

Elżbieta Bociąga*, Paweł Palutkiewicz

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Instytut Przetwórstwa Polimerów i Zarządzania Produkcją
al. Armii Krajowej 19c, 42-200 Częstochowa, Poland

* Corresponding author. E-mail: bociaga@kpts.pcz.czyst.pl

Otrzymano (Received) 11.02.2008

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI I STRUKTURA WYPRASEK WTRYSKOWYCH O RÓŻNEJ GRUBOŚCI ŚCIANKI

Celem badań była ocena wpływu grubości ścianki wyprasek na ich właściwości i strukturę. Przedstawiono badania struktury i podstawowych właściwości mechanicznych wyprasek z polietylenu HDPE oraz kompozytu HDPE z 30% dodatkiem napelnacza w postaci włókien węglowych. Badania wykonano przy zastosowaniu wyprasek schodkowych o różnej grubości ścianki (1, 2, 3 i 4 mm), wytwarzanych we wkładce formującej formy dwugniazdowej. W badaniach wykazano istotny wpływ napelnacza na strukturę i podstawowe właściwości mechaniczne kompozytu, takie jak: wytrzymałość na rozciąganie, udarność, twardość i skurcz. W części wypraski o najmniejszej grubości 1 mm występuje największy stopień uporządkowania włókien węglowych widoczny na całej powierzchni przekroju wypraski, natomiast w części o największej grubości 4 mm włókna węglowe ułożone są w sposób uporządkowany jedynie w warstwie powierzchniowej wypraski. Stopień orientacji zależy więc od grubości ścianki wypraski. W wypraskach o grubych ściankach z polietylenu nienapelnionego orientacja cząstek napelnacza jest mniejsza niż w wypraskach cienkościennych. Cząstki napelnacza są zorientowane wzdłuż kierunku przepływu tworzywa. Orientacja w kierunku poprzecznym jest mniejsza, gdyż przy powierzchni formy występują zdecydowanie większe siły styczne. W przypadku tworzyw z napelnicami warunki ich przepływu w kanałach formy oddziałują w dużym stopniu na orientację cząstek napelnacza, zwłaszcza w postaci włókien, wpływając tym samym na właściwości mechaniczne wyprasek. Opisane zjawiska występujące podczas przepływu tworzywa w formie wtryskowej zależą od kształtu i rozmiarów przekroju poprzecznego kanałów formy. Rozmiary przekroju poprzecznego kanałów przepływowych, a zwłaszcza gniazda formującego, mają wpływ na warunki ścinania tworzywa, co z kolei oddziałuje na powstawanie określonej struktury i właściwości wyprasek. Wypraski z kompozytu HDPE z dodatkiem włókien węglowych cechują się lepszymi właściwościami mechanicznymi i mniejszym skurczem aniżeli wypraski z polietylenu HDPE nienapelnionego. Ze względu na zmienną głębokość gniazda formującego przepływ oraz warunki ścinania tworzywa w poszczególnych częściach gniazda są odmienne. W części wypraski o dużej grubości (4 mm) tworzywo przepływa z mniejszą prędkością aniżeli w części o najmniejszej grubości (1 mm). Wartość skurczu zależy od grubości ścianki wypraski. Ze wzrostem grubości ścianki wyprasek z HDPE nienapelnionego zwiększa się wartość skurczu poprzecznego, natomiast w przypadku HDPE z włóknem węglowym wpływ grubości ścianki na wartość skurczu jest niewielki. Stosowanie napelnacza w postaci włókien węglowych pozwala zatem w sposób znaczący ograniczyć skurcz wyprasek.

Słowa kluczowe: polietylen, kompozyty, włókna węglowe

SELECTED PROPERTIES AND STRUCTURE OF INJECTION MOULDED PARTS OF DIFFERENT THICKNESS

The investigation of the influence of wall thickness of injection moulded parts on their structure and properties was the aim of this work. The results of investigation of structure and mechanical properties of moulded parts from HDPE and composite material (HDPE with 30% carbon fibre) have been presented. Stair-shape moulded parts with the different thickness, 1, 2, 3 and 4 mm moulded in an insert of two-cavity injection mould were used in experiments. Examinations allowed to determine the influence of carbon fibre addition in polyethylene on structure and selected mechanical properties of moulded parts, like: tension strength, impact resistance, hardness, and shrinkage. In the section of moulded part of 1 mm thickness the highest degree of carbon fibres orientation appears all-over the cross-section of the moulded part, instead in section of the greatest thickness 4 mm carbon fibres are oriented only in the boundary layer of the part. The degree of the orientation is dependent on the thickness of the moulded part. In thick wall of a HDPE moulded part section, an orientation of the fibers is lower than in thin-wall parts. Fibers are oriented in the material flow direction. Orientation in the traverse direction is much lower due to high shear forces at the mould wall. In the case of filled polymers conditions of their flow in mould channels influence significantly orientation of filler particles, especially in fibres form, affecting consequently mechanical properties of moulded parts. Described phenomena occurring during the flow of material in the injection mould depend on shape and cross-section of mould channels. The size of cross-section of channels, and especially the cavity, influences conditions of polymer shearing what in turn affects the formation of the determined structure and properties of moulded parts. Parts from HDPE filled with carbon fibre has better mechanical properties and lower shrinkage than parts from unfilled HDPE. Because of the variable depth of injection mould the flow and shearing conditions of polymer in each sections of injection mould are different. In section of the large thickness (4 mm) material flows with the lower speed than in section of the smallest thickness (1 mm). The value of shrinkage depend on thicknesses of the injection moulded part. When the thickness of the HDPE part section increases the value of the transverse shrinkage increases as well, instead for HDPE filled with carbon

fibres the influence of the thickness of moulded part on the value of the shrinkage is low. The carbon fibre in moulded parts permits to limit the shrinkage of parts significantly.

Keywords: the polyethylene, composite materials, carbon fibres

WPROWADZENIE

Podczas przepływu uplastycznionego tworzywa w formie wtryskowej występują złożone zjawiska reologiczne i cieplne, będące następstwem zmiennego kształtu geometrycznego kanałów formy, tj. kanału wlewowego, kanałów doprowadzających, przewężek, a także gniazd formujących. Zjawiska te powinny być uwzględniane podczas projektowania form wtryskowych, a zwłaszcza przy ustalaniu kształtu i rozmiarów przewężek oraz kanałów doprowadzających [1-4]. Przyczyniają się one do zmian stanu przepływającego tworzywa, na przykład zwiększenia jego temperatury i prędkości przepływu w gnieździe formującym. Podczas przepływu tworzywa w gnieździe formującym o złożonym kształcie następuje dodatkowo zmiana właściwości reologicznych i cieplnych tworzywa w poszczególnych obszarach gniazda. Następstwem tego będzie zróżnicowanie struktury i właściwości wyprasek w tych obszarach. W przypadku wyprasek, dla których odmienne właściwości mechaniczne w różnych ich miejscach nie mają wielkiego znaczenia, np. zabawek, prostych przedmiotów codziennego użytku, zmiany struktury wywołane niejednakowymi warunkami przepływu tworzywa nie są istotne. Jednakże w przypadku elementów technicznych, które muszą spełniać określone wymagania dotyczące na przykład wytrzymałości, takie zmiany właściwości mechanicznych w różnych miejscach wypraski mogą mieć duże znaczenie, często nawet decydujące o ich przydatności.

Przepływ uplastycznionych tworzyw termoplastycznych w kanałach i gnieździe formy wtryskowej jest zjawiskiem bardzo złożonym i często trudnym do zamodelowania. Najczęściej do opisu przepływu tworzywa w kanałach doprowadzających stosuje się model oparty o powstawanie tzw. „efektu fontannowego” [3-7]. Wypełnianie gniazda jest w dużym stopniu determinowane przez kształt i rozmiary przewężki [3].

Podczas przepływu tworzyw termoplastycznych w kanałach formy występują takie zjawiska, jak [4, 6]:

- w przypadku zwężenia kanału: wzrost ciśnienia, zwiększenie temperatury, będące następstwem wzrostu tarcia i prędkości przepływu tworzywa,
- w przypadku rozszerzenia kanału: spadek ciśnienia, temperatury i prędkości przepływu.

Warunki przepływu tworzywa w formie decydują o właściwościach wyprasek poprzez wpływ tych warunków na [3, 4, 8-10]:

- orientację makrocząsteczek, która rzutuje bezpośrednio na wytrzymałość mechaniczną wypraski,

- naprężenia własne wyprasek, spowodowane różnicami temperatury krzepnięcia tworzywa w poszczególnych obszarach gniazda.

Ponadto właściwości wyprasek zależą od ich struktury powstającej podczas cyklu wtryskiwania, uwarunkowanej głównie warunkami nagrzewania i ochładzania tworzywa w formie. W przypadku tworzyw częściowo krystalicznych zawartość fazy krystalicznej jest determinowana głównie przez szybkość chłodzenia.

Stopień orientacji makrocząsteczek zależy od [7, 10-13]:

- temperatury uplastycznionego tworzywa,
- temperatury powierzchni gniazda formy wtryskowej,
- prędkości przepływu uplastycznionego tworzywa.

W fazie wypełniania gniazda formującego da się wyodrębnić dwa podstawowe, jednocześnie występujące sposoby powstawania orientacji makrocząsteczek [8, 14]:

- W wyniku ścinania, spowodowanego przemieszczaniem się z różnymi prędkościami warstw uplastycznionego tworzywa. W warstwach przylegających do powierzchni gniazda tworzywo ochładza się szybciej, zwiększa się jego lepkość i następuje zestalenie tworzywa na powierzchni gniazda. Makrocząsteczki polimeru są zorientowane wzdłuż kierunku przepływu tworzywa. Orientacja podłużna (w kierunku przepływu) jest większa od orientacji poprzecznej, gdyż przy powierzchni formy występują zdecydowanie większe siły styczne.
- W wyniku wydłużania, zachodzącego głównie na froncie strumienia tworzywa ciekłego, gdzie występuje tzw. „efekt fontannowy”. Makrocząsteczki polimeru zostają rozciągnięte w kierunku prostopadłym do kierunku przepływu tworzywa. Na skutek obniżania temperatury orientacja makrocząsteczek polimeru zostaje zachowana w wyprasce. Następstwem wydłużania jest występowanie znacznie większego stopnia orientacji podłużnej od orientacji poprzecznej.

Stopień orientacji zależny jest też od wielkości wypraski. W dużych wypraskach o grubych ściankach orientacja podłużna makrocząsteczek polimeru jest mniejsza niż w wypraskach cienkościennych.

Naprężenia własne w wypraskach są następstwem różnicy temperatury w poszczególnych miejscach gniazda, nierównomiernym ochładzaniem uplastycznionego tworzywa w przekroju poprzecznym wypraski (two-

rzywo została się szybciej w warstwie bezpośredniego kontaktu z formą) oraz ciśnieniem szczątkowym, będącym rezultatem stosowania zbyt dużego ciśnienia docisku. Udział naprężeń własnych jest stosunkowo mały i nie przekracza 4% wszystkich naprężeń wywołanych w wyprase głównie orientacją makrocząsteczek polimeru [8]. Naprężenia własne mogą zostać zrównoważone po usunięciu wypraski z formy lub też pozostać w wyprase, czego skutkiem może być jej samoistne niepożądane odkształcenie.

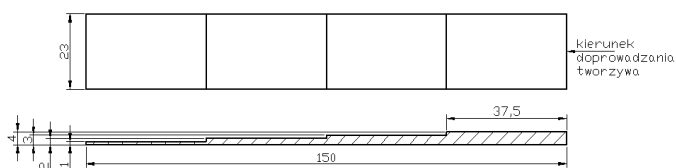
W przypadku tworzyw z napełniaczami warunki ich przepływu w kanałach formy oddziałują w dużym stopniu na ułożenie cząstek napełniacza, zwłaszcza w postaci włókien, wpływając tym samym na właściwości mechaniczne wyprasek.

Opisane zjawiska występujące podczas przepływu tworzywa w formie wtryskowej zależą od kształtu i przekroju poprzecznego kanałów formy. Rozmiary przekroju poprzecznego kanałów przepływowych, a zwłaszcza gniazda formującego, mają wpływ na warunki ścinania tworzywa, co z kolei oddziałuje na powstawanie określonej struktury i właściwości wyprasek.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań wpływu warunków przepływu tworzywa w gnieździe o zmiennej wysokości na strukturę i wybrane właściwości wyprasek wtryskowych z polietylenu dużej gęstości bez napełniacza oraz z 30% zawartością włókna węglowego.

BADANIA EKSPERYMENTALNE

Celem badań była ocena wpływu warunków ścinania tworzywa w gnieździe formy wtryskowej o zmiennej wysokości na strukturę i wybrane właściwości wyprasek. Stosowano próbki w postaci wyprasek schodkowych o zmiennej grubości, od 1 do 4 mm. Kształt i wymiary wypraski przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Kształt i wymiary próbki badawczej

Fig. 1. Shape and dimensions of test specimen

Próbki wykonano przy zastosowaniu formy dwugniazdowej z równoległym układem kanałów doprowadzających (rys. 2). Tworzywo jest doprowadzane do gniazda przez przewężkę szczelinową o wysokości 2 mm i szerokości 15 mm, w obszarze wypraski o największej grubości.

W badaniach stosowano polietylen dużej gęstości o nazwie handlowej Hostalen GC 7260 firmy Basell, o gęstości $0,963 \text{ g/cm}^3$ i masowym wskaźniku szybkości płynięcia (MFR) wynoszącym 8 g/10 min (wyzna-

czonym w temperaturze 190°C i przy obciążeniu $2,16 \text{ kg}$ oraz 23 g/10 min (w temperaturze 190°C i przy obciążeniu 5 kg). Badano także kompozyt tego polietylenu z 30% zawartością włókna węglowego ciętego Tenax HTA 5N51 6 mm firmy Tenax Fibres o długości $\pm 6 \text{ mm}$.

Kompozyt uzyskano, mieszając granulaty HDPE z włóknem węglowym, który następnie uplastyczniano i wytłaczano z układu uplastyczniającego wtryskarki (bez formy wtryskowej, przy obracającym się ślimaku). Wytłoczone i ochłodzone tworzywo poddane zostało mieleniu.

Próbki wytwarzano z użyciem wtryskarki firmy Krauss-Maffei KM-65/C1/160. Warunki wtryskiwania były następujące:

- temperatura wtryskiwania 200°C
- ciśnienie docisku 50 MPa
- prędkość wtryskiwania 65 mm/s
- czas wtryskiwania 3 s
- czas docisku 15 s
- czas chłodzenia 10 s
- temperatura formy 60°C



Rys. 2. Wkładka formująca formy wtryskowej dwugniazdowej

Fig. 2. Insert of two-cavity injection mould

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE WYPRASEK

W celu porównania właściwości mechanicznych wyprasek z obydwu tworzyw zastosowano dodatkowo próbki w postaci wióselek, wytworzone przy użyciu formy wtryskowej dwugniazdowej zgodnie z normą PN-EN ISO 527-1 i PN-EN ISO 527-2. Próbki te wykorzystano również do badania uduwności.

W statycznej próbie jednoosiowego rozciągania określono: umowną granicę plastyczności wyznaczoną przy odkształceniu $0,2\%$ ($\sigma_{0,2}$), moduł Younga (E), wytrzymałość na rozciąganie (σ_M), naprężenie przy zerwaniu (σ'_b) i wydłużenie względne przy zerwaniu (ϵ_b). Wytrzymałość na rozciąganie badano przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej firmy Zwick. Wyniki uzyskane w próbach jednoosiowego rozciągania przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 3.

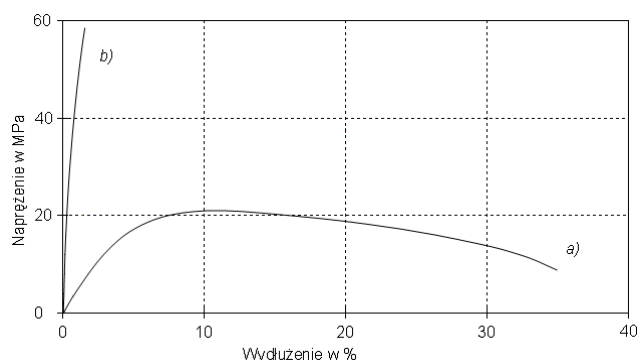
Moduł Younga próbek z kompozytu jest większy o około 1200% w porównaniu z jego wartością dla polietylenu nienapełnionego. Rysunek 3 obrazuje istotną różni-

cę w przebiegu krzywych rozciągania uzyskanych dla obydwu badanych próbek. W przypadku polietylenu napełnionego brak jest wyraźnej granicy plastyczności. Kompozyt jest kruchy, charakteryzuje się małym wydłużeniem względnym, ma jednak 3-krotnie większą wytrzymałość na rozciąganie aniżeli polietylen HDPE nienapełniony.

TABELA 1. Wyniki próby jednoosiowego rozciągania wyprasek z HDPE oraz HDPE z 30% zawartością włókna węglowego

TABLE 1. Results of tensile test of moulded parts made of HDPE and HDPE filled with 30% of carbon fibre

Rodzaj próbki	Granica plastyczności $\sigma_{0,2}$ MPa	Moduł Younga E GPa	Wytrzymałość na rozciąganie σ_M MPa	Napężenie przy zerwaniu σ_b MPa	Wydłużenie względne przy zerwaniu ϵ_b , %
HDPE	5,97	1,16	20,72	10,41	34,24
HDPE + 30% wł. węglowego	39,05	13,67	58,55	58,55	1,32

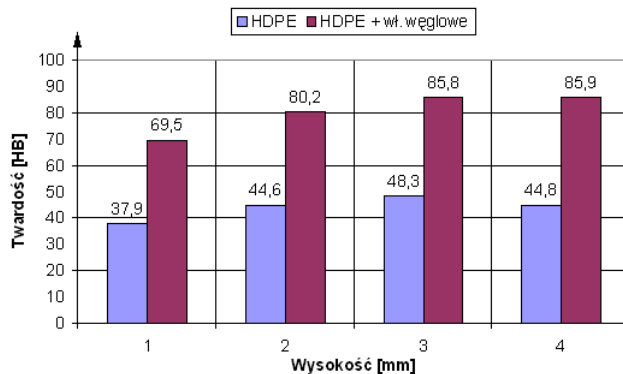


Rys. 3. Wykres rozciągania dla próbek: a - z polietylenu HDPE nienapełnionego; b - z polietylenu HDPE z włóknem węglowym

Fig. 3. Tensile curves for samples made of: a - HDPE; b - HDPE filled with 30% of carbon fibre

Udarność wyznaczono za pomocą młota Charpy'ego. Badano próbki bez karbu według normy PN-EN ISO 179-1:2004, wycięte z próbek do jednoosiowego rozciągania. W przypadku próbek z polietylenu nienapełnionego niemożliwe było ustalenie udarności, ponieważ nawet próbki z karbem nie pękały. Natomiast udarność próbek z kompozytu wynosiła w przypadku próbek bez karbu $a_{CU} = 12,06 \text{ kJ/m}^2$.

Badania twardości przeprowadzono z wykorzystaniem próbek schodkowych. Twardość próbek badano metodą wciskania metalowej kulki. Pomiary wykonywano według normy PN-EN ISO 2039-1:2004 w środkowym obszarze każdej części próbki. W przypadku części o małej grubości pomiary prowadzono, stosując podkładki z tego samego tworzywa, tak aby zapewnić minimalną, określoną normą, grubość próbek. Średnie wartości pomiarów twardości przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Twardość w różnych strefach próbek (w jednostkach HB)

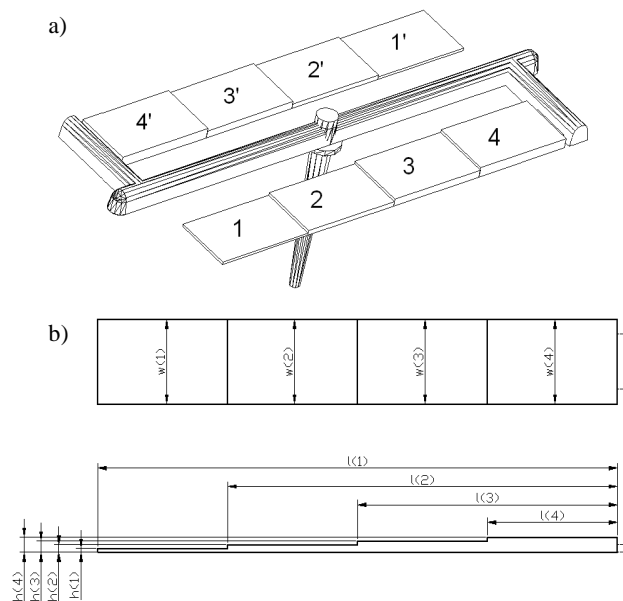
Fig. 4. Hardness in different sections of samples (in individuals HB)

Twardość próbek z polietylenu napełnianego włóknem węglowym była prawie 2-krotnie większa niż twardość próbek z polietylenu nienapełnionego we wszystkich częściach wyprasek.

SKURCZ WYPRASEK

W badaniach oceniano wpływ grubości ścianki wypraski schodkowej na wielkość skurczu.

W celu wyznaczenia skurczu zmierzono wymiary obu gniazd formy oraz wyprasek. Pomiarów dokonano z dokładnością $\pm 0,02 \text{ mm}$. Zmierzono długość (l), szerokość (w) i grubość (h) każdej strefy gniazda i wypraski (rys. 5). Przy pomiarach długości bazą pomiarową była płaszczyzna strefy umiejscowionej przy przewężce, w przypadku pomiarów wysokości i szerokości bazą były płaszczyzny ograniczające daną strefę. Numerację stref wypraski przedstawiono na rysunku 5a.

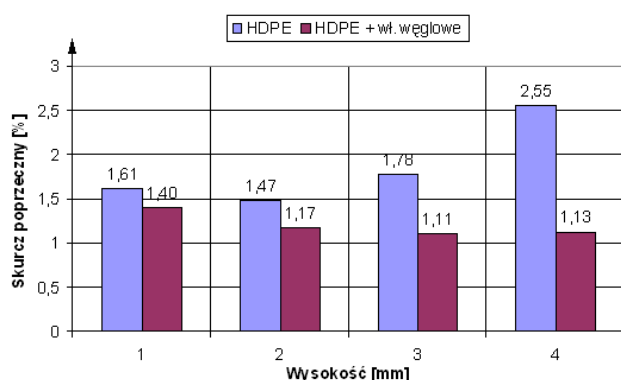


Rys. 5. Miejsca pomiaru skurczu wyprasek: a) oznaczenia stref pary wyprasek, b) bazy pomiarowe stref wyprasek

Fig. 5. Location of parts shrinkage measurements: a) numbers of moulded parts sections, b) reference lines of parts sections

Wartość skurczu wyznaczonego w kierunku grubości wyprasek (h) była niewielka i mieściła się w granicach błędów pomiarowych, zarówno dla próbek wykonanych z polietylenu HDPE, jak i dla polietylenu HDPE z dodatkiem włókna węglowego. Długość wyprasek (a także długość poszczególnych stref (l)) z polietylenu HDPE z dodatkiem włókna węglowego również zmieniała się w niewielkim stopniu w granicach błędów pomiarowych. W przypadku wyprasek z polietylenu HDPE bez napełniacza wartość skurczu mierzonego dla całej długości próbki wynosiła 1,86%.

Największą zmianę wartości skurczu wyprasek z obydwu tworzyw stwierdzono przy pomiarach szerokości stref wyprasek (w). Różnice przedstawiające wartości skurczu poprzecznego w poszczególnych strefach o grubości (h) zobrazowano na rysunku 6.



Rys. 6. Skurcz poprzeczny wyprasek z HDPE nienapełnionego oraz HDPE z 30% zawartością włókna węglowego w zależności od grubości ścianki wypraski (w)

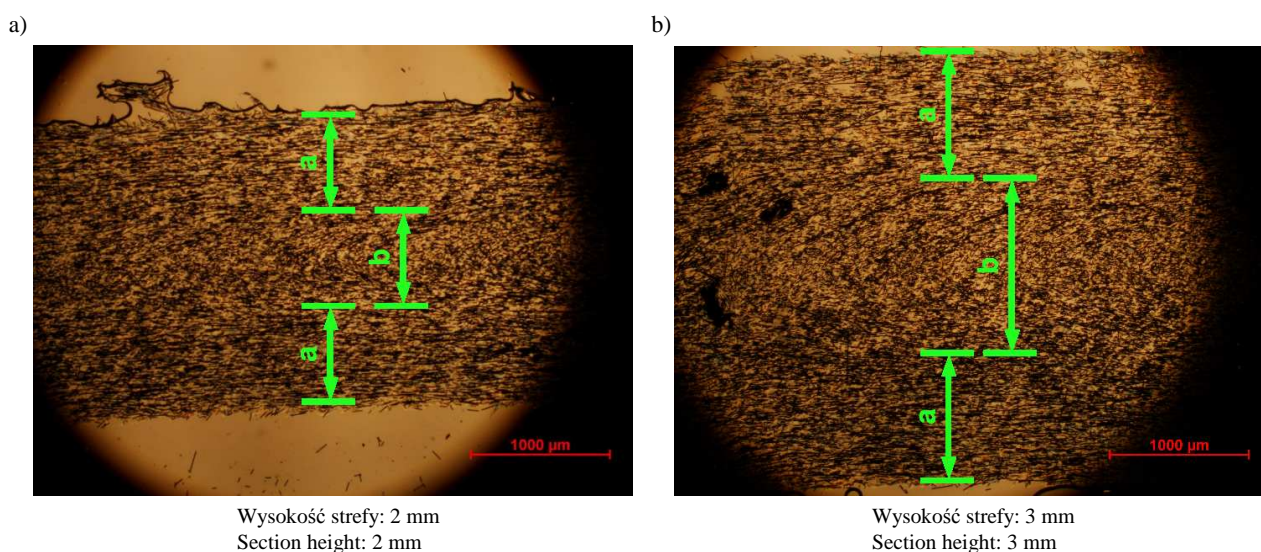
Fig. 6. The transverse shrinkage of moulded parts with HDPE and HDPE with 30% carbon fibre, depending on thickness of parts (w)

Można zauważyć wzrost wartości skurczu poprzecznego wyprasek z HDPE ze zwiększeniem się grubości ścianki wypraski. W strefie (4) o grubości 4 mm skurcz poprzeczny jest większy o około 1% w porównaniu z wartością wyznaczoną dla strefy (1) o grubości 1 mm. Natomiast w przypadku wyprasek z HDPE z włóknem węglowym skurcz poprzeczny ma mniejszą wartość i maleje nieznacznie wraz ze wzrostem grubości ścianki. Można zatem powiedzieć, że napełniacz w postaci włókna węglowego przyczynia się do zmniejszenia skurczu wyprasek, a ponadto jego wartość jest prawie niezależna od grubości ścianki wypraski.

BADANIA STRUKTURALNE WYPRASEK Z HDPE Z 30% ZAWARTOŚCIĄ WŁÓKNA WĘGLOWEGO

W badaniach tych z każdej strefy wypraski schodkowej (części o stałej grubości $h = 1, 2, 3$ i 4 mm) wycięto, za pomocą mikrotomu, ścinki do badań mikroskopowych o grubości $25 \mu\text{m}$. Ścinki uzyskiwano ze środka każdej strefy, równoległe i prostopadłe do kierunku przepływu tworzywa w gnieździe. Strukturę obserwowano za pomocą mikroskopu Nikon ECLIPSE E200 w świetle spolaryzowanym przy powiększeniach 20x, 100x, 200x i 400x. Wybrane wyniki obserwacji mikroskopowych przedstawiono na rysunkach 7-9.

Analiza uzyskanych obrazów umożliwiła określenie orientacji włókien węglowych w wyprasce, co pozwoliło również na wizualizację procesu wypełniania gniazda formy. Podobną metodę oceny przepływu tworzywa w formie wtryskowej opisano we wcześniejszych pracach, w których przedstawiono wyniki badań polietylenu małej gęstości napełnionego talkiem, pełniącego rolę znacznika linii przepływu [7, 11].

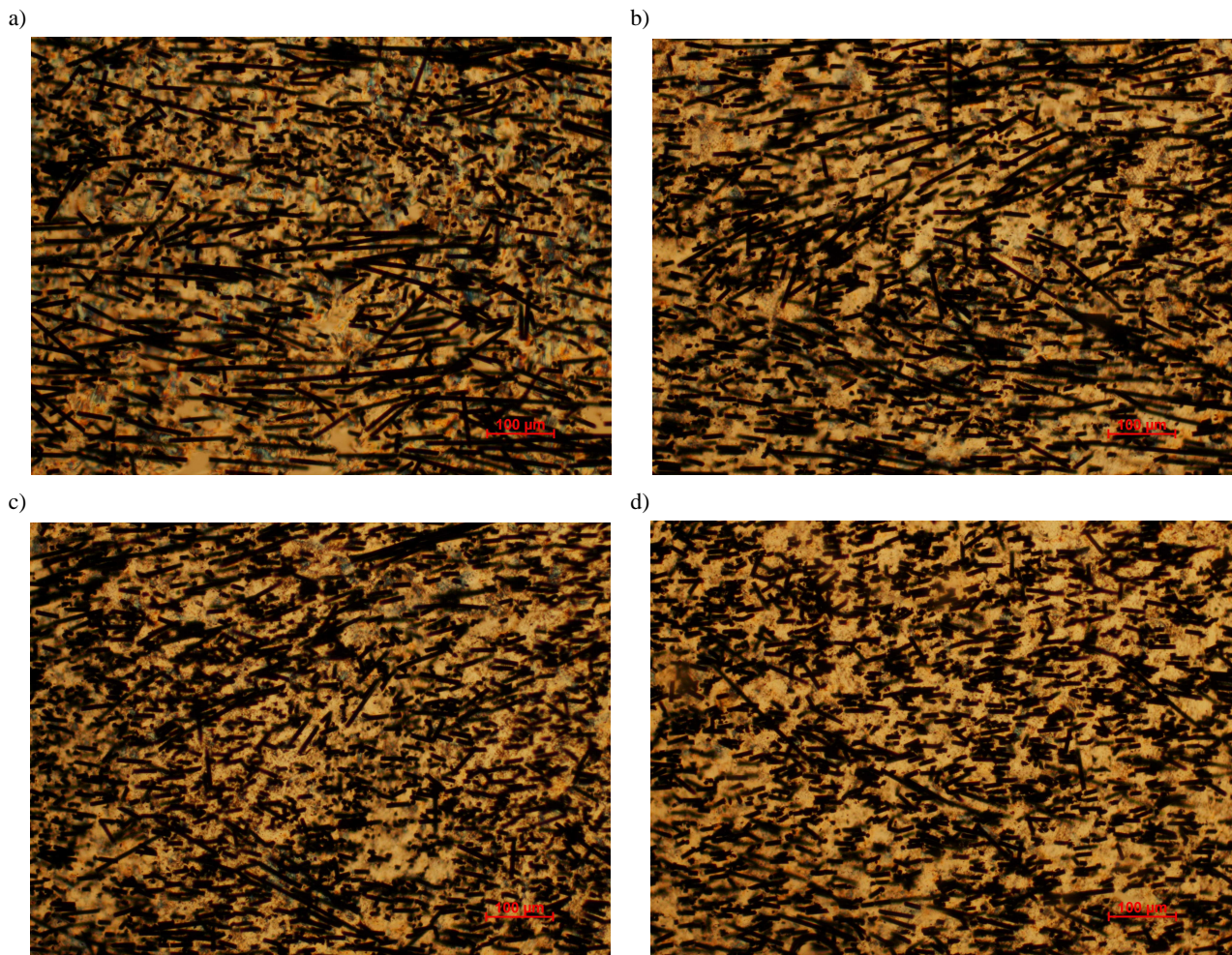


Wysokość strefy: 2 mm
Section height: 2 mm

Wysokość strefy: 3 mm
Section height: 3 mm

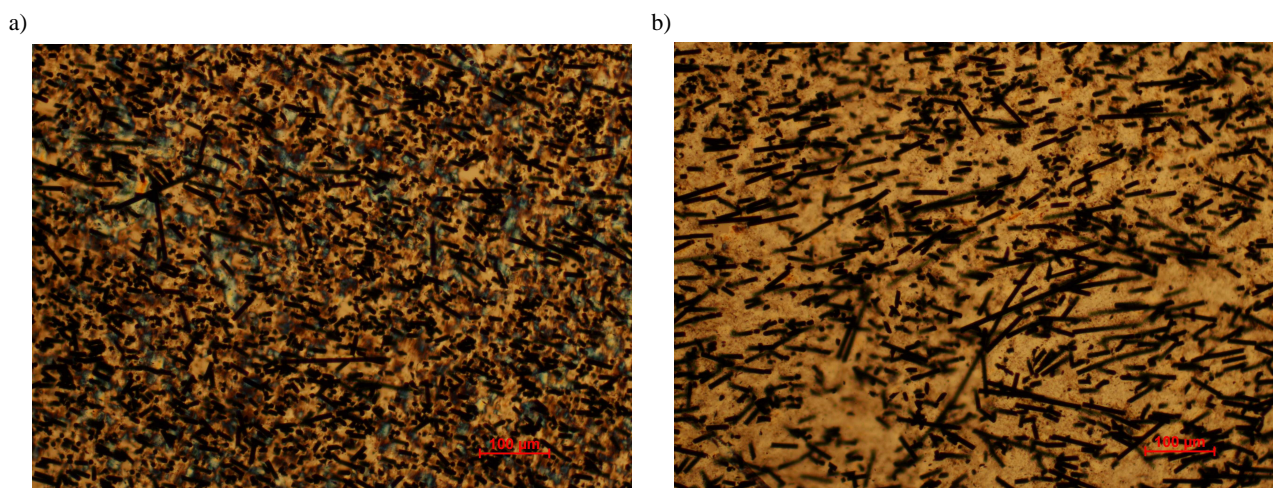
Rys. 7. Morfologia wyprasek z HDPE z włóknem węglowym; próbki wycięte wzdłuż kierunku przepływu tworzywa w gnieździe formującym z części wypraski o grubości 2 mm (a) oraz 3 mm (b), pow. 20x

Fig. 7. Morphology of moulded parts from HDPE filled with carbon fibre; samples cut along the flow direction in the cavity, from parts sections of thickness 2 mm (a) and 3 mm (b), magn. 20x



Rys. 8. Orientacja włókien węglowych w strefach o różnej grubości: a) 1 mm, b) 2 mm, c) 3 mm, d) 4 mm; przekrój wzdłuż kierunku przepływu tworzywa, pow. 100x

Fig. 8. Orientation of carbon fibres in sections of different thickness: a) 1 mm, b) 2 mm, c) 3 mm, d) 4 mm; cross section along the flow direction, magn. 100x



Rys. 9. Zagęszczenie włókien w strefach wypraski (w przekroju prostopadłym do kierunku przepływu tworzywa) o różnej grubości: a) 1 mm, b) 4 mm, pow. 100x

Fig. 9. Concentration of carbon fibres in sections of moulded part of different thickness (in cross section perpendicular to flow direction): a) 1 mm, b) 4 mm, magn. 100x

Warunki przepływu tworzywa w poszczególnych strefach wypraski, a zwłaszcza odmienne warunki ścinania, przyczyniają się do zróżnicowania orientacji włókien

oraz gęstości ich występowania w tych strefach. W obrazach uzyskanych dla próbek wyciętych wzdłuż kierunku przepływu tworzywa da się wyróżnić silnie

zróżnicowaną warstwę wierzchnią (*a*) oraz rdzeń (*b*) wyprasek (rys. 7). W wyprase o mniejszej grubości (rys. 7a) można zaobserwować szeroką warstwę wierzchnią tworzywa zorientowanego i strefę rdzenia o grubości mniejszej niż w przypadku wypraski i grubości 3 mm (rys. 7b).

Orientację włókien w przekroju wzdłuż kierunku przepływu tworzywa dla wszystkich czterech stref wypraski, przy powiększeniu 100x, przedstawiono na rysunku 8. Największy stopień orientacji włókien w kierunku przepływu tworzywa występuje w najcieńszych strefach wypraski (o grubości $h = 1$ mm i $h = 2$ mm). W strefach o większej grubości ($h = 3$ mm i $h = 4$ mm) ułożenie włókien węglowych jest bardziej nieuporządkowane. Część włókien została wyciągnięta w kierunku przepływu tworzywa w gnieździe, inne są ułożone pod kątem czy nawet prostopadle do tego kierunku.

Na rysunku 9 porównano morfologię próbek wyciętych prostopadle do kierunku przepływu tworzywa ze stref o grubości 1 i 4 mm. W strefie o grubości $h = 1$ mm, w której ścinanie tworzywa jest najbardziej intensywne, występuje duże zagęszczenie włókien. Można zauważyć jednorodne rozprowadzenie włókien w polimerze. W strefie wypraski o grubości $h = 4$ mm, wypełnianej jako pierwsza, w której ścinanie jest mniej intensywne, występuje mniejsze zagęszczenie włókien. Rozłożenie włókien w polimerze jest nierównomierne, widoczne są obszary o niewielkiej zawartości włókna.

PODSUMOWANIE

Stosowanie napełniacza w postaci włókien węglowych do napełniania polietylenu wysokiej gęstości HDPE pozwala na polepszenie właściwości mechanicznych wyprasek oraz zmniejszenie skurczu. Zmianie ulegają podstawowe właściwości mechaniczne, zwiększa się twardość, wytrzymałość na rozciąganie.

Wartość skurczu zależy od grubości ścianki wypraski. Ze wzrostem grubości ścianki wyprasek z HDPE nienapełnionego zwiększa się wartość skurczu poprzecznego, natomiast w przypadku HDPE z włóknem węglowym wpływ grubości ścianki na wartość skurczu jest niewielki. Stosowanie napełniacza w postaci włókien węglowych pozwala zatem w sposób znaczący ograniczyć skurcz wyprasek.

Zmiany właściwości wyprasek w poszczególnych ich strefach spowodowane są odmienną orientacją włókien oraz ich zagęszczeniem w tych strefach, co wykazano w badaniach strukturalnych.

Próba statycznego rozciągania została wykonana w Instytucie Modelowania i Automatyzacji Procesów Przeróbki Plastycznej na Wydziale Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej Politechniki Częstochowskiej.

LITERATURA

- [1] Sikora R., Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych, PWN, Warszawa 1987.
- [2] Smorawiński A., Technologia wtrysku, WNT, Warszawa 1989.
- [3] Bociąga E., Procesy determinujące przepływ tworzywa w formie wtryskowej i jego efektywność, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2001.
- [4] Zawistowski H., Frenkler D., Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych, WNT, Warszawa 1984.
- [5] Sikora R., Podstawy przetwórstwa tworzyw wielkocząsteczkowych, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1992.
- [6] Bociąga E., Jaruga T., Process of Cavity Filling in a Multi-cavity Injection Mold. The Polymer Processing Society, Annual Meeting and Anniversary Celebration PPS-20, Akron, Ohio, USA 2004, 217.
- [7] Bociąga E., Jaruga T., Sterzyński T., Banasiak A., Experimental Determination of the Polymer Flow Profiles in Injection Mould Channels. The Polymer Processing Society, 21st Annual Meeting PPS-21, Leipzig, Germany 2005, 1-11.
- [8] Cechy wyprasek z tworzyw sztucznych, <http://www.narzedziownie.pl/?t=s&s=1&i=21>
- [9] Osswald T.A., Turng L.-S., Gramann P.J., Injection Molding Handbook, Hanser Publishers, Munich 2002.
- [10] Sikora R., Bociąga E., Wybrane zagadnienia przepływu tworzywa w formie wtryskowej, Polimery 2003, 48, 2, 100-105.
- [11] Banasiak A., Sterzyński, T., Assessment of a flow of a polymer, filled with lamellar filler as a marker, in an injection mould, Polimery 2004, 6, 442-448.
- [12] Bociąga E., Wpływ temperatury formy wtryskowej i prędkości wtryskiwania na wybrane właściwości wyprasek polietylenowych, Polimery 2000, 45, 11-12, 830-836.
- [13] Bociąga E., Modelowanie procesu wypełniania gniazda formy wtryskowej, Polimery 2002, 47, 2, 122-129.
- [14] Sikora R., Tworzywa wielkocząsteczkowe: rodzaje, właściwości i struktura, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1991.