukturę porowatą. Głównymi przedstawicielami tej grupy poroforów są hydrazydy, np. sulfohydrazyd, i związki azowe, np. azodikarbonamid. Ten ostatni związek stosuje się powszechnie do porowania polietylenu, poli(chlorku winylu), polistyrenu oraz poli-amidu [7, 13, 14].

W przypadku środków porujących o endotermicznym charakterze rozkładu, wydzielanie gazu podczas przetworstwa kończy się gwałtownie po zakończeniu doprowadzania ciepła. Użycie tego rodzaju poroforów znacznie skraca czas ochładzania wytworu. Do grupy tych związków należą m.in. bikarbonaty, np. wodorowęglan sodu lub amonu, oraz kwas hydroksypropanotrikarboksylowy [7, 14].

GŁOWICE ORAZ KALIBRATORY DO WYTŁACZANIA PORUJĄCEGO

Wymagania technologiczne dotyczące wytwarzania wytworów porowatych narzucają sposób konstruowania specyficznych głowic wycieczarskich [2, 15, 16]. Mianowicie, przekrój poprzeczny dyszy takiej głowicy powinien być mniejszy od przekroju poprzecznego wytłoczyny porowatej, gdyż formowany w dyszy lity przekrój ulega zwiększeniu — w wyniku nakładania się efektu Barusa — dopiero podczas swobodnego porowania w chwili wydostawania się z dyszy i po jej opuszczeniu [8, 17—19]. Jednak przekroje poprzeczne kanałów głowicy wycieczarskiej muszą być na tyle duże, aby ciśnienie tworzywa zmniejszało się w nich nieznacznie, dysza natomiast — odpowiednio krótka, gwarantująca duży spadek ciśnienia [2, 4, 20]. Jest to więc sytuacja odmienna od przypadku wytłaczania tworzyw litych, kiedy to stosuje się głowice o kanale, którego przekrój odpowiada przekrojowi wytłoczyny [10, 15, 16, 20].

W procesie wytłaczania porującego wykorzystuje się różnego typu głowice. Bezpośrednio przepływowe, proste trzpieniowe głowice wycieczarskie przeznaczone

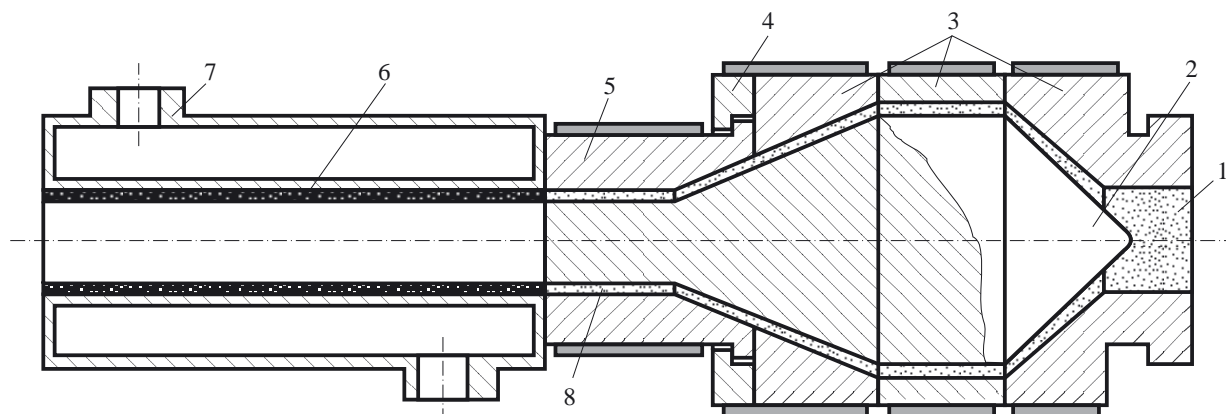


Rys. 2. Schemat prostej trzpieniowej głowicy z wymiennym pierścieniem formującym: 1 — ślimak, 2 — cylinder wytłaczarki, 3 — korpus głowicy, 4 — trzpień, 5 — tuleja, 6 — wymienny pierścień formujący [10, 15]

Fig. 2. Scheme of mandrel straight line head with replaceable molding ring: 1 — screw, 2 — cylinder, 3 — head frame, 4 — mandrel, 5 — sleeve, 6 — exchangeable molding ring [10, 15]

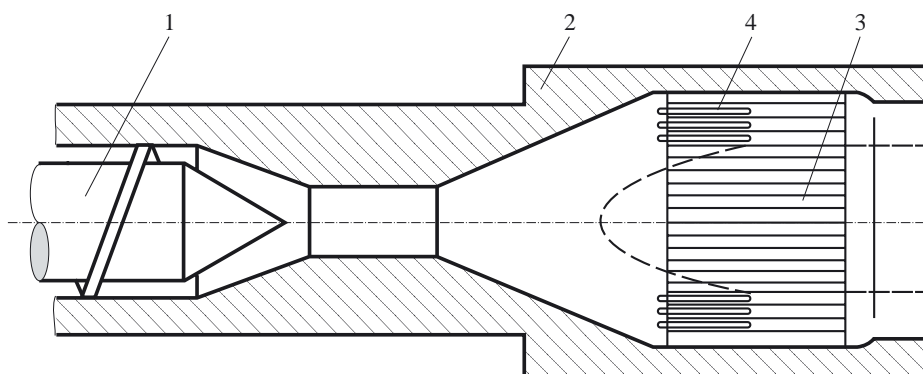
do tworzyw litych mają zastosowanie przede wszystkim do otrzymywania wytworów porowatych o małych polach przekroju poprzecznego oraz cienkich ściankach. Wymiary kanałów przepływowych w takich głowicach można dosyć łatwo korygować [10, 20, 22].

Innym rozwiązaniem są proste trzpieniowe głowice z wymiennym pierścieniem formującym (rys. 2), będące modyfikacją standardowych głowic trzpieniowych. Używa się ich do wytłaczania wielu rodzajów wytworów. Stożkowaty trzpień głowicy umożliwia uzyskanie odpowiedniego ciśnienia tworzywa podczas procesu porowania natomiast zmiana pierścienia formującego



Rys. 3. Schemat głowicy wycieczarskiej typu „Celuka”: 1 — kanał wlotowy, 2 — rdzeń głowicy, 3 — korpus główny głowicy, 4 — grzejniki elektryczne, 5 — korpus dyszy, 6 — wytłoczyna porowata, 7 — urządzenie kalibrujące, 8 — dysza głowicy [2, 15]

Fig. 3. Scheme of Celuka extruder head: 1 — entry channel, 2 — head core, 3 — head main frame, 4 — electric heaters, 5 — die frame, 6 — porous extrudate, 7 — calibrator, 8 — head die [2, 15]



Rys. 4. Istota modyfikacji głowicy przy użyciu kraty przesłonowej: 1 — ślimak, 2 — głowica, 3 — kanały przepływowe w kracie przesłonowej, 4 — zaślepki kanałów [24]

Fig. 4. Head modification with screening grid: 1 — screw, 2 — head, 3 — flow channels in screening grid, 4 — channels' plugs [24]

[10, 15, 22] pozwala na otrzymanie żądanego kształtu i wymiarów wytłoczyny.

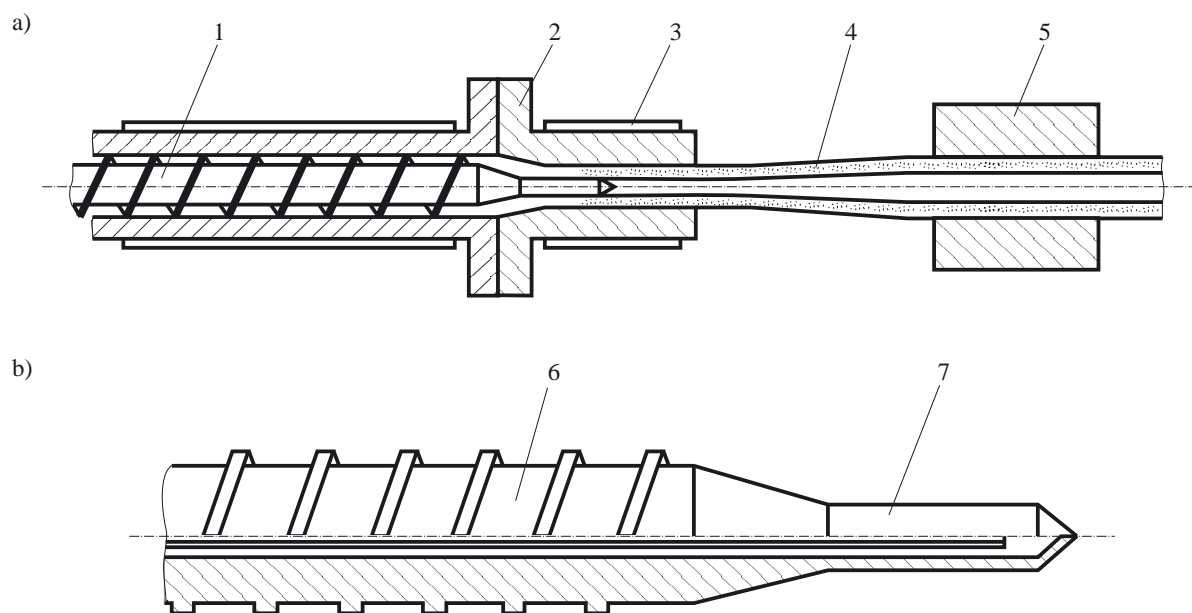
W głowicach wytłaczarskich typu „Celuka” [10, 14, 15, 23] tworzywo przechodzi przez dyszę głowicy w warunkach znacznego oporu przepływu. Głowice te stosuje się do wytłaczania wytworów porowatych ze ścianką grubości >5 mm, litej powierzchni oraz gęstości w przedziale $300\text{--}400\text{ kg/m}^3$. W miejscu, w którym kształtka powinna mieć powierzchnię litą, powierzchnia wewnętrzna kalibratora musi spełniać funkcję dociskową (rys. 3). Niesporowana część tworzywa wytłaczanego w zetknięciu z tą powierzchnią wewnętrzną zaczyna się ochładzać, tworząc litą warstwę wytłoczyny.

W celu uzyskania wytworów porowatych o znacznym polu przekroju poprzecznego oraz dużej (zmiennej) grubości ścianki, wykorzystuje się głowice wytłaczarskie z tzw. kratą przesłonową (rys. 4) [10, 15, 16, 24]. Zastosowanie cienkościennej kraty przesłonowej, w po-

łączeniu z możliwie małym zredukowaniem pola przekroju poprzecznego strumienia tworzywa, umożliwia jednocześnie regulację oporu przepływu i zwiększenie ciśnienia wytłaczanego materiału. Krata dzieli tu kanał przepływowy głowicy na pojedyncze kanaliki. Opór przepływu tworzywa w głowicy reguluje się za pomocą zmiany przekroju poprzecznego oraz długości tych kanalików a także blokowania przepływu w odpowiedniej ich części [16, 24].

Innym typem są głowice z rdzeniem obrotowym. W układzie pokazanym na rys. 5 końcówka ślimaka jest wykonana w postaci trzpienia, spełniającego funkcję obracającego się w głowicy rdzenia. Dzięki takiemu rozwiązaniu otrzymuje się wytwory o dużym przekroju poprzecznym oraz znacznej grubości [10, 15, 25].

Bardzo często względy techniczne oraz ekonomiczne sprawiają, że wytłoczynę porowatą wytwarza się z dwóch lub kilku rodzajów tworzyw, różniących się



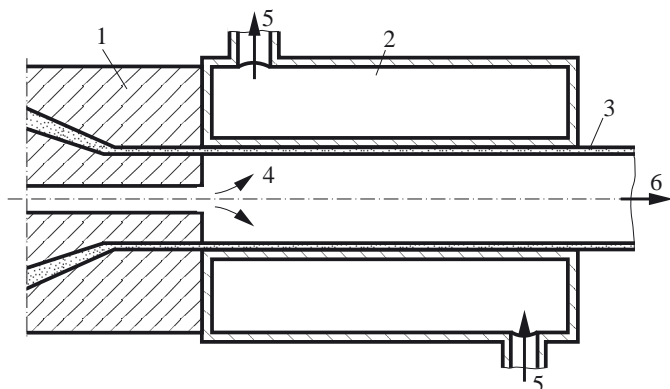
Rys. 5. Schemat głowicy z rdzeniem obrotowym; a) zespół złożony z układu uplastyczniającego, głowicy i kalibratora: 1 — ślimak, 2 — głowica, 3 — grzejniki elektryczne, 4 — wytłoczyna, 5 — urządzenie kalibrujące; b) ślimak: 6 — część uzwojona, 7 — rdzeń obrotowy [10, 25]

Fig. 5. Scheme of extruder head with rotary core; a) set consisting of plasticizing system, head and calibrator: 1 — screw, 2 — head, 3 — electric heaters, 4 — extrudate, 5 — calibrator; b) screw: 6 — coiled part, 7 — rotary core [10, 25]

właściami, strukturą oraz kolorem; wówczas jest konieczne zastosowanie specjalnych głowic do współwytłaczania [10, 16]. Ponieważ warstwę wewnętrzną wytłoczyny na ogół formuje się z tworzywa zawierającego środek porujący, kanały przepływowe głowicy, w których znajdują się poszczególne rodzaje tworzyw odpowiednio zwężają się w kierunku dyszy, zapewniając przy tym jednakową prędkość przepływu całego strumienia oraz eliminując możliwość występowania stref jego zastoju. W strefie jednoczesnego przepływu następuje relaksacja powstałych w warstwach tworzywa naprężeń i odkształceń.

W stanowiącym przedmiot dalszej części przedstawionej tu pracy procesie wytłaczania powłok zewnętrznych kabli uzyskanie — z dużym stopniem dokładności — żądanego kształtu i wymiarów przekroju poprzecznego wytworu (z uwzględnieniem efektu Barusa oraz zjawiska skurczu) jest nader istotne [17, 18, 26, 27]. Stwarza to konieczność utrwalania na drodze kalibrowania odpowiednich cech wytwarzanej wytłoczyny [3, 21].

Kalibrowanie zewnętrzne, będące metodą najczęściej stosowaną, polega na przeprowadzeniu — z określonym dociskiem — opuszczającej dyszę głowicy wytłoczyny przez chłodzony element kalibrujący o zadanym przekroju poprzecznym i długości (rys. 6). Na skutek różnicy temperatury pomiędzy gorącą wytłoczyną a powierzchnią elementu kalibrującego następuje ochładzanie oraz utrwalanie kształtu i wymiarów wytłoczyny. Poprawiające efektywność operacji dociskanie wytłoczyny można zrealizować dwoma sposobami: kalibrowania ciśnieniowego (wprowadzenia do wnętrza wytłoczyny powietrza pod ciśnieniem) lub kalibrowania próżniowego (wytworzenia podciśnienia w obszarze między wytłoczyną a powierzchnią roboczą kalibratora) [3, 21].



Rys. 6. Zasada kalibrowania zewnętrznego: 1 — korpus głowicy, 2 — trzpień kalibratora, 3 — wytłoczyna, 4 — sprężone powietrze, 5 — woda chłodząca, 6 — kierunek ruchu wytłoczyny [3]

Fig. 6. Outside calibration principle: 1 — head body, 2 — calibrator's mandrel, 3 — extrudate, 4 — compressed air, 5 — cooling water, 6 — extrudate's movement direction [3]

Ze względu na warunki procesu wytwarzania kabli z nowymi powłokami zewnętrznymi a także na właściwości użytego do tego celu tworzywa termoplastycznego, optymalne rozwiązanie stanowi połączenie obu wspomnianych sposobów — kalibracja próżniowo-ciśnieniowa [3].

OTRZYMYWANIE POWŁOK ZEWNĘTRZNYCH KABLI ELEKTROENERGETYCZNYCH Z TWORZYW POROWATYCH

Odpowiednie właściwości eksploatacyjne kabli elektroenergetycznych (instalacyjnych, energetycznych, sygnałowych, optotelekomunikacyjnych i telekomunikacyjnych) zapewnia ich zewnętrzna powłoka wykonana najczęściej z polietylenu dużej gęstości (PE-HD) lub poli(chloroku winylu) (PVC) [14, 28—30]. Dążenie do uzyskania efektywnych wskaźników ekonomicznych procesu wytwarzania kabli, nowe obszary ich zastosowania oraz możliwość szybszego zwrotu nakładów inwestycyjnych powodują niesłabnące zainteresowanie modyfikacją budowy powłoki zewnętrznej kabla oraz jej właściwości.

W Katedrze Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej już od kilku lat prowadzi się badania dotyczące m.in. wytwarzania powłoki kabli z tworzywa porowatego [8—10, 15, 20, 28—38]. Zastąpienie procesu wytłaczania powlekającego prowadzonego w wariantcie konwencjonalnym wariantem wytłaczania porującego pozwala na zmniejszenie kosztów zakupu tworzywa, energetycznych oraz transportu.

Modyfikację właściwości wytworów w procesie wytłaczania porującego tworzyw termoplastycznych realizowaną w naszej Katedrze przeprowadza się w wyniku zmiany warunków wytłaczania oraz cech konstrukcyjnych elementów układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej a także stosowania substancji dodatkowych w szerokim zakresie oddziałujących na tworzywo podstawowe. Właściwości wytłoczyny porowatej zależą bowiem nie tylko od rodzaju tworzywa, typu i zawartości poroforu, wymiarów, liczby oraz charakterystyki geometrycznej powstałych w procesie porowania porów, lecz również od warunków procesu wytłaczania. Otrzymana wytłoczyna może mieć strukturę całkowicie litą bądź porowatą, przy czym może być porowata w całej masie lub mieć porowaty tylko rdzeń, a litą powierzchnię zewnętrzną [3, 8, 31—33, 35].

Efektom wytłaczania tworzyw z wykorzystaniem środków porujących są nowe, zmodyfikowane właściwości fizyczne i technologiczne uzyskiwanych wytworów, mianowicie mniejsza gęstość, mały skurcz przetwórczy, polepszone właściwości tłumiące oraz izolacyjne, zwiększona odporność na ogień bądź możliwość utylizacji po użytkowaniu [2, 3, 14, 28, 35].

Celem referowanej tu pracy, będącej częścią realizowanego szerszego programu badawczego, była analiza wpływu ilości wybranego układu porującego na nie-

które właściwości użytkowe (przede wszystkim gęstość oraz cechy wytrzymałościowe) zewnętrznych powłok kabli elektroenergetycznych wytwarzanych z PVC w procesie porującego wytłaczania powlekającego.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiały

— Polichlorek winylu „Vipavil GH 7801000”, produkt firmy Vipavil. Charakterystykę tworzywa (wg danych producenta) podano w tabeli 1.

T a b e l a 1. Charakterystyka stosowanego PVC (wg danych producenta)

T a b l e 1. Characteristics of PVC used (according to producer's data)

Wybrana właściwość, jednostka	Wartość	Zgodność z wymaganiami normy
Gęstość, kg/m ³	1377	CEI 20-34
Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	16,5	CEI 20-34, ISO 527
Wydłużenie przy zerwaniu, %	320	CEI 20-34, ISO 527
Twardość °Sh A	65	ISO 868, ASTM 2240
Stabilność termiczna, °C	245	ISO 182

— Układ porujący „Hydrocerol 530” (produkt firmy Lifocolor Farbplast Sp. z o.o.) występuje w postaci granulatu (cząstki średnicy 1,2–1,8 mm) i zawiera 50 % mas. środka porującego o początkowej temperaturze rozkładu endotermicznego = 170 °C; środek stanowi mieszaninę wodorowęglanu sodu i kwasu 2-hydroksypropano-trikarboksyłowego (kwasu cytrynowego). Układ porujący dodawano ręcznie w ilości od 0,2 % mas. (por. tabela 2, próbka 2) do 1,0 % mas. (tabela 2, próbka 6).

Stanowisko badawcze

Wykorzystano modernizowaną (w kierunku umożliwienia realizacji powlekającego wytłaczania porującego) linię technologiczną stosowaną do wytwarzania zewnętrznych powłok kabli elektroenergetycznych. W skład linii wchodziła głowica do wytłaczania powlekającego, kalibrator próżniowo-ciśnieniowy, wanna chłodząca oraz pozostałe elementy linii technologicznej (rys. 7).

Proces wytłaczania realizowano za pomocą wytłaczarki jednoślیمakowej (średnica ślimaka $D = 60$ mm). Układ uplastyczniający był wyposażony w cztery strefy grzania.

Ponieważ nie znaleziono w dostępnej literaturze potrzebnych danych, konieczne było zaprojektowanie i wykonanie prototypu kalibratora ciśnieniowo-próżniowego odpowiadającego prowadzonym badaniom a następnie określenie — we własnym zakresie — jego



Rys. 7. Fragment linii technologicznej wytwarzania porowanej powłoki kabla

Fig. 7. Fragment of technological line of cellular cable coating production



Rys. 8. Wygląd kalibratora próżniowo-ciśnieniowego podczas działania w linii technologicznej wytwarzania porowanej powłoki kabla

Fig. 8. View of vacuum-pressure calibrator during operation in the technological line of cellular cable coating production

charakterystyki [35–37]. Kalibrator ma budowę blokową, obie jego części są zaopatrzone w kanały chłodzące przebiegające równoległe lub prostopadle do powierzchni roboczej (rys. 8).

Kalibrowanie polega na przeciąganiu powierzchni zewnętrznej powłoki kabla po powierzchni roboczej kalibratora z jednoczesnym chłodzeniem tworzywa za pomocą zimnej wody oraz sprężonego powietrza.

Warunki wytłaczania

Proces wytłaczania realizowano w uprzednio opracowanych warunkach, mianowicie: temperatura czterech stref grzejnych układu uplastyczniającego 150, 160, 160 i 185 °C; temperatura głowicy w trzech strefach grzania 175, 175 oraz 100 °C; ciśnienie tworzywa w układzie

uplastyczniającym i głowicy wyciągającej 7–11 MPa; szybkość obrotową ślimaka (warunkująca stopień sporowacenia wytłoczyny) zmieniano w zakresie 0,83–1,25 s⁻¹ (50–75 obr./min); prędkość odbioru wytwarzanej powłoki kabla wynosiła 150 m/min a temperatura czynnika chłodzącego mieściła się w przedziale 17–20 °C.

Metodyka badań

— Gęstość pozorną próbek wytłoczyny z porowanego tworzywa oceniano wg PN-EN ISO 845:2000 z wykorzystaniem wagi laboratoryjnej WS-11. Masa próbek rozdrobionej wytłoczyny zawierała się przy tym w przedziale 1–5 g. Gęstość każdego rodzaju próbki stanowiła wartość średnią z 5 pomiarów.

— Twardość Shore'a oznaczano wg PN-ISO 868:1998, stosując twardościomierz typu „Zorn Stendel”. Ze względu na charakterystykę tworzywa oraz badanych próbek użyto wgłębnika w kształcie iglicy (skala A). Wynik odnoszący się do każdego rodzaju ocenianej próbki obliczano jako wartość średnią z 10 pomiarów.

— Wytrzymałość na rozciąganie oraz wydłużenie przy zerwaniu badano za pomocą maszyny wytrzymałościowej „Zwick Z100” wg PN-EN 60811-1-1:1999. Prędkość rozciągania pod wpływem stałego obciążenia pomiarowego wynosiła 0,83 mm/s.

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

W wykonanych przez nas próbach technologicznych procesu wytłaczania wytworzono kable elektroenergetyczne rodzaju „YDYp” (3 x 1,5 mm², 300/300 V), zgodnie z PN-91/E-90103 oraz PN-87/E-90060.

Powłokę zewnętrzną kabli złożonych z żył miedzianych w izolacji z PVC uzyskano z porowanego PVC. Powłoka ta miała owalny przekrój i litą powierzchnię zewnętrzną oraz porowaty rdzeń. Wymiary zewnętrzne oraz wygląd otrzymanych powłok kabli były zgodne z PN-EN 60811-1-1:1999.

Po wykonaniu prób wytłaczania porującego przeprowadzono badania wybranych właściwości otrzymanych powłok kabli, między innymi: gęstości, stopnia sporowacenia, twardości oraz wytrzymałości na rozciąganie.

Uzyskana w wyniku pomiarów średnia wartość gęstości powłoki kabla z tworzywa nieporowanego wynosiła (tak jak podał to producent — por. tabela 1) 1377 kg/m³.

O gęstości tworzyw porowatych decyduje stosunek objętości fazy stałej do fazy gazowej oraz wymiary i kształt mikroporów. W wyniku wzrostu temperatury w układzie uplastyczniającym i głowicy wyciągającej następuje w odpowiedniej temperaturze rozkład środka porującego — w naszej pracy wodorowęglanu sodu i kwasu cytrynowego — oraz tworzenie się licznych mikrobanieczek ulegających natychmiast (w wyniku podwyższenia ciśnienia a także rozwinięcia powierzchni)

rozpuszczeniu w otaczającym tworzywie. Powstające mikropory są wypełnione zarówno powietrzem, jak i innymi gazami. Powoduje to zwiększenie objętości poli(chloroku winylu) a więc i zmniejszenie gęstości otrzymanej wytłoczyny. Stopień sporowacenia, będący parametrem określającym ilość fazy gazowej w wytworze porowatym, stanowi jednocześnie miarę zmiany gęstości wytworzonego wytworu.

Tabela 2 zawiera wartości gęstości ocenianej powłoki w zależności od udziału środka porującego, a więc i stopnia sporowacenia wytworu. Tak więc, wzrost ilości dodanego poroforu spowodował oczekiwane zwiększenie stopnia sporowacenia z jednoczesnym zmniejszeniem się gęstości porowanego tworzywa (nawet do 40 % w stosunku do tworzywa litego).

T a b e l a 2. Wpływ zawartości środka porującego na stopień sporowacenia i gęstość porowanego PVC

T a b l e 2. Physical properties of cellular PVC dependently on the blowing agent content

Nr próbki	Zawartość środka porującego, % mas.	Stopień sporowacenia, %	Gęstość kg/m ³
1	0	0	1377
2	0,2	29	991
3	0,4	32	947
4	0,6	40	825
5	0,8	40,5	818
6	1,0	42	802

T a b e l a 3. Wybrane właściwości wytrzymałościowe powłok z porowanego PVC

T a b l e 3. Selected strength properties of cellular PVC coatings

Nr próbki	Twardość °Sh A	Wytrzymałość na rozciąganie σ_r , MPa	Wydłużenie względne przy zerwaniu ϵ_r , %
1	65	12,38	462,50
2	60	11,50	401,34
3	60	10,80	391,52
4	48	10,59	351,82
5	50	10,44	353,12
6	51	10,13	343,30

W tabeli 3 przedstawiono charakterystykę wytrzymałościową zewnętrznych powłok kabli. Średnia twardość próbki powłoki z tworzywa litego wynosiła 65 °Sh (odchylenie standardowe 0,37 °Sh). W odniesieniu do tej wartości twardość próbek powłok z tworzywa porowatego maleje nieliniowo (maksymalnie o 23 %) wraz ze wzrostem zawartości środka porującego.

Oceny właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu zewnętrznych powłok kabli dokonano na podstawie pomiarów maksymalnej siły rozciągającej próbkę F_{maks} i wydłużenia bezwzględnego Δl_r . Obliczono wartości naprężenia przy zerwaniu (σ_r) oraz wydłużenia względnego przy zerwaniu (ϵ_r).

Na badane właściwości mechaniczne wpływa kształt, orientacja i stopień wzajemnego oddziaływania makrocząstek. Tworzywo o makrocząstkach liniowych i łańcuchach zbliżonych do siebie wskutek krystalizacji lub orientacji wykazuje większą wytrzymałość od tworzywa porowatego, w którym następuje zmniejszenie oddziaływania sił międzycząsteczkowych na granicy fazy stałej i gazowej. Wzrost zawartości środka porującego powoduje zwiększenie nie tylko wspomnianej już objętości właściwej tworzywa, lecz także liczby i wymiarów powstałych w procesie porowania mikroporów. Osłabia to wzajemne oddziaływanie łańcuchów polimerowych w tworzywie porowatym powodując pogorszenie właściwości wytrzymałościowych wytworu; ze wzrostem zawartości poroforu maleje wartość σ_r .

Wydłużenie względne przy zerwaniu maleje monotonicznie lecz nieliniowo w całym zakresie zawartości poroforu (próbki 1—6). Intensywność zmian σ_r jest największa w przedziale udziału poroforu 0—0,4 % mas., natomiast wartość ϵ_r w sposób widoczny zmniejsza się jedynie w przypadku zawartości środka porującego wynoszącej 0,2 % mas.

PODSUMOWANIE

Wzrost zawartości środka porującego, stanowiącego — w referowanej tu pracy — mieszaninę związków chemicznych o endotermicznym charakterze rozkładu, powoduje zmniejszanie się gęstości otrzymywanego wytworu; świadczy to o efektywnym działaniu zastosowanego przez nas środka.

Jakość uzyskiwanych powłok — z uwzględnieniem takich kryteriów jak: stopień sporowacenia, gęstość oraz właściwości wytrzymałościowe — jest bardzo dobra. Otrzymaliśmy powłoki o stopniu sporowacenia do 42 % i twardości 50—65 °ShA. Wytrzymałość na rozciąganie, w zależności od zawartości środka porującego, zawiera się w przedziale 343—462 %. Zatem, w całym ocenianym zakresie ilości dodawanego poroforu właściwości użytkowe wytworzonych powłok kabli mieszczą się w granicach wymaganych wartości.

Przedstawiona w artykule praca została zrealizowana w ramach projektu badawczego KBN nr 1261/T08/2004/26.

LITERATURA

- Sikora J. W., Kapuśniak T.: *Polimery* 2005, 50, 748.
- Bieliński M.: „Techniki porowania tworzyw termoplastycznych”, Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, 2004, str. 67—68.
- Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993, str. 164—166.
- Sikora J. W.: I Konferencja Naukowo-Techniczna „Polimery i kompozyty konstrukcyjne”, Kozubnik 1995, mat. konf., str. 416.
- Samujło B., Sikora J. W., Kowalska B.: *Przetwórstwo Tworzyw* 2005, 11, nr 6, 179.
- Sikora J. W., Samujło B., Kowalska B.: *Przetwórstwo Tworzyw* 2006, 12, nr 1, 4.
- Maciaszek St.: *Chemik* 1980, 33, nr 1, 11.
- Sikora R.: *Polimery* 1996, 41, 694.
- Garbacz T., Samujło B., Jachowicz T.: „21st Annual Meeting of the Polymer Processing Society”, Germany 2005, mat. konf. str. 281.
- Garbacz T.: „Wybrane charakterystyki procesu wytłaczania porującego”, Teka Komisji Budowy i Eksploatacji Maszyn, Elektryczarzędzi, Budownictwa, PAN, Oddział w Lublinie, Lublin 2003, str. 129.
- Bieliński M., Piszczek K., Sykutera D.: *Tworzywa Sztuczne i Chemia* 2005, 2, 36.
- Błędzki A. K., Faruk O., Kischling H., Kühn J., Jaskiewicz A.: *Polimery* 2006, 51, 697.
- Simonik J.: „The Polymer Processing Society, Sixteenth Annual Meeting”, Shanghai 2000, mat. konf. str. 276.
- Sikora R.: „Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje, właściwości i struktura”, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1991, str. 343—349.
- Tor A.: „The characteristics of cellular extrusion process”, IX Międzynarodowe Seminarium Naukowe Studentów i Młodych Inżynierów Mechaników: „Postęp w inżynierii mechanicznej”, Gdańsk 2006.
- Bieliński M., Sikora J. W.: „Postęp w przetwórstwie tworzyw termoplastycznych”, Częstochowa 1995, mat. konf. str. 209.
- Sikora R., Bociąga E.: *Polimery* 2003, 48, 753.
- Stasiak A., Lubkowski D., Dzwonkowski J., Szumski Z.: *Przetwórstwo Tworzyw* 2005, 11, 144.
- Sikora R., „Leksykon naukowo-techniczny”, Wydawnictwo Wadim Plast, Lublin 2002, str. 64—65.
- Qiong Zhou, Chuan-Bo Cong: *J. Cell. Plast.* 2005, 41, 225.
- Heinz C. Wessel: „Wytłaczanie profili ze spienionego PVC” w pracy zbiorowej „Wytłaczanie tworzyw sztucznych”, Plastech 1999, str. 275—290.
- Tor A.: *Eksploatacja i Niezawodność* 2005, 2, 18.
- Pat. niem.* 2 050 550 (1970).
- Pat. niem.* 2 249 435 (1972).
- Pat. niem.* 2 222 194 (1972).
- Sikora J. W., Broel-Plater B.: *Polimery* 2004, 49, 195.
- Benkreira H. i in.: *Intern. Polym. Proces.* 2004, 19, 111.
- Garbacz T.: IX Profesorskie Warsztaty Naukowe „Przetwórstwo tworzyw polimerowych”, Szczecin 2004, mat. konf. str. 65.
- Garbacz T.: „The Polymer Processing Society. Europe/Africa Regional Meeting 2003”, Greece, mat. konf. str. 224.
- Sikora R., Garbacz T.: „The Polymer Processing Society. Europe/Africa Regional Meeting 2000”, Czech Republic, mat. konf. str. 201.
- Garbacz T.: *Polimery* 2004, 49, 23.
- Garbacz T.: *Int. Polym. Sci. Technol.* 2004, 31, 8.
- Zgłosz. pat. pol. nr P 375 384 (2005).
- Garbacz T., Tor A.: Zeszyty Naukowe nr 246: „Chemia i Technologia Chemiczna”, Bydgoszcz 2006, 37.
- Garbacz T., Sikora R., Kowalska B.: XI Seminarium „Tworzywa sztuczne w budowie maszyn”, Kraków 2006, mat. konf. str. 177.
- Sikora R., Garbacz T., Kowalska B.: IV Międzynarodowa Konferencja MMSS'2006 „Machining and Measurements of Sculptured Surfaces”, Kraków 2006, mat. konf. str. 309.
- Sikora J. W.: *Polimery* 2006, 51, 285.
- Klepka T.: *Polimery* 2004, 49, 123.