

TOMASZ KLEPKA

Politechnika Lubelska
Katedra Procesów Polimerowych
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
e-mail: tklepka@archimedes.pol.lublin.pl

Efektywność wytwarzania polimerowych specjalnych warstw ślizgowych

EFFECTIVENESS OF FORMING OF POLYMERIC SPECIAL SLIDING LAYERS

Summary — The problem of special sliding layers forming on the inner surfaces of polymer lining pipes applied for optotelecommunication lining, has been discussed. Authors' research results concerning the forming of such shield directly in extrusion line are presented. It has been done using a method of spray coating of water emulsions containing active components decreasing a friction. The effect of emulsion composition (polydimethylsiloxanes, polymethylhydrosiloxanes, polytetrafluorethylene, fluorhydrocarbons) (Table 1) on the resisting force F_p and resistance coefficient μ_p at the time of pulling a cable into a PE-HD pipe (Figs. 1—3, Tables 2 and 3) has been investigated. Emulsions allowing to reach the smallest values of $\mu_p = 0.06$ — 0.08 have been selected; μ_p value of a pipe without sliding layer is equal to 0.15.

Key words: optotelecommunication cables, lining pipes, polymeric sliding layers, spraying during extrusion, tribological properties.

Przebieg procesu instalowania kabla optotelekomunikacyjnego w polimerowej rurze osłonowej przeznaczonej do wtórnej kanalizacji kablowej oraz wzajemne oddziaływanie układu rura—kabel zależą w dużym stopniu od rodzaju materiału, z którego wytworzono współdziałające elementy, a także od konstrukcji rury oraz technologii jej wytwarzania.

Efektywność instalowania kabla w warunkach określonych wymuszeń zewnętrznych — tzn. zaciąganie długich jego odcinków w kanalizacji kablowej zachodzące dzięki zjawisku ślizgu — zależy od rodzaju makrostruktury geometrycznej powierzchni wewnętrznej rury (kształtu, liczby i wymiaru żeber ślizgowych); w przypadku rur mających dodatkową warstwę ślizgową, efektywność ta jest uwarunkowana właściwościami oraz metodą wytwarzania takiej warstwy. Żebra ślizgowe w rurach osłonowych wytwarza się najczęściej za pomocą odpowiednich rdzeni formujących, umieszczonych centralnie w stosunku do końcówki dyszy głowicy wytłaczarskiej. W zależności od liczby, kształtu, rodzaju i wymiaru wgłębień w rdzeniu kształtującym uzyskuje się żebra wzdłużne o odpowiednim przekroju poprzecznym, np. trójkątnym, półkolistym lub trapezowym. Gdy zaś wprowadzi się rdzeń kształtujący w obrotowy ruch cykliczny otrzymuje się żebra o dowolnych przebiegach,

np. śrubowe, w postaci łańcucha fal albo na przemian skrętne [1, 2].

Podczas procesu instalowania kabla w rurach z żebrami ślizgowymi, obszar styku powierzchni zewnętrznej kabla z rurą ogranicza się do wierzchołków żeber, co w efekcie prowadzi do zmniejszenia siły oporu powstającej podczas zaciągania kabla [3]. Jednak niekiedy nieodpowiedni kształt i wymiary żeber ślizgowych (w odniesieniu do grubości ścianki rury) mogą wpływać na znaczne pogorszenie właściwości wytrzymałościowych. To z kolei w warunkach panujących w obszarze dna wrębów żeber może powodować wzdłużne pęknięcie rur w wyniku koncentracji naprężeń, które są następstwem działania karbu.

W przypadku rur mających specjalną dodatkową warstwę ślizgową powierzchnia zewnętrzna kabla, podczas procesu jego instalowania, ma kontakt z warstwą specjalnego tworzywa odznaczającego się dużo lepszymi właściwościami tribologicznymi niż tworzywo, z którego wykonano pozostałą część rury. W efekcie tego uzyskuje się skojarzenie kabla z rurą w warunkach znacznie zmniejszonych wartości siły oporu i współczynnika oporu, z jednoczesnym zachowaniem odpowiednio dobrych właściwości wytrzymałościowych rury osłonowej.

Duża liczba różnorodnych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych rur osłonowych (dostępnych głównie w amerykańskich, niemieckich i polskich opisach patentowych) potwierdza brak, jak dotychczas, rozwiązań uniwersalnych rur spełniających jednocześnie wszystkie żądane wymagania. Nie istnieją również ujednoczone metody badawcze, które mogłyby służyć do określania wartości wielkości fizycznych w istotny sposób wpływających na wzajemne oddziaływanie kabla z rurą [4]. Wszystko to wskazuje, że istnieje potrzeba dalszego poszukiwania nowych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych polimerowych rur osłonowych, a problematyka ta jest ciągle aktualna.

TWORZENIE POWIERZCHNI WEWNĘTRZNEJ RURY

Wykonanie — za pomocą rdzeni formujących głowicy — żeber ślizgowych o żądanym kształcie, wymiarach i przebiegu z uwzględnieniem właściwości przetwarzanego tworzywa, efektu Barusa oraz zjawisk cieplnych i reologicznych [5] znacznie komplikuje proces technologiczny wytwarzania rur. Wymienione czynniki i zjawiska należy także uwzględniać podczas otrzymywania tworzywowych warstw ślizgowych przede wszystkim ze względu na specyficzne właściwości przetwórcze używanych do tego celu tworzyw. Wszystko to powoduje, że w zależności od wyboru metody wytwarzania oraz rodzaju zastosowanego tworzywa uzyskiwana warstwa ślizgowa może mieć rozmaite właściwości, strukturę, wymiary elementów geometrycznych powierzchni (np. grubość) oraz wykazywać zróżnicowane opory i odporność na zużycie podczas współdziałania z kablem optotelekomunikacyjnym.

Metody wytwarzania warstw ślizgowych

Znaną metodą wytwarzania warstw ślizgowych w rurach osłonowych jest współwytłaczanie polegające na dostarczaniu tworzywa przeznaczonego na warstwę ślizgową do odpowiednich kanałów głowicy wytłaczarskiej za pomocą dodatkowego układu uplastyczniającego. Metodą tą uzyskuje się warstwy o stosunkowo dużej, wynoszącej ok. 1 mm grubości [6]; otrzymywana przy tym warstwa zawiera ok. 95% tworzywa polietylenowego i niewielką (ze względu na znaczny koszt), wynoszącą 3—7% ilość środka ślizgowego w przeliczeniu na całkowitą masę współwytłaczanej warstwy. Dodatkową trudnością jest konieczność takiego przeprowadzenia procesu uplastyczniania, aby warstwa współwytłaczana dobrze łączyła się z powierzchnią wewnętrzną rury wytłaczanej i aby jak najwięcej cząstek środka ślizgowego znajdowało się (po ochłodzeniu wytłoczyny) w zewnętrznej mikrowarstwie rury, równomiernie na całym obwodzie jej powierzchni wewnętrznej. W tym celu wprowadza się (w ilości 3—7%) różnego rodzaju składniki dodatkowe, stabilizatory oraz woski mody-

fikowane, które pozwalają na uzyskanie żądanej struktury warstwy [7], ale jednocześnie w dużym stopniu wpływają na koszty jej wytwarzania.

Inną, stosunkowo nową metodę, stanowi wytwarzanie warstw ślizgowych w wyniku natryskiwania aktywnego środka ślizgowego na powierzchnię wewnętrzną rury bezpośrednio podczas procesu jej wytłaczania w linii technologicznej. Natryskiwanie różnego rodzaju powłok (w postaci cienkich warstw o specjalnych właściwościach) w wyniku rozpylania w strumieniu sprężonego powietrza [8] jest znane już od kilkunastu lat i z powodzeniem stosowane np. do powlekania powierzchni metalowych polimerami lub materiałami malarskimi. W procesie wytwarzania warstw ślizgowych na powierzchniach wewnętrznych rur polimerowych sposób ten dotychczas nie był jednak stosowany.

W metodzie tej stosuje się układy dyspersyjne z odpowiednim udziałem fazy rozproszonej, będącej właściwie dobranym środkiem ślizgowym w postaci cieczy zdyspergowanej w fazie rozpraszającej, którą jest najczęściej powietrze. W zależności od warunków natryskiwania oraz konstrukcji dyszy natryskowej można uzyskać efekt aerozolowego natryskiwania w postaci mgły zawierającej odpowiednią ilość żądanego składnika [9, 10]. Aktywny środek ślizgowy kontaktując się z nagrzaną powierzchnią wytłoczyny odbiera od niej ciepło i ulega przemianie (np. polimeryzacji); pozwala to z kolei na utworzenie silnych wiązań adsorpcyjnych z powierzchnią wewnętrzną wytłaczanej rury, a w efekcie — na uzyskanie stałej, cienkiej warstwy ślizgowej. Zastosowanie metody natryskiwania umożliwia wykonywanie warstw ślizgowych z tworzyw o dobrych właściwościach tribologicznych, których przetwarzanie metodą współwytłaczania nie daje zadowalających rezultatów. Ponadto dzięki tej metodzie można otrzymywać warstwy bardzo małej (3—5 μm) grubości, co znacznie obniża koszty materiałowe.

Wybór tworzywa na warstwę ślizgową

Polimery stanowią liczną grupę wśród znanych i dostępnych materiałów, których charakterystyka pozwala na poprawę warunków wzajemnego oddziaływania określonych elementów konstrukcyjnych. Do grupy najbardziej rozpowszechnionych tworzyw o dobrych właściwościach tribologicznych zalicza się przede wszystkim tworzywa silikonowe i fluorowe [11—15].

Dotychczas brakuje jednoznacznego kryterium doboru tworzyw do zastosowań na specjalne warstwy ślizgowe w układach rura osłonowa—kabel. Zatem wstępnej oceny przydatności wybranych środków ślizgowych dokonuje się raczej na podstawie wyników własnych badań rozpoznawczych — określania wielkości charakteryzujących wzajemne oddziaływanie, zwłaszcza tribologiczne, występujące w obszarze kontaktu rury z kablem [16], po uprzednim naniesieniu na wewnętrzną powierzchnię rury ocenianej warstwy ślizgowej.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Metodyka badań

Materiały

Rury do badań rozpoznawczych wytwarzano z polietylenu dużej gęstości (PE-HD) w linii technologicznej wytłaczania, natryskując podczas procesu wytłaczania na powierzchnię wewnętrzną rury układy dyspersyjne wodnych emulsji zawierających odpowiednie środki ślizgowe. Stosowano emulsje różniące się rodzajem aktywnego środka ślizgowego, mianowicie:

— emulsje polidimetylosiloksanów (PDMS) o różnej zawartości PDMS (oznaczenie próbek A1, A2, E1 i E2);

— mieszaniny polimetylowodorosiloksanu (SIL) z PTFE poddane wysokociśnieniowej homogenizacji w trakcie emulgowania (oznaczenie próbek SF1, SF2);

— mieszaninę fluorowęglowodoru z estrem alifatycznym (bez silikonów oraz dodatków PTFE) (oznaczenie próbki S).

Badania wielkości charakteryzujących wzajemne oddziaływanie rura—kabel zrealizowano na specjalnym stanowisku badawczym własnej konstrukcji [17], znajdującym się w Laboratorium Katedry Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej. Badania te przeprowadzono po 48 h od chwili wytworzenia rur. Czynniki stałymi podczas pomiarów na stanowisku były: rodzaj kabla optotelekomunikacyjnego (XOTKtd, średnica 12 mm), prędkość zaciągania kabla ($V = 0,5$ m/min), obciążenie swobodnego końca kabla ($G = 250$ N), kąt opasania badanej rury na bębnie pomiarowym ($\alpha = 5/2\pi$ rad). Poszczególne odcinki pomiarowe kabla kojarzono z odcinkami rury osłonowej, a następnie w wyniku analizy otrzymanych przebiegów zmian siły oporu (F) w funkcji drogi (L) kabla podczas jego pierwszego zaciągania w rurze osłonowej określano wielkości charakteryzujące badane układy rura—kabel.

Tabela 1. Charakterystyka emulsji zastosowanych do wytworzenia warstw ślizgowych
Table 1. Characteristics of emulsions applied for sliding layers forming

Symbol próbki	Zawartość środka aktywnego w emulsji	Właściwości ¹⁾		Temp. wrzenia, °C	pH	Składniki dodatkowe
		gęstość, kg/m ³	lepkość, mPa·s			
A1	30% PDMS	990—1100	160—250	> 250	6,5—9	
A2	45% PDMS	1000—1200	180—320	> 250	6,5—9	
E1	36% PDMS	980—1020	100—200	> 250	6,5—9	
E2	32% PDMS	980—1020	1000—1500	> 250	6,5—9	inhibitor korozji
SF1	19% PTFE + 81% SIL ²⁾	1075	179,6	> 90	5,5—6	
SF2	78% PTFE + 22% SIL ²⁾	1298	18,7	> 90	5,5—6	
S	2% Fluorowęglowodoru	1000	10	> 350	5—7	inhibitor korozji

¹⁾ Oznaczane w temp. 25°C.

²⁾ W przeliczeniu na suchą masę 40-proc. emulsji.

Podstawową charakterystykę wodnych emulsji użytych do wytworzenia warstw ślizgowych przedstawia tabela 1.

Proces nanoszenia emulsji

Poszczególne odcinki badawcze rur osłonowych średnicy zewnętrznej 40 mm ze ściankami grubości 3,5 mm wytwarzano w linii technologicznej wytłaczania z PE-HD „Liten BB29” ($\rho = 950$ kg/m³, $MFI_{(190, 2,16)} = 0,15$ g/10 min) przy użyciu wytłaczarki firmy Davis-Standard Corporation, USA (temperatura głowicy 210°C, prędkość wytłaczania 7,2 m/min). Podczas tego procesu natryskiwano (za pomocą odpowiedniej instalacji doprowadzającej) poszczególne emulsje ze środkami ślizgowymi na wewnętrzną, walcową powierzchnię wytłaczanej rury. Wykonywano warstwy ślizgowe dwu różnych grubości — g_1 lub $g_2 = 1 + 1/2 g_1$ — pod stałym ciśnieniem powietrza p oraz w pozostałych niezmiennych warunkach procesu wytłaczania.

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

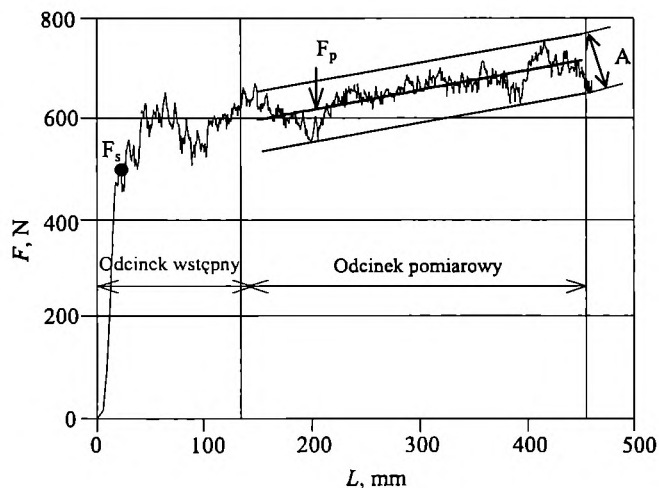
Przyjęto, że wielkościami fizycznymi najlepiej charakteryzującymi oddziaływanie kabla z rurą są: wartość siły oporu F_s podczas zmiany tarcia statycznego na tarcie kinetyczne oraz wartość średniej siły oporu F_p na przyjętej długości odcinka pomiarowego (rys. 1), jak również amplituda A zmian wartości siły oporu na odcinku pomiarowym (rys. 2).

Wartości liczbowe F_s , F_p oraz A odnoszące się do warstw ślizgowych grubości g_1 i g_2 zawierają, odpowiednio, tabele 2 i 3.

Obliczono również inny wskaźnik, mianowicie wartość współczynnika oporu μ_p podczas działania siły F_p ze znanej zależności:

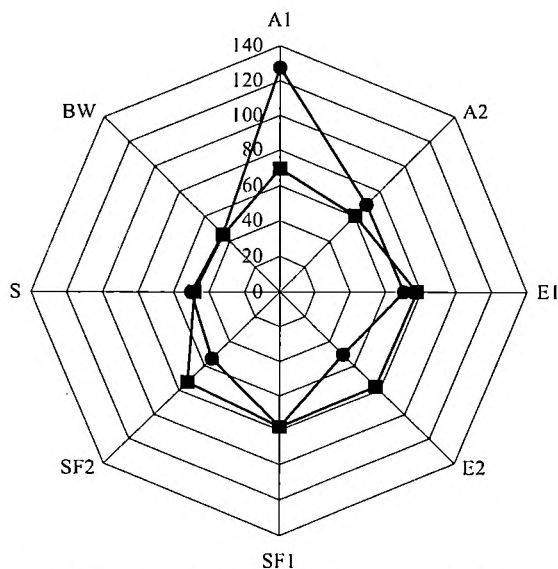
$$\mu_p = \frac{F_p}{G} \ln \frac{F_p}{\alpha} \quad (1)$$

Wyniki obliczeń wartości μ_p dotyczące wszystkich badanych aktywnych środków ślizgowych z uwzględnieniem grubości warstwy ślizgowej ilustruje rys. 3.



Rys. 1. Wykres przebiegu zmian siły oporu F w funkcji drogi L wciągania kabla; oznaczenie symboli w tekście ($\alpha = 5/2 \Pi$ rad, $G = 250$ N, $V = 0,5$ m/min)

Fig. 1. Diagram of the course of resisting force F changes as a function of a cable pulling in distance L ; explanation of symbols in the text ($\alpha = 5/2 \Pi$ rad, $G = 250$ N, $V = 0.5$ m/min)



Rys. 2. Wykres amplitudy A zmian wartości siły oporu w zależności od rodzaju i grubości (w μm) warstwy ślizgowej: ■ — grubość g_1 , ● — grubość g_2 (symbole rodzaju warstwy ślizgowej — patrz tabelę)

Fig. 2. Diagram of amplitude A of resisting force changes as a function of type and thickness (in μm) of sliding layer: ■ — thickness g_1 , ● — thickness g_2 (symbols of sliding layer type — see Tables)

Rys. 3. Wpływ rodzaju i grubości warstwy ślizgowej na wartość współczynnika oporu μ_p odpowiadającą sile F_p ; grubość: 1 — g_1 , 2 — g_2

Fig. 3. The effect of type and thickness of sliding layer on the resistance coefficient μ_p corresponding with F_p force; thickness: 1 — g_1 , 2 — g_2

Tabela 2. Wielkości charakteryzujące oddziaływanie wzajemne kabla i rury z warstwą ślizgową grubości g_1
T a b l e 2. Values characterizing the cable—pipe (with slinging layer of thickness g_1) interaction

Symbol próbki	F_s , N	F_p , N	F_{max} , N	F_{min} , N	A , N
A1	462,9	444,1	474,3	404,9	69,4
A2	525,6	460,9	489,7	429,3	60,4
E1	551,6	448,1	487,4	409,9	77,5
E2	464,3	448,8	482,3	405,4	76,9
SF1	468,2	477,7	481,2	403,2	78,0
SF2	834,8	699,4	734,7	661,2	73,5
S	463,6	420,3	437,8	389,6	48,2
BW ⁾	760,6	720,0	735,1	689,7	45,3

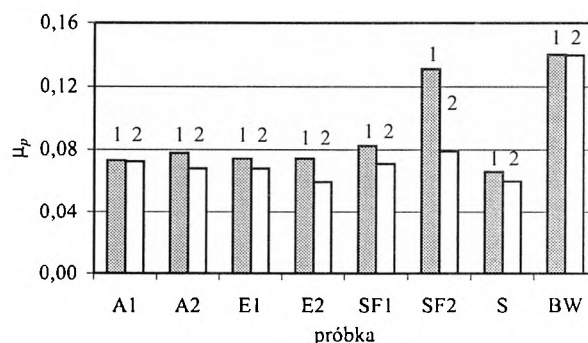
⁾ BW — dotyczy rury bez warstwy ślizgowej.

Tabela 3. Wielkości charakteryzujące oddziaływanie wzajemne kabla i rury z warstwą ślizgową grubości $g_2 = 1 + 1/2 g_1$
T a b l e 3. Values characterizing the cable—pipe (with slinging layer of thickness $g_2 = 1 + 1/2 g_1$) interaction

Symbol próbki	F_s , N	F_p , N	F_{max} , N	F_{min} , N	A , N
A1	501,1	442,1	506,1	378,8	127,3
A2	496,3	427,2	461,7	392,2	69,5
E1	544,4	427,1	461,5	391,2	70,3
E2	462,9	398,9	423,6	372,7	50,9
SF1	460,8	416,9	455,6	377,7	77,9
SF2	458,7	468,2	369,4	366,0	54,2
S	412,8	400,5	428,3	378,2	50,1
BW ⁾	760,6	720,0	735,1	689,7	45,3

⁾ BW — jak w tabeli 2.

Z przedstawionych danych wynika, że zarówno najmniejsze wartości siły oporu, jak i małe wartości amplitudy zmian tej siły oraz wartości współczynnika oporu na poziomie $\mu_p = 0,06$ — $0,08$ miały rury osłonowe z warstwą ślizgową wytworzoną z emulsji S, a także z emulsji zawierających mniejszą zawartość polidimetylosiloksanu (E2 i A1). Zdecydowanie gorsze wyniki uzyskuje się w przypadku rur z warstwą ślizgową, wytworzoną z emulsji zawierającej dużą ilość PTFE w emulgowanym polimetylowodorosiloksanie (SF2); uśredniona wartość współczynnika oporu (dotycząca grubości g_1 i g_2) wynosiła tu ok. $\mu_p = 0,10$, a więc była



najbardziej zbliżona do wartości μ_p układu kabel—rura bez warstwy ślizgowej ($\mu_p = 0,15$). Pośrednie wartości μ_p wykazywały natomiast warstwy z emulsji zawierających większą ilość PDMS i SIL (odpowiednio A2 i SF2).

Zatem wykorzystując metodę natryskiwania emulsji wodnych zawierających aktywne środki zmniejszające tarcie można wytworzyć w linii technologicznej wytłaczania stałe, cienkie warstwy charakteryzujące się korzystnymi właściwościami ślizgowymi.

W metodzie tej można z dużą dokładnością dozować ilość i rodzaj środka aktywnego, co pozwala na otrzymywanie warstw ślizgowych o żądanych właściwościach. Ponadto nie wymaga ona stosowania specjalnych energochłonnych maszyn przetwórczych, można więc prognozować, że nabierze istotnego znaczenia w procesie wytwarzania tego rodzaju warstw ślizgowych w optotelekomunikacyjnych rurach osłonowych.

Badania są finansowane przez Komitet Badań Naukowych w ramach grantu 7 T08E 061 20.

LITERATURA

1. *Pat. niemiecki* 4 031 783 (1992).
2. *Pat. polski* 168 721 (1992).
3. Klepka T.: Rozprawa doktorska, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, Lublin 1998.
4. Sikora R., Klepka T.: *Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne* 2000, nr 10, 778.
5. Sikora R.: „Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje, właściwości i struktura”, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1991.
6. *Pat. USA* 4 892 442 (1990).
7. *Pat. USA* 6 040 278 (2000).
8. *Pat. USA* 4 376 143 (1987).
9. *Pat. USA* 3 855 135 (1983).
10. *Pat. USA* 4 601 840 (1989).
11. Rymuza Z.: „Trybologia polimerów ślizgowych”, WNT, Warszawa 1986.
12. *Pat. polski* 177 972 (2000).
13. Zielecka M., Dobkowski Z.: „Surface Coating International 2001” (przekazane do druku).
14. Chojnowski J.: *Polimery* 2001, **46**, 461.
15. *Pat. USA* 6 190 761 (2001).
16. Klepka T.: *Polimery* 2001, **46**, 192.
17. *Polskie zgłosz. pat.* P-337 436 (1999).

Otrzymano 3 IX 2001 r.