

Grażyna RYZYŃSKA, Romana ŚLIWA
Politechnika Rzeszowska

EKSPERYMENTALNE BADANIA PROCESU WYCISKANIA MATERIAŁÓW ZŁOŻONYCH TYPU RDZEŃ-POWŁOKA

Przedstawiono analizę charakteru jednoczesnego plastycznego płynięcia warstwowego materiału złożonego o układzie rdzeń twardy–powłoka miękka, która pozwoliła na identyfikację warunków zapoczątkowania pęknięcia, jego charakteru i lokalizacji zależnie od parametrów geometrycznych materiałów złożonych oraz wielkości współczynnika wydłużenia λ . Wykazano, że ze wzrostem wartości tych parametrów rośnie długość wyciśniętego wyrobu bez wad (pękanie następuje w późniejszym etapie procesu).

Słowa kluczowe: wyciskanie, kompozyty, pękanie

Wstęp

Zjawisko pęknięcia jest podstawowym czynnikiem ograniczającym odkształcalność materiałów w procesach przeróbki plastycznej. Poznanie warunków sprzyjających zjawisku pęknięcia w danych warunkach procesu pozwala na wskazanie sposobu skutecznego unikania go. Problem ten ma szczególne znaczenie w analizie procesów bardziej złożonych, np. w jednoczesnym plastycznym kształtowaniu materiałów o różnych właściwościach, w celu uzyskania materiału kompozytowego o oczekiwanych cechach. Proces wyciskania materiałów kompozytowych, takich jak pręty czy druty o układzie rdzeń–powłoka, wymusza konieczność poszukiwania możliwości odpowiedniego prognozowania zjawiska pęknięcia rdzenia czy powłoki na etapie projektowania procesu, by móc go uniknąć w procesie rzeczywistym. W procesie jednoczesnego kształtowania materiałów o różnych właściwościach mamy do czynienia ze zróżnicowanym odkształceniem składników, czego nie da się w całości zniwelować doбором parametrów procesu przy dużej różnicy właściwości składników [1÷6].

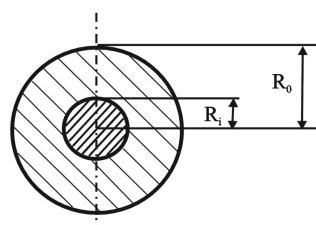
Część eksperymentalna

Próby wyciskania z zastosowaniem metalicznych materiałów złożonych zostały przeprowadzone na stanowisku badawczym składającym się z prasy hydraulicznej wyposażonej w czujniki do pomiaru siły i przemieszczenia stempla, z zestawu narzędzi oraz układu pomiarowo-rejestrującego. Komplet matryc obejmował matryce płaskie umożliwiające uzyskanie dwóch różnych stopni redukcji przekroju poprzecznego λ . Podstawowe wymiary matryc użytych w próbach wyciskania zamieszczono w tabeli 1. Badania współbieżnego procesu wyciskania kompozytów metalowych przeprowadzono z użyciem próbek dwuwarstwowych. Próbkę do badań miały postać rdzenia z koncentryczną powłoką i wymiary zewnętrzne $\varnothing 36 \times 72$ mm. Przygotowano siedem wariantów złożonych próbek do wyciskania (rys. 1.) Zależność naprężenie–odkształcenie rzeczywiste dla obu materiałów użytych w badaniach przedstawiono na rysunku 2. Przed przystąpieniem do realizacji procesu wyciskania próbki (wsady do wyciskania) były czyszczone i wyjałowione acetonem. Taki sposób postępowania umożliwiał ustalenie porównywalnych warunków tarcia między pojemnikiem a wsadem dla wszystkich typów próbek.

Tabela 1. Podstawowe wymiary matryc użytych w próbach wyciskania

Table 1. Base dimension of dies used in the extrusion process

Parametr	Wartość
Kąt stożka matrycy α [stopnie]	90
Średnica matrycy D_z [mm]	36
Wysokość matrycy h_m [mm]	20
Średnica otworu matrycy D [mm]	20,78; 14,70
Długość paska kalibrującego l_k [mm]	2

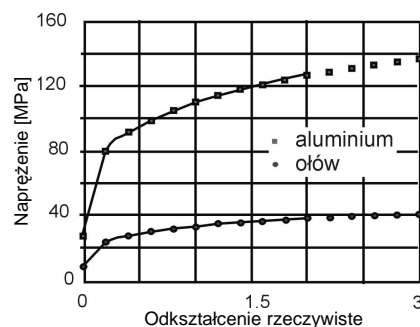


R_1/R_0	0,17	0,22	0,28	0,33	0,39	0,44	0,50
-----------	------	------	------	------	------	------	------

Rys. 1. Układ geometryczny złożonych wlewków użytych w badaniach

Fig. 1. Geometrical arrangement of the extrusion ingot used in testing

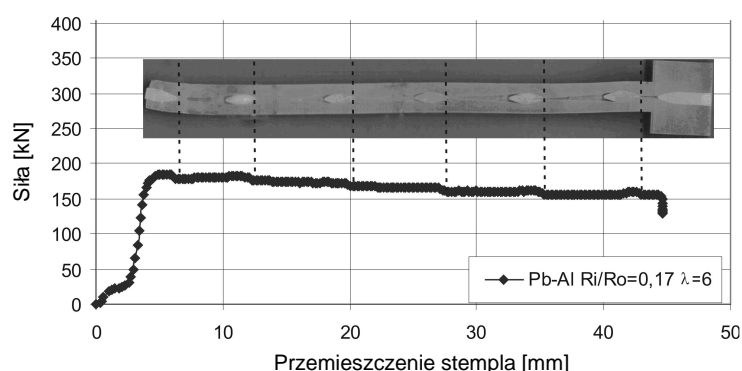
Rys. 2. Zależność naprężenie uplastyczniające–odkształcenie rzeczywiste dla badanych materiałów
Fig. 2. Relation of yield stress–true strain for tested materials



Wyniki badań

Po zakończeniu procesu wyciskania otrzymane dane zestawiono w postaci zależności siły w funkcji przemieszczenia stempla prasy. W wyniku wyciskania wlewków złożonych uzyskano szereg wyrobów, które po wyciśnięciu przecięto wzdłuż osi w celu umożliwienia obserwacji zjawisk zachodzących wewnątrz (rys. 3.). Uzyskana korelacja obrazu przekroju poprzecznego wyciśniętego wyrobu z przebiegiem zapisu siły w funkcji przemieszczenia stempla (rys. 4.) pozwala na ocenę:

- periodyczności zjawiska,
- miary odpowiednich parametrów (a , b , c , d – parametry geometryczne rdzenia; α , β , γ , c' , e , f – wskaźniki na wykresie wyciskania; F_H – F_L – spadki sił na wykresie wyciskania) opisujących efekt pęknięcia.

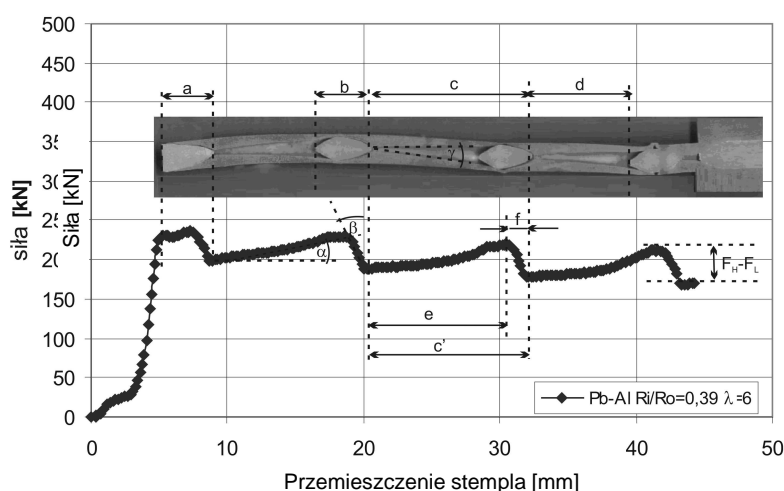


Rys. 3. Przebieg siły w funkcji przemieszczenia stempla; wyciskanie kompozytu Pb-Al (rdzeń twardy–powłoka miękka), $R_i/R_o = 0,17$, $\lambda = 6$

Fig. 3. Force versus punch displacement; extrusion of Pb-Al composite (hard core–soft sleeve), $R_i/R_o = 0,17$, $\lambda = 6$

W eksperymencie zaobserwowano, że pękanie występuje średnio po wyciśnięciu 10% długości początkowej wsadu do wyciskania. W wyrobach uzyskanych z zastosowaniem matrycy o współczynniku wydłużenia $\lambda = 3$ nie zaobserwowano pękania rdzenia. Bazując na wyciśniętych i przeciętych wzdłuż osi próbkach kompozytowych, dokonano pomiarów długości początkowej części rdzenia (a), długości fragmentów rdzeni (b) oraz odległości między nimi (c, d).

Porównując obrazy wyciśniętych i przeciętych wzdłuż osi próbek kompozytowych z wykresami zależności siły wyciskania od przemieszczenia stempla prasy dla poszczególnych przypadków, uzyskano korelację między parametrami opisującymi określone wymiary fragmentów rdzeni oraz odległości między nimi (a, b, c, d) a odpowiednimi parametrami wyznaczonymi na wykresie wyciskania (e, f, c', $F_H - F_L$). Dokonano pomiarów tych parametrów. Schemat wykonywania pomiarów ilustruje rysunek (rys. 4.).

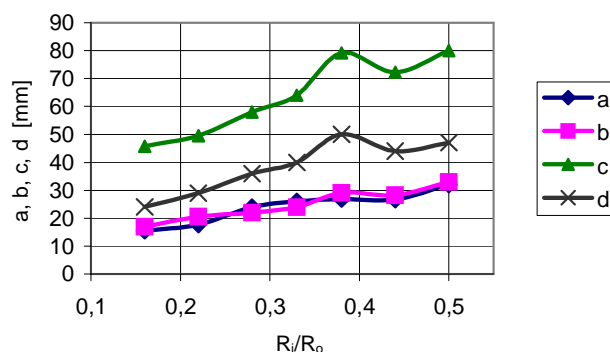


Rys. 4. Schemat dokonywania pomiarów odległości między częściami rozdzielonego rdzenia, wymiarów jego elementów – a, b, c, d, oraz odpowiednich odległości na wykresie wyciskania – e, f, c', $F_H - F_L$

Fig. 4. Draft of measurement process of distances between split core parts, dimensions of core elements – a, b, c, d, and corresponding distances in the extrusion diagram – e, f, c', $F_H - F_L$

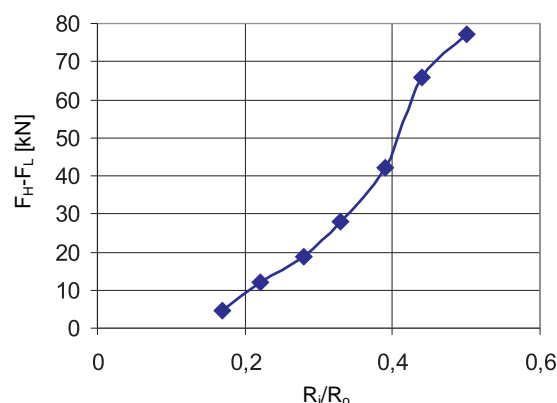
Parametry geometryczne rdzenia a, b, c, d wyraźnie rosną wraz ze wzrostem wielkości wskaźnika geometrii wsadu do wyciskania R_i/R_o (rys. 5.). Wykonane pomiary spadków siły wyciskania w przypadku pękania rdzenia w kompozycie w zależności od wielkości R_i/R_o pozwalają stwierdzić, że w miarę wzrostu udziału objętościowego rdzenia mierzonego wielkością wskaźnika geometrii wsadu do wyciskania R_i/R_o zwiększa się spadek siły $F_H - F_L$, (rys. 6.). Pomiary

parametrów c' , e , f , wykonane na podstawie wykresu zależności siły wyciskania od przemieszczenia stempla, pozwalają na wykreślenie zależności wielkości tych parametrów od wielkości udziału objętościowego rdzenia w kompozycie mierzonego wartością R_i/R_o . Uzyskane maksimum parametrów c' oraz e pokrywa się z wartością D/D_w (na rysunku zaznaczone pionową linią przerywaną). Parametr f wykazuje tendencję rosnącą (rys. 7.).



Rys. 5. Zależność wielkości parametrów a , b , c , d od R_i/R_o dla współczynnika $\lambda = 6$

Fig. 5. Dependence of value of parameters a , b , c , d on R_i/R_o for $\lambda = 6$

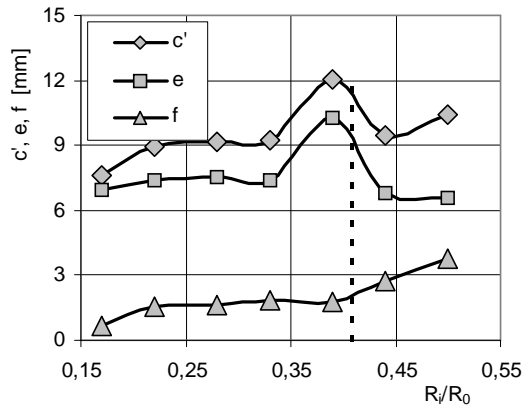


Rys. 6. Zależność wielkości F_H-F_L od R_i/R_o dla współczynnika $\lambda = 6$

Fig. 6. Relation of the F_H-F_L value versus R_i/R_o for $\lambda = 6$

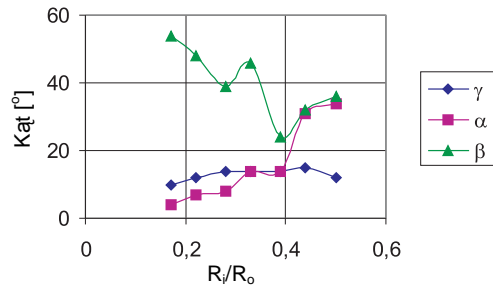
Wykonano również pomiary odpowiednich kątów na próbkach (α i β – patrz rys. 4.) oraz na wykresie zależności siły wyciskania od przemieszczenia stempla prasy (γ) i uzależniono je od wartości wskaźnika R_i/R_o . Zależności te przedstawiono na rysunku 8. Zaobserwowano wyraźną tendencję rosnącą kąta α oraz tendencję malejącą kąta β wraz ze wzrostem wskaźnika geometrii wsa-

du R_i/R_o . Wartości kąta γ nie wykazują wyraźnych zmian. Uzyskaną korelację między parametrami mierzonymi na próbce i parametrami mierzonymi z wykresu wyciskania można zaobserwować na przykładzie parametrów c i c' (rys. 9.).



Rys. 7. Zależność wielkości parametrów c' , e , f od R_i/R_o dla współczynnika $\lambda = 6$

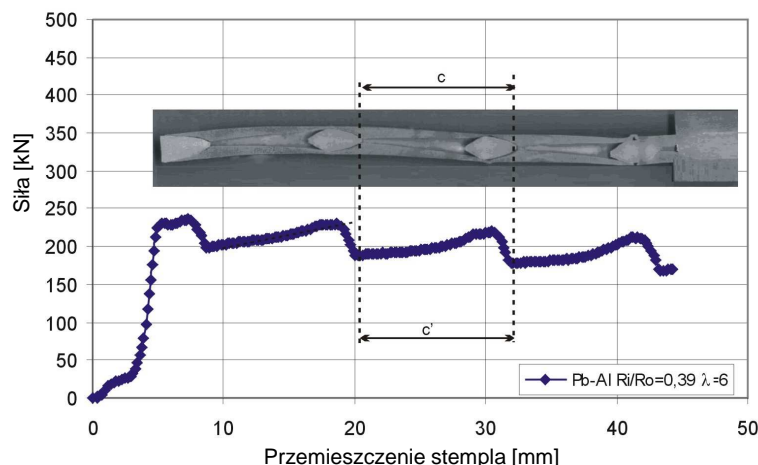
Fig. 7. The relations of the c' , e and f value versus R_i/R_o for $\lambda = 6$



Rys. 8. Zależność wielkości kątów α , β , γ od R_i/R_o dla współczynnika $\lambda = 6$

Fig. 8. Relation of the α , β , γ angle value versus R_i/R_o for $\lambda = 6$

Funkcja $F_H-F_L (R_i/R_o)$ wykazuje tendencję rosnącą, co świadczy o tym, że w miarę wzrostu udziału objętościowego rdzenia udział siły kształtowania rdzenia w porównaniu z siłą całkowitą wzrasta. Pomiary parametrów c' , e , f , wykonane na podstawie wykresu zależności siły wyciskania w funkcji drogi stempla, pozwoliły na uzyskanie funkcji zależności tych parametrów od wielkości wskaźnika R_i/R_o . Uzyskana zależność wykazuje maksimum (dla parametrów c' , e), które występuje dla wartości R_i/R_o zbliżonej z wartością D/D_w (rys. 7.). Oznacza to, że wartość parametru c' i e skokowo wzrasta, gdy średnica rdzenia zbliża się do wymiaru oczka matrycy, a następnie znowu maleje. Pomiary odpowiednich kątów na każdej z próbek pozwoliły na wykonanie wykresów zależności wartości tych parametrów od udziału objętościowego rdzenia w kompozycie. Zaobserwowano wzrost kąta α oraz tendencję malejącą kąta β . Wraz ze wzrostem wartości R_i/R_o wartość kąta γ nie ulega większym zmianom. Wzrost kąta α



Rys. 9. Porównanie dwóch parametrów c i c' określanych na próbce i z wykresu wyciskania

Fig. 9. Comparison of two parameters c and c' determined on the sample and from the extrusion diagram

łączy się z wartością $F_H - F_L$. Im większa będzie różnica sił kształtowania całego kompozytu (powłoki wraz z rdzeniem) i samej powłoki, tym kąt α będzie większy. W przypadku malejącej wartości β okazuje się, że duży kąt β świadczy o powolnym rozdzielaniu rdzenia.

Wnioski

1. Analiza charakteru jednoczesnego plastycznego płynięcia warstwowego materiału złożonego o układzie rdzeń twardy–powłoka miękka pozwoliła na identyfikację warunków zapoczątkowania pęknięcia, jego charakteru i lokalizacji zależnie od parametrów geometrycznych materiałów złożonych oraz wielkości współczynnika wydłużenia λ . Wykazano, że ze wzrostem wartości tych parametrów rośnie długość wyciśniętego wyrobu bez wad (pęknięcie następuje w późniejszym etapie procesu).
2. Charakterystyki przebiegu siły w funkcji przemieszczenia stempla w zestawieniu z odpowiadającymi im obrazami przekrojów podłużnych wyciśniętych wyrobów pozwoliły na skorelowanie charakterystycznych punktów na wykresach wyciskania i ich obrazów w postaci odpowiednich elementów wyrobu. Wprowadzone parametry: $a, b, c, d, c', e, f, F_H - F_L$ (a, b, c, d – wartości określone eksperymentalnie na wyciśniętym wyrobie, $c', e, f, F_H - F_L$ – wartości na wykresie wyciskania), pozwalają na adekwatny opis zjawiska pęknięcia rdzenia w wyciskanyim materiale złożonym.

3. Wykazano istnienie charakterystycznego zaburzenia w płynięciu materiału złożonego, co wyraża się tendencjami zmian odpowiednich parametrów (c' , e) wynikającymi z wykresu wyciskania. Uzyskana zależność parametrów c' i e od wielkości wskaźnika R_i/R_o wykazuje maksimum, które występuje dla wartości R_i/R_o zbliżonej z wartością D/D_w . Świadczy to o istnieniu korelacji między sposobem płynięcia kompozytu a geometrią wsadu w stosunku do wymiaru otworu matrycy.

Literatura

- [1] Muller K., Ruppel D., Production of metallic composite materials by extrusion, Edited by G. Lang, A.F. Castle, M. Bauser, G. Scharf, Extrusion Scientific and Technical Developments, Deutsche Gesellschaft für Metallkunde, 1981.
- [2] B. Avitzur B., Handbook of Metal-Forming Processes, New York 1983.
- [3] Ryzińska G., Śliwa R., Ductile fracture phenomenon during extrusion of bimetal rods, Archives of Metallurgy and Materials, t. 1, z. 51, 2006, s. 109-118.
- [4] Ryzińska G., Śliwa R., Identification of fracture phenomenon in the extrusion of sleeve-core composites by experimental method and numerical simulation, 23-rd Danubia-Adria Symposium on experimental Methods in Solid Mechanics, 2006, s. 61-62.
- [5] Chia H.T., Sansome D.H., A theoretical study of the drawing of bimetallic rod and tube, Proceedings of the 15th MTDR Conference, 1977, 545-550.
- [6] Alcaraz J.L., Gil-Sevillano J., An analysis of the extrusion of bimetallic tubes by numerical simulation, Int. J. Mech. Sci., vol. 38, 1996, 157-173.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EXTRUSION PROCESS OF SLEEVE-CORE TYPE COMPOSITE MATERIALS

The analysis of character simultaneous plastic flow of layered composed material (hard core, soft sleeve) which has allowed identification of condition of initiation of fracture character and localization dependent on geometric parameters of components and extrusion ratio has been presented. Dependence between these parameters and length of extruded product without defects has been shown.

Keywords: extrusion, composites, fracture

Złożono w Redakcji w listopadzie 2009 r.