

Szymon Berski, Katarzyna Sechman
Politechnika Częstochowska

ANALIZA ODKSZTAŁCENIA BIMETALU AL-CU PODCZAS PROCESU ECAE

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę odkształceń występujących we wsadzie bimetalowym podczas procesu wyciskania przez kanał kątowy. Badania miały na celu wstępną analizę płynięcia okrągłego wsadu bimetalowego Al-Cu w procesie ECAE odkształcanego przy użyciu narzędzi o różnych promieniach zaokrąglenia krawędzi wewnętrznej r i zewnętrznej R przenikania kanałów matrycy. Ponadto modelowanie w oparciu o MES pozwoliło na wstępną analizę przydatności wypraski bimetalowej o długości $L = 100$ mm do dalszych etapów odkształcania w procesie ECAE.

Słowa kluczowe: MES, ECAE, Bimetal, uzysk

Wprowadzenie

Materiały bimetalowe odznaczają się specyficznymi właściwościami fizykochemicznymi, nieosiągalnymi dla materiałów monolitycznych. Druty i pręty płaszczowe wykonuje się w celu wykorzystania różnic we właściwościach metali, które tworzą bimetal.

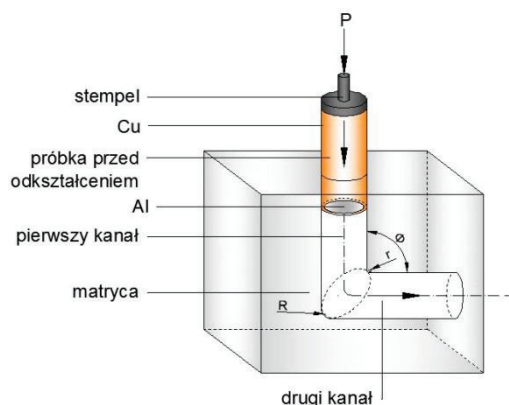
W drutach i prętach bimetalowych o warstwie platerującej wykonanej z miedzi i rdzeniu aluminiowym wykorzystuje się przewodność elektryczną miedzi oraz niski ciężar właściwy aluminium. Bimetale Al-Cu mają szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, głównie w elektrotechnice, elektronice i telekomunikacji.

W literaturze opisano kilka metod łączenia metali w bimetal pozwalających na dobre połączenie warstw [3]. Nową metodą zaproponowaną przez autorów pracy [1] jest użycie procesu wyciskania metali przez kanał kątowy (ECAE) do łączenia metali w bimetal.

Schemat wyciskania kąтового prętów bimetalowych przedstawiono na rysunku 1. W analizowanym procesie wsadem jest miedziana tuleja, wewnątrz której znajduje się aluminiowy pręt. Tak skomponowany wsad umieszcza się

w pierwszym kanale matrycy, odkształcenie następuje poprzez nacisk stempla, materiał płynie wzdłuż osi wykroju matrycy przez strefę odkształcenia utworzoną przez przenikające się kanały, pierwszy i drugi. W strefie tej dominującym typem odkształcenia są odkształcenia postaciowe. Proces odkształcenia zostaje zakończony, gdy próbka w całości znajduje się w drugim kanale matrycy. Proces zazwyczaj jest prowadzony w kilku przepustach wg różnych sposobów odkształcenia [5].

Badania prowadzone w pracy miały na celu określenie przydatności wypraski bimetalowej – po pierwszym cyklu procesu – do kolejnych cykli procesu. W tym celu obliczono wielkość odpadu oraz uzyski dla wyprasek odkształcanych w matrycach o różnej geometrii.



Rys. 1. Schemat procesu ECAE

Badania numeryczne

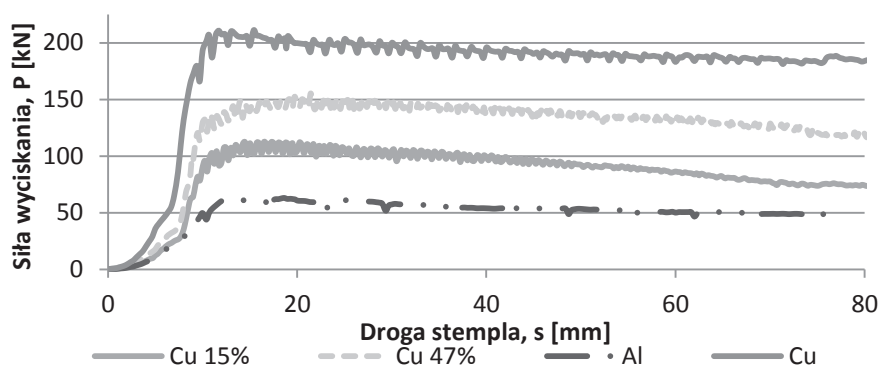
Badania numeryczne polegały na przeprowadzeniu symulacji komputerowych procesu ECAE w programie Forge® 2008 [2] opartym o MES. Modele geometryczne wsadów i narzędzi zostały utworzone w programie graficznym AutoCAD2009®. Złożenie narzędzi i wsadu posiadało płaszczyznę symetrii wzdłuż osi kanałów matrycy. W celu skrócenia czasu obliczeń symulacje przeprowadzono dla 1/2 złożenia. Badanie przeprowadzono dla wsadu o średnicy $D = 22$ mm i wysokości $H = 100$ mm. Badania zostały przeprowadzone przy użyciu matryc o różnej geometrii, scharakteryzowanych przez zewnętrzny i wewnętrzny promień zaokrąglenia krawędzi przecięcia kanałów (Rys.1).

Do badań numerycznych wykorzystano modele reologiczne materiałów opracowane na podstawie badań plastometrycznych uzyskanych podczas próby

spęszania przy użyciu systemu fizycznego modelowania procesów metalurgicznych Gleeble 3800. Warstwa platerująca wsadu była reprezentowana przez miedź z gatunku M1E, natomiast rdzeń odpowiadał właściwościom aluminium z gatunku 1050A. Poszczególne warstwy dyskretyzowano siatką czworosiecznych elementów skończonych. W celu uzyskania dużej dokładności obliczeń w strefie największych odkształceń plastycznych, czyli strefie przenikania się kanałów narzędzia, wielkość elementów siatki była dwukrotnie mniejsza niż na pozostałej części próbki. Proces przeprowadzono w temperaturze $t = 350^{\circ}\text{C}$, przy stałej prędkości posuwu stempla $v = 5 \text{ mm/s}$. W badaniach modelowych przyjęto współczynnik tarcia na styku materiału wsadowego z narzędziami $\mu = 0,1$, natomiast pomiędzy warstwą platerującą a rdzeniem współczynnik tarcia wynosił $\mu = 0,2$.

Wyniki badań i ich omówienie

Z uwagi na różne własności materiałów składowych oraz geometrię komponentów (udział procentowy na przekroju poprzecznym wsadu) płynięcie materiału bimetaleowego przebiega inaczej niż dla materiałów monometalicznych. Miedź i aluminium wykazują skrajnie różne opory plastycznego płynięcia. Aby ocenić wpływ materiału wsadu na opory plastycznego płynięcia w temperaturze 350°C , w pracy [4] porównano siły występujące podczas procesu ECAE materiałów monometalicznych i bimetaleowych o różnych udziałach warstwy platerującej na przekroju poprzecznym wsadu. Pomiaru siły dokonano dla matrycy o promieniach $r = 2 \text{ mm}$ i $R = 4 \text{ mm}$. Na rysunku 2 można zaobserwować, że zwiększony udział warstwy miedzi we wsadzie z 15% do 47% powoduje zwiększenie siły nacisku o 25%.

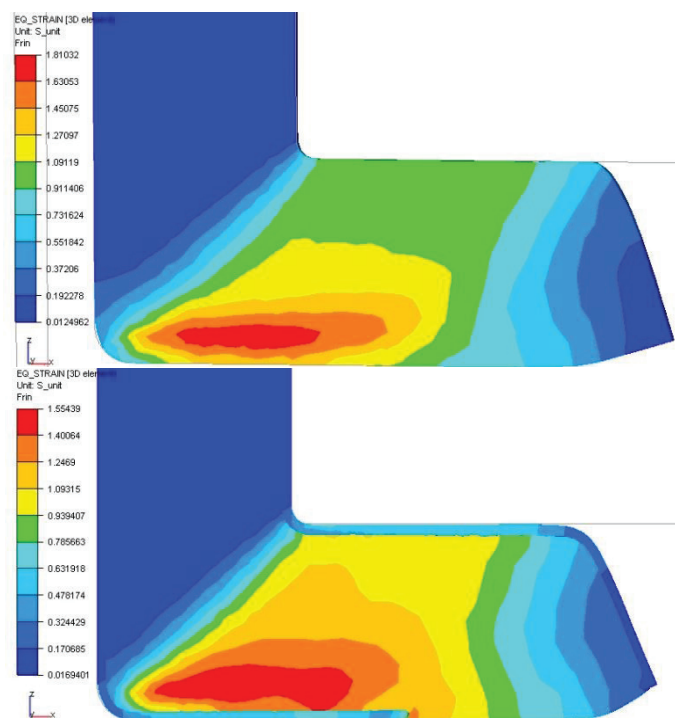


Rys. 2. Zależność siły nacisku od układu komponentów we wsadzie

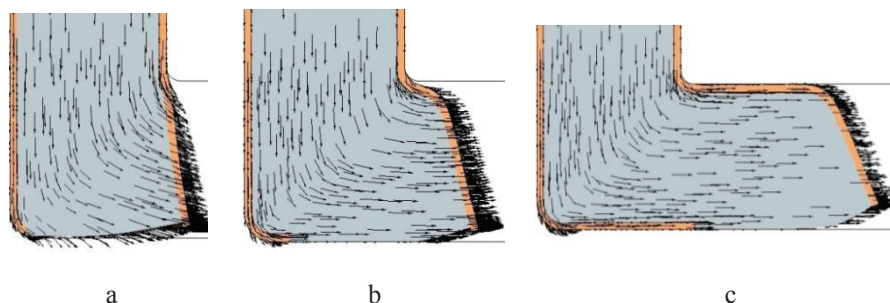
Aby ocenić wpływ nierównomierności płynięcia poszczególnych warstw dla przypadku $r = 2$ mm i $R = 4$ mm na rozkłady odkształceń zastępczych, porównano rozkłady tych wielkości dla wsadu monometalicznego i bimetalego z 15-procentowym udziałem miedzi w przekroju poprzecznym (Rys. 3).

Podczas odkształcenia wsadu monometalicznego (zarówno dla materiału rdzenia, jak i plateru) maksymalna intensywność odkształcenia jest większa niż dla wsadu bimetalego z uwagi na mniejszą nierównomierność płynięcia metalu nieograniczonego twardą warstwą zewnętrzną. Szczególnie jest to widoczne w górnej części przekroju wsadu, w warstwie aluminiowego rdzenia, gdzie twardsza warstwa plateru hamuje swobodne płynięcie rdzenia.

W dolnej części przekroju wsadu aluminiowy rdzeń przemieszcza się swobodnie wzdłuż krawędzi styku ze ścianką dolną poziomego kanału matrycy. Taki charakter płynięcia warstw bimetalu powoduje również większe, niż podczas wyciskania wsadu monometalicznego, nachylenie czoła wypraski w poziomym kanale matrycy (Rys. 3).



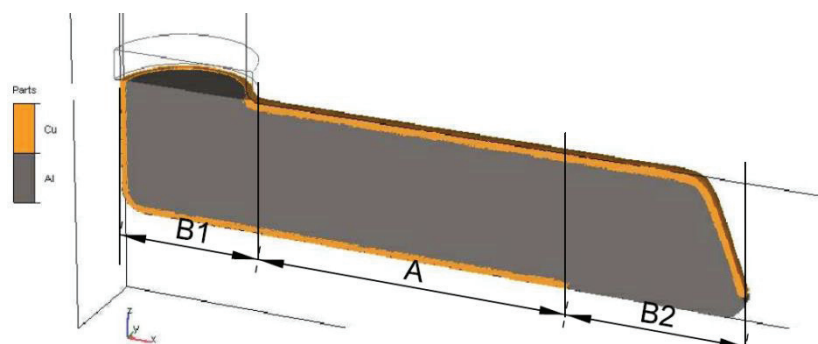
Rys. 3. Porównanie odkształceń zastępczych występujących w materiale monolitycznym i bimetalem znajdującym się w strefie odkształcenia



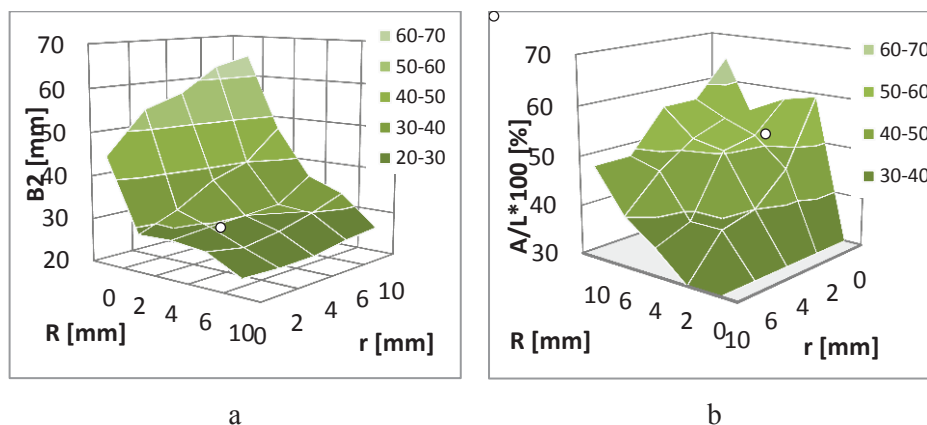
Rys. 4. Tworzenie się nieregularnego końca wypraski bimetalewej Al-Cu z 15-procentowym udziałem miedzi

Brak warstwy platerującej na powierzchni czołowej wsadu powoduje powiększanie nieciągłości tej warstwy po przejściu przez strefę odkształcenia plastycznego (Rys. 4). Nieciągłość ta powoduje zmniejszenie uzysku i jest głównym czynnikiem dyskwalifikującym wypraskę do dalszych etapów odkształcenia.

Aby zbadać wpływ kształtu strefy odkształcenia na wielkość nieciągłości i uzysk, w pracy zamodelowano proces odkształcenia w kanale kątowym o zmiennej geometrii. Geometrię strefy odkształcenia modyfikowano poprzez zastosowanie różnych promieni zaokrąglenia wewnętrznej i zewnętrznej krawędzi przenikania kanałów (r , $R = 0, 2, 4, 6, 10$ mm). Na rysunku 5 przedstawiono charakterystyczne wielkości potrzebne do obliczenia uzysku.



Rys. 5. Charakterystyczne długości wypraski bimetalewej Al-Cu po procesie ECAE:
A – długość wypraski o równomiernym rozkładzie warstw, B – odpad



Rys. 6. Wartości odpadu B_2 (a) oraz uzysku (b) dla badanych parametrów strefy odkształcenia

Analiza i podsumowanie

Najmniejszą wartość odpadu przedniego (Rys. 6a) przy największym uzysku (stosunku A/L długości początkowej wsadu do długości odcinka A) tj. ponad 50% zaobserwowano dla przypadku, gdy $r = 2$ i $R = 4$ (zaznaczono na rysunku 6b). Gdy wsad był odkształcany w matrycach o promieniu $r = 0$ następowała znaczna owalizacja przekroju poprzecznego wsadu, co od razu dyskwalifikowało wypraskę do następnego przepustu. Natomiast odkształcanie wsadu w matrycach o promieniach $R = 10$ nie pozwalało osiągnąć maksymalnych odkształceń stycznych w strefie odkształcenia, dla tych przypadków maksymalna intensywność odkształcenia była o około 0,6 mniejsza niż dla matryc o promieniach $R = 4$ mm. Dla wsadu bimetalowego o 15-procentowym udziale miedzi, dla którego uzysk po procesie ECAE wynosił powyżej 50% możliwe jest przeprowadzenie dwukrotnego procesu ECAE. Aby zwiększyć liczbę przepustów, należałoby zastosować wsad z warstwą platerującą na powierzchni czołowej, co wyeliminowałoby nieciągłość warstwy plateru w wyprasce. Stosowanie wsadu o większej długości niż 100 mm zwiększy uzysk, ale spowoduje znaczny wzrost nacisków jednostkowych w procesie, który może utrudnić bądź uniemożliwić poprawne zaprojektowanie stempla do procesu ECAE.

Badania zrealizowano w ramach projektu badawczego własnego Nr N N508 406437 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Eivani R., Karimi Taheri A., A New metod for producing bimetallic rods Materials Letters 61 (2007) 4110–4113.
- [2] Forge3® Reference Guide Release 6.2, Sophia-Antipolis, November 2002.
- [3] Kowalczyk L., Łączenie metali w stanie stałym w procesach obróbki plastycznej Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1988.
- [4] Sechman K., Berski S., Dyja H., Wpływ geometrii wsadu na wartość siły wyciskania w procesie ECAE Częstochowa 2012, Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej, Seria Monografie nr 24, tom 1, 493–496.
- [5] Valiev R.Z., Islamgaliev R.K., Alexandrov I.V., Bulk nanostrutured materials from severe plastic deformation Progres in Materals Science 45 (2000) 103–189.

Szymon Berski, Katarzyna Sechman
Politechnika Częstochowska

ANALYSIS OF BIMETAL AL-CU STRAIN DURING ECAE PROCESS

Abstract

In the work, the analysis of strains appearing in bimetal extrudate during equal channel extrusion process was presented. The aim of the research was an initial analysis of deformation of Al-Cu round billet in ECAE process with different variants of deformation zone shape, defined by inner fillet radius r and outer fillet radius R of intersecting channels edge. In addition, modeling based on FEM allowed a preliminary analysis of bimetal extrudate (length $L = 100$ mm) usability to further passes of the ECAE process.

Keywords: FEM, ECAE, Bimetal, Charge yield