

TOMASZ GARBACZ, BRONISŁAW SAMUJŁO

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

Wybrane właściwości geometrycznej struktury powierzchni wytworów porowatych otrzymanych z polietylenu^{*)}

Streszczenie — Ustalono warunki, w których metodą wytłaczania porującego uzyskano porowate powłoki zewnętrzne kabli energetycznych i instalacyjnych odpowiadające wymogom eksploatacyjnym (kabel o oznaczeniu handlowym „OWY 3 x 1,5 mm² 450/750 V”). Powłoki wytwarzano z dwóch handlowych polietylenów PE-HD firmy Borealis. Polietylen mieszano ze środkiem porującym „Hydrocel 530” w ilości do 1 % mas. Oceniono wpływ zawartości środka porującego na średnią gęstość, stopień sporowacenia oraz na parametry chropowatości powierzchni: średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości (R_a), wysokość chropowatości według 10 punktów (R_z), maksymalną wysokość chropowatości (R_m) oraz średni odstęp chropowatości (S_m). Zależności R_a i R_z w funkcji udziału środka porującego opisano równaniami regresji. Uzyskano przy tym wartości współczynników korelacji ($r_{kzw} > 0,985$) świadczące o dobrej zgodności wybranego modelu matematycznego z danymi doświadczalnymi.

Słowa kluczowe: wytłaczanie porujące, polietylen dużej gęstości, środki porujące, parametry porowatości.

SELECTED PROPERTIES OF GEOMETRIC STRUCTURE OF THE SURFACE OF CELLULAR POLYETHYLENE PRODUCTS

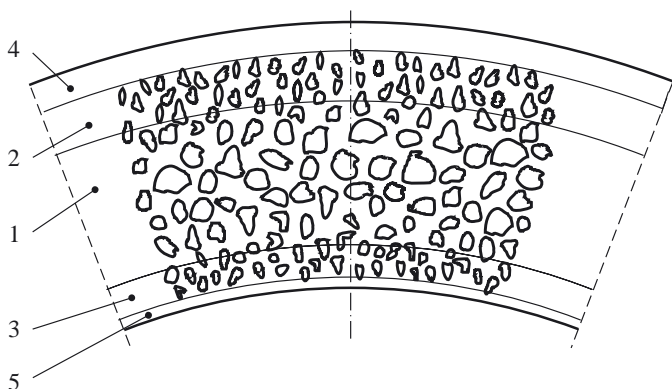
Summary — The conditions were found in which the cellular topcoats of energetic and installation cables, fulfilling exploitation requirements (as for cables of trademark „OWY 3 x 1.5 mm² 450/750 V”), were obtained by foam extrusion (Fig. 1, 2, 4 and 5). The topcoats were made of two commercial grades of PE-HD polyethylene, produced by Borealis (Table 1). Polyethylene was mixed with blowing agent „Hydrocel 530” in amounts up to 1 wt. %. The effects of blowing agent content on mean density, porosity degree (Table 2) and the roughness parameters of the surface were evaluated. Roughness parameters studied were as follows: mean arithmetic deviation of surface roughness profile (R_a), ten-point height of irregularities (R_z), maximum peak to valley height (R_m) and mean spacing of irregularities (S_m) (Table 3 and 4). Dependence of (R_a) and (R_z) on blowing agent content has been described with regression equations (Table 5). The values of correlation factors obtained ($r_{kzw} > 0.985$) confirmed the good agreement of selected mathematical model with experimental data.

Key words: foam extrusion, high-density polyethylene, blowing agents, roughness parameters.

Powłoka kabli telekomunikacyjnych, instalacyjnych, energetycznych lub sygnałowych — wykonywana najczęściej z polietylenu dużej gęstości (PE-HD) lub poli(chlorku winylu) (PVC) — zapewnia ich odpowiednie właściwości wytrzymałościowe oraz eksploatacyjne [1—4]. Dążenie do uzyskania efektywnych wskaźników ekonomicznych w procesie wytwarzania kabli, rozszerzenia możliwości ich zastosowania a także do przyspieszenia zwrotu nakładów inwestycyjnych powoduje ciągle wzrost zainteresowania modyfikacją budowy kabli oraz ich właściwościami fizycznymi, technologicznymi i użytkowymi.

^{*)} Artykuł oparty na treści referatu przedstawionego w ramach XII Profesorskich Warsztatów Naukowych, Toruń — Bachotek, 3—6 czerwca 2007 r.

Prowadzone w Katedrze Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej, również przez autorów niniejszego artykułu, badania procesu wytłaczania dotyczą m.in. otrzymywania z tworzyw porowatych powłok kabli różnego typu do rozmaitych zastosowań [5—10]. Proces konwencjonalnego wytłaczania powlekającego zastępuje się w tym przypadku procesem wytłaczania porującego. Badania obejmują modyfikację właściwości wytworów w wyniku bądź porowania tworzywa podstawowego za pomocą środków porujących, bądź też na drodze zmiany warunków wytłaczania oraz cech konstrukcyjnych elementów układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej [11—13]. W efekcie wytłaczania porującego otrzymuje się wytwór o specjalnych właściwościach, osiąga się zmniejszenie kosztów materiałowych



Rys. 1. Przekrój poprzeczny wielostrefowej powłoki porowatej: 1 — strefa rdzenia, 2, 3 — strefy pośrednie, 4, 5 — strefy przypowierzchniowe [5]

Fig. 1. Cross-section of multizone cellular coating: 1 — core zone, 2, 3 — intermediate zones, 4, 5 — surface contact zones [5]

i energetycznych procesu oraz kosztów transportu a ponadto uzyskuje zwiększenie wydajności procesu wytłaczania [14–17].

Wytworzona wytłoczyna może mieć strukturę całkowicie litą bądź porowatą — może być porowata w całej masie lub mieć porowatą rdzeń, a litą powierzchnię (rys. 1). Właściwości porowatej wytłoczyny zależą nie tylko od rodzaju tworzywa, typu oraz zawartości poroforu, wymiarów, liczby i charakterystyki geometrycznej powstających porów, ale również od warunków procesu wytłaczania [8, 10, 15, 17].

Struktura geometryczna powierzchni wytworów tworzy się w efekcie oddziaływania geometryczno-kinematycznego powierzchni roboczej narzędzia przetwórczego [18–21] oraz w wyniku oddziaływania niektórych czynników fizycznych i chemicznych w procesie przetwórstwa tworzyw [4, 22–26].

Konstituowanie warstwy wierzchniej powstałej bez kontaktu adhezyjnego następuje wówczas, gdy gniazdo narzędzia przetwórczego jest otwarte, tak jak to ma miejsce w toku wytłaczania [1, 3, 24]. W omawianym przez nas procesie taki mechanizm konstituowania warstwy wierzchniej nie występuje samodzielnie, jest jednak dominujący. Podczas przepływu wytłaczanego tworzywa przez głowicę wytłaczarską dochodzi do chwilowego kontaktu adhezyjnego na powierzchni rzeczywistej materiału głowicy, przerwane wskutek przepływu oraz ciśnienia materiału. Po opuszczeniu głowicy przez tworzywo a następnie jego zestaleniu naprężenia styczne i normalne częściowo ulegają relaksacji a po części pozostają w wytłoczynie, warunkując stan jej warstwy wierzchniej. Na te zjawiska nakłada się efekt Barusa będący wynikiem pierwszej różnicy naprężeń normalnych [1, 2, 18]. Tak więc, strefa przypowierzchniowa warstwy wierzchniej tworzy się w dużym stopniu samistnie, bezpośrednio po opuszczeniu głowicy przez tworzywo, natomiast w strefie orientacji makrocząsteczki

układają się zgodnie z kierunkiem przepływu tworzywa.

Czynniki wpływające na geometryczną strukturę warstwy wierzchniej wytłoczyny i związane z przetwarzanym materiałem to przede wszystkim budowa i właściwości tworzywa oraz środków pomocniczych a także relacje między nimi.

Oddziaływanie geometryczno-kinematyczne przejawia się w przeniesieniu struktury geometrycznej roboczej powierzchni narzędzia (tj. w przypadku wytłaczania — głowicy wytłaczarskiej) na powierzchnię rzeczywistą wytworu oraz w zmianach uzyskanej na tej drodze struktury wskutek względnego ruchu tworzywa po powierzchni roboczej narzędzia w toku przetwórstwa [2]. Geometryczną strukturę powierzchni wytłoczyny charakteryzują wzniesienia i wgłębienia o różnym kształcie, wymiarach i rozmieszczeniu. Profil powierzchni rzeczywistej jest określany przez błąd kształtu, falistość i chropowatość oraz nierówności wyższych rzędów, tzw. subchropowatość.

Spośród wymienionych elementów istotną rolę odgrywa chropowatość powierzchni wyprasek [1–3]. Cecha ta wpływa nie tylko na wygląd wytworów, ale również na ich podatność na adhezję a w konsekwencji na zabrudzenie. Rysy na powierzchni wytworu, tworzące się np. w toku rozciągania, są miejscem koncentracji naprężeń i powstawania mikropęknięć, co znacznie zmniejsza wytrzymałość wytworu [1, 4, 20, 21].

Celem przedstawionych w dalszym tekście badań było określenie wybranych charakterystyk stanu struktury geometrycznej powierzchni powłok kabli wytworzonych z porowanego polietylenu.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiały

Użyto dwóch typów polietylenu PE-HD firmy Borealis, których podstawowe właściwości (według danych producenta) przedstawia tabela 1.

T a b e l a 1. Wybrane właściwości przetwarzanych tworzyw (dane producenta)

T a b l e 1. Selected properties of the polymers processed, according to producer's data

Właściwość	Typ tworzywa	
	PE-HD „Borealis 3366”	PE-HD „Borstar Me 6052”
Gęstość w temp. 23 °C, kg/m ³	945	941
Wskaźnik szybkości płynięcia (190 °C, 2,16 kg), g/10 min	0,7	0,4
Naprężenie zrywające, MPa	> 23	> 20
Wydłużenie przy zerwaniu, %	> 600	> 600
Współczynnik sprężystości wzdłużnej, MPa	600	600
Temperatura użytkowania, °C	> -67	> -76

W celu uzyskania tworzyw polimerowych o pożądanej strukturze zastosowano, sprawdzony już przez nas uprzednio [21], układ porujący „Hydrocerol 530” (produkt firmy Lifocolor Farbplast Sp. o. o) w postaci granulatu (cząstki średnicy 1,2—1,8 mm) zawierającego 50 % mas. środka porującego o początkowej temperaturze rozkładu endotermicznego = 170 °C; środek stanowi mieszaninę wodorowęglanu sodowego oraz kwasu 2-hydroksypropano-trikarboksyłowego (kwasu cytrynowego).

Wybrane przez nas tworzywa mieszano ze środkiem porującym wprowadzanym w ilości 0,1 % — 1,0 % mas.

Stanowisko badawcze

Próby technologiczne procesu wytłaczania układu polietylen/środek porujący przeprowadzono w linii technologicznej stosowanej do wytwarzania powłok zewnętrznych kabli energetycznych i instalacyjnych podczas otrzymywania powłoki kabla o oznaczeniu handlowym „OWY 3 x 1,5 mm² 450/750 V”.



Rys. 2. Wygląd głowicy wyltaczarskiej oraz fragmentu urządzenia ochładzającego wraz z wytwarzanym kablem

Fig. 2. View of extrusion head and cooling section fragment with a cable extruded

Linia technologiczna obejmowała wyltaczarkę z układem uplastyczniającym wyposażonym w cztery strefy grzejne, ślimakiem o stosunku $L/D = 24$ i średnicy zewnętrznej $D = 45$ mm oraz z głowicą do wytłaczania powlekającego (rys. 2) a także urządzenie chłodzące (wanne chłodzącą) i urządzenie odbierające.

Warunki wytłaczania

Proces wytłaczania realizowano w warunkach dobie-ranych i ustalanych w linii technologicznej, mianowicie: temperatura stref grzejnych układu uplastyczniającego

135, 135, 140 i 145 °C, temperatura głowicy w trzech strefach grzania 150, 160 oraz 120 °C, ciśnienie tworzywa w układzie uplastyczniającym i głowicy wyltaczarskiej mieściło się w przedziale 5—12 MPa, zadana szybkość obrotowa ślimaka była zmieniana w zakresie 0,83—2,00 s⁻¹, szybkość zaś odbioru wytwarzanego kabla wynosiła 150—200 m/min. Temperatura czynnika chłodzącego określana za pomocą czujnika temperatury obejmowała przedział 16—22 °C.

Właściwie dobrane warunki procesu wytłaczania i chłodzenia pozwoliły na uzyskanie powłoki kabla o litej powierzchni zewnętrznej i porowatym rdzeniu; grubość minimalna powłoki wynosiła od 1,3 do 1,6 mm.

Metody badań

— Gęstość pozorną i stopień sporowacenia próbek wyltoczyny z porowanego tworzywa oceniano wg PN-EN ISO 845:2000 i PN-EN 60811-1-1:1999 z wykorzystaniem wagi laboratoryjnej WTE — 2000



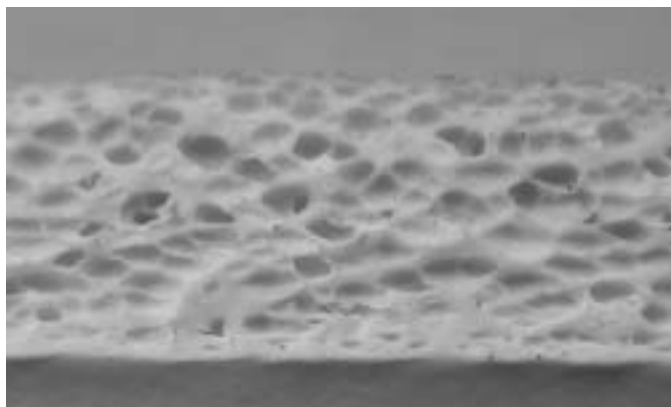
Rys. 3. Stanowisko do oceny chropowatości wraz z badanym kablem

Fig. 3. Roughness test stand with a cable examined

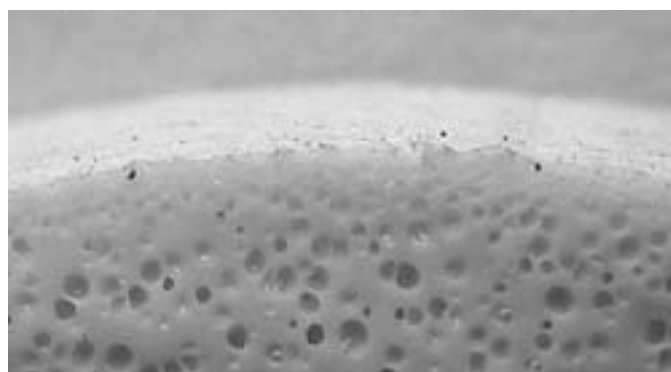
— Chropowatość powierzchni powłoki kabli badano metodą stykową na stanowisku złożonym z profilografometru TR — 200 z wyposażeniem dodatkowym i oprogramowaniem (rys. 3). Wizualizacji, archiwizacji oraz przetwarzania danych pomiarowych na parametry struktury geometrycznej powierzchni dokonywano opierając się na PN-EN ISO 4287:1999.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Jakość otrzymanej powłoki kabli po uwzględnieniu kryteriów takich jak wygląd zewnętrzny, stopień sporowacenia i gęstość oceniono jako bardzo dobrą. Ilość dozowanego środka porującego, w zakresie 0,2—1,0 % mas. była tak dobrana, że w założonych warunkach procesu wytłaczania, otrzymano kable z powłoką mającą



Rys. 4. Wygląd przekroju wzdłużnego wytłoczyny z porowanego polietylenu, zawartość środka porującego — 1,0 % mas.
Fig. 4. Longitudinal section of the extrudate made of cellular polyethylene. Blowing agent content equal 1.0 wt. %



Rys. 5. Wygląd przekroju poprzecznego wytłoczyny z porowanego polietylenu, zawartość środka porującego — 0,6 % mas.
Fig. 5. Cross-section of the extrudate made of cellular polyethylene. Blowing agent content equal 0.6 wt. %

litą powierzchnię zewnętrzną oraz porowaty rdzeń (rys. 4 i 5). Wygląd powłok kabli typu OWY, ich grubość oraz wymiary zewnętrzne gotowego produktu są zgodne z odpowiednimi zaleceniami obowiązujących norm.

Wzrost zawartości środka porującego powoduje zmniejszenie gęstości wytworu porowatego (tabela 2).

T a b e l a 2. Gęstość oraz stopień sporowacenia wytworów otrzymanych z porowanego polietylenu
T a b l e 2. Apparent density and porosity degree of the products obtained from cellular polyethylene

Rodzaj tworzywa	Zawartość środka porującego % mas.	Średnia gęstość ρ kg/m ³	Średni stopień sporowacenia, %
PE-HD „Borealis 3366”	0	940	0
PE-HD „Borstar Me 6052”	0,2	836	11
PE-HD „Borealis 3366”	0,4	770	18
PE-HD „Borstar Me 6052”	0,6	640	32
PE-HD „Borealis 3366”	0,8	590	38
PE-HD „Borstar Me 6052”	1,0	570	40

Najwyższy stopień sporowacenia uzyskanej powłoki wynosił 40 % a odpowiadająca mu najmniejsza gęstość 570 kg/m³.

Badania chropowatości powierzchni powłoki kabli przeprowadzano metodą stykową polegającą na wyznaczeniu liczbowych wartości parametrów profilu chropowatości, a następnie odwzorowaniu go w postaci profilografu. W przeciwieństwie do optycznych metod pomiarowych, umożliwiających obserwowanie tylko małego wycinka badanej powierzchni, metoda stykowa pozwala na określenie kształtu powierzchni na dowolnie wybranej długości. W metodzie stykowej umieszczony na badanej powierzchni czujnik, napędzany jednostką napędową wbudowaną wewnątrz przyrządu, przesuwa się wzdłuż tej powierzchni. Chropowatość mierzy się ostro zakończoną końcówką (sondą). Poruszanie się sondy na chropowatej powierzchni powoduje zmianę wartości indukcji cewki indukcyjnej wzbudzającą proporcjonalny sygnał analogowy.

Wykorzystując opisane stanowisko badawcze, oceniono średnie arytmetyczne odchylenie R_a profilu chropowatości powierzchni a następnie wyznaczono wysokość chropowatości R_z według 10 punktów, maksymalną wysokość chropowatości R_m i średni odstęp chropowatości S_m .

Określono także krzywą udziału nośnego profilu chropowatości (czyli powierzchniowego udziału nośnych wzniesień powierzchni) w odniesieniu do badanych powłok. Kształt takich krzywych jest zbliżony do litery S, co świadczy o regularnym charakterze porowatej powierzchni powłoki kabli a także o małej amplitudzie wysokości wzniesień oraz o stosunkowo niewielkiej głębokości chropowatości.

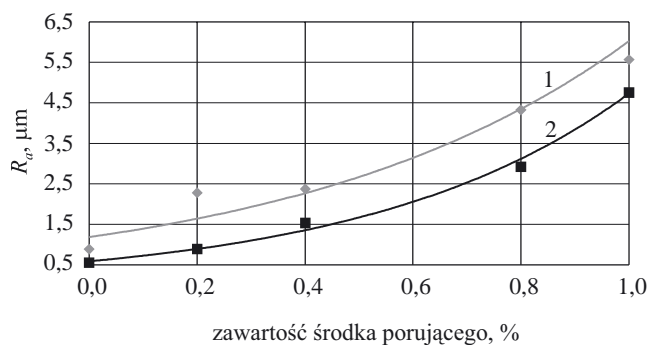
Badane parametry geometrycznej struktury powierzchni mierzono bezpośrednio pięciokrotnie w przypadku każdego rodzaju próbki, z taką samą dokładnością odczytu układu rejestrującego profilografometru. Wyniki zestawiono w tabelach 3 i 4.

T a b e l a 3. Parametry chropowatości powierzchni powłoki kabla wytworzonej z PE-HD „Borealis 3366”

T a b l e 3. Surface roughness parameters of cable coating made of PE-HD „Borealis 3366”

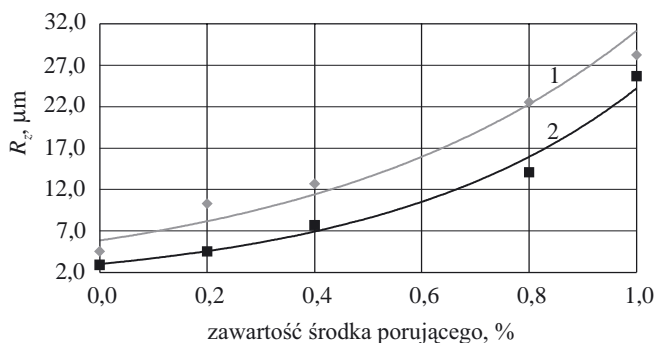
Zawartość środka porującego, %	Stopień sporowacenia, %	Parametry chropowatości powierzchni			
		R_a , μm	R_z , μm	R_m , μm	S_m , mm
0	0	0,886	4,539	2,199	0,2479
0,2	15	2,279	10,297	6,207	0,1814
0,4	19	3,273	12,707	9,292	0,2816
0,8	32	4,323	22,570	11,590	0,1666
1,0	38	5,563	28,240	13,840	0,2222

Wykresy zależności średniego arytmetycznego odchylenia R_a profilu chropowatości powierzchni badanych powłok oraz wysokości chropowatości R_z według



Rys. 6. Zależność średniego arytmetycznego odchylenia R_a profilu chropowatości powierzchni badanych powłok od zawartości środka porującego: 1 — PE-HD „Borealis 3366”, 2 — PE-HD „Borstar Me 6052”

Fig. 6. Dependence of mean arithmetic deviation of surface roughness profile (R_a) of the coatings tested on blowing agent content: 1 — PE-HD „Borealis 3366”, 2 — PE-HD „Borstar Me 6052”



Rys. 7. Zależność wysokości chropowatości R_z według 10 punktów powierzchni badanych powłok od zawartości środka porującego: 1 — PE-HD „Borealis 3366”, 2 — PE-HD „Borstar Me 6052”

Fig. 7. Dependence of ten-point height of irregularities (R_z) of the coatings tested on blowing agent content: 1 — PE-HD „Borealis 3366”, 2 — PE-HD „Borstar Me 6052”

10 punktów od zawartości środka porującego mają podobny przebieg w odniesieniu do wszystkich badanych próbek (rys. 6 i 7), mianowicie rosną monotonicznie nieliniowo.

T a b e l a 4. Parametry chropowatości powierzchni powłoki kabla wytworzonej z PE-HD „Borstar Me 6052”

T a b l e 4. Surface roughness parameters of cable coating made of PE-HD „Borstar Me 6052”

Zawartość środka porującego, %	Stopień sporowacenia, %	Parametry chropowatości powierzchni			
		R_a , μm	R_z , μm	R_m , μm	S_m , mm
0	0	0,555	2,913	1,507	0,2029
0,2	14	0,891	4,528	2,125	0,1915
0,4	29	1,529	7,689	3,662	0,2747
0,8	39	2,919	14,094	7,754	0,2609
1,0	40	4,752	25,674	12,405	0,1755

Na podstawie wyników podanych w tabelach 3 i 4 sformułowano równania regresji opisujące zależność R_a i R_z od zawartości środka porującego. Aproksymując metodą najmniejszych kwadratów, wyznaczono stałe (A, B i C) oraz odpowiednie współczynniki korelacji (r_{kw}) [27].

W celu przedstawienia zależności R_a oraz R_z od zawartości środka porującego przyjęto równanie w postaci funkcji wielomianowej

$$(R_a, R_z) = f[SP] = A[SP]^2 + B[SP] + C \quad (1)$$

gdzie: $[SP]$ — stężenie środka porującego.

Dopasowanie zastosowanego modelu matematycznego oceniono [27] przy użyciu kwadratu współczynnika korelacji $r_{kw}^2 \cdot 100\%$. Wartości współczynników korelacji przedstawionych w tabeli 5 równań regresji nie są mniejsze od wartości krytycznej równej 0,87, odnoszącej się do przyjętego poziomu istotności $\alpha = 0,05$ oraz pięciu punktów pomiarowych. Wartości kwadratów współczynników korelacji w przypadku tak przyjętych równań regresji mieszczą się w przedziale $0,97 < r_{kw}^2 < 0,99$.

T a b e l a 5. Opracowanie matematyczne wyników oznaczeń średniego arytmetycznego odchylenia R_a profilu chropowatości powierzchni i wysokości chropowatości R_z według 10 punktów

T a b l e 5. Mathematical elaboration of the results of mean arithmetic deviation of surface roughness profile (R_a) and ten-point height of irregularities (R_z)

Seria próbek	Postać równania funkcji regresji	Współczynnik korelacji r_{kw}	Wartość $r_{kw}^2 \cdot 100\%$
1	$R_a = -2,585 [SP]^2 + 3,293 [SP] + 0,498$	0,999	99,96
2	$R_a = -2,186 [SP]^2 + 3,010 [SP] + 0,536$	0,997	99,58
3	$R_a = -1,021 [SP]^2 + 2,242 [SP] + 0,576$	0,997	99,54
1	$R_z = -0,838 [SP]^2 + 2,133 [SP] + 0,593$	0,991	98,27
2	$R_z = -1,166 [SP]^2 + 2,367 [SP] + 0,556$	0,999	99,94
3	$R_z = -1,676 [SP]^2 + 2,438 [SP] + 0,616$	0,986	97,36

Wzrost chropowatości powierzchni próbek modyfikowanego PE-HD jest w ponad 97 % spowodowany zwiększeniem zawartości środka porującego we wszystkich badanych przypadkach, a tylko 3 % zmiany stanowi efekt oddziaływania innych czynników nie ujętych w równaniach regresji. Świadczy to o dobrym dopasowaniu modelu matematycznego do wyników doświadczeń.

PODSUMOWANIE

W założonych warunkach procesu wytłaczania otrzymano kable z powłoką mającą litą powierzchnię zewnętrzną oraz porowaty rdzeń o stopniu sporowacenia do 40 %. Wygląd zewnętrzny, grubość a także wymiary zewnętrzne wytworzonych kabli typu OWY są zgodne z zaleceniami odpowiednich norm.

Wzrost zawartości środka porującego — stanowiącego mieszaninę związków chemicznych o endotermicznym charakterze rozkładu — w całym stosowanym zakresie (do 1 % mas.) powodował zmniejszenie gęstości porowatego wytworu.

Wraz ze zwiększającym się udziałem poroforu następował także wzrost wartości parametrów określających chropowatość powierzchni. Zależność tę opisano matematycznie równaniami regresji, uzyskując przy tym wartości współczynników korelacji ($> 0,985$) świadczące o dobrej zgodności wybranego modelu matematycznego z danymi doświadczalnymi.

LITERATURA

1. Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993, str. 164—166.
2. Sikora R.: „Podstawy przetwórstwa tworzyw wielkocząsteczkowych”. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1992, str. 292—307.
3. Sikora R.: *Polimery* 1996, **41**, 694.
4. Bieliński M.: „Techniki porowania tworzyw termoplastycznych”, Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, 2004, str. 67—78.
5. *Zgłosz. pat.* RP 376 808 (2006).
6. *Zgłosz. pat.* RP 381 696 (2007).
7. Tor A.: „The characteristics of cellular extrusion process”, 9th International Symposium of Student and Young Mechanical Engineers, Advances in Mechanical Engineering, Gdańsk 2006.
8. Garbacz T., Samujło B., Jachowicz T.: „Foaming of extruded layers of telecommunication cables using endothermal foaming agents”. 21st Annual Meeting of The Polymer Processing Society, Lipsk 2005, mat. konf. str. 281.
9. Garbacz T.: „Wybrane charakterystyki procesu wytłaczania porującego”, Teza Komisji Budowy i Eksploatacji Maszyn, Elektronarzędzi, Budownictwa, Oddział PAN w Lublinie, Lublin 2003, str. 129.
10. Garbacz T.: „Processing and selected properties of modified cellular polyethylene”, The Polymer Processing Society. Regional Meeting 2003, Ateny 2003, mat. konf. str. 224.
11. Stasiak A., Łubkowski D., Dzwonkowski J., Szumski Z.: *Przetwórstwo Tworzyw* 2005, **11**, 144.
12. Sikora J. W.: *Polimery* 2006, **51**, 285.
13. Klepka T.: *Polimery* 2004, **49**, 123.
14. Samujło B., Sikora J. W., Kowalska B.: *Przetwórstwo Tworzyw* 2005, **11**, 179.
15. Sikora W., Samujło B., Kowalska B.: *Przetwórstwo Tworzyw* 2006, **12**, 4.
16. Simonik J.: „Simulation of chemical foaming of polymers”. The Polymer Processing Society, Sixteenth Annual Meeting, Shanghai 2000, mat. konf. str. 276.
17. Tor A.: *Eksploatacja i Niezawodność* 2005, **2**, 18.
18. Praca zbiorowa: „Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne” (red. Sikora R.), Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006, str. 325—341 i 418—431.
19. Sikora R., Garbacz T., Kowalska B.: „The new calibration-cooling system”, The 4th International Conference on Machining and Measurements of Sculptured Surfaces, Kraków 2006, mat. konf. str. 309.
20. Garbacz T., Tor A.: „Aspekty wytwarzania oraz właściwości wytworów porowanych otrzymanych w procesie wytłaczania”. Zeszyty Naukowe nr 246, Chemia i Technologia Chemiczna, XI Profesorskie Warsztaty Naukowe, Przetwórstwo tworzyw polimerowych, Bydgoszcz 2006, str. 37.
21. Garbacz T., Tor A.: *Polimery* 2007, **52**, 286.
22. Maciaszek S.: *Chemik* 1980, **33**, 11.
23. Benkreira H., Gale M., Patel R. i współpr.: *Int. Polym. Process.* 2004, **19**, 111.
24. Garbacz T., Tor A.: „Characteristics of producing cellular products in the extrusion process”. International Conference on Polymer Processing, ICPP, Pekin 2007, 129.
25. Garbacz T.: *Polimery* 2004, **49**, 23.
26. Garbacz T.: *Int. Polym. Sci. Technol.* 2004, **31**, 8.
27. Greń J.: „Statystyka matematyczna. Modele i zadania”, PWN, Warszawa 1982, str. 35—52.
28. Polański Z.: „Planowanie doświadczeń w technice”, PWN, Warszawa 1984, str. 33—47.

Artykuł zrealizowany w ramach projektu badawczego KBN nr 1261/T08/2004/26