

열간 압출 공정에 의한 직경 500 μm 마이크로 부품 성형

이경훈¹ · 이상진² · 김병민[#]

Micro forming technology for micro parts below 500 μm in diameter by a hot extrusion process

K. H. Lee, S. J. Lee, B. M. Kim

Abstract

Micro parts are usually used of producing by micro-electro-mechanical systems(MEMS). In this paper, we present some fundamental results concerning on the MEMS, extrusion condition on the micro forming characteristics and new micro forward extrusion machine has been developed. In the first step, we manufactured micro dies in two kinds of sections. One is a circle section, another is a cross section. The process for fabricating micro dies combines a deep UV-lithography, anisotropic etching techniques and metal electroplating with bulk silicon based on Ni with a thickness of 50 μm . The outer diameter of Ni-micro dies is 3mm and the diameter of extrusion section is 270 μm for a cross section, 500 μm for a circle section. The low linear density polyethylene(LLEPD) in the shape of a pellet has been used of micro extrusion. The billet was placed in a container manufactured by electric discharge machining and extruded through the micro die by a piezoelectric actuator. The micro extrusion has succeeded in a forming such micro parts as micro bars, micro cross shafts.

Key Words : Micro parts(마이크로 포밍), MEMS(초소형기계기술), Extrusion(압출)

1. 서론

핸드폰, PDA, 정보저장장치 등 각종 전자기기의 소형화(miniaturization) 경향은 빠르게 진행되고 있다. 이런 경향은 다기능의 소형 전자기기에 관심을 갖는 소비자들의 단순한 호기심이나 그에 따른 수요에 기인할 뿐 아니라 앞서 언급한 의료, 센서, 광전자 기기 등 새롭게 대두되는 응용분야에서도 장치 시스템의 소형화가 필요하기 때문이다. Mp3-player와 같은 새로운 기능이 추가되고 있는 휴대폰의 소형화, 저장용량 4GB 수준인 동전 크기의 마이크로 하드디스크 시스템, 먹는 캡슐형 무선 카메라 및 SPM 기술을 응용한 데이터 나노 저장기술 전자기기의 소형화를 보여주는 좋은 예(

Fig. 1)라 할 수 있다.

이러한 극미세 부품의 제조는 지금까지 주로 LIGA 공정과 같은 인쇄법(lithographic technology)에 기초하여 제조되어 왔다. 인쇄법은 높은 정밀도와 대량생산이 가능하다는 장점이 있어 기술적으로 많은 발전이 이루어져 왔으나, 제조비용이 높고 특히 인쇄법을 통해 제조할 수 있는 재료가 금속에서는 주로 순금속 및 2원계 합금 수준으로 제한되어 있는 단점을 갖고 있기 때문에 결과적으로 응용분야의 확대에 많은 제한 사항으로 작용하고 있다. 따라서 재료의 종류에 제한을 받지 않고 대량생산이 가능하며 near-net shape 또는 net shape의 성형이 가능한 통상의 금속 성형 기술 개념을 적용하여 극미세 형상체를 제조하기 위한 연구가 최근 관심을 끌고 있다.[1]

1. 부산대학교 정밀가공시스템

2. 부산대학교 정밀가공시스템

교신저자: 부산대학교 기계공학부, bmkim@pusan.ac.kr

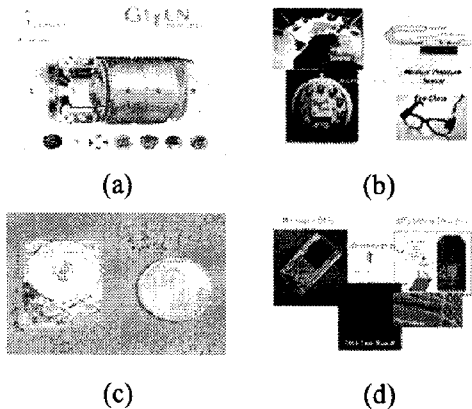


Fig. 1 The field of using micro parts (a) radio capsule (b) sensor and optical instrument (c) micro hard disk (d) medical equipment

지금까지 통상의 금속 성형 기술이 마이크로 부품 성형에 적용 되어진 사례는 주로 블랭킹 (blanking), 벤딩(bending) 및 드로잉(drawing) 등이다. 블랭킹 공정을 통해 제조되는 대표적인 마이크로 부품으로는 리드프레임 및 내외부 리드 등이 있으며, 또 다른 사례로는 cup for electron gun 부품 제조에 적용되는 드로잉 기술이나 일체형 캔 및 로드를 제조하기 위해 적용되는 다단계 성형 기술 등이 있다.[2] 그러나 블랭킹, 벤딩 등의 성형 기술은 통상의 금속 성형 기술 중 극히 일부에 해당되는 기술로서 단조, 압출과 같은 massive 성형 기술을 통해 극미세 부품을 제조한 사례는 거의 살펴볼 수 없다.

따라서 본 연구에서는 MEMS 공정에 의해 제작된 마이크로 금형을 이용한 금속 성형 기술 중 하나인 압출을 극미세 부품 제조에 적용시켜 극미세 금속 부품 성형 기술의 광범위한 적용을 위한 프로토타입을 제시하고자 한다.

2. 마이크로 금형 제작

2.1 마이크로 금형 설계

다양한 조건에서의 마이크로 압출 실험을 위해 원, 십자 형상의 압출부를 가진 두 종류의 마이크로 금형을 설계 및 제작하였다. 원형 압출부의 지름은 500 μm 이고 십자형 마이크로 금형의 제원은 아래 Table 1 에 나타내었다.

Table 1 The construction of micro dies

Material	Ni
Diameter	3000 μm
Extruding Diameter	270 μm
Thckiness	50 μm

본 연구의 금형 제작은 (재)부산테크노파크 MEMS/NANO 부품생산센터에서 제작되었으며 제작과정을 공정단계별 웨이퍼 가공 단면도에 따라 나타내면 Fig. 3 과 같다. SU-8 을 이용한 UV-Lithography, Ni 금속 증착 공정을 통해 두께 50 μm 의 마이크로 금형을 제작하였으면 Fig. 4 에 나타내었다.

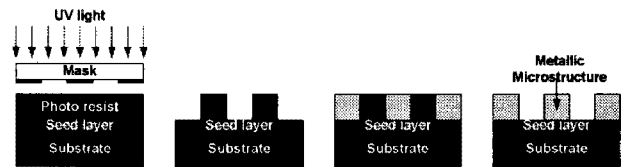


Fig. 2 The flow chart of fabricating micro dies

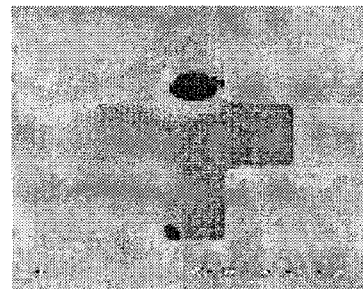


Fig. 3 The SEM image of a micro die

3. 마이크로 압출기 설계 및 제작

3.1 마이크로 압출기 개념설계

전방압출을 이용하였고 장치소형화를 위해 구동부는 작은 이송거리(Min. Stroke: 1 μm)로 큰 압출력(Max. Force: 4000N)을 낼 수 있는 Piezo-electric actuator 를 사용한다. UV-lithography 로 제작된 두께 50 μm 의 마이크로 Ni 금형을 인발 다이스 형태로 컨테이너 하부에 고정시킨 후 재료를 투입한다. 재료의 연화점까지 가열 후 가압한다. 마이크로 부품 압출기의 개념도는 Fig. 5 와 같다.

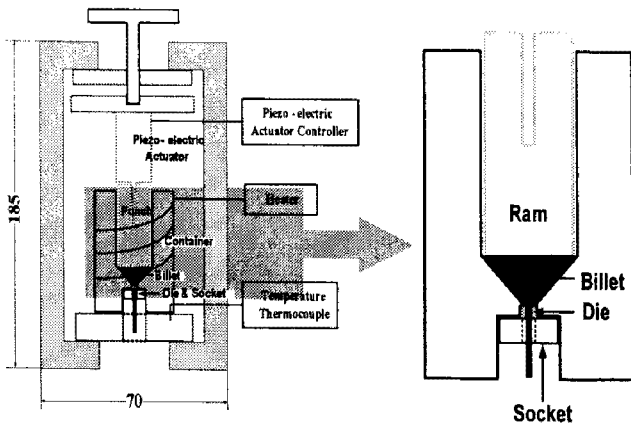


Fig. 4 The schematic illustration of a micro extruder

3.2 마이크로 압출기 상세설계

압출 공정 해석은 슬래브 해석과 강소성 유한 요소 해석 프로그램인 Deform-2D를 통한 FEM 시뮬레이션 해석을 통해 수행하였다. 슬래브 해석 시 2354N의 압출 하중 데이터를 얻었으며 FE-시뮬레이션 해석 시 3400N의 결과를 얻었다. 두 결과 데이터를 토대로 하여 최대 출력하중이 4000N인 소형 Piezo-electric actuator를 선정하였다.

$\mu = 0$ 일 때,

$$P = 2Y \ln\left(\frac{D_0}{D_f}\right) = Y \ln\left(\frac{A_0}{A_f}\right) = Y \ln R$$

$D_0 = 10\text{mm}, D_f = 1.5\text{mm}$ 일 때,

$$P = 7.9 \times \ln\left(\frac{10^2}{1.5^2}\right) = 29.97(\text{MPa})$$

$$F = P \times A_0 = 29.97 \times \frac{\pi}{4} \times (10)^2 = 2353.84(\text{N})$$

Fig. 5(a) The load calculated by slab method

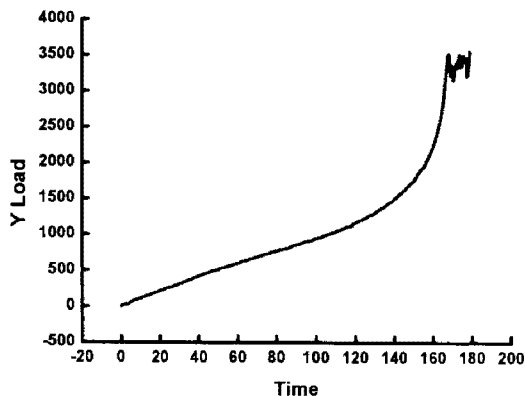


Fig. 5(b) The load calculated by FE-simulation

Deform-2D 해석 결과를 토대로 SKD-61을 소재로 한 컨테이너의 강도 해석을 수행한 결과 Fig. 6와 같은 결과를 얻었다. 컨테이너 응력분포를 살펴보면 최대 Von-mises 응력은 82.4MPa로 나온다. 이는 컨테이너의 소재인 SKD-61의 항복강도인 1600MPa에 미치지 못한 것으로 컨테이너는 압출 성형 중 아무런 변형을 일으키지 않는다.

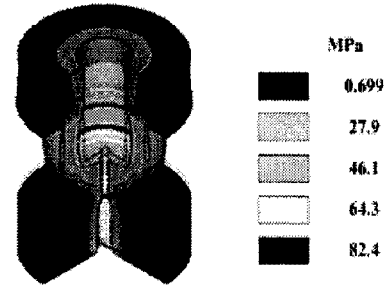


Fig. 6 The strength analysis of a container

3.3 마이크로 압출기 제작

컨테이너의 설계도면 및 조립 사진을 Fig. 7에 나타내었다. 금형 결합은 금형의 분리와 결합이 용이하도록 컨테이너의 압출부에 금형 지름 3mm만큼의 홈가공하여 금형을 억지 끼워 맞춘 후 소켓을 이용하여 고정했다. 소재 가열 및 가열 온도 측정을 위해 컨테이너 주위에 최대 400°C까지 가열 가능한 열선을 감았고, 그 온도를 측정하기 위해 백금 박막 온도 센서를 사용하였다. Ram에 나사홈을 가공하여 Piezo-electric actuator와 연결하였다.

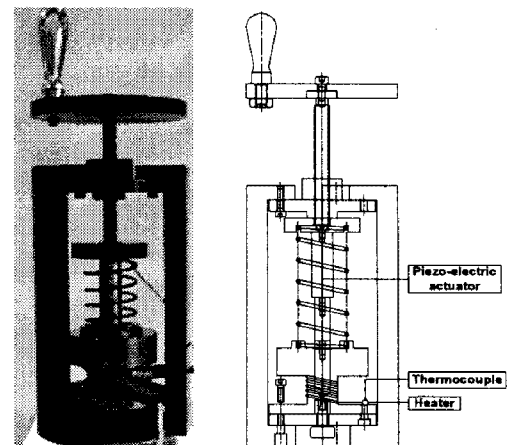


Fig. 7 The photograph and design drawing of a micro extrusion machine

4. 압출 실험 및 최적성형조건

압출 장치는 UV-lithography 를 통해 제작된 마이크로 금형을 고정시키고 소재를 가열하는 압출 장치부, 백금 박막 소자를 이용해 온도를 측정하는 측정부, piezo-electric actuator 를 이용해 압출력을 가하는 동력부 등으로 구성된다. 압출 조건은 아래 Table 2 와 같다.

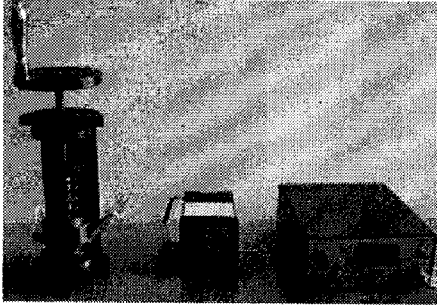


Fig. 8 The photograph of a micro extrusion machine

Table 2 The condition of a extrusion

Temperature	80℃
Stroke	10 μ m
max. load	3300N

5. 실험 결과

압출 성형된 제품을 스퍼터 (sputter)를 이용하여 표면을 6 nm의 두께로 백금 도금한 후 전자주사현미경을 이용해 확인하였다.

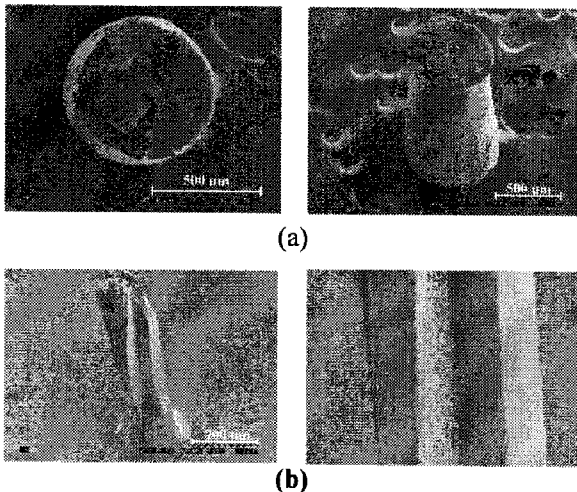


Fig. 9 The SEM image of micro parts (a) circle section
(b) cross section

6. 결론

본 연구에서는 마이크로 부품 압출기를 개발하기 위해 SU-8 을 이용한 UV-lithography 공정을 통해 50 μ m 두께의 Ni 마이크로 금형을 제작하였으며, 열간 직접 압출 공정을 위한 압출 하중 해석, 소재 유동 응력 해석 및 컨테이너 강도해석의 수행을 통해 STD-61 을 소재로한 마이크로 부품 압출기를 제작하였다. Piezo-electric actuator 를 이용한 압출 실험을 통하여 원, 십자 샤프트를 성형하였다. 이상의 개발 과정에서 금속 성형 기술 중 하나인 압출을 극미세 부품 제조에 적용시켜 극미세 금속 부품 성형 기술의 광범위한 적용을 위한 프로토타입을 제시하였으며 다음과 같은 개선 방안을 도출하였다.

- (1) 금형의 휨(deflection)을 방지하기 위해서 50 μ m 두께 이상으로 금속 증착해야 한다.
- (2) 제품의 정확한 치수정밀도와 산화방지를 위해 성형 분위기는 진공 상태를 유지하여야 하며 선형적인 압출하중을 가하기 위한 Programable Power Supply 를 이용해 압출속도를 제어해야 한다.

후 기

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

참 고 문 헌

- [1] J. P. Hong, 2006, Macnie design, Bookshell, pp.615~623.
- [2] Yasunori Saotome, Hiroyuki Iwazaki, 2001, Superplastic backward microextrusion of for micro-electo-mechanical systems, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 119, pp. 307~311.
- [3] K. K. Paek, 1998, 1998, Technical trends in MEMS(MicroElectroMechanical System, J. Res. Inst. Adv. Mater., Vol. 1, pp33~4.
- [4] 1995, DEFORMTM-2D, SFTC.