

ANNA KRZYŻAK, JANUSZ W. SIKORA

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

Przetwarzalność tworzyw fenolowych wyznaczana metodą BIP

Streszczenie — Określono właściwości przetwórcze tworzyw fenolowo-formaldehydowych za pomocą standardowego i zmodernizowanego we własnym zakresie plastometru BIP. Badania przetwarzalności przeprowadzono na przykładzie tworzywa „Polofen FF1WHG”, uwzględniając następujące czynniki zmienne: temperaturę formy plastometru (T_{BIP}), zawartość wody w tworzywie (f_w), średnicę kanału przepływowego dyszy plastometru (d) oraz masę tworzywa (m_{BIP}). Otrzymano funkcje, na podstawie których wyznaczono dwa podstawowe wskaźniki przetwarzalności, mianowicie największe masowe natężenie przepływu ($\dot{G}_{maks.}$) tworzywa oraz standardowy czas przetrzymywania tworzywa (t_{WS}) w formie plastometru BIP. Wartości wskaźników maleją wraz ze wzrostem temperatury tej formy w wyniku szybszego zachodzenia reakcji sieciowania. W przypadku zwiększania zawartości wody w tworzywie oraz wartości d zależność jest odwrotna. Zastosowanie do pomiarów próbek tworzywa o większej masie wywołuje nierównomierny przepływ materiału spowodowany jego niejednorodnym uplastycznieniem. Analiza zależności masowego natężenia przepływu tworzywa od czasu prasowania oraz drogi przemieszczania stempla plastometru podczas prasowania od tegoż czasu pozwala na bardziej szczegółową analizę właściwości badanego tworzywa.

Słowa kluczowe: tworzywo fenolowo-formaldehdowe, przetwarzalność, metoda BIP, plastometr BIP.

PROCESSABILITY OF PHENOLIC PLASTICS DETERMINED BY BIP METHOD

Summary — Processing properties of phenol-formaldehyde plastics were determined using BIP plastometer, unmodified and modified by us (Fig. 1). Investigations of plastic processability were carried out for „Polofen FF1WHG” taking into consideration the following changeable parameters: temperature of plastometer mold (T_{BIP}), water content in the plastic (f_w), diameter of plastometer die flow channel (d) and mass of plastic (m_{BIP}). The functions were obtained (Fig. 2) and two basic processability factors were determined based on them, namely maximal mass flow rate $\dot{G}_{maks.}$ and standard holdup time (t_{WS}) of plastic in BIP plastometer mold. The values of the factors lower with increasing temperature T_{BIP} of plastometer mold (Fig. 3) as a result of faster crosslinking reaction. In case of increase in water content in a plastic (Fig. 4) and in the diameter of plastometer die flow channel (Fig. 5) the relationships are inverse. The use in measurements the samples of bigger masses cause non-uniform flow of material because of non-uniform plastification (Fig. 6). Analyses of dependence of mass flow rate of plastic on press molding time (Fig. 7) as well as of dependence of displacement path of the plastometer punch during the press molding on this time (Fig. 8) allow to analyze the properties of the plastic studied in more details.

Key words: phenol-formaldehyde plastics, processability, BIP method, BIP plastometer.

SPOSOBY OKREŚLANIA PRZETWARZALNOŚCI TWORZYW UTWARDZALNYCH

Od kilkunastu lat prowadzi się liczne prace podstawowe, stosowane oraz rozwojowe dotyczące tworzyw utwardzalnych, w tym fenolowych, ze szczególnym uwzględnieniem recyklingu materiałowego, zwiększającego możliwości zagospodarowania odpadów [1—5]. Efektem tych prac jest poprawa niektórych właściwości tworzyw fenolowych, np. udarność i niepalność [6, 7] oraz powstanie nowych materiałów z udziałem żywic fenolowych [8—12], na przykład z napełnia-

czem pochodzącym z recyklingu tworzyw fenolowych [13—15]. Coraz większe w związku z tym zainteresowanie omawianymi tu materiałami powoduje w licznych krajach na świecie wyraźny wzrost ich produkcji [16—18].

Proces opracowywania nowych tworzyw wymaga poznania ich właściwości przetwórczych, w tym zwłaszcza przetwarzalności. Przetwarzalność jest to podatność materiału na zmiany właściwości, struktury oraz kształtu i wymiarów, zachodzące w procesie jego przetworstwa [19—21]. Właściwość tą określa się za pomocą odpowiednich wskaźników przetwarzalności.

Metody badania właściwości przetwórczych tworzyw utwardzalnych umożliwiły określenie wybranych warunków przetwórstwa (zwłaszcza ograniczających straty materiałowe i skracających czas operacji) początkowo w technice prasowania, później także wtryskiwania [19]. Pierwsza, opracowana przez M. Krahla w 1931 r. metoda, polegała na pomiarze długości odpowiedniego fragmentu otrzymanej wypraski i stanowiła podstawę wielu innych badań naukowych dotyczących właściwości przetwórczych tworzyw utwardzalnych [22–31]. Efektem tych badań było opracowanie m.in. takich metod jak Rossi-Peakesa [32], Schwittmanna [33, 34], Kanawca [35], Meysenbuga-Zwicka [23], Liedmanna [36], Lunborga [37], Brabendera [38], gniazda spiralnego [19, 39, 40], Mority [41], BIP [42], Raschiga [22] oraz Kima [43].

Inne, mniej znane, to technika prasowania kubka [19, 44, 45], metody Hessena [25] i Burnsa (ta ostatnia nazywana także „*Plasticity set index*”) [46] oraz sposoby płynięcia przetłocznego [47] i prasowania w formie z wieloma gniazdami formującymi (tzw. „*Tube base*”) [48].

W Polsce powszechnie stosuje się metody Krahla oraz gniazda spiralnego ze względu na prostotę pomiaru i szybkość otrzymywania wyników. Te tradycyjne techniki służą jednak raczej do doraźnej kontroli jakości tworzywa bądź jego zdolności przepływu niż do interpretacji właściwości przetwórczych a także doboru warunków przetwórstwa [49, 50].

Metoda BIP (skrót pochodzi od nazwy instytucji — British Industrial Plastics Ltd. — w której opracowano pierwszy plastometr) z powodzeniem może stanowić alternatywę dla większości wymienionych tu technik pozwalających na określenie właściwości tworzywa zdolnego do utwardzenia związanych z tą jego podstawową cechą. Sposób pomiaru przetwarzalności omawianą metodą jest nieskomplikowany i mało kosztowny [30, 51]. Możliwość jednoczesnego wyznaczenia kilku wskaźników opisujących przetwarzalność tworzyw wskazuje na właściwą metodę przetwórstwa [27, 29], a także na określenie jej przybliżonych warunków.

Stanowi też ona efektywne uzupełnienie metod Kanawca oraz Brabendera, a wykonanie stosowanego prostego w konstrukcji plastometru nie jest drogie ani pracochłonne. Metodą BIP można określać przetwarzalność większości rodzajów tworzyw utwardzalnych, także tych z napełniaczami w postaci mączki, włókien ciętych, skrawków bądź granulatu.

Celem naszych badań była właśnie ocena przetwarzalności tworzywa fenolowo-formaldehydowego za pomocą plastometru BIP.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiał

Ocenie poddano tworzywo fenolowo-formaldehydowe „Polofen FF1WHG”, w postaci proszku, wyprodukowane w Firmie Produkcyjno-Usługowej „Fenoplast”

w Pustkowie. Według danych producenta [52] materiał ten może różnić się ilością wody i zawiera 40 % mas. napełniacza (mączki drzewnej) oraz barwnik w kolorze czarnym.

Gęstość normalna tworzywa wynosi 1340 kg/m^3 , a właściwości mechaniczne zależą od zawartości wody: np. wytrzymałość na ściskanie to 213 MPa (2,1 % wody) lub 178 MPa (3,4 % wody), natomiast udarność wg Charpy’ego jest równa, odpowiednio, $5,4 \text{ kJ/m}^2$ albo $6,0 \text{ kJ/m}^2$.

Użycie do badań „Polofenu” wynika z jego wielokierunkowego dotychczasowego [11, 17, 52–54] wykorzystania i perspektyw innego zastosowania [1, 2].

Tworzywo do badań przetwarzalności pobrano bezpośrednio z linii technologicznej i przechowywano w szczelnie zamkniętych szklanych pojemnikach.

Stanowisko badawcze

Badania przetwarzalności prowadzono przy użyciu plastometru BIP znajdującego się w Katedrze Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej i zmodernizowanego zgodnie z naszą oryginalną koncepcją [30].

Wygląd ogólny stanowiska badawczego ze standardowym plastometrem BIP przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Wygląd ogólny standardowego plastometru BIP: 1 — płyta dolna, 2 — czujnik temperatury, 3 — matryca, 4 — słupy prowadzące, 5 — stempel, 6 — płyta ruchoma, 7 — płyta górna, 8 — siłownik hydrauliczny

Fig. 1. General look of standard BIP plastometer: 1 — bottom plate, 2 — temperature sensor, 3 — matrix, 4 — guide posts, 5 — punch, 6 — slide plate, 7 — upper plate, 8 — hydraulic motor operator

Prace modernizacyjne przeprowadzone przy współudziale Katedry Automatykacji Politechniki Lubelskiej obejmowały przebudowę układu sterowania fazami cyklu roboczego plastometru a także układu pomiaru przemieszczenia stempla oraz opracowanie nowatorskiego programu komputerowego. Program ten spełniał funkcję sterującą i kontrolującą działanie plastometru, rejestrował oraz wizualizował (podczas badania) na ekranie monitora wyniki pomiarów w postaci wykresów funkcji wybranych wielkości od czasu prasowania właściwego a także archiwizował otrzymane dane pomiarowe.

Plan badań

Czynniki wynikowe

Przyjęto dwa główne czynniki wynikowe, będące wskaźnikami przetwarzalności, uzyskane za pomocą plastometru BIP, mianowicie największe masowe natężenie przepływu tworzywa ($\dot{G}_{maks.}$) oraz standardowy czas przetrzymywania tworzywa (t_{WS}) w komorze zasypowej plastometru. Inne ważniejsze czynniki wynikowe to czas prasowania właściwego (t_{BIP}) oraz droga przemieszczenia stempla plastometru (X).

Czynniki zmienne:

- temperatura formy plastometru (T_{BIP}) (145—165 °C),
- zawartość wody w tworzywie (f_W) (2,1—3,4 %),
- średnica kanału przepływowego dyszy plastometru (d) (2,0—4,0 mm),
- masa tworzywa użytego do badań (m_{BIP}) (30—50 g).

Czynniki stałe:

- rodzaj tworzywa fenolowo-formaldehydowego,
- ciśnienie prasowania właściwego w plastometrze (p_{BIP}),
- elementy konstrukcyjne plastometru BIP z wyłączeniem średnicy kanału przepływowego dyszy plastometru.

Czynniki zakłócające:

Za czynniki zakłócające uznano niestabilność następujących parametrów:

- napięcia prądu elektrycznego,
- wilgotności względnej powietrza,
- temperatury otoczenia.

Oceniono, że wpływ czynników zakłócających jest bardzo mały i może zostać pominięty.

Badania przetwarzalności przeprowadzono zgodnie ze statycznym zdeterminowanym selekcyjnym programem jednoczynnikowym [55], wybranym na podstawie celu badań i liczby pomiarów.

Program umożliwia określenie wpływu poszczególnych czynników zmiennych w warunkach ustalonych wartości pozostałych czynników zmiennych na przetwarzalność tworzywa fenolowo-formaldehydowego charakteryzowaną zbiorem czynników wynikowych.

Metodyka badań

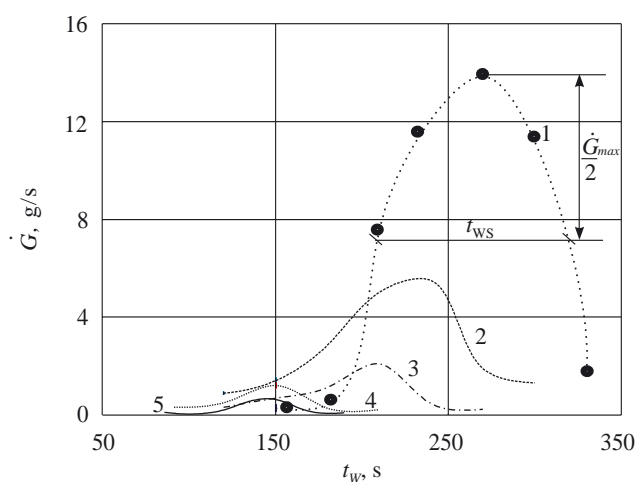
Zgodnie ze wspomnianym w poprzednim podrozdziale programem, badania powtarzalności przeprowadzono w czterech grupach pomiarowych. W każdej z tych grup określano wpływ jednego czynnika zmiennego na wybrane wskaźniki przetwarzalności. Obliczając iloraz wariancji dwóch rozkładów [55] dokonano także oceny istotności wpływu odrębnych czynników zmiennych na badany obiekt, charakteryzowany wybranymi czynnikami wynikowymi.

Korzystając z programu komputerowego odczytywano również drogę (X) oraz prędkość przemieszczania stempla plastometru BIP (v).

Wyznaczanie wskaźników przetwarzalności badanego tworzywa wykonywano w seriach po kilkanaście pomiarów masowego natężenia przepływu (\dot{G}) w określonych wartościach czasu przetrzymywania tworzywa w komorze zasypowej plastometru (t_W). W przypadku badań za pomocą standardowego plastometru BIP (przed modernizacją), wartość masowego natężenia przepływu była wynikiem ilorazu masy próbki tworzywa przez czas prasowania (t_{ws}). W przypadku zaś badań za pomocą zmodernizowanego plastometru BIP, wyznaczanie wartości \dot{G} opierało się na danych zarejestrowanych podczas pomiaru realizowanego przez autorski program komputerowy.

WYNIKI BADAŃ I ICH INTERPRETACJA

Rysunek 2 przedstawia wyniki badań za pomocą zmodernizowanego plastometru BIP zależności \dot{G} od t_W



Rys. 2. Zależność masowego natężenia przepływu (\dot{G}) od czasu przetrzymywania tworzywa w komorze zasypowej plastometru BIP (t_W) oraz od temperatury komory (T_{BIP}); wartości T_{BIP} : 1 — 145 °C, 2 — 150 °C, 3 — 155 °C, 4 — 160 °C, 5 — 165 °C

Fig. 2. Dependence of mass flow rate (\dot{G}) on holdup time of plastic in loading cavity of BIP plastometer (t_W) and on the cavity temperature (T_{BIP}). T_{BIP} values: 1 — 145 °C, 2 — 150 °C, 3 — 155 °C, 4 — 160 °C, 5 — 165 °C

wykonanych w zmiennej temperaturze T_{BIP} ; ustalone wartości pozostałych parametrów to: $f_W = 2,6\%$; $d = 3,0$ mm oraz $m_{BIP} = 40$ g. Na rysunku zaznaczono również przykład odczytywania standardowego czasu t_{WS} przebywania tworzywa w komorze zasypowej plastometru. Można go scharakteryzować jako czas, w którym tworzywo zachowuje najlepszą zdolność do przepływu w kanale przepływowym dyszy plastometru.

Wzrost natężenia przepływu tworzywa w funkcji czasu jego przebywania w komorze zasypowej wiąże się ze stopniowym uplastycznianiem, a więc ze zmniejszaniem się lepkości materiału. Najmniejsza lepkość i równocześnie najlepsza zdolność do przepływu odpowiada największemu masowemu natężeniu przepływu tworzywa ($\dot{G}_{maks.}$). Następny spadek wartości \dot{G} jest spowodowany jego sieciowaniem prowadzącym do całkowitego utwardzenia. Natężenie przepływu powinno wówczas osiągnąć wartość zero.

Największy rozrzut wyników (do 47 %) odpowiada najdłuższym czasom t_W . Prawdopodobnie jest to w pewnym stopniu skutkiem niejednorodności tworzywa, powodującej nierównomierną polimeryzację. Wzrost wartości natężenia przepływu następuje wolniej, niż jej spadek. Zatem, zmiana stanu fizycznego tworzywa ze stałego w plastyczny zachodzi w dłuższym czasie niż sieciowanie prowadzące do utwardzenia.

Wraz ze wzrostem temperatury formy plastometru następuje również przesunięcie (w czasie) chwili przechodzenia tworzywa ze stanu stałego w stan plastyczny. W temp. $165\text{ }^\circ\text{C}$ materiał osiąga najmniejszą lepkość o dwie minuty wcześniej, niż w temp. $145\text{ }^\circ\text{C}$. Masowe natężenie przepływu tworzywa w temperaturze najniższej ($145\text{ }^\circ\text{C}$), jest ponad dwudziestokrotnie większe niż

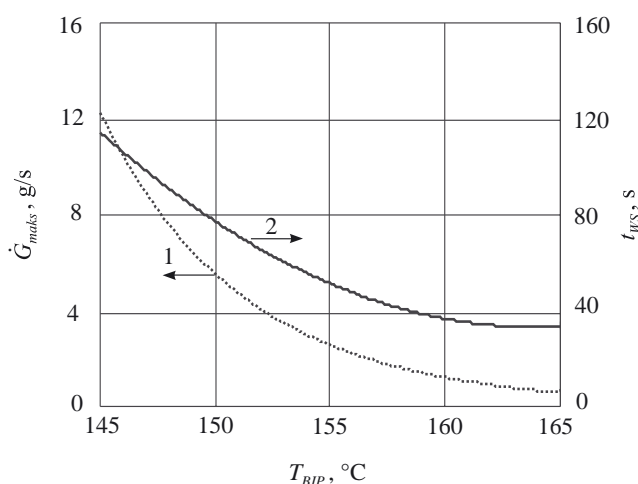
w temperaturze najwyższej ($165\text{ }^\circ\text{C}$). Takie zróżnicowanie wartości jest prawdopodobnie wynikiem wpływu ciepła pochodzącego od nagrzananej formy plastometru na szybkość reakcji polimeryzacji, jak również wspomnianych już, występujących w tworzywie niejednorodności. Z tego powodu wypraski otrzymane w różnej temperaturze formy różnią się jakością ze względu na odmienny stopień usieciowania materiału.

Na rysunku 3 (krzywa 1) przedstawiono zależność największego masowego natężenia przepływu $\dot{G}_{maks.}$ od temperatury formy T_{BIP} zmodernizowanego plastometru.

Ponieważ utwardzanie przebiega szybciej w wysokiej temperaturze, niejednorodności tworzywa nie mają wówczas większego znaczenia. Potwierdzeniem szybszego procesu polimeryzacji zachodzącego w wyższej temperaturze formy plastometru jest również krótszy czas przetrzymywania t_W tworzywa w komorze zasypowej odpowiadający największemu masowemu natężeniu przepływu $\dot{G}_{maks.}$ (por. rys. 2).

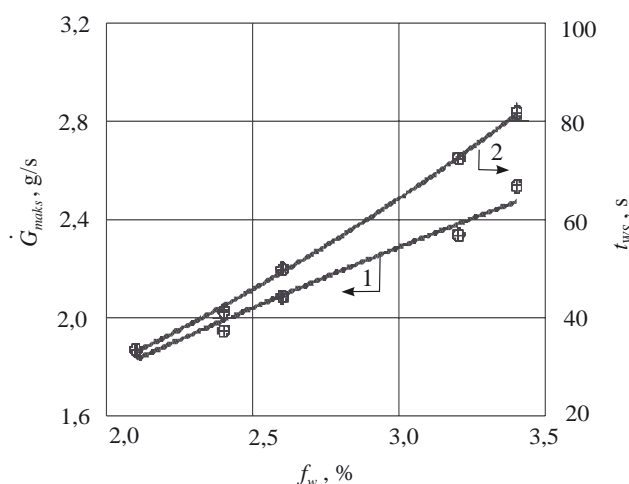
Na rysunku 4 przedstawiono zależność wartości $\dot{G}_{maks.}$ oraz t_{WS} od zawartości wody w tworzywie w warunkach ustalonych wartości pozostałych czynników zmiennych. Wzrost f_W powoduje więc zwiększenie wartości $\dot{G}_{maks.}$ oraz przedłużenia t_{WS} .

Wpływ średnicy kanału przepływowego dyszy plastometru na największe masowe natężenie przepływu oraz standardowy czas przetrzymywania tworzywa w komorze zasypowej jest pokazany na rys. 5. W badanym zakresie zmienności d , większa średnica (zatem i pole przekroju poprzecznego kanału przepływowego dyszy plastometru) powoduje wzrost wartości $\dot{G}_{maks.}$, czego zresztą należało oczekiwać.



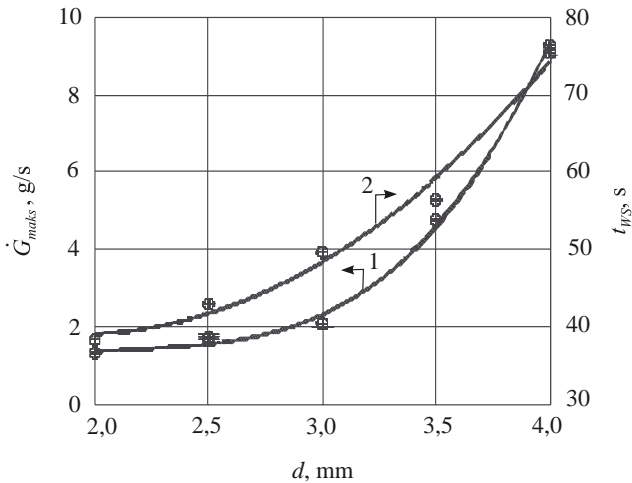
Rys. 3. Maksymalne masowe natężenie przepływu $\dot{G}_{maks.}$ (1) oraz standardowy czas przetrzymywania t_{WS} tworzywa w komorze zasypowej plastometru (2) w funkcji temperatury formy T_{BIP} plastometru

Fig. 3. Maximal mass flow rate $\dot{G}_{maks.}$ of plastic (1) and standard holdup time of plastic in the plastometer t_{WS} (2) versus plastometer mold temperature T_{BIP}



Rys. 4. Największe masowe natężenie przepływu $\dot{G}_{maks.}$ (1) oraz standardowy czas przetrzymywania tworzywa w komorze zasypowej plastometru (t_{WS}) (2) w funkcji zawartości wody (f_W) w tworzywie

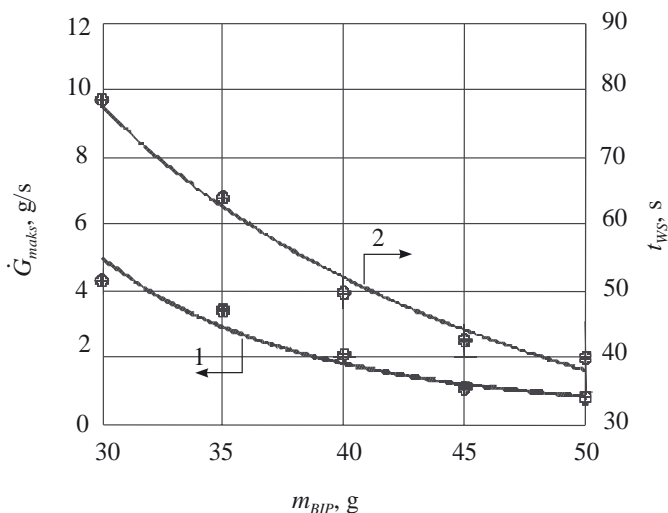
Fig. 4. Maximal mass flow rate $\dot{G}_{maks.}$ of plastic (1) and standard holdup time of plastic in the plastometer t_{WS} (2) versus water content in the plastic f_W



Rys. 5. Największe masowe natężenie przepływu ($\dot{G}_{maks.}$) (1) oraz standardowy czas przetrzymywania tworzywa w komorze zasypowej plastometru (t_{WS}) (2) w funkcji średnicy d kanału przepływowego dyszy plastometru

Fig. 5. Maximal mass flow rate $\dot{G}_{maks.}$ of plastic (1) and standard holdup time of plastic in the plastometer t_{WS} (2) versus the diameter d of plastometer die flow channel

Rysunek 6 ilustruje zmianę $\dot{G}_{maks.}$ oraz t_{WS} w funkcji wartości masy badanej próbki tworzywa. Podczas badań prowadzonych za pomocą zmodernizowanego plastometru stwierdziliśmy, że spadek wartości $\dot{G}_{maks.}$ jest prawdopodobnie spowodowany tym, iż mniejsza ilość tworzywa pozwala na bardziej równomierne jego uplastycznienie. Podczas prasowania, przez dyszę plastometru są mianowicie wyciskane kolejne warstwy tworzywa o nieco innym stopniu uplastycznienia, a więc o różnej



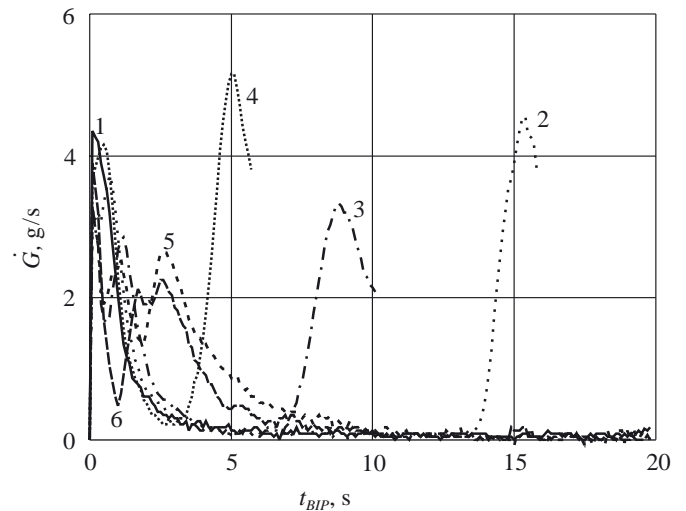
Rys. 6. Największe masowe natężenie przepływu ($\dot{G}_{maks.}$) (1) oraz standardowy czas przetrzymywania tworzywa w komorze zasypowej plastometru (t_{WS}) (2) w funkcji masy (m_{BIP}) tworzywa użytego do badań

Fig. 6. Maximal mass flow rate $\dot{G}_{maks.}$ of plastic (1) and standard holdup time of plastic in the plastometer t_{WS} (2) versus the mass of plastic, m_{BIP} , used in the test

lepkości, nie zawsze największej, powodując w miarę zwiększania wartości m_{BIP} coraz bardziej nierównomierny przepływ.

Standardowy czas przetrzymywania tworzywa w komorze zasypowej plastometru również maleje ze zwiększaniem wartości m_{BIP} .

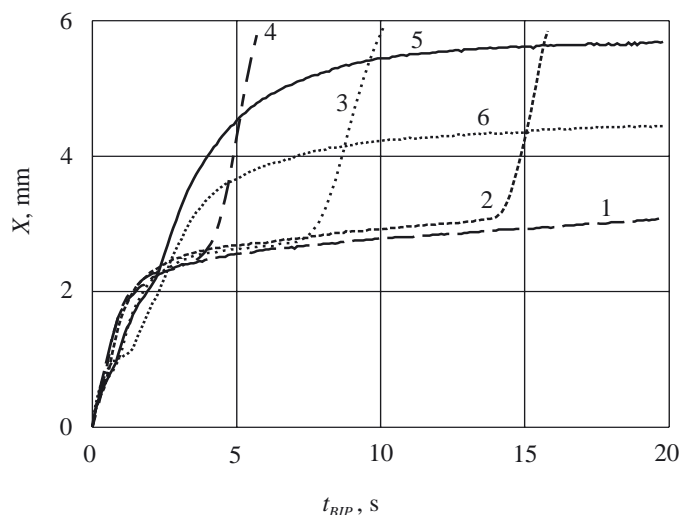
Modernizacja plastometru BIP umożliwia bardziej szczegółową analizę właściwości badanego tworzywa oraz bardziej właściwy dobór technologicznych warunków przetworstwa. Pomiar przetwarzalności za pomocą zmodernizowanego plastometru BIP polega na odczycie zmiany masowego natężenia przepływu \dot{G} oraz drogi X przemieszczenia stempla plastometru w czasie prasowania właściwego (t_{BIP}) tworzywa. Zależności te, wraz z wykresem \dot{G} w funkcji czasu t_W (rys. 2), stanowią podstawę obszerniejszej charakterystyki przetwarzalności tworzywa fenolowo-formaldehydowego.



Rys. 7. Masowe natężenie przepływu (\dot{G}) w funkcji czasu prasowania właściwego (t_{BIP}) po różnym czasie przetrzymywania tworzywa w komorze zasypowej plastometru (t_W) = 120 s (1), 150 s (2), 180 s (3), 210 s (4), 240 s (5), 270 s (6)

Fig. 7. Mass flow rate \dot{G} of plastic versus press molding time t_{BIP} for different holdup time of plastic t_W in the loading cavity of plastometer: t_W = 120 s (1), 150 s (2), 180 s (3), 210 s (4), 240 s (5), 270 s (6)

Przykłady tych zależności przedstawiono na rys. 7 i 8. Otrzymano je w serii pomiarów prowadzonych w następujących warunkach: $T_{BIP} = 155^\circ\text{C}$, pozostałe czynniki zmienne — $f_W = 2,6\%$, $d = 3,0\text{ mm}$, $m_{BIP} = 40\text{ g}$. Gwałtowny wzrost wartości natężenia przepływu w czasie do 0,1 s (rys. 7) jest skutkiem zmiany ciśnienia w formie plastometru BIP — od wartości ciśnienia wstępnego do wartości ciśnienia prasowania właściwego p_{BIP} . Jednocześnie pod wpływem ciśnienia następuje zmiana położenia stempla plastometru, a tym samym nagły wzrost natężenia przepływu tworzywa. Późniejsze ekstrema występujące po dłuższych czasach prasowania



Rys. 8. Droga (X) przemieszczenia stempla plastometru w funkcji czasu prasowania właściwego (t_{BIP}) po różnym czasie przetrzymywania tworzywa w komorze zasypowej (t_W); numery krzywych jak na rys. 7

Fig. 8. Displacement path X of plastometer punch versus press molding time t_{BIP} for different holdup time of plastic in the loading cavity of plastometer. Numbers of curves as in Fig. 7

wania właściwego zależą od stanu tworzywa wyciskanego przez dyszę plastometru. Przytoczone przykłady wskazują na duże zróżnicowanie zmian masowego natężenia przepływu w funkcji wartości t_{BIP} . Można zatem wyodrębnić charakterystyczne przebiegi zależności natężenia przepływu \dot{G} tworzywa od czasu prasowania właściwego odnoszące się do różnych stanów tworzywa — częściowego uplastycznienia, uplastycznienia bądź częściowego usieciowania.

Podobnie można interpretować rys. 8, przy czym intensywnemu wzrostowi wartości drogi X towarzyszy znaczne zwiększenie lub zmniejszenie wartości masowego natężenia przepływu tworzywa, zaś łagodny wzrost X stabilizuje wartości \dot{G} .

PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych przez nas badań przetwarzalności tworzywa fenolowo-formaldehydowego „Polofen FF1WHG” za pomocą standardowego oraz zmodernizowanego plastometru BIP, a także ich porównanie między sobą, pozwalają na sformułowanie kilku stwierdzeń.

Mianowicie, największe masowe natężenie przepływu tworzywa i standardowy czas przetrzymywania go w komorze zasypowej plastometru — wyznaczone za pomocą zarówno standardowego, jak i zmodernizowanego aparatu — są tym większe, im większa jest zawartość wody w tworzywie oraz średnica kanału przepływowego dyszy. Natomiast wzrost temperatury formy i masy badanej próbki powoduje spadek wartości \dot{G}_{maks} oraz skrócenie standardowego czasu t_{WS} .

Różnice między wszystkimi wynikami otrzymanymi podczas pomiarów przy użyciu plastometrów standardowego bądź zmodernizowanego wynoszą na ogół zaledwie ok. 4%. Można zatem przyjąć, że modernizacja została przeprowadzona dobrze i charakterystyka właściwości przetwórczych na podstawie wyznaczonych wskaźników przetwarzalności (\dot{G}_{maks} oraz t_{WS}) za pomocą zmodernizowanego plastometru jest poprawna.

Prasowanie bądź wtryskiwanie wyprasek o mniejszej masie jest korzystniejsze ze względu na bardziej równomierne uplastycznienie próbek a także późniejsze ich sieciowanie, co z pewnością wpływa na jakość i wytrzymałość tych kształtek.

Modernizacja plastometru BIP poszerzyła jego możliwości badawcze, umożliwiając tym samym bardziej wnikliwe poznanie właściwości przetwórczych tworzywa fenolowo-formaldehydowego na drodze analizy zależności uzyskiwanych w toku prasowania właściwego.

Omawiane funkcje $\dot{G} = f(t_{BIP})$ i $X = f(t_{BIP})$ oraz powiązane ze sobą zmiany w ich przebiegu zależą od stopnia uplastycznienia bądź usieciowania tworzywa w chwili rozpoczęcia prasowania właściwego. Uzasadnia to dalsze badania dotyczące dokładnej analizy zależności natężenia przepływu tworzywa od czasu prasowania właściwego, realizowane w warunkach wartości t_W odpowiadających dużym wartościom \dot{G} , czyli w stanie częściowo uplastycznionym, uplastycznionym oraz częściowo usieciowanym. Może się to przyczynić do ulepszenia sposobu prowadzenia badań przetwarzalności za pomocą zmodernizowanego plastometru BIP. Interesujące jest również opracowanie na tej podstawie zaleceń dotyczących technologicznych warunków przetwórstwa tworzyw fenolowo-formaldehydowych metodą prasowania bądź wtryskiwania.

LITERATURA

- [1] Flizikowski J.: „Rozdrabnianie tworzyw polimerowych”, Wydawnictwa Uczelniane, Bydgoszcz 1998, str. 43.
- [2] Błędzki A. K., Gorący K.: *Polimery* 1994, **39**, 507.
- [3] Sulima T., Axentowicz M.: „Tłoczywa termoutwardzalne — duroplasty. Klasyfikacja, ogólna charakterystyka, przetwórstwo, stosowanie” w pracy zbiorowej „Postęp w przetwórstwie tworzyw utwardzalnych”, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 1994, str. 27.
- [4] Weißler E. P.: *Plastverarbeiter* 1983, **34**, 875.
- [5] Żuchowska D.: „Perspektywy rozwoju duroplastów” w pracy zbiorowej „Postęp w przetwórstwie tworzyw utwardzalnych”, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 1994, str. 5.
- [6] Samujło B.: „Tworzywa napelnione wodorotlenkami” w pracy zbiorowej „Polimery i kompozyty konstrukcyjne”, Politechnika Śląska, Gliwice 1996, str. 63.
- [7] Żmihorska-Gotfryd A.: *Polimery* 2006, **51**, 386.
- [8] Bittmann E.: *Kunststoffe* 1999, **89**, 170; 2002, **92**, 146.
- [9] Kotlar H. K., Borve K. L.: „Synthesis and characterization of polypropylene — phenol formaldehyde compatibilizers by reactive extrusion, and evaluation of their

effect in some polypropylene based alloy", mat. konf. „European Regional Meeting PPS”, Strasbourg 1994, France, str. 125. [10] Hung A. Y. C., Wang F. Y., Ma C. C., Wu H. D.: *Europ. Polym. J.* 2003, 2, 225.

[11] Lin-Gibson S., Baranauskas V., Riffle J. S., Sorathia U.: *Polymer* 2002, 43, 7389. [12] Rego R., Adriaensens P. J., Carleer R. A., Gelan J. M.: *Polymer* 2004, 45, 33. [13] August H., Salewski D.: *Plastverarbeiter* 1991, 42, 37. [14] Braun U.: *Plastverarbeiter* 1991, 42, 52; 1991, 42, 100. [15] Lutterbeck J., Broer E., Dreyer A.: *Plastverarbeiter* 1993, 44, 42. [16] Bittmann E.: *Kunststoffe* 2001, 91, 160. [17] Brinkmann P. H. P., Kraemer M., Kürten Ch.: *Kunststoffe* 2001, 91, 347. [18] Anonim: *Polimery* 1991, 36, 167; 1999, 44, 439; 2001, 46, 436; 2002, 47, 372. [19] Sikora R.: „Podstawy przetwórstwa tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwa Uczelniane, Lublin 1992, str. 9. [20] Sikora R., Garbacz T.: *Polimery* 2001, 46, 540.

[21] Klepka T.: *Polimery* 2004, 49, 123. [22] Weobeken W., Basbous T., Raschig K., Mandler H.: *Kunststoffe* 1967, 57, 974. [23] Meysenbug C. M.: *Kunststoffe* 1959, 49, 190. [24] Meysenbug C. M.: *Kunststoffe* 1957, 47, 14. [25] Thater R.: *Plaste Kautsch.* 1963, 10, 35. [26] Northmann D., Meyer G.: *Plaste Kautsch.* 1961, 8, 115. [27] Dębski W., Kozimor E.: *Polimery* 1975, 20, 610. [28] Krywult B., Chomik S., Kaczak T.: „Badania plastyczności prasowniczej metodą BIP” w pracy zbiorowej „Osiągnięcia placówek naukowo-badawczych w dziedzinie przetwórstwa i stosowania tworzyw sztucznych”, Politechnika Śląska, Gliwice 1977, str. VI. [29] Krzyżak A.: „Bestimmung von Verarbeitungseigenschaften von Phenol-Formaldehyd-Pressstoffen mittels BIP Methode”, mat. konf. „Polymeric Materials”, Halle/Salle 2004, str. PII-23. [30] Krzyżak A.: „Modernizacja plastometru BIP” w pracy zbiorowej „Współczesne technologie w budowie maszyn”, Politechnika Lubelska, Lublin 2002, str. 82.

[31] Krzyżak A.: „Niektóre wyniki badań przetwarzalności metodą Krahla” w pracy zbiorowej „Teka Komisji Budowy i Eksploatacji Maszyn, Elektrotechniki, Budownictwa”, t. I., Polska Akademia Nauk, Lublin

2003, str. 140. [32] *Pat. USA* 2 066 016 (1934). [33] Schwittmann A.: *Kunststoffe* 1939, 29, 190. [34] Schwittmann A.: *Kunststoffe* 1942, 32, 365. [35] Kanavec J.: *Dokl. Ak. Nauk SSSR* 1954, 11—12. [36] Liedmann R.: *Plaste Kautsch.* 1956, 3, 26. [37] Lundborg A.: *Kunststoffe* 1960, 50, 214. [38] ASTM D 3795-93 „Thermal flow and cure properties of thermosetting plastics by torque rheometer”. [39] ASTM D 3123-94 „Spiral flow of low-pressure thermosetting molding compounds”. [40] Karas F.: *Mod. Plast.* 1963, 2, 140.

[41] Morita Y.: *SPE J.* 1966, 22, 57. [42] Ferriday J. E.: *Plastics* 1968, 9, 1010. [43] Kim V. S., Savènkov L. D.: *Plaste Kautsch.* 1993, 40, 164. [44] ASTM D 731-95 „Standard test method for Molding Index of thermosetting molding powder”. [45] BS 2782 Part 7 Method 720B „Cup flow of phenolic and alkyd molding materials”. [46] Ehrentraut P.: *Kunststoffe* 1966, 56, 695. [47] PN-EN ISO 7808:2002 „Tworzywa sztuczne. Tłoczywa termoutwardzalne. Oznaczanie przetłocznego płynięcia”. [48] Houwink R.: „Elastomery i plastomery”, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa 1953, str. 53. [49] Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993, str. 405. [50] Smorawiński A.: „Technologia wtrysku”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1989, str. 11.

[51] Sikora R., Krzyżak A.: „Badania przetwarzalności wybranych tworzyw metodą BIP” w pracy zbiorowej „Nowe kierunki modyfikacji i zastosowań tworzyw sztucznych”, Politechnika Poznańska, Poznań 2001, str. 217. [52] Prospekty Zakładów Tworzyw Sztucznych Erg SA 2003. [53] Materiały informacyjne firm: ASPA, Bonex, Fenoplast, Metrix, Mik, Radiotechniczna Spółdzielnia Kraków, Zelmoł, 2004. [54] Dębska B., Wianowska E.: *Polym. Test.* 2002, 21, 49. [55] Polański Z.: „Metodyka badań doświadczalnych”, Politechnika Krakowska, Kraków 1981, str. 115.

Otrzymano 20 I 2006 r.