dr inż. Jacek Borowski, dr inż. Jarosław Samolczyk

Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań

WPŁYW STRUKTURY NA ODKSZTAŁCALNOŚĆ NA ZIMNO STOPU AlZn6Mg2Cu (PA9)

Streszczenie

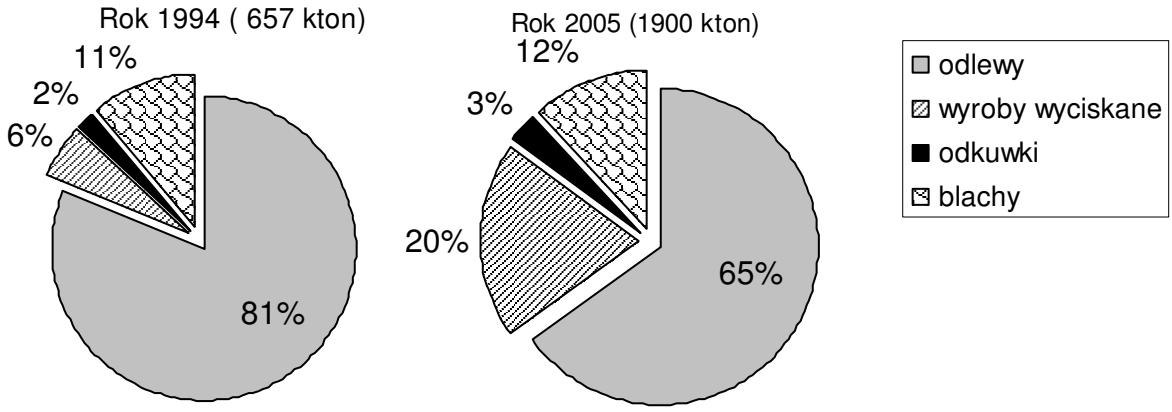
W pracy przedstawiono wyniki próby ściskania stopu aluminium AlZn6Mg2Cu (PA9). Próbki poddano obróbce cieplnej mającej na celu zróżnicowanie stanu strukturalnego materiału. Na podstawie krzywych umocnienia i pomiarów twardości, jak również obserwacji mikroskopowej, określono najbardziej korzystne (z punktu widzenia plastyczności) parametry obróbki cieplnej. Nie stwierdzono istotnego wpływu czasu wygrzewania oraz czasu od rozpoczęcia odkształcenia do zakończenia obróbki cieplnej na przebieg krzywej odkształcenia. Najmniejszą plastyczność miała próbka wycięta z materiału w stanie dostawy. Największą plastyczność miały próbki wygrzewane w temperaturze 520 ^{o}C i chłodzone wraz z piecem.

Słowa kluczowe: próba ściskania, krzywa umocnienia, odkształcalność, stop aluminium, obróbka cieplna

1. Wstęp

W przemyśle światowym produkcja aluminium i jego stopów zajmuje drugie miejsce po stali. Stopy aluminium pierwsze masowe zastosowanie znalazły w budowie samolotów. W obecnych czasach konkurują one ze stopami magnezu i tytanu. Natomiast zużycie aluminium w przemyśle motoryzacyjnym ciągle wzrasta. Związane to jest ze stosunkowo niską ceną przy korzystnych własnościach wytrzymałościowych. Wg [1] masa części samochodowych wytworzonych ze stopów aluminium w 2005 r. w samej tylko Europie będzie wynosiła około 1900 kton; dla porównania w 1994 wynosiła ok. 675 kton. Z danych przedstawionych na rysunku 1 wynika, że w strukturze wyrobów ze stopów aluminium nastąpi istotny wzrost udziału wyrobów odkształcanych plastycznie kosztem odlewów.

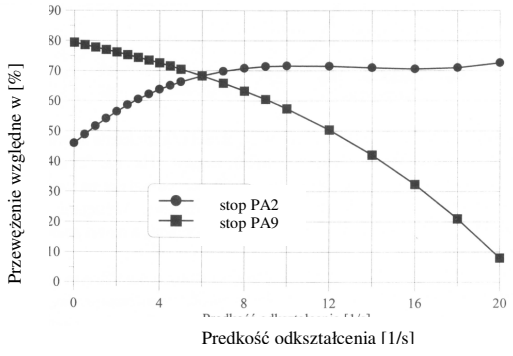
Głównymi pierwiastkami stopowymi w stopach aluminium są miedź, krzem, magnez, mangan, cynk, lit, cyrkon, bor oraz chrom, kobalt i inne. Odpowiedni dobór składu chemicznego i właściwa obróbka cieplna pozwalają uzyskać wymagane własności wytrzymałościowe [2]. Na podstawie analizy kosztów wytwarzania prostej części karoserii samochodu wykonanej z stopu aluminium wykazano, że koszt materiału wynosi 62% całości kosztów wyrobu, a dalsze 28 % pochłaniają koszty badań laboratoryjnych. Koszty narzędzi i koszty konserwacji nie przekraczają 1 %. Wynika z tego, że dla prostych części obniżenie kosztów wytwarzania wyrobów można uzyskać przede wszystkim przez zastosowanie tańszych materiałów konstrukcyjnych. Trudno jest natomiast uzasadnić celowość wdrożenia technologii wykorzystującej drogie materiały nawet o znacznie lepszych własnościach oraz obróbki istotnie podwyższającej koszty produkcji. Stosunkowo wysokie koszty precyzyjnego odlewania powodują, że coraz częściej podejmuje się wykonanie wyrobu metodami obróbki plastycznej kosztem wyrobów odlewanych. Należy jednak zaznaczyć, że dotyczy to prostej części, która nie wymaga skomplikowanej technologii wykonania i produkowana jest masowo. Podczas wykonywania mniejszych serii wyrobów o bardziej skomplikowanych kształtach, zmniejsza się udział kosztów zakupu materiału, a wzrasta wpływ technologii wykonania.



Rys. 1. Struktura wyrobów ze stopów aluminium w Europie w latach 1994 i 2005 na podstawie [1]

Na własności wykonanych wyrobów mają wpływ wszystkie operacje procesu technologicznego. Czynnikami, które decydują o własnościach wyrobu wykonanego ze stopu aluminium są: struktura wyjściowa materiału przed odkształceniem, temperatura odkształcania, wartość odkształcenia oraz końcowa obróbka cieplna.

Badania stopów aluminium wykazują, że ich własności są silnie związane z prędkością odkształcenia i temperaturą [3,4]. Wzrost temperatury jak i spadek szybkości odkształcania obniżają własności wytrzymałościowe i podnoszą plastyczność. Nie jest to regułą w przypadku, gdy plastyczność wyrażona będzie przewężeniem próbki. Na rysunku 2 przedstawiono zależności własności wytrzymałościowych i plastycznych od prędkości odkształcania stopów EN AW – AlMg2 (PA2), AlZn6Mg2Cu (PA9). Przebieg krzywej stopu PA2 jest charakterystyczny dla stopów niskowytrzymałych, natomiast PA9 - dla wysokowytrzymałych.



Rys. 2. Wpływ prędkości odkształcenia na własności plastyczne stopów PA2 i PA9 przy temperaturze 500 ^{o}C [3]

Istotny wpływ na wielkość naprężenia podczas obróbki plastycznej na zimno ma stan strukturalny materiału wyjściowego. W stopach aluminium wpływ stanu wyjściowego jest jeszcze wyraźniejszy, ponieważ nawet w temperaturze otoczenia, zachodzą procesy wydzieleniowe, które mogą znacznie pogorszyć odkształcalność badanych stopów. Szczególnie trudnym w obróbce plastycznej na zimno jest stop aluminium (PA9 – AlZn6Mg2Cu) zawierający cynk. W pracy podjęto próbę określenia odkształcalności tego stopu i określenia rodzaju obróbki cieplnej przed odkształceniem dającej najmniejsze naprężenie uplastyczniające podczas próby ściskania.

2. Materiał i metodyka badań

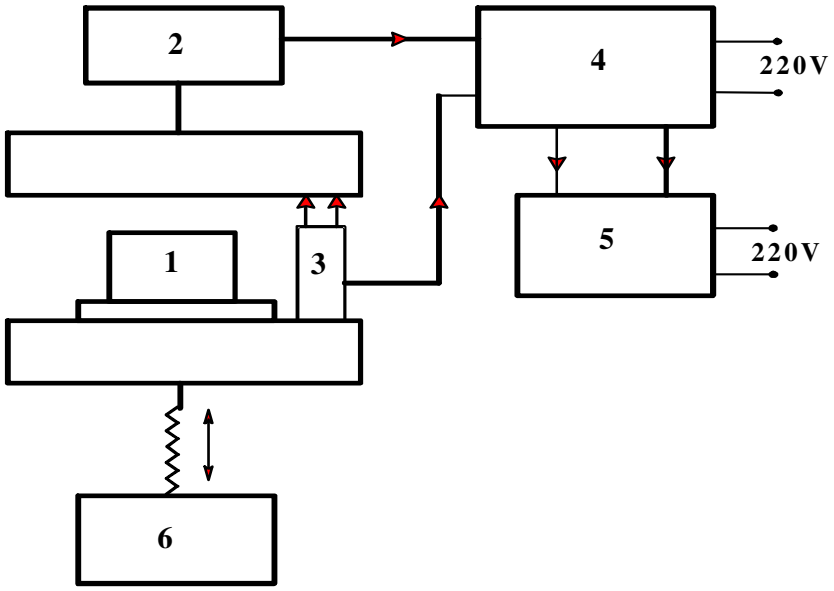
Do badań wybrano pręty o średnicy ϕ 26 mm ze stopu aluminium AlZn6Mg2Cu – PA9, wykonane w Hucie Materiałów Lekkich w Kętach. Skład chemiczny materiału podano w tabeli 1. Analizę składu chemicznego wykonano w Laboratorium Centralnym Aluminium Konin-Impexmetal.

Stopy aluminium należą do stopów, które się trudno trawią odczynnikami metalograficznymi. Dlatego stosuje się trawienie elektrolityczne, które wymaga specjalnych odczynników i doświadczenia w doborze parametrów prądowych. Opis prac wykonanych przy budowie stanowiska pomiarowego znajduje się w pracy BM 901 01 004 INOP, Poznań 1998 r. Schemat układu pomiarowego do wyznaczania krzywej umocnienia pokazano na rys. 3.

Tabela 1

Skład chemiczny stopu AlZn6Mg2Cu

Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]	Zn [%]	Al [%]
0,121	0,444	1,97	0,227	2,3714	5,296	reszta



Rys. 3. Schemat blokowy układu pomiarowego siły i przemieszczenia podczas wyznaczania krzywej umocnienia

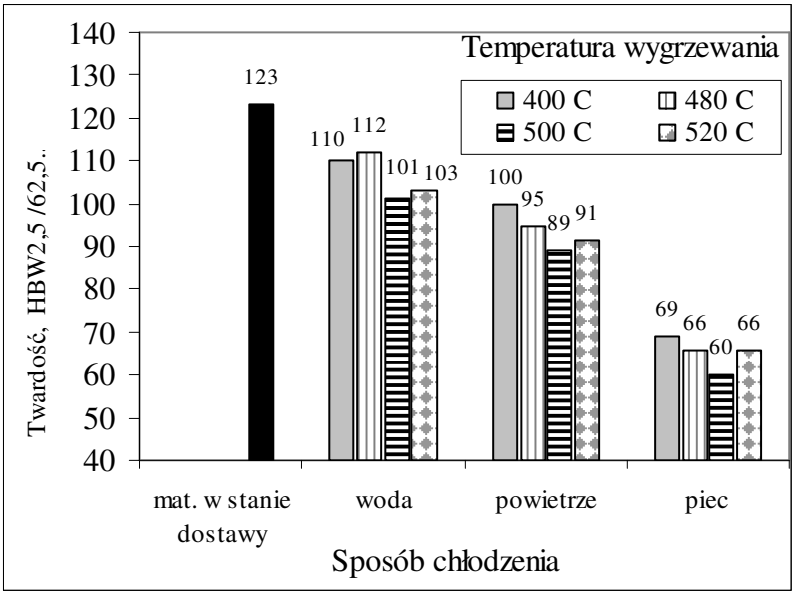
1 - próbka, 2 - idukcyjny czujnik drogi typ W-50 firmy Hottinger (do pomiaru siły), 3 - indukcyjny czujnik drogi typ Wa-100 firmy Hottinger (do pomiaru drogi), 4 - wzmacniacz tensometryczny firmy Hottinger typ MGC (dwukanałowy), 5 - komputer z monitorem, 6 - mechanizm napędu maszyny wytrzymałościowej ZD-100

Do wyznaczenia krzywej umocnienia stosuje się próbki w kształcie walca kołowego z wytoczeniami w podstawach. Pomiar wykonuje się z zachowaniem jednoosiowego stanu naprężenia ściskanej próbki (1) z wytoczeniami, wypełnionymi smarem. Warstwa smaru oddziela podstawy próbki od ściskających ją gładkich kowadełek, redukuje wpływ tarcia pomiędzy ich powierzchniami i zapewnia równomierne odkształcenie próbki na jej wysokości. Zmianę wysokości ściskanej próbki wskazuje indukcyjny czujnik pomiarowy (3) Wa-100, który bezpośrednio odmierza zmianę odległości pomiędzy czołowymi powierzchniami kowadełek. Siłę rejestruje indukcyjny czujnik W-50 przymocowany do mechanizmu zegarowego maszyny wytrzymałościowej ZD-100. Oba czujnik podłączone są do wzmacniacza tensometrycznego Firmy Hottinger typ MGC. Kanały wzmacniacza tensometrycznego podłączone są do komputera, w którym zainstalowany jest program do rejestracji danych. Na ich podstawie wyznacza się wykres naprężenia uplastyczniającego w zależności od odkształcenia rzeczywistego (logarytmicznego).

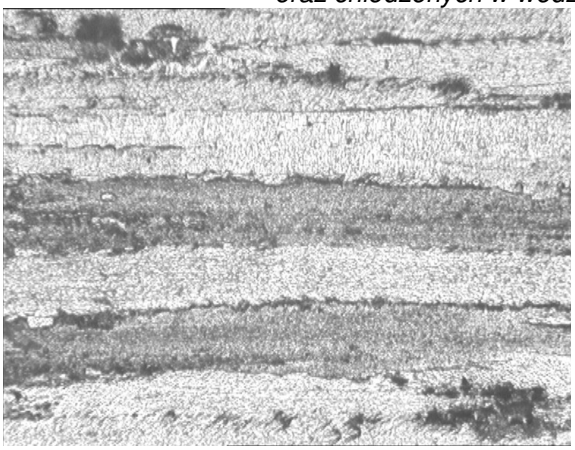
3. Wyniki badań

Przeprowadzono wyżarzanie zmiękczające oraz utwardzanie dyspersyjne w zakresie temperatur 400–520 °C stosując różne środki chłodzenia (powietrze, woda, z piecem). Uzyskano w ten sposób różne stany strukturalne. Najmniejszą twardością charakteryzowały się próbki utwardzone, chłodzone wraz z piecem. Jednocześnie twardość próbek chłodzonych na powietrzu była nieznacznie niższa od próbek chłodzonych w wodzie. Najmniejszą twardość uzyskała próbka wygrzewana w 500 °C i chłodzona wraz z piecem. Największą twardość uzyskały próbki chłodzone w wodzie. Prawdopodobnie powodem są naprężenia cieplne, które powstały podczas gwałtownego ochłodzenia. Można wnioskować, że wydzielanie związków, które zachodzi podczas powolnego ochładzania nie powoduje znacznych zmian twardości. Wyniki pomiarów twardości przedstawiono na wykresie – rys. 4.

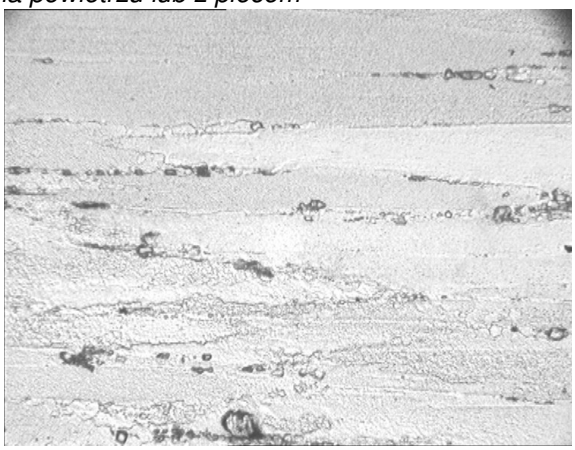
Strukturę wybranych próbek po uprzednim wypolerowaniu i wytrawieniu elektrolitycznym przedstawiono na rys. 5-8. Podczas przesycania w wodzie następuje rozpuszczenie większości faz i związków. Z obserwacji mikroskopowych próbek wynika, że struktura próbek chłodzonych w wodzie i na powietrzu jest bardzo podobna (podobnie jak twardość), natomiast próbki chłodzone z piecem charakteryzują się licznymi wydzieleniami. Próbki wygrzewane w temperaturze powyżej 500 °C mają strukturę ziarnistą zrekrystalizowaną.



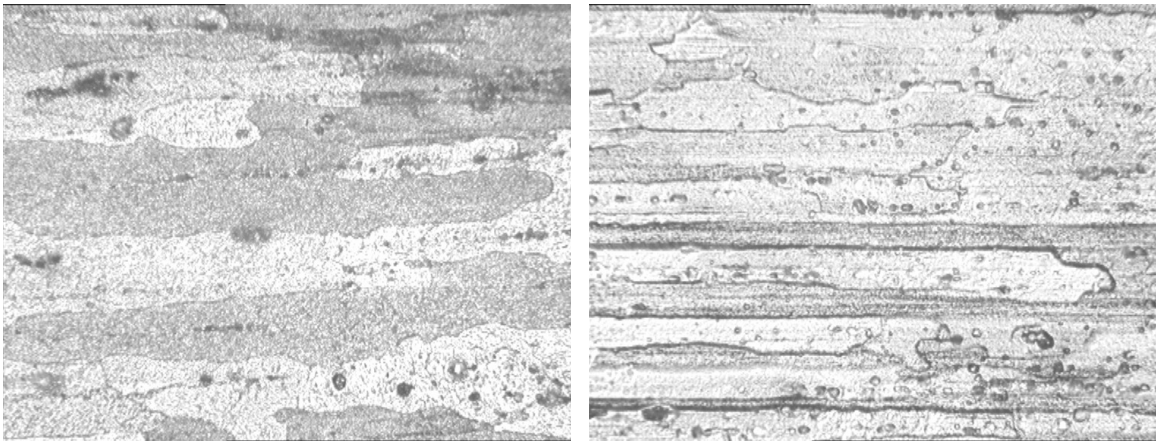
Rys. 4. Twardość stopu AlZn6Mg2Cu po wygrzewaniu w temperaturze 480 °C, 500 °C i 520 °C oraz chłodzonych w wodzie, na powietrzu lub z piecem



Rys. 5. Struktura stopu AlZn6Mg2Cu w stanie surowym (pow. 250x)

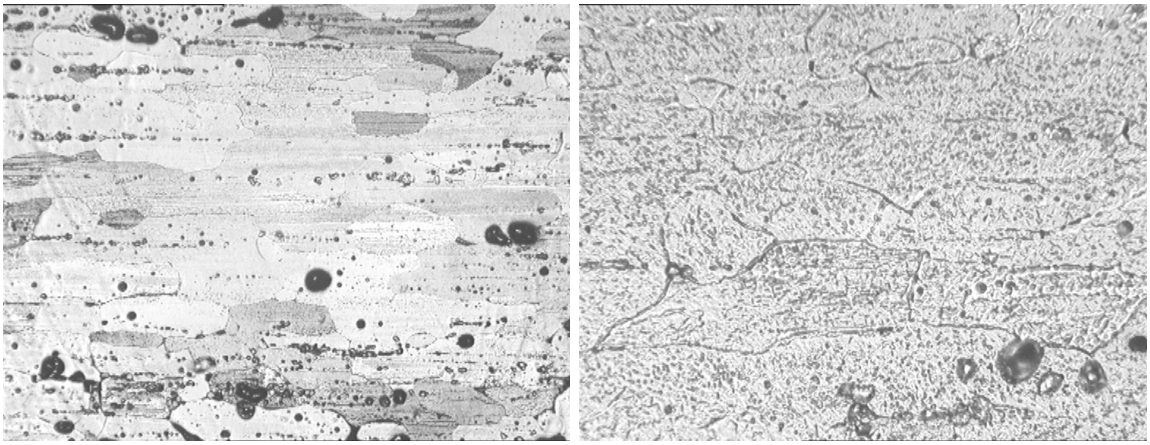


Rys. 6. Struktura stopu AlZn6Mg2Cu po wygrzewaniu w 400 °C i chłodzeniu na powietrzu (pow. 250x)



a) b)

Rys. 7. Struktura stopu AlZn6Mg2Cu po wygrzewaniu w 480 °C i chłodzeniu a) z piecem, b) na powietrzu (pow. 250x)

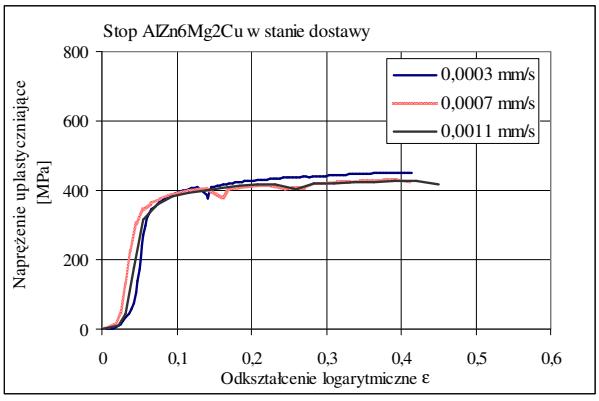


a) b)

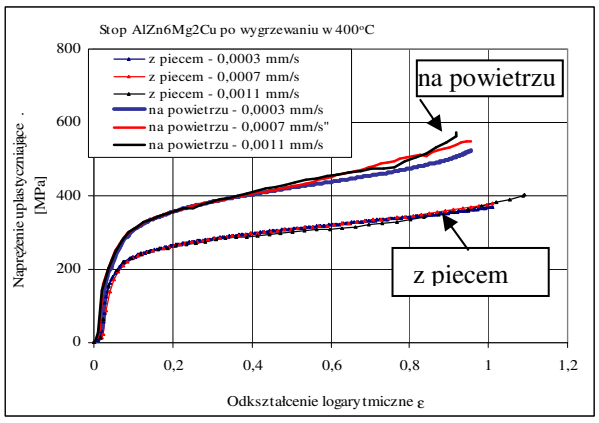
Rys. 8. Struktura stopu AlZn6Mg2Cu po wygrzewaniu w 520 °C i chłodzeniu a) w wodzie, b) z piecem (pow. 250x)

Wyznaczanie krzywej umocnienia w próbie jednoosiowego ściskania

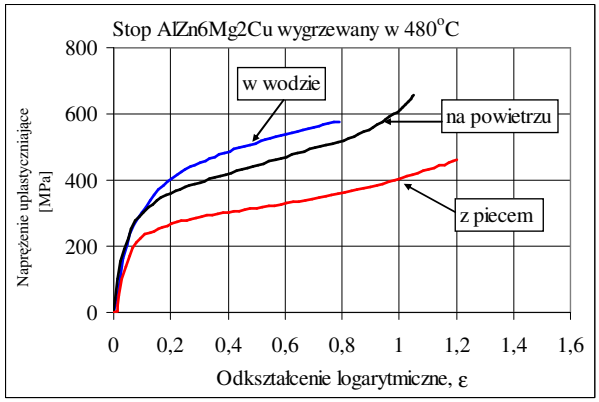
Próbę ściskania wykonywano na próbkach Rastiegajewa, bezpośrednio po obróbce cieplnej. Na podstawie danych zarejestrowanych w komputerze, wyznaczono wykres zmiany naprężenia uplastyczniającego w zależności od odkształcenia rzeczywistego (logarytmicznego). Wykresy przedstawiono na rys. 9–12. Z rysunków wynika, że najmniejszą plastyczność miała próbka wycięta z materiału surowego. Odkształcalność materiału w takim stanie była bardzo mała – rys. 9, a wszystkie próbki uległy popękaniu. Szybkość odkształcania nie miała wpływu na wartość naprężenia uplastyczniającego.



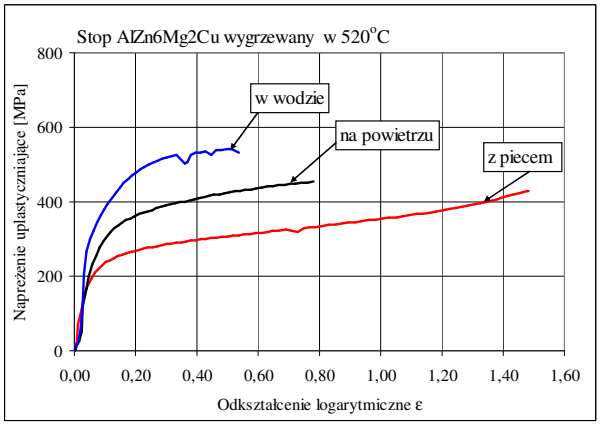
Rys. 9. Krzywa naprężenia uplastyczniającego stopu AlZn6Mg2Cu w stanie wyjściowym przy szybkościach odkształcania: 0,0003; 0,0007 i 0,0011 mm/s



Rys. 10. Krzywa naprężenia uplastyczniającego stopu AlZn6Mg2Cu po wyżarzaniu w 400 °C i chłodzeniu w różny sposób. Szybkość odkształcania: 0,0003; 0,0007 i 0,0011 mm/s



Rys. 11. Krzywa naprężenia uplastyczniającego stopu AlZn6Mg2Cu po wyżarzaniu w 480 °C i chłodzeniu w różny sposób. Szybkość odkształcania: 0,0007 mm/s



Rys. 12. Krzywa naprężenia uplastyczniającego stopu AlZn6Mg2Cu po wyżarzaniu w 520 °C i chłodzeniu w różny sposób. Szybkość odkształcania 0,0007 mm/s

Wykonywano również próby ściskania na próbkach bez wytoczeń, stosując folie teflonową jako środek smarujący. Wyników tych nie można było porównać z wynikami uzyskanymi na próbkach z wytoczeniami. Wartość odkształceń w tych samych warunkach obróbki różniła się. Przeprowadzono również próby stosując różny czas przesycania (0,5 1 i 3 godziny) oraz różny czas od końca obróbki do początku odkształcania (20 min, 1 godzina, 3, 24 i 48 godziny). Nie stwierdzono istotnego wpływu czasu wygrzewania, jak i czasu przerwy od momentu obróbki cieplnej do początku odkształcania na przebieg krzywej umocnienia.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

- stop aluminium AlZn6Mg2Cu w stanie dostawy hutniczej (prawdopodobnie po wyciskaniu na gorąco) cechuje się bardzo małą plastycznością,
- każda z przeprowadzonych obróbek cieplnych, niezależnie od sposobu chłodzenia z temperatury 400, 480, 500 czy 520 °C powoduje zwiększenie plastyczności stopu,
- przesycanie stopu (chłodzenie w wodzie po wygrzewaniu w temperaturze 480, 500 czy 520 °C), powoduje najmniejszy wzrost plastyczności badanego stopu,
- największą plastyczność wykazywały próbki wygrzewane w temperaturze 520 °C i chłodzone wraz z piecem,
- najmniejszą twardością charakteryzowały się próbki chłodzone z piecem (minimalną - próbka wygrzewana w 500 °C),
- twardość próbek chłodzonych na powietrzu jest nieznacznie niższa od próbek chłodzonych w wodzie,
- największą twardość uzyskały próbki chłodzone w wodzie. Prawdopodobnie, wynika to z naprężeń cieplnych, które powstały podczas gwałtownego ochłodzenia.

Przeprowadzone badania pozwalają dobrać optymalny rodzaj obróbki cieplnej pozwalający kształtować wyrób ze stopu AlZn6Mg2Cu. Badania zostały wykorzysta-

ne przy projektowaniu obróbki plastycznej wyrobu wyciskanego na zimno.

Literatura

[1] Miller W.S. i inni: Recent development in aluminum alloys for the automotive industry. Materials Science & Engineering A, 280 (2000) s. 37-49.

[2] Sweeney K., Grunewald U.: The application of roll forming for automotive structural parts Journal of Materials Processing Technology 132 (2003) s. 9-15.

[3] Gontarz A., Weroński W. S.: Kucie stopów aluminium-Aspekty technologiczne i teoeretyczne procesu. Politechnika Lubelska –Lublin 2001.

[4] Brandt A.J., Bernarth G., Theisen S., Kopp R.: Ouantiative Beschreibung statischer Entfestgungsvorsvorgange von Aluminium-legierungen mit Hilfe von Einzel – und Doppelstauchversuchen. Aluminium Vol. 73, Nr 1/2 , 1997, s. 76-82.

Pracę zrealizowano w ramach działalności statutowej finansowanej przez Komitet Badań Naukowych:

Praca BM 901 57 000 – Badania odkształcalności stopów lekkich metali (aluminium i tytan)

THE INFLUENCE OF STRUCTURE ON COLD DEFORMABILITY AlZn6Mg2Cu (PA9) ALLOY

Abstract

The paper presents the results of a compression test of aluminium alloy, AlZn6Mg2Cu (PA9). The samples have been subjected to heat treatment aiming at differentiation of the structural state of the material. Basing on the work-hardening curves and hardness measurements, as well as on microscopic examination , the most advantageous (from the plasticity point of view) parameters of the heat treatment have been determined .No significant influence of the soaking time and the time from deformation start to the end of heat treatment on the shape of the of the deformation curve. The lowest plasticity was that of a sample cut from the material as supplied. The highest plasticity was that of samples soaked at 520°C and cooled together with the furnace.

Key words: compression test, work-hardening curve, deformability, aluminium alloy, heat treatment