

prof. dr hab. inż. Stefan Szczepanik, dr hab. inż. Jan Sińczak¹⁾, prof. AGH,

Wydział Metalurgii i Inżynierii Materiałowej, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

KUCIE ODKUWEK Z ŻEBRAMI Z PROSZKU STOPU ALUMINIUM Z UDZIAŁEM FAZY CIEKŁEJ

Streszczenie

Odształcanie stopów z udziałem fazy ciekłej należy w ostatnich latach do bardzo intensywnie badanych procesów. Proces ten znajduje już swoje zastosowanie w praktyce do wykonywania odkuwek ze stopów aluminium.

W pracy przedstawiono analizę numeryczną płynięcia materiału podczas kucia odkuwek z żebrami przez odształcanie wyprasek ze stopu aluminium z udziałem fazy ciekłej. Wyniki tej analizy wykorzystano do przygotowania parametrów kucia odkuwki w warunkach laboratoryjnych. Kucie zrealizowano stosując wsad w postaci wyprasek z proszku stopu Al_{8,84%}Cu_{6,33%}Si_{0,65%}Mg i kompozytu na jego osnowie, po ich wstępnym zagęszczeniu na gorąco.

Słowa kluczowe: odształcanie z udziałem fazy ciekłej, stop aluminium, kompozyt wzmocniony cząstkami, symulacja, wypraska, kucie w matrycach zamkniętych

1. Wprowadzenie

Odształcany stop z udziałem fazy ciekłej ma wyższą zdolność do odształceń plastycznych oraz niższe opory odształcenia w stosunku do stopu kształtowanego technologiami tradycyjnymi. Cechy te powodują, że tą nową metodą można wykonywać wyroby w sposób nieosiągalny podczas prowadzenia procesów tradycyjnymi technologiami.

Proces plastycznego kształtowania stopów z udziałem fazy ciekłej polega na odształcaniu materiału nagrzanego powyżej temperatury solidus – T_{sol} . Współistnieją wówczas dwie fazy; ciekła i stała, a ich wzajemny udział w materiale zależy od temperatury, w przedziale temperatur:

$$\Delta T = T_{lik} - T_{sol},$$

gdzie:

T_{lik} – temperatura liquidus,

T_{sol} – temperatura solidus.

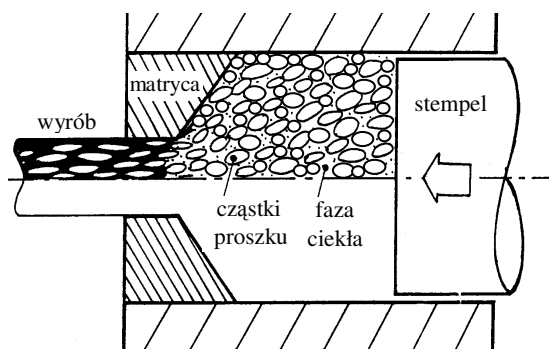
Obecność fazy ciekłej powoduje zmianę mechanizmu odształcenia plastycznego oraz kinematyki płynięcia materiału. Z uwagi na lokalizowanie się fazy ciekłej głównie na granicach ziarn, odształcenie plastyczne, wywołane wskutek przyłożenia naprężeń zewnętrznych, następuje przede

wszystkim przez poślizgi wzdłuż granic ziarn, natomiast w minimalnym stopniu poprzez odształcenie samych ziarn. Wskutek tego mechanizmu opór odształcenia jest znacznie niższy niż w stanie stałym na gorąco, ponieważ faza ciekła, usytuowana na granicach ziarn, ułatwia ich wzajemne przemieszczenie. Podstawowym parametrem procesu określającym ten stan jest zawartość fazy ciekłej Φ , wyrażona bezwymiarowo lub w procentach objętościowych. Zawartość fazy ciekłej Φ - obok innych parametrów, jak wielkość odształcenia ϵ , prędkość odształcenia $\dot{\epsilon}$ lub wielkość ziarna determinuje przebieg procesu odształcania oraz własności wyrobów [1].

Problematyką odształcania plastycznego konwencjonalnych stopów metali z udziałem fazy ciekłej zajmował się w kraju między innymi autor prac [1, 2]. Celem przeprowadzonych badań było doświadczalne określenie możliwości plastycznego odształcania stopów metali w warunkach obecności fazy ciekłej, tj. powyżej linii solidus. Stwierdzono, że odształcenie plastyczne w warunkach obecności fazy ciekłej następowało przy kilkakrotnie niższych naciskach niż w tradycyjnej obróbce pla-

stycznej na gorąco, a dla badanego stopu najlepsze wyniki uzyskano przy zawartości fazy ciekłej wynoszącej 14 %.

W pracy [3] autorzy opisali kształtowanie proszków stopów Al-Cu z udziałem fazy ciekłej, według schematu przedstawionego na rys. 1. Technika ta pozwala na uzyskanie szerokiej gamy wyrobów, m.in. drutów, prętów, rur. Do badań zastosowano proszek stopu Al5,7%Cu otrzymany metodą rozpylania. Wypraski nagrzewano do temperatury, w której faza ciekła występowała w ilości 20-30% objętości. Taki udział fazy ciekłej nie prowadził jeszcze do zmiany kształtu próbek. Wygrzane w odpowiednich pojemnikach próbki były przenoszone do wykroju matrycy i wyciskane wspólnie. Zarówno matryca, jak i stempel były podgrzewane w celu utrzymania odpowiedniej ilości fazy ciekłej w badanym materiale.



Rys. 1. Schemat wyciskania z udziałem fazy ciekłej [3]

Technologia odkształcania z udziałem fazy ciekłej pozwala na otrzymywanie wyrobów z materiałów o małej podatności do odkształceń plastycznych [4, 5]. W porównaniu z stopami wyciskany na gorąco bez udziału fazy ciekłej, wyroby uzyskane tą techniką posiadają mniejszą twardość, natomiast lepszą plastyczność. Tym sposobem można również wytwarzać wyroby z kompozytów na osnowie stopów aluminium, wzmocnionych cząstkami lub włóknami faz ceramicznych.

Do projektowania technologii kucia i własności wyrobów konieczna jest znajomość zjawisk w odkształcanym materiale. W przypadku materiałów odkształcanych z udziałem fazy ciekłej, dotyczy to zjawisk lokalnych, zachodzących w otoczeniu i obrębie ziarna, jak i makro, tj. w całej objętości odkształcanego stopu. Analiza ta,

szczególnie w odkształcanej objętości stopu, jest możliwa w oparciu o numeryczne obliczenia procesu. Z punktu widzenia technologicznego, bardzo istotne są efekty cieplne i płynięcie materiału w wykroju podczas jego odkształcania.

W pracy przedstawiono możliwości otrzymania elementów konstrukcyjnych w wyniku odkształcania z udziałem fazy ciekłej na przykładzie kucia w matrycach zamkniętych odkuwki korka z żebrami. Jako wsad zastosowano wypraski ze stopu Al8,84%Cu6,33%Si0,65%Mg i kompozytów na jego osnowie, zawierających 2 lub 5% objętości cząstek węgla krzemu. Własności tych materiałów uzyskane w wyniku odkształcania z udziałem fazy ciekłej przedstawione są w pracach [6, 7].

2. Analiza numeryczna procesu kucia z udziałem fazy ciekłej odkuwki korka

Odkuwkę korka z występami pokazano na rys. 2. W procesie kucia z udziałem fazy ciekłej w matrycach zamkniętych wypełnienie wykroju następuje przez spęczanie w matrycy połączone z zagęszczaniem, a następnie wyciskaniem materiału w występy znajdujące się na pobocznicach.



Rys. 2. Odkuwka korka z występami na pobocznicach

Analizę procesu kucia matrycowego tej odkuwki przeprowadzono w przestrzennym stanie odkształcania z zastosowaniem programu QFORM3D opartego na metodzie elementów skończonych. Dla wyprasek ze stopu Al8,84%Cu6,33%Si0,65%Mg o masie 35 g wykonano obliczenia przy następujących warunkach brzegowych:

- temperatura wsadu i narzędzi: 500 °C,
- prędkość przemieszczenia stempla: 1 mm/s,
- współczynnik tarcia: 0,3.

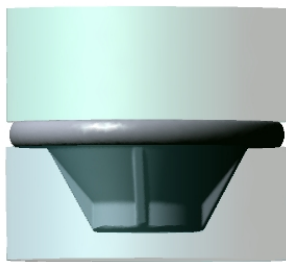
Wymiary wsadu wynosily: średnica 26 mm, wysokość 31 mm.

Na rys. 3 pokazano wygenerowany model przed odkształceniem i uzyskany kształt po założonym odkształceniu. Wyniki symulacji przedstawiono na rys. 4÷7. Obejmują one rozkłady temperatury (rys. 4), rozkłady intensywności odkształcenia (rys. 5), intensywności prędkości odkształcenia (rys. 6), intensywności naprężeń odkształcenia plastycznego oraz naprężeń średnich (rys. 7).

a)

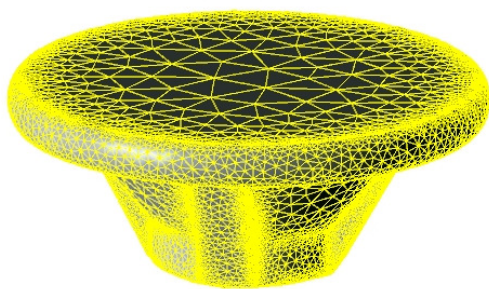


b)

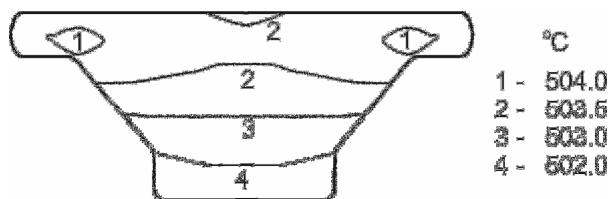


Rys. 3. Wygenerowany model do symulacji – a) oraz kształt po przeprowadzonej symulacji – b)

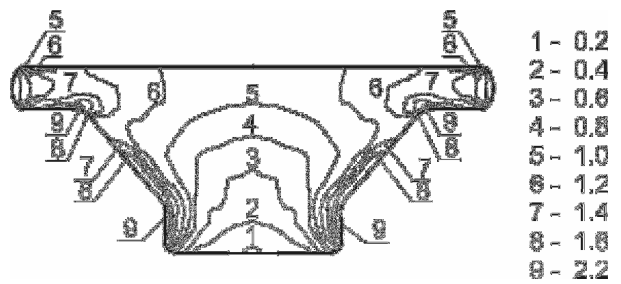
a)



b)

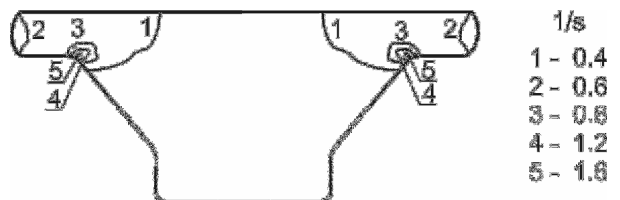


Rys. 4. Siatka elementów skończonych – a) i rozkłady temperatury na przekroju odkuwki – b)

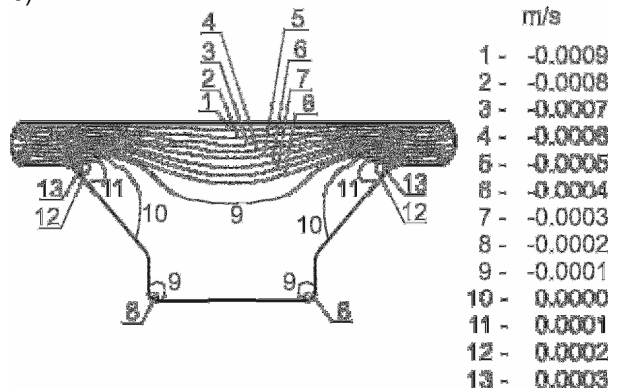


Rys. 5. Rozkład intensywności odkształcenia

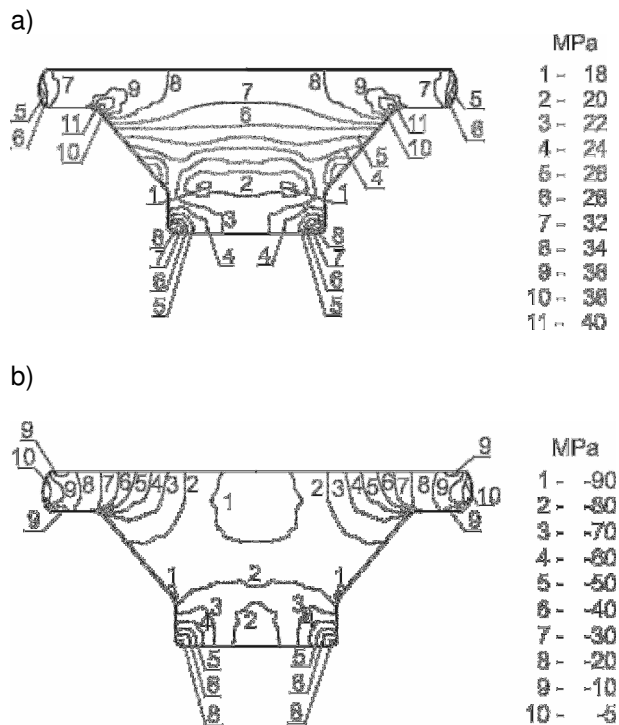
a)



b)



Rys. 6. Rozkład intensywności prędkości odkształcenia – a) i składowej pionowej prędkości przemieszczenia materiału podczas procesu kucia – b)



Rys. 7. Rozkłady intensywności naprężeń odkształcania plastycznego – a) i naprężeń średnich – b)

Dla tego stopu temperatura solidus – T_{sol} , wyznaczona podczas nagrzewania wynosi $504\text{ }^{\circ}\text{C}$. Wyniki symulacji pokazują, że podczas odkształcania w założonych wa-

runkach badanego stopu, nagrzanego do temperatury $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, następuje lokalnie przyrost temperatury. Odkształcenie wypraski w tych warunkach odbywa się z udziałem fazy ciekłej.

Symulacja procesu kucia odkuwki z występami wykazała, że w założonych warunkach odkształcania jest dobre wypełnienie wykroju. Intensywność odkształcania zawarta jest w przedziale $0,2\div 2,2$, intensywność prędkości odkształcania $0,4\div 1,6\text{ s}^{-1}$, intensywność naprężeń $18\div 40\text{ MPa}$, a wartości naprężenia średniego $-90\div -5\text{ MPa}$. Ujemne wartości średniego naprężenia w całej objętości odkuwki (rys. 7) świadczą o korzystnym stanie naprężeń w odkształcanym materiale.


3. Wyniki prób kucia

W oparciu o uzyskane wyniki analizy numerycznej przeprowadzono próby kucia w warunkach laboratoryjnych. Na rys. 8 pokazano odkuwki otrzymane w wyniku kucia w matrycy zamkniętej wyprasek z proszku stopu $\text{Al}8,84\%\text{Cu}6,33\%\text{Si}0,65\%\text{Mg}$ i kompozytów na jego osnowie, umocnionych cząstkami SiC . W tabelicy 1 podano składy chemiczne i gęstości wyprasek oraz otrzymanych z nich odkuwek.



Rys. 8. Odkuwki korka z występami otrzymane w wyniku kucia z udziałem fazy ciekłej w matrycach zamkniętych, wyprasek z proszku stopu AM75 i kompozytów na jego osnowie, w temperaturze $500\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tablica 1

	Zawartość SiC , %	Masa wypraski, g	Gęstość wypraski, g/cm^3	Masa odkuwki, g	Gęstość odkuwki, g/cm^3
	0	34,231	1,57	34,263	2,84
	2	34,631	1,59	34,757	2,84
	5	35,649	1,57	35,846	2,82

Próby kucia pokazują, że w wyniku odkształcania, w założonych warunkach, wyprasek wykonanych z proszku stopu aluminium i materiałów kompozytowych otrzymano odkuwki o wymaganych kształtach i wymiarach. Odkuwki mają gęstości zbliżone do gęstości teoretycznej.

4. Podsumowanie

Przedstawione wyniki symulacji i otrzymywania odkuwek przez kucie wyprasek z udziałem fazy ciekłej z proszku stopu aluminium i kompozytów na jego podstawie pokazały duże możliwości praktyczne technologii kucia stopów z występującą fazą ciekłą podczas ich odkształcania. Symulacja numeryczna pozwala na ocenę kinematyki płynięcia materiału w założonych warunkach odkształcania oraz uzyskanie informacji o jego stanie, trudnych lub niemożliwych do zmierzenia, np. rozkładzie temperatury czy odkształceń. Próby wytworzenia odkuwek potwierdziły możliwość wykonania detalu o założonym kształcie, w tym z żebrami w jednym wykroju, przy jednym skoku roboczym prasy.

Praca zrealizowana ze środków Ministerstwa Nauki i Informatyzacji w ramach projektu KBN nr 4 T08D 007 23.

Literatura

- [1] Łapkowski W.: *Odształcanie plastyczne stopów metali w stanie półciekłym*. Hutnik – Wiadomości Hutnicze 1993, s. 327.
- [2] Łapkowski W.:
<http://galaxy.uci.agh.edu.pl~wlapkow/cw-1.htm>.
- [3] Kiuchi M., Sugiyama S.: Application of Mashy State Extrusion. *Journal of Materials Shaping Technology*, 8, 1, 1990, s. 39-51.
- [4] Bremer T., Martens H.-P., Kopp R.: Thixoschmieden. Umformtechnik mit Kreativität zu innovationen Lösungen, 23÷24 März 1995, Eurogress Aachen.
- [5] Hirt G., Witulski T., Cremer R., Winkelmann A.: *Thixoforming: Neue Chancen für Leichtbau in Transport und Verkehr*. Umformtechnik mit Kreativität zu innovationen Lösungen 23÷24 März 1995, Eurogress Aachen.
- [6] S. Szczepanik, J. Frydrych, J. Krawiarz, B. Wiśniewski: *Kucie w matrycach zamkniętych wyprasek z proszku stopu Al-Cu-Si z udziałem fazy ciekłej*. Rudy i Metale Nieżelazne 48(2003) 10-11, s. 478-479.
- [7] S. Szczepanik, B. Wiśniewski: *Kucie w matrycach zamkniętych wyprasek w stanie półciekłym z kompozytów na podstawie proszku stopu Al-Cu-Si-Mg umocnionych cząstkami SiC*. Kompozyty 5(2005)4, s. 8-13.

CLOSED-DIE FORGING OF PRODUCTS WITH RIBS FROM PM ALUMINIUM ALLOY PREFORMS IN SEMI-SOLID STATE

Abstract

Forming of alloys in semi-solid state has been intensely researched in the last few years. The technology of producing forgings from aluminium alloys has already been applied in practice. The paper presents numerical analysis of material flow during closed-die forging of preforms from PM aluminium alloy in semi-solid state. The results of the analysis were used for the elaboration of forging parameters in laboratory conditions. PM Al_{8,84%}Cu_{6,33%}Si_{0,65%}Mg alloy preforms and composites on its basis, after their hot consolidation, were used for the manufacturing of the forgings.

Key words: forming in semi-solid-state, aluminium alloy, composite reinforced with particles, simulation, preform, closed-die forging