

초소형 스퍼기어 제조를 위한 초소성 Al-78Zn 분말 압출

이경훈¹ · 김진우² · 황대원¹ · 김종현³ · 장석상³ · 김병민[#]

Powder extrusion with superplastic Al-78Zn powders for micro spur gears

K. H. Lee, J. W. Kim, D. W. Hwang, J. H. Kim, S. S. Chang, B. M. Kim

Abstract

This study was designed to fabricate the micro-electro-mechanical systems (MEMS) parts such as micro spur gears using hot extrusion of gas atomized Al-78Zn powders. For this purpose, it is important to develop new methods to fabricate micro-dies and choose suitable extrusion conditions for a micro-forming. Micro-dies with Ni were fabricated by LIGA technology. LIGA technology was capable to produce micro-extrusion dies with close tolerances, thick bearing length and adequate surface quality. Superplastic Al-78Zn powders have the great advantage in achieving deformation under low stresses and exhibiting good micro formability with average strain rates ranging from 10^{-3} to 10^{-2} s⁻¹ and constant temperatures ranging from 503 to 563K. Al-78Zn powders were compacted into a cylindrical shape ($\Phi 3 \times h10$) under compressive force of 10kN and, subsequently, the compacted powders were extruded at 563K in a hot furnace. Micro-extrusion has succeeded in forming micro-gear shafts.

Key Words : Power extrusion(분말압출), Al-78Zn Powder(Al-78Zn 분말), Micro die(미세금형), LIGA Process(LIGA 공정)

1. 서론

핸드폰, PDA, 마이크로 하드디스크 시스템 등 각종 전자기기의 소형화 경향은 빠르게 진행되고 있으며 이와 더불어 캡슐형 무선 카메라와 같은 의료 분야 등에서도 소형화의 필요성이 대두되고 있다. 이런 소형화된 기기들은 미니어처 스크류(miniature screws), 마이크로 채널(micro-channels), 마이크로 기어(micro-gears) 등 기계적 강도가 요구되는 극미세 형상 부품들을 포함하고 있다.

이런 극미세 부품의 제조는 인쇄법(lithography technology)에 기초한 기술들이 개발되고 있다. 하지만 인쇄법을 통해 제조할 수 있는 재료가 금속에서는 주로 순금속 및 2원계 합금 수준으로 제

한되어 있는 단점을 가지고 있다.[1] 따라서 재료의 종류에 제한을 받지 않으면서 정형가공(net-shape) 및 대량생산이 가능한 일반적인 금속 성형 기술을 적용하여 극미세 형상 부품을 제조하기 위한 연구가 최근 관심을 끌고 있다.

Saotome와 Iwazaki는 인쇄법으로 제작된 마이크로 다이(micro-die)를 이용한 벌크 비정질 합금의 열간 압출 성형 성형을 통해 마이크로 기어, 샤프트를 제작하였다.[2] Kim과 Lee는 폴리머 열간 압출을 통한 마이크로 기어 샤프트 성형에 대해 연구하였다.[3]

본 논문에서는 가스분무법(Gas Atomization)으로 제조된 Al-78Zn 분말의 열간압출 공정을 이용하여 마이크로 기어 샤프트(micro-gear shafts)를 제조하기 위해 수행되었다. 실험에 사용된 금형은 LIGA

1. 부산대학교 대학원 정밀가공시스템

2. 부산대학교 하이브리드소재솔루션협동과정

3. 포항가속기 연구소, POTECH

교신저자: 부산대학교 기계공학부, bmkim@pusan.ac.kr

공정을 통해 제작하였으며 열간압출 실험은 벌크 Al-78Zn 금속이 초소성 변형을 보이는 압출 온도 및 변형률 속도 범위 내에서 수행하였다. 제조된 마이크로 기어 샤프트(micro-gear shafts)를 SEM 관찰을 통해 평가되었다.

2. 실험

2.1 LIGA 공정에 의한 Ni 다이 제작 공정

LIGA 공정에 의한 Ni 다이 제작 공정은 리소그라피(Lithographic), 도금(Galvanformung)의 공정으로 구성된다.[4] LIGA 공정에서 가장 널리 사용되는 감광 물질인 판재 PMMA(polymethylmethacrylate)를 금속 기판 위에 부착하여 X-선 노광에 이용하였다. 금속 기판은 Ti, Cu 또는 Au 등이 주로 사용되며, 본 실험에서는 2mm 두께의 Ti 기판을 이용하였다.

먼저 S1805와 Acetone을 1:10으로 섞은 접착 용액을 Ti 기판에 스핀 코팅에 의해 도포한 후, 100°C에서 20분간 경화시킨다. 그 위해 액상 PMMA를 다시 도포한 후 승온속도 3°C/min으로 180°C에서 1시간 경화시킨다. 2mm 두께의 상용 PMMA 판재를 준비된 기판 위에 놓고 액상 MMA(methylmethacrylate)를 그 사이에 주입하여 1시간 동안 압착시킨다. 압착된 시편은 승온속도 1°C/min으로 80°C에서 4시간 동안 경화시킨다.

325 μ m 두께의 Kapton(Polyimide) film 위에 일반적인 UV-lithography를 이용하여 기어 형상으로 PR을 패터닝한다. 이후 패터닝된 PR에 Au를 도금한 후 잔여 PR을 제거하여 X-선 마스크를 제작하였다.

포항가속기연구소의 9C1 마이크로머시닝/백색빔 라인을 이용하여 PMMA 노광 실험을 수행하였다. 2.5GeV의 전자 에너지에서 방사되는 X-선의 빔 크기는 (H)180 mm x (V)15 mm이고, horizontal beam span은 12mrad 이다. 노광시간은 총 90min이며, 실험 중 Initial beam current 는 191 mA 이고 Final beam current는 181mA 이다. 기판 바닥면에 노광되는 X-선 조사량이 4kJ/cm² 이상이 되도록 노광 시간을 조절하였다. X선 스캔거리는 상하로 ± 50 mm이며, 스캔속도는 15mm/sec이다.

glycol mono buthylether (CH₃(CH₂)₃OCH₂CH₂OCH₂-CH₂OH), 20vol%의 Morpholine(C₄H₉NO), 15vol%의

DI water와 5vol%의 Ethanolamine(2-aminoethanol) (H₂NCH₂CH₂OH)로 혼합된 현상액을 사용하여 35°C에서 교반(agitation)하여 현상하였다.

현상된 기판은 Ni 도금 후 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 공정을 통해 두께 1mm로 가공하였다. Fig. 1에 마이크로 금형의 SEM 사진을 나타내었다.

2.2 마이크로 스퍼 기어의 분말 압출 공정

Fig. 2은 마이크로 스퍼 기어의 분말 압출 공정의 개략도이다. 일반적인 분말 압출에서는 압분체(green compact)를 소결 후 압출 시 초기 빌렛으로 사용되지만[5] 본 연구에서는 소결 공정을 생략하였다.

Fig. 3는 본 연구에서 사용된 Al-78Zn 분말입자의 SEM사진을 나타낸 것이다. 분말은 가스분무법(Gas Atomizing)에 의해 제조되었으며 분말의 평균 입도는 15 μ m이며 분말 형상은 구형이다. 분말은 일축 압축 금형을 이용하여 최대 10kN 가압력하에서 실린더형상의 압분체($\phi 3 \times h10$ mm)로 제조되었다. 제조된 압분체는 마이크로 스퍼 기어의 압출 시 초기 빌렛으로 사용되었다.

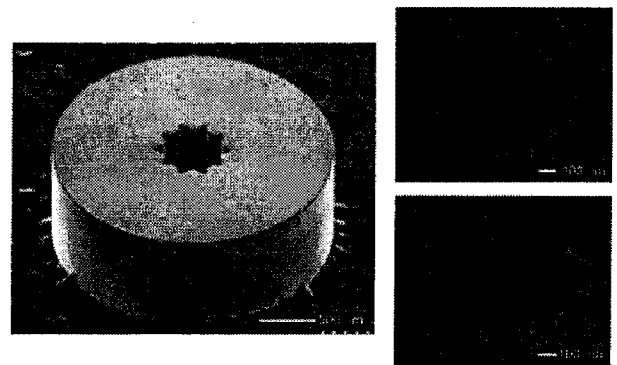


Fig. 1 SEM images of a Ni die fabricated by LIGA process

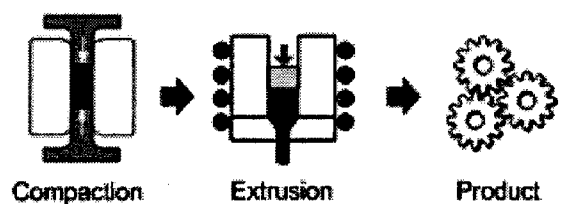


Fig. 2 Schematic illustration of powder extrusion in this study

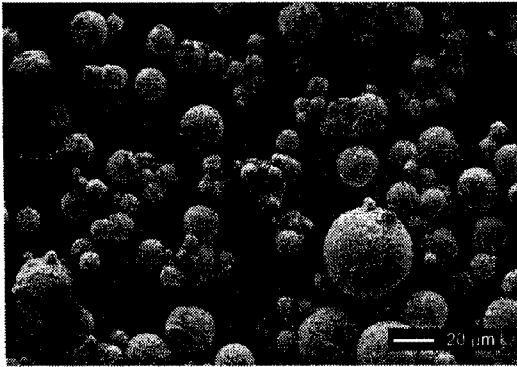
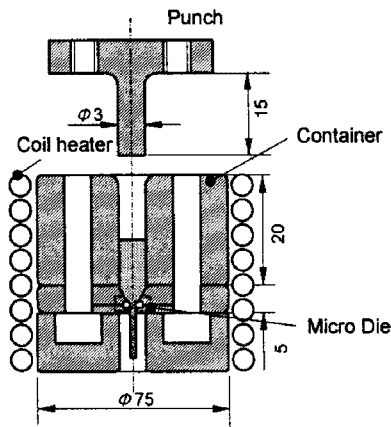
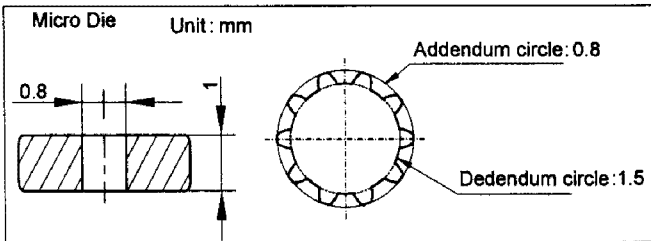


Fig. 3 SEM images of gas atomized Al-78Zn powders



(a) micro extrusion equipment



(b) micro die

Fig. 4 Shapes and dimensions of the spur gear and extrusion equipment used in this study

Table 1 Conditions of extrusion process

Extrusion conditions	Value
Material of billet	Al-78Zn powder
Material of Container	AISI H13
Materials of Die	Ni
Punch speed	5 mm/min
Extrusion Temperature	310 °C
Billet size	About $\phi 3 \times 10$ mm
Extruder	MTS (30ton)

Fig. 4는 본 연구에서 사용된 스퍼기어와 압출금형의 형상을 나타낸 것이다. 스퍼기어의 모듈은 0.075이고 잇수는 10개이며 단면감소율은 약 94 %이다. 금형의 재질은 니켈(Ni)이며 LIGA 공정을 이용해 제작된 PMMA 몰드에 니켈을 전주도금한 후 CMP 공정을 통해 표면을 연마하였다.

열간 압출 시 압출온도 및 압출속도는 분말의 변형거동에 영향을 미치는 주요 공정변수이다. 본 연구에서는 Al-78Zn 금속이 초소성 변형을 보이는 압출조건에서 압출실험을 수행하였다. 압출온도는 310°C와 압출속도는 5mm/min이며, 압출동안 금형과 압분체의 윤활을 위하여 흑연(Graphite) 윤활제를 사용하였다. 전반적인 압출 조건은 Table 1에 나타내었다.

3. 실험결과 및 논의

Fig. 5는 소재가 초소성 변형을 보이는 압출온도 310°C, 압출속도 5mm/min의 압출 조건하에서 스퍼기어를 압출할 때 압출하중-변위곡선을 나타낸 것이다. 소결이 되지 않은 압분체는 초기 최대 압출하중은 5.2kN으로 기존 초소성 Al-78Zn 벌크 소재를 이용한 하중 결과보다 높은 값을 보인다. 이는 Al-78Zn 분말이 치밀화되는 구간 동안 컨테이너와 펀치 사이의 간극에 분말이 침투하여 부품간의 마찰이 증대되고 분말과 금형간의 마찰뿐만 아니라 분말 간의 마찰이 작용하기 때문이다.

소결되지 않은 압분체를 사용하는 경우 소결 금속체에 비하여 분말간의 응집력 낮기 때문에 더 낮은 하중에서 변형을 일으킬 수 있다. 본 연구에서 사용한 마이크로 금형의 경우 그 재질이 니켈(Ni)로써 기계적 성질인 일반적인 금형재에 비해 떨어진다. 따라서 금형의 변형 및 마멸을 최소화 하기 위하여 소결되지 않은 압분체를 압출 실험의 초기 빌렛으로 정한다.

펀치 이송량이 증가함에 따라 처음 단계에서는 하중이 증가하다가 일정 하중 범위에서 짧은 변위 동안, 즉 압분체(green compact)가 분해되어 컨테이너를 채우는 과정으로 판단되는 하중에서 일정한 하중으로 유지된다. 컨테이너 내부가 충전된 후 다시 하중이 증가하면서 분말의 치밀화(densification)가 이루어진다. 각 입자간의 접촉면적은 커지고 압분체는 상당한 경도와 강도는 나타내기 시작하며 압출하중이 5kN 이상이 되면 실제적인 압출이 진행된다.

Fig. 6은 Al-78Zn 분말을 LIGA 공정을 통해 제작한 금형을 이용해 압출된 마이크로 기어 샤프트의 형상을 보여주는 SEM 사진이다. 모듈(m) 0.075, 잇수(Z) 10, 치외경(D_A) 800 μ m의 마이크로 기어 샤프트가 성공적으로 제조되었음을 볼 수 있다. 마이크로 기어 샤프트의 형상은 금형의 치수에 일치하게 성형되었으며 표면 결함은 발생되지 않았다.

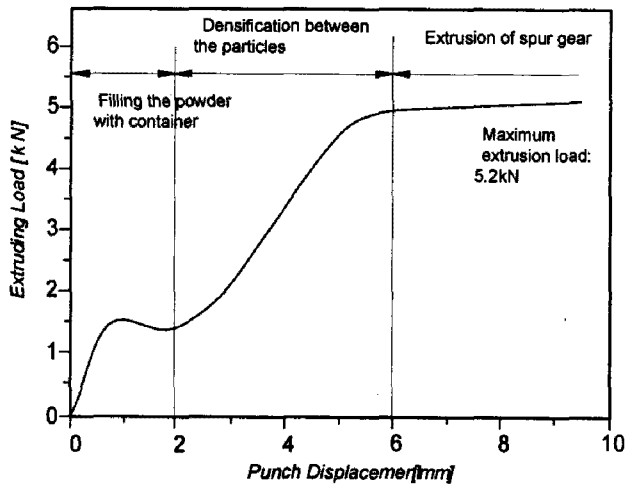


Fig. 5 Extruding load-punch displacement curves of Al-78Zn powders

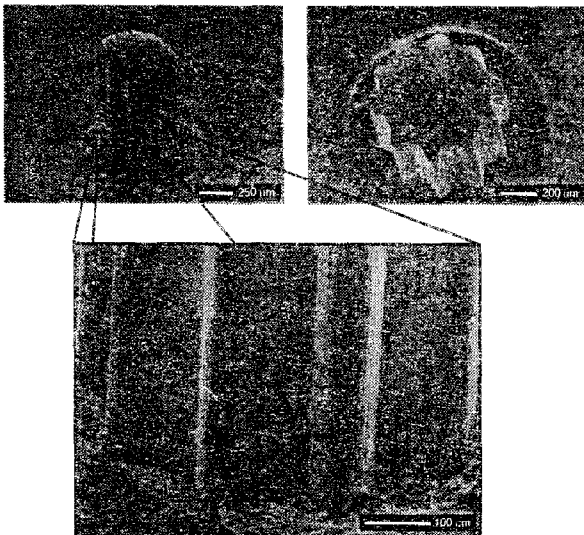


Fig. 6 SEM images of extruded micro gear shafts of Al-78Zn

4. 결론

본 연구에서는 가스분무법(Gas atomization)으로 제조된 Al-78Zn 분말의 열간 압출 실험을 수행하

여 마이크로 기어 샤프트를 제조하였다.

(1) LIGA 공정을 통해 모듈 0.075, 잇수 10, 치외경 800 μ m의 치형을 가지는 마이크로 금형을 1mm 두께로 제작하였다.

(2) 니켈(Ni) 기반의 마이크로 금형의 변형 및 마멸을 최소화하기 위하여 소결되지 않은 압축체(Green Compact)를 압출 공정에 적용하였다.

(3) 마이크로 금형을 이용한 분말 압출을 통해 표면 결함이 없는 마이크로 기어 샤프트를 제조하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업 R15-2006-022-03003-0) 지원으로 수행되었음.

포항방사광가속기에서의 실험은 과학기술부와 포항제철의 지원을 받았음.

참 고 문 헌

- [1] F. Vollertsen, Z. Hu, H. Schulze Niehoff and C. Theiler, 2004, State of the art in micro forming and investigations into micro deep drawing, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 151, pp.70~79.
- [2] Yasunori Saotome, Hiroyuki Iwazaki, 2001, Superplastic backward microextrusion of microparts for micro-electro-mechanical systems, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 119, pp. 307~311.
- [3] Kyung Hun Lee, Sang Jin Lee, Byung Min Kim, 2007, Development of an extruder for fabricating micro parts, IMC24, Vol. 1, pp. 129~134.
- [4] W. Ehrfeld and H. Lehr, 1995, Deep x-ray lithography for the production of three-dimensional microstructures from metals, polymers and ceramics, Radiat. Phys. Chem., Vol. 45, pp. 349~365
- [5] ZHENGWEN YANG, HORST LIPPMANN, 1994, A STUDY OF EXTRUSION OF SINTERED POWDER METALS, International Journal of Mechanical Sciences, Vol.38, No.1, pp79~96.