

PRÓBA OCENY TARCIA ADHEZYJNEGO PODCZAS PRZEPŁYWU TWORZYWA PRZY WYKORZYSTANIU KAPILARNEGO REOMETRU TŁOKOWEGO

Kazimierz Piszczek, Katarzyna Skórczewska, Tomasz Sterzyński

Zakład Technologii Polimerów, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
ul. Seminaryjna 3, 85-326 Bydgoszcz, kazimierz.piszczek@utp.edu.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono próbę oceny tarcia adhezyjnego podczas przepływu tworzywa przy wykorzystaniu kapilarnego reometru tłokowego. Stwierdzono, że istnieje liniowa zależność pomiędzy składową adhezyjną tarcia a zmianą wysokości słupa tworzywa w reometrze kapilarnym, co umożliwia wyznaczenie współczynnika tarcia adhezyjnego.

Słowa kluczowe: tarcie adhezyjne, kapilarny reometr tłokowy

WSTĘP

Opóźnienie w przemieszczeniu spowodowane jest przez siły tarcia, które przeciwdziałają każdemu ruchowi. By wprowadzić ciało w ruch, trzeba pokonać siłę oporu skierowaną przeciwnie do jego kierunku (tarcie), zależną od rodzaju powierzchni trących. Siła tarcia charakteryzuje się dwiema składowymi: zależną od obciążenia i zależną od adhezji dwóch powierzchni trących. Siła tarcia jest wprost proporcjonalna do przyłożonego obciążenia, nie zależy od prędkości i od powierzchni styku, natomiast w przypadku materiałów lepkosprężystych zależy od wielkości adhezji. Wielkość siły tarcia T przy małych obciążeniach zależy od powierzchni styku A , a przy dużych obciążeniach od obciążenia N [Płaza i in. 2005].

$$T = c_1 A + c_2 N$$

gdzie:

c_1, c_2 – stałe,
 A – powierzchnia styku,
 N – obciążenie.

Gdy adhezja jest mała, zgodnie z prawem Amontonsa $T = \mu N$, gdzie μ – bezwymiarowy współczynnik tarcia [Rymuza 1986, Płaza i in. 2005]. Gdy adhezja jest duża, stała c_2 przyjmuje małą wartość. Opis tarcia adhezyjnego opiera się na teorii formowania i niszczenia mostków (styków) pomiędzy oddziałującymi powierzchniami [Rymuza 1986]. Opory przepływu tworzywa w cylindrze kapilarnego reometru tłokowego spowodowane adhezją można więc określić jako tarcie adhezyjne. Powoduje ono zaburzenia w płynięciu warstwy przyściennej przemieszczającego się tworzywa [Kembłowski 1973, Sikora i in. 2006]. Zjawisko to występuje także podczas wyznaczania wskaźników szybkości płynięcia.

Wyznaczanie masowego (MFR) i objętościowego (MVR) wskaźnika szybkości płynięcia jest ważną metodą określania podstawowych właściwości przetwórczych tworzyw termoplastycznych. W stosunku do pełnej charakterystyki reologicznej danego tworzywa jest to sposób istotnie uproszczony i wymaga dokładnego sprecyzowania wszystkich warunków prowadzenia pomiaru.

Wielkość kolejnych odcinków przecika wypływającego z dyszy reometru zmienia się wraz z czasem trwania pomiaru. Dlatego stosowna norma ustala, że do wyznaczania MFR należy odcinać tworzywo wytłoczone wówczas, gdy tłok przemieszcza się na drodze określonej umieszczonymi na nim dwiema kryzami [PN-EN ISO 1133]. Konstrukcja reometru wyklucza tworzenie się warstwy tworzywa pomiędzy ścianami cylindra i tłokiem. Przy stałym obciążeniu tłoka obserwowany wzrost masy kolejnych odcinków przecika zależy od wysokości słupa tworzywa w cylindrze i malejącego oporu związanego z adhezją pomiędzy tworzywem a powierzchnią cylindra. Powierzchnia oddziaływania adhezyjnego tworzywo/ściana cylindra maleje w miarę obniżenia wysokości słupa tworzywa w reometrze, co uzasadnia stopniowy wzrost masy kolejnych odcinków wytłoczyny. Można więc przypuszczać, że analiza tego zjawiska pozwoli na określenie wielkości oddziaływań adhezyjnych pomiędzy tworzywem a ścianą cylindra.

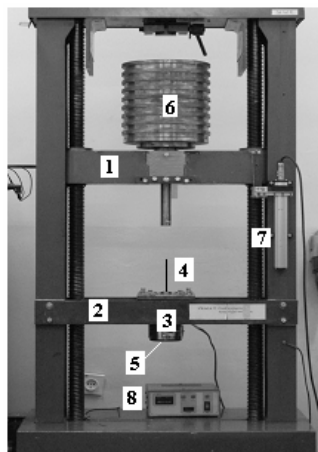
CEL BADAŃ

Celem pracy była analiza możliwości wyznaczenia tarcia adhezyjnego pomiędzy tworzywem a ścianą cylindra przy pomocy kapilarnego reometru tłokowego.

METODYKA

Program przewidywanych badań wymagał budowy kapilarnego reometru tłokowego, w którym można jednocześnie i w sposób ciągły mierzyć siłę nacisku tworzywa na dyszę oraz drogę tłoka. W tym celu zamontowano czujnik siły jako element podtrzymujący dyszę oraz elektroniczny liniowy przetwornik drogi (rys. 1).

Dane pomiarowe rejestrowano i przetwarzano za pomocą programu komputerowego Chem41U [Chojnacki i Stróżecki 2005]. Jako tworzywo stosowano plastyfikowany poli(chlorek winylu) (P-PVC) produkcji firmy Alfa-PVC (Warszawa).

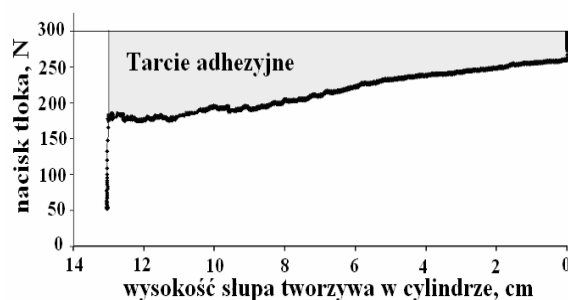


Rys. 1. Kapilarny reometr tłokowy: 1 – belka ruchoma, 2 – belka nieruchoma, 3 – cylinder z grzejnikami, 4 – tłok, 5 – czujnik siły, 6 – obciążenie tłoka, 7 – liniowy przetwornik drogi, 8 – regulator temperatury

Fig. 1. Capillary piston rheometer: 1 – moving toolbar, 2 – stationary toolbar, 3 – cylinder with heating system, 4 – piston, 5 – force sensor, 6 – piston load, 7 – linear displacement transducer, 8 – temperature control system

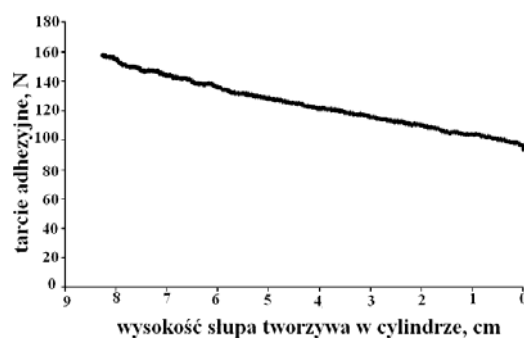
WYNIKI BADAŃ

Charakterystyczny przebieg zarejestrowanych zmian siły podczas wytłaczania P-PVC przedstawiono na rysunku 2. W początkowym odcinku krzywej występują niewielkie oscylacje mierzonego nacisku tłoka, które spowodowane są prawdopodobnie efektem stick-slip, związanym z dużą powierzchnią kontaktu tworzywa ze ścianą reometru [Xiaoping i in. 1998, Kłodziński i Sterzyński 2005]. Odcinek prostoliniowy przetworzono na zależność wielkości tarcia adhezyjnego w funkcji zmniejszającej się wysokości słupa tworzywa w reometrze kapilarnym (rys. 3).



Rys. 2. Zależność rejestrowanego nacisku w funkcji wysokości słupa tworzywa w cylindrze reometru (temperatura 130°C)

Fig. 2. The dependence of recorded load as a function of height of polymer level in cylinder of the rheometer (temperature 130°C)



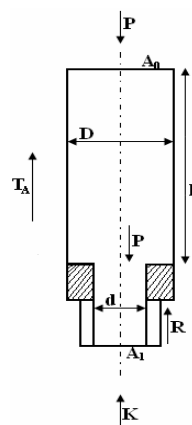
Rys. 3 Zależność tarcia adhezyjnego w funkcji wysokości słupa tworzywa w cylindrze

Fig. 3. The dependence of adhesive friction as a function of height of polymer level in cylinder of the rheometer

Na podstawie wyników pomiarów opracowano model wstępny obciążeń umożliwiający wyznaczenie współczynnika tarcia adhezyjnego ξ (rys. 4).

Rys. 4. Układ obciążeń w reometrze w trakcie przepływu tworzywa; użyte oznaczenia: P – zadany nacisk, A_0 – pole przekroju cylindra, A_1 – górna płaszczyzna dyszy, R – odczyt czujnika, T_A – tarcie adhezyjne, K – opór w kapilarze, D – średnica cylindra, d – średnica kapilary w dyszy, h – wysokość słupa materiału w cylindrze

Fig. 4. The loading system in the rheometer during material flow: P – set load, A_0 – the cross-section of cylinder, A_1 – the upper plane of the die, R – the value measured by the load sensor, T_A – adhesive friction, K – flow resistance in capillary tube, D – the diameter of cylinder d – capillary tube diameter, h – the height of polymer level in cylinder of the rheometer



WNIOSKI

Na podstawie wyników wstępnych badań stwierdzono liniową zależność tarcia adhezyjnego od wysokości słupa tworzywa, co w dalszych badaniach umożliwi wyznaczenie współczynnika oporu adhezyjnego ξ . Stosowany w badaniach kapilarny reometr wymaga udoskonalenia tak, aby wyeliminować niepożądany efekt blokowania przepływu tworzywa w pierwszej fazie wytłaczania i wyposażać tłok w pierścienie prowadzące. Należałoby także zwiększyć długość cylindra w celu zwiększenia drogi obserwacji zjawisk adhezyjnych.

PIŚMIENNICTWO

- Chojnacki S., Stróżecki S. 2005. Program Chem41U. Praca niepublikowana, ATR Bydgoszcz.
- Kembłowski Z. 1973. Reometria płynów nienewtonowskich. WNT, Warszawa.
- Kłodziński A., Sterzyński T. 2005. Ocena poprawek w pomiarach reometrycznych polietylenu. Cz. I. Poślizg przy ścianie kanału. *Polimery* 52, 583–590.
- Plaża S., Margielewski L., Celichowski G. 2005. Wstęp do tribologii i tribochemii. WUŁ, Łódź.
- Polska Norma PN-EN ISO 1133
- Rymuza Z. 1986. Trybologia polimerów ślizgowych. WNT, Warszawa.
- Sikora R. (red.) 2006. Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin.
- Xiaoping Yang, Shi-Qing Wang, Adel Halasa, Ishida H. 1998. Fast flow behavior of highly entangled monodisperse polymers. 1. Interfacial stick-slip transition of polybutadiene melts. *Rheol. Acta* 37, 415–423.

THE ESTIMATION OF ADHESIVE FRICTION DURING FLOW
OF POLYMERIC MATERIAL BY USE CAPILLARY PISTON RHEOMETER

Summary. In this work was described the possibility to assign adhesive friction during material flow in the capillary piston rheometer. The existence of linear relationship between adhesive friction and the height of the polymeric material level in the rheometer was confirmed.

Key words: adhesive friction, capillary rheometer piston