ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975
Seria: Mechanika z. 55 Nr kol. 446

Łucja Cieślak, Zbigniew Płonka
Instytut Metaloznawstwa i Spawalnictwa
Politechniki Śląskiej

ODKSZTAŁCENIE NADPLASTYCZNE STOPU ZnAl22

Streszczenie. Podjęto badania zmierzające do ustalenia parametrów nadplastyczności stopu ZnAl22 nie poddanego przeróbce plastycznej. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że stop ZnAl22 po przesycaniu i starzeniu samorzutnym wykazuje wysokie własności nadplastyczne, charakteryzujące się maksymalnym uzyskanym wydłużeniem względnym 870%.

Wstęp

Zdolność materiałów do odkształceń plastycznych powyżej 100% nazwano nadplastycznością. Efekt nadplastyczności zależy od wielu czynników, między innymi: temperatury, stopnia gniotu i szybkości odkształcania, kształtu i wielkości ziarn struktury wyjściowej, udziału procentowego poszczególnych faz, geometrii próbek oraz czasu starzenia dla stopów uprzednio przesycanych [1, 2, 3]. Szczególnie na odkształcenie nadplastyczne wpływa wielkość ziarna i równoosiowość struktury [4, 5]. Nie można jednak rozpatrywać oddziaływania poszczególnych czynników pojedynczo. Wprowadzono więc pojęcie czułości naprężenia na szybkość odkształcenia, wyrażoną przez tzn. parametr "m", który określa skłonność materiału do umocnienia zgniotowego podczas odkształcenia. Parametr "m" należy traktować jako generalny czynnik wpływający na zjawisko nadplastyczności. Opracowano wiele metod określania parametru "m" [6]. Za najbardziej prawidłową uznano metodę zaproponowaną przez Hedwortha i Stowella [7]. Teoretycznie obliczono i doświadczalnie potwierdzono, że maksymalne wydłużenie podczas odkształcania nadplastycznego przez rozciąganie występuje w obszarze najwyższych wartości parametru "m" [6, 8, 9]. Samo zjawisko nadplastyczności nie zostało dotychczas jednoznacznie wyjaśnione. Istnieje szereg hipotez [10, 11, 12], wśród których za najbardziej przekonywującą uznać należy teorię przedstawioną przez Holta i Backofena [13]. Wyjaśnia ona zjawisko nadplastyczności strukturalnej przy małych szybkościach odkształcania poślizgiem po granicach ziarn, zaś przy dużych szybkościach odkształcania - odkształceniem objętościowym. W czasie odkształcania nadplastycznego dyslokacje sieciowe reagują z granicami ziarn. W zależności od wzajemnej orientacji granic i dyslokacji, reakcje te powodują utworzenie dyslokacji granic ziarn

(DGZ) równoległych do powierzchni granicy lub też utworzenie stopni na granicy (SGZ), prostopadłych do granic. W temperaturach 0,4 T_t pod wpływem niewielkich naprężeń następuje dyfuzyjne uruchomienie ujść DGZ, w wyniku czego zachodzi poślizg po granicach. Proces zanikania dyslokacji granic ziarn ze względu na jego dyfuzyjny charakter nazwano zdrowieniem granic ziarn [6, 14].

Zainteresowanie zjawiskiem nadplastyczności wynika z możliwości zaprojektowania stopów o własnościach technologicznych upodobniających je do polimerów termoplastycznych, ale o lepszych od nich własnościach wytrzymałościowych i o niższym koszcie jednostkowym. Własności wytrzymałościowe stopów po odkształceniu nadplastycznym można dodatkowo regulować przez obróbkę cieplną [4, 6, 15]. Dalsze zalety to zmniejszenie nacisków jednostkowych, obniżenie ceny urządzeń oraz uproszczenie konstrukcji matryc. Natomiast podstawową wadą technologiczną, oprócz małych szybkości kształtowania jest konieczność stosowania gorących narzędzi, gdyż zetknięcie z zimnym narzędziem prowadzi do gwałtownego zmniejszenia parametru "m".

Praktyczne wykorzystanie zjawiska nadplastyczności w stopach ZnAl22 ograniczają trudności związane z przeróbką plastyczną tych stopów, niezbędną do rozdrobnienia ziarn oraz zwiększenia ich równoosiowości. Dlatego podjęto badania których celem było określenie parametrów nadplastyczności stopu ZnAl22 nie poddanego przeróbce plastycznej.

Badania własne

Materiał do badań i obróbka cieplna

Badania przeprowadzono na stopie cynku ZnAl22, zawierającym 78,6% Zn i 20,8% Al. Do badań nadplastyczności użyto prętów odlanych o średnicy 10 mm nie wykazujących wad odlewniczych. Z tych prętów wytoczono próbki o średnicy 5 mm i długości pomiarowej 20 mm. Zabiegi obróbki cieplnej obejmowały wygrzewanie próbek w temperaturze 400°C oraz przesycanie w wodzie. Po przesycaniu próbki poddano starzeniu samorzutnemu w czasie 15, 18 i 48 godzin.

Przebieg badań

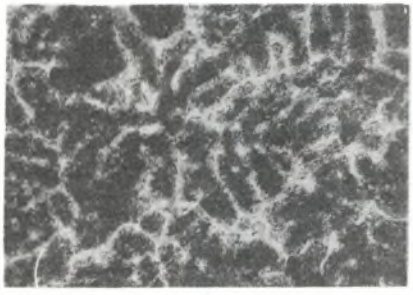
Celem ustalenia parametrów odkształcenia nadplastycznego przeprowadzono próby rozciągania na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej "Instron". Próbki rozciągano w temperaturze 255°C. Zastosowano cztery szybkości rozciągania: 1, 2, 5 i 10 mm/min. Przy wyborze zakresu szybkości rozciągania kierowano się wielkością ziarna struktury wyjściowej. Podczas rozciągania rejestrowano zmianę obciążenia w czasie. Umożliwiło to wyznaczenie parametru "m" według metody podanej przez Hedwortha i Stowella [7]. W metodzie tej parametr "m" wyznacza się za pomocą próby rozciągania ze skokową zmianą szybkości rozciągania. Na podstawie prób rozciągania nadplastycz-

nego określono ponadto: wpływ szybkości rozciągania oraz czasu starzenia samorzutnego po przesycaniu na wartość wydłużenia rozciąganych próbek, siłę rozciągania w funkcji czasu, a także naprężenie maksymalne w funkcji szybkości rozciągania. Na próbkach w stanie surowym oraz odkształcanym nadplastycznie przeprowadzono próby twardości i badania metalograficzne. Pomiary twardości wykonano metodą Vickersa na twardościomierzu firmy Hauser przy obciążeniu 1 kG. Czas trwania obciążenia wynosił 20 sekund.

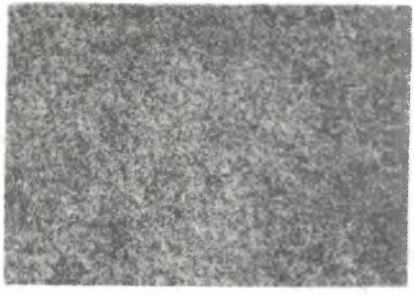
Próbki do badań metalograficznych przygotowano mechanicznie, a następnie trawiono w odczynniku zawierającym: 30 cm^3 HCl + 10 g $FeCl_3$ + 30 cm^3 wody destylowanej + 10 cm^3 wody utlenionej 10%. Obserwacji zgładów dokonano na mikroskopie świetlnym firmy Reichert przy powiększeniu 500 x.

Wyniki badań i ich analiza

Strukturę materiału wyjściowego przedstawiono na rys. 1. Jest to typowa struktura dendrytyczna. W wyniku przesycania uzyskano strukturę drobnoziarnistą o średniej średnicy ziarna 0,8 μm, składającą się z mieszaniny roztworu α oraz fazy β' (rys. 2). Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że dwufazowy stop ZnAl22 w stanie odlanym wykazuje wysokie własności nadplastyczne podczas rozciągania w temperaturze 255°C, pod warunkiem usunięcia struktury dendrytycznej przez długotrwałe wygrzewanie w zakresie jednofazowym i następne przesycanie w wodzie. Ten zabieg obróbki cieplnej pozwala na osiągnięcie prawie piętnastokrotnie większego wydłużenia względnego (740÷870%), w porównaniu do wydłużenia próbek rozciąganych w tych samych warunkach lecz nie poddanych obróbce cieplnej (60%).



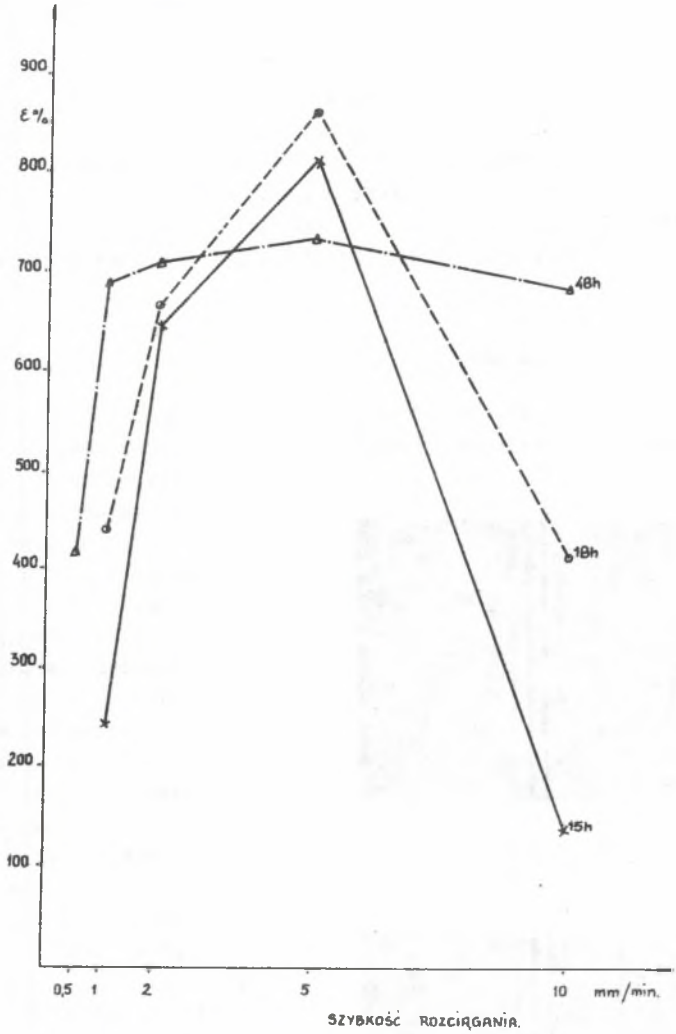
Rys. 1. Struktura materiału w stanie lanym



Rys. 2. Struktura po przesycaniu z temperatury 400°C i starzeniu samorzutnym przez 15 godzin

Wśród parametrów odkształcania nadplastycznego najbardziej istotną jest szybkość rozciągania. Największe wydłużenia względne uzyskuje stop przy szybkości rozciągania 5 mm/min. Zarówno zmniejszenie jak i zwiększenie szybkości rozciągania prowadzi do zmniejszenia wydłużenia

całkowitego (rys. 3). Zastosowane po przesycaniu starzenie samorzutne zwiększa stabilność mikrostruktury, co wpływa korzystnie na własności nadpla-



Rys. 3. Wpływ szybkości rozciągania na wartość wydłużenia względnego dla różnych czasów starzenia samorzutnego po przesycaniu

styczne. Wpływ czasu starzenia uzależniony jest od stosowanej szybkości rozciągania (rys. 3). Dla szybkości rozciągania 5 mm/min. najkorzystniejszy czas starzenia samorzutnego wynosi 18 godzin, a osiągane wydłużenie względne 870%. Dla szybkości rozciągania mniejszych i większych tj. 1,2 i 10 mm/min. optymalny czas starzenia przedłuża się do 48 godzin, a uzyskane wydłużenie względne mieści się w granicach 687÷740%. Ze wzrostem czasu

starzenia samorzutnego od 18 do 48 godzin zwiększa się zakres szybkości rozciągania, dla których uzyskuje się wydłużenia względne rzędu 700%. Słuszność doboru czasu starzenia oraz szybkości rozciągania potwierdzają uzyskane wartości parametru "m" (tablica 1).

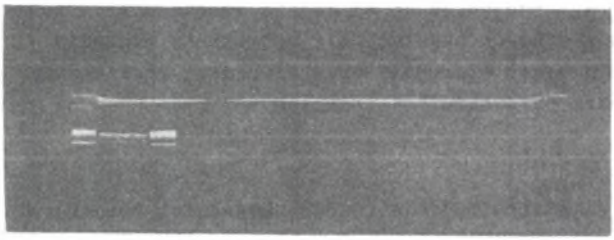
Tablica 1

Wartości parametru "m" dla różnych szybkości rozciągania próbek

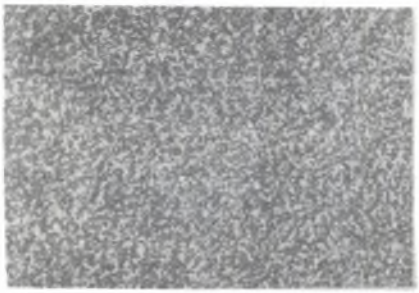
Szybkość rozciągania		$\tau_{starz.}$	Parametr	Uwagi
v_1 mm/min	v_2 mm/min	h	"m"	
0,5	1	15	0,11	Nieciągłości na całej długości próbki
1	2	15	0,18	
2	5	15	0,32	
5	10	15	0,15	
0,5	1	18	0,13	Widoczne nieciągłości. Brak szyjki
1	2	18	0,23	
2	5	18	0,33	
5	10	18	0,20	
0,5	1	48	0,16	Wyraźne przewężenie w miejscu zerwania
1	2	48	0,28	
2	5	48	0,31	
5	10	48	0,24	

Jak wynika z tej tablicy maksymalna wartość parametru "m" wynosząca 0,33 występuje dla próbki rozciąganej z szybkością 5 mm/min. i starzonej samorzutnie przez 18 godzin, a odpowiadające jej wydłużenie względne wynosi 870% (rys. 3). Próbkę po odkształcaniu nadplastycznym w tych warunkach przedstawiono na rys. 4. Uzyskane wyniki badań umożliwiają także optymalizację parametrów odkształcenia nadplastycznego w zależności od żądanego wydłużenia względnego, przez zmianę parametrów. Na przykład przy wymaganym wydłużeniu względnym rzędu 700% odkształcenie nadplastyczne należy prowadzić z szybkością 5 mm/min. po uprzednim starzeniu samorzutnym próbek w czasie 48 godzin. Gdy żądane wydłużenie względne jest rzędu 400% optymalną szybkością rozciągania, uwzględniającą maksymalne skrócenie czasu odkształcania jest 10 mm/min. a czas starzenia samorzutnego 48 godzin (rys. 3).

W strukturze stopu po odkształcaniu nadplastycznym nie stwierdzono zmian kształtu ziarn, które pozostają w przybliżeniu równoosiowe (rys.5). Jest to jednym z dowodów na to, że procesom odkształcania nadplastycznego towarzyszy mikromechanizm, akomodujący zmiany wywołane nawet kilkusetprocentowym wydłużeniem. Zaobserwowano natomiast znaczny rozrost ziarn po odkształcaniu nadplastycznym (por. rys. 2 i 5). Ze wzrostem ziarn w czasie rozciągania, maleje udział energii granic ziarn w odkształceniu nadplas-



Rys. 4. Próbka po i przed rozciąganiem. Uzyskane wydłużenie względne wynosi 870%. Odkształcenie nadplastyczne prowadzono w temperaturze 255°C z szybkością 5 mm/min. Czas starzenia samorzutnego po przesycaniu w wodzie wynosił 18 godzin

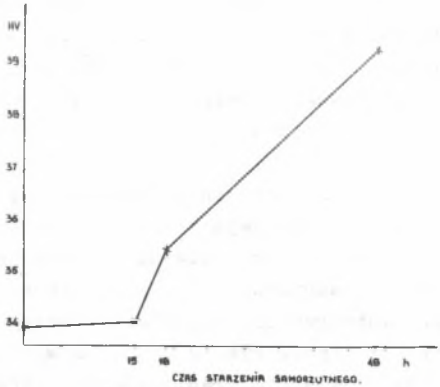


Rys. 5. Struktura po odkształcaniu nadplastycznym z szybkością 5 mm/min. Czas starzenia samorzutnego 15 godzin

tycznym, co powoduje zmniejszenie zdolności do przebiegu poślizgu po granicach, a tym samym prowadzi do zaniku własności nadplastycznych.

Objawem występowania niewielkiego umocnienia w czasie odkształcenia nadplastycznego jest wzrost twardości. Przy czym twardość nie zależy od uzyskanego wydłużenia względnego, ale od warunków, w jakich prowadzono odkształcenie (tablica 2).

Przeprowadzone próby twardości wykazały, że maksymalną twardość wynoszącą 73,7 HV posiada stop w stanie lanym. Po przesycaniu twardość spada do 34 HV. W miarę wzrostu czasu starzenia samorzutnego próbek twardość nieznacznie rośnie i przy czasie starzenia 48 godzin osiąga wartość 39,4 HV (rys. 6).



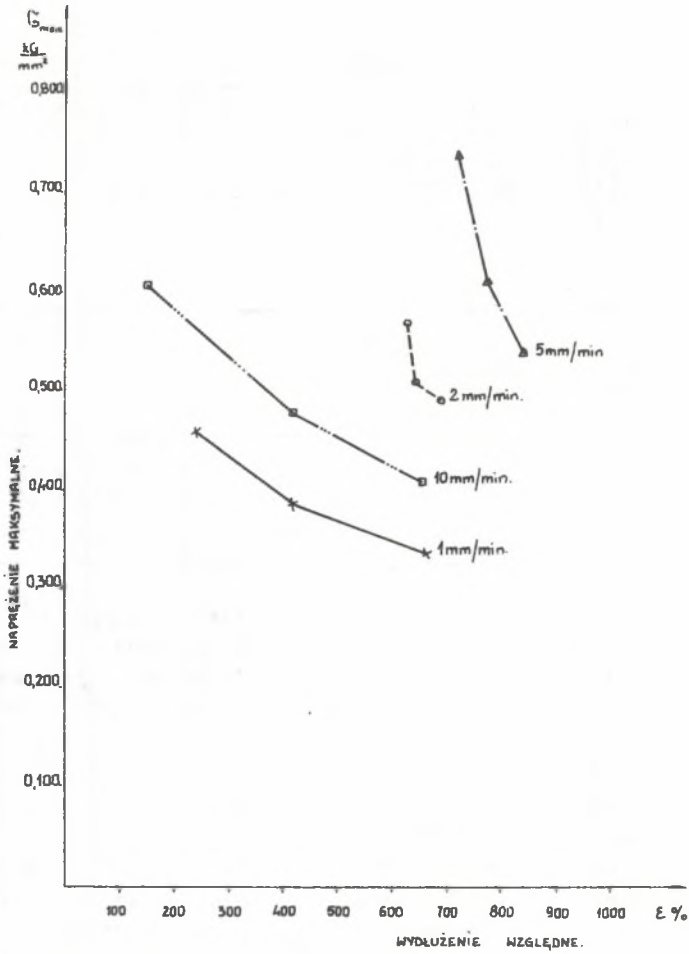
Rys. 6. Wpływ czasu starzenia samorzutnego po przesycaniu na twardość stopu

Tablica 2

Wyniki pomiarów twardości

Lp.	Czas starzenia h	Szybkość rozciągania mm/min.	Twardość $HV_{śr}$
1	2	3	4
1	15	-	34,1
2	15	10	42,3
3	15	5	52,5
4	15	1	51,2
5	15	2	40,1
6	18	-	35,5
7	18	10	39,9
8	18	5	60,8
9	18	2	48,3
10	18	1	40,8
11	48	-	39,4
12	48	10	44,0
13	48	5	55,9
14	48	2	40,5
15	48	1	39,8

Odkształcenie nadplastyczne wymaga użycia bardzo małych, bo ponad dziewięć razy mniejszych naprężeń, w porównaniu do naprężeń koniecznych przy rozciąganiu próbek w temperaturze pokojowej. Im większe jest końcowe wydłużenie względne, tym mniejsze są wartości naprężenia σ_{max} (rys.7). Niskie wartości naprężenia σ_{max} mogą w praktyce przemysłowej przyczynić się do znacznego zmniejszenia nacisków jednostkowych, obniżenia ceny urządzeń oraz uproszczenia konstrukcji matryc. Zastosowanie przemysłowe mogą mieć znale, jeśli będą wykazywały stosunkowo duże wydłużenie w szerokim zakresie szybkości rozciągania. Wyeliminowany zostanie wówczas każdorazowy dobór optymalnej szybkości rozciągania dla uzyskanej w wyniku obróbki cieplnej wielkości ziarna. Badany stop spełnia te wymogi po przesycaniu i starzeniu samorzutnym przez 48 godzin. Wyniki badań potwierdziły możliwość uzyskania kilkusetprocentowych wydłużeń w stopach ZnAl22 nie przerabianych plastycznie, a poddanych jedynie przed odkształcaniem nadplastycznym obróbce cieplnej.



Rys. 7. Naprężenie maksymalne σ_{max} w funkcji uzyskanego wydłużenia względnego dla różnych szybkości rozciągania

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono:

Stop ZnAl22 w stanie lanym nie wykazuje własności nadplastycznych. Natomiast po przesycaniu i starzeniu samorzutnym osiąga kilkusetprocentowe wydłużenie względne. Starzenie samorzutne po przesycaniu wpływa korzystnie na własności nadplastyczne, zmniejszając wrażliwość mikrostruktury na szybkość odkształcania. Czas starzenia samorzutnego 48 godzin przy średniej średnicy ziarna 0,8 μm zapewnia wydłużenie względne rzędu 700% w zakresie szybkości rozciągania od 1 do 10 mm/min.

Największe wydłużenie względne, wynoszące 870% osiąga stop ZnAl22 o średniej średnicy ziarna 0,8 μm, odkształcany nadplastycznie w temperaturze 255°C z szybkością 5 mm/min., poddany przed rozciąganiem starzeniu samorzutnemu w czasie 18 godzin.

Struktura po odkształcaniu nadplastycznym nie wykazuje zmian kształtu ziarn i pozostaje w przybliżeniu równoosiowa. Zmianie ulega jedynie wielkość ziarna, która rośnie ze wzrostem szybkości odkształcania oraz upływem czasu starzenia samorzutnego przed odkształcaniem.

LITERATURA

[1] Z. Misiołek: Rudy i Metale Nieżelazne 16, 12, 1971, 587.
[2] J.J. Novikow: Izv. VU: Cvet. Metall, 15, 4, 1972, 128.
[3] O.A. Kanbysew, J. Kazackow: Fizika Mietałłow i Mietałłoviedienie 34, 2, 1971, 396.
[4] H. Chęcińska: Postępy fizyki 21, 5, 1970, 651.
[5] W.A. Backofen: Metallurgical Transactions 4, 12, 1973, 536.
[6] M. Grabski: Nadplastyczność strukturalna metali, "Śląsk", Katowice 1973.
[7] J. Hedworth, M.J. Stowell: J. Mater. Sci. 6, 1971, 1061.
[8] J.M. Ochrimenko: Fiziceskaja i Chimiceskaja Obrabotka Mietałłow 6, 1971, 37.
[9] Zb. Płonka: Praca dyplomowa nie publikowana, Instytut Metaloznawstwa i Spawalnictwa Pol. Sl. 1974.
[10] A.A. Presniakow: Doklady Akademii Nauk SSSR 2, 1971, 323.
[11] D.H. Avery, W.A. Backofen: Trans. ASM 58, 1965, 551.
[12] T.H. Alden: J. Australian Inst. Metals, 14, 11, 1969.
[13] D.L. Holt, W.A. Backofen: Trans. ASM 59, 1966, 755.
[14] M.F. Ashby, R.A. Verrall: Acta Metallurgica 21, 2 1973, 913.
[15] D. North: Sheet Metal 1, 1970, 13.

СВЕРХПЛАСТИЧНОСТЬ ЛИТЫХ СПЛАВОВ ZnAl22

Р е з ю м е

В связи с рядом затруднений связаных с обработкой давлением этих сплавов были предприняты исследования для определения параметров сверхпластичности сплава ZnAl22, не подвергаемого обработке давлением. В результате произведенных испытаний было установлено, что литой эвтектоидальный сплав ZnAl22 после закалки и естественного старения проявляет высокие сверхпластичные свойства, характеризующиеся максимальным полученным относительным удлинением составляющим 870%.

SUPERPLASTICITY THE ZnAl22 ALLOY

S u m m a r y

Parameters of the superplasticity strain of the Zn alloy have been investigated. The alloy of ZnAl22 have been tensil tested, and have determinated alloy aften aging had a good the superplastic properties and alongation about 870%.