

Al계 초소성합금과 Zr계 비정질합금의 마이크로 진동성형에 관한 연구

손선천*, 박규열+, 나영상**

(논문접수일 2007. 6. 21, 심사완료일 2007. 9. 12)

A Study on the Micro Vibration Forming of Al-based Superplastic Alloy and Zr-based Bulk Metallic Glass

Seon Cheon Son*, Kyu Yeol Park⁺, Young Sang Na⁺⁺

Abstract

Micro forming is a suited technology to manufacture very small metallic parts(several mm~ μ m). Al5083 superplastic alloy with very small grains has a great advantage in achieving micro deformation under low stress due to its relatively low strength at a specific high temperature range. Micro forming of $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ bulk Metallic glass(BMG) as a candidate material for this developing process are feasible at a relatively low stress in the supercooled liquid state without any crystallization during hot deformation. In this study, the micro formability of Al5083 superplastic alloy and bulk metallic glass, $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$, was investigated with the specially designed micro vibration forming system using pyramid-shape, V-shape and U-shape micro die pattern. With these dies, micro vibration forming was conducted by varying the applied load, time. Micro formability was estimated by comparing the height of formed shape using non-contact surface profiler system. The vibration load effect to metal flow in the micro die and improve the micro formability of Al5083 superplastic alloy and $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ bulk Metallic glass(BMG).

Key Words : Micro Vibration Forming(마이크로 진동성형), Superplastic Alloy(초소성합금), Bulk Metallic Glasses(비정질합금), Metal Flow(금속유동)

1. 서론

최근 첨단 산업의 급속한 발전으로 인하여 고 기능화 소형

화를 요구하는 제품들이 증가함에 따라 경량화 및 집적화를 갖춘 미세부품의 생산기술이 필수적으로 요구된다. 따라서 좁은 공간에서 많은 기능을 가지며 이동성의 편의를 동시에

* 울산대학교 대학원 기계자동차공학부 (scson@mail.uc.ac.kr)
주소: 680-749 울산광역시 남구 무거2동 산29번지 남울산우체국 사서함 18호
+ 울산대학교 기계자동차공학부
++ 한국기계연구원 첨단재료연구본부

추구하기 위해 기존 부품들의 형상이 더욱 미세하고 복잡해지고 있으며, 이에 따른 성형 정밀도도 만족 되어야 할 것이다. 이러한 요구로 인하여 지금까지 미세 형상 부품의 가공을 위해 마이크로 에칭 또는 MEMS 기술, 고에너지 빔을 이용한 LIGA프로세스, Laser에 의한 미세 가공기술 등이 적용되어져 왔으나, 인쇄법(Lithography)으로 대변되는 기존의 생산기술들은 고 비용에 따른 생산단가의 증가로 인하여 실용화에 많은 부담을 가지고 있다.

반면에 마이크로 소성을 이용한 미세부품의 제조기술 개발은 대량생산에 따른 가격경쟁력을 높일 수 있으며, 기존의 제조방법으로 어려웠던 3차원 형상의 부품 제조가 가능한 것으로 기대되어 미세 부품 제조분야에 많은 공헌이 기대된다⁽¹⁻³⁾.

마이크로 소성가공이란 금속재료의 소성 변형능을 이용하여 수 μm 에서 수 mm 정도의 크기에 해당하는 소형부품을 성형하는 기술로 정의된다⁽²⁾. 마이크로 소성가공에 대한 연구는 최근에 일본, 독일 등에서 활발하게 수행되고 있으며, 일련의 연구결과에 의하면, 마이크로 소성가공을 성공적으로 수행하기 위해서는 적합한 소재의 선택이 중요하며, 그 중에서도 재료의 결정립의 크기가 성형성에 지대한 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다⁽⁴⁾. 마이크로 소성가공의 경우에는 일반 금속재료에 비하여 결정립의 크기가 작은 초소성 합금이나 비정질 합금 등에 적용이 보다 용이한 것으로 추정할 수 있다. 그러나 부품의 소형화로 인한 치수효과(size effect) 때문에 통상적인 금속 성형의 기술을 마이크로 성형 공정의 최적화나 성형성 평가 등 공정제어 분야에 직접 적용할 수 없으며, 주로 경험적인 실험을 통해 성형공정에 대한 기초 연구가 이루어지고 있다⁽⁵⁾.

한편, 초소성합금(super plastic alloy)은 특정한 온도에서 인장파괴가 일어나기 까지 수백% 이상의 연신율을 가지며, 이러한 변형특성은 재료 결정립의 크기, 변형속도 및 온도 등에 영향을 받는다. 그리고 초소성 변형을 위해서는 대략 $10\mu\text{m}$ 전후의 미세한 결정립의 크기가 요구되는 것으로 알려져 있다.

비정질 합금은 유사 초소성현상이 발생하는 과냉각액체 영역(Supercloood liquid state)의 구간에서 변형제한이 거의 없는 뉴토니안 점성유동(Newtonian viscous flow) 거동을 보임으로써, 작은 하중으로도 성형이 가능하고 우수한 성형성을 지니기 때문에 미세 성형에 적합한 소재이다⁽⁶⁻⁷⁾. 이에 본 논문에서는 초소성 재료의 대표적인 Al 5083 초소성 합금과 $\text{Zr}_{62}\text{Cu}_{17}\text{Ni}_{13}\text{Al}_8$ 벌크 비정질 합금을 소재로 자체 제작한 마이크로 진동성형 시스템을 이용하여 마이크로 성형 실험을 수행하였다. 성형시간 및 성형하중의 형태에 따른 성

형 특성을 관찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

Al 5083 초소성 합금 및 $\text{Zr}_{62}\text{Cu}_{17}\text{Ni}_{13}\text{Al}_8$ 벌크 비정질합금의 미세 성형성 실험을 위하여 Fig.1 과 같이 PZT Actuator를 이용한 마이크로 진동성형 시스템을 자체 제작하였다. 본 시스템은 크게 시편에 하중을 가하는 하중 제어부와 목표 온도를 설정하여 열을 공급하는 온도 제어부로 구성되어 있다. 초소성 합금과 비정질합금은 가공 시 온도 변화에 민감하게 반응하므로 K-type 열전대 2개를 사용하여 열을 공급해주는 코일히터와 실제적인 시편의 온도를 측정 제어하도록 실험조건 및 장치를 설계하였다.

하중을 가하는 펀치는 PZT Actuator의 상하방향 구동에 의해 위치를 제어하며, 구동은 전압의 크기와 주파수의 크기로 제어가 된다. PI사의 PZT Actuator(P-840.40)의 성능은 최대 구동 거리는 100V 전압 인가 시 $60\mu\text{m}$ 의 변위를 가지며 이때 발생하는 최대 Force는 1000 N이다. Fig. 2는 본 연구에서 사용된 PZT Actuator(P-840.40)의 성능을 측정된 결과를 보여주고 있다. 주파수 제어시 사용한 구동계(AMPLIFIER)는 PI사의 E-505 모델을 사용하였으며 이 구동계의 주파수 범위는 100 V 전압 인가시 최대 300 Hz 까지 가능하다. PZT Actuator의 구동은 DC-offset 및 AC 구동이 가능하다.

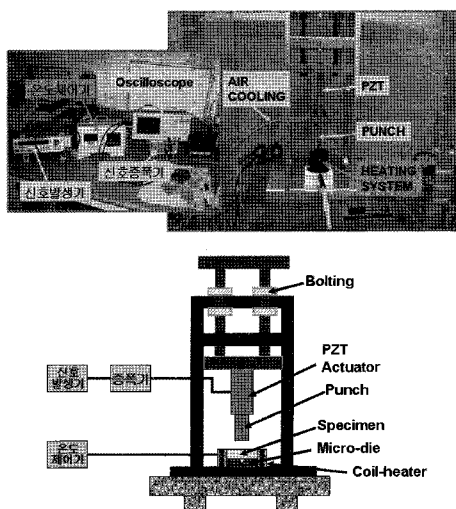


Fig. 1 Photograph and schematic illustration of Micro Vibration Forming system

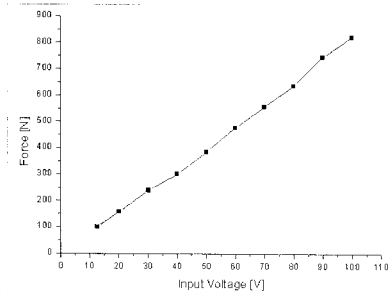


Fig. 2 The force performance for input voltage (V) of PZT Actuator (P-840.40)

성형성을 평가하는 방법으로 앞서 진술한 마이크로 진동 성형 장치와 평판 상의 단결정 실리콘(100) 표면에 포토리소그라피(Photolithography) 및 이방성 에칭기술을 적용하여 미세형상을 부여하는 방법으로 제작된 미세금형(Micro die)을 사용하였다. Fig. 3(a)는 밑변의 크기가 100 μm 인 피라미드 형상을 갖는 실리콘 미세금형의 주사전자현미경(SEM) 사진이다. 또한 (b), (c)는 V홈 형상을 갖는 실리콘 미세 금형으로 V홈 입구의 폭(W)은 각각 50 μm , 100 μm 이다. (d)는 DRIE (Deep Reactive Ion Etching) 기법을 사용하여 U홈 형태의 마이크로 금형으로써 금형의 폭(W)은 50 μm , 깊이(D)는 40 μm 의 크기로 제작하였다.

실험에 사용한 AL5083 합금의 시편은 1 mm 두께의 판재를 5 mm x 5 mm 크기의 정방형으로 절단하여 사용하였고, 벌크 비정질합금의 시편은 직경이 3 mm인 봉상을 0.3~0.5 mm 높이로 절단하여 사용하였다. 시편의 가공 면은 미세연마지를 사용하여 가공한 후 폴리싱 가공을 수행하여 표면조도를 제어하였다.

마이크로 진동성형 실험은 V홈, U홈 및 Pyramid형상의 미세 금형 위에 소재를 올려놓고 온도 조건, 하중조건을 변화시키면서 실험을 수행하였다. 온도조건은 AL5083 초소성 합금의 경우에는 초소성 특성을 고려하여 490~550 $^{\circ}\text{C}$ 범위에서 실험을 수행하였고, 비정질합금의 경우에는 비정질합금의 유리전이온도와 결정화개시온도 범위인 400~440 $^{\circ}\text{C}$ 범위에서 실험을 수행하였다. 하중의 인가는 DC off-set에 의한 정적하중과 AC전압에 의한 편진 하중을 인가하여 실험을 수행하였다. 마이크로 성형성을 평가하기 위해서 실험 후 소재에 전사된 형상을 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하고, 소재의 성형된 끝단까지의 높이를 각각 측정하였다. 성형된 크기의 측정은 비접촉 3차원 미세형상 측정기인 Nano System사의 'NV-E100'을 이용하여 측정하였다.

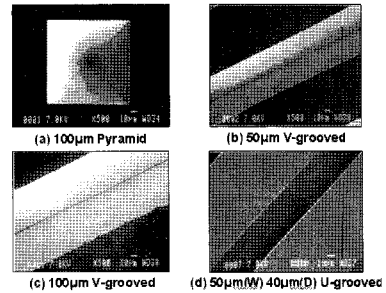


Fig. 3 SEM microphotographs (x500) of Pyramid (a), V-grooved(b,c) and U-grooved(d) silicon die

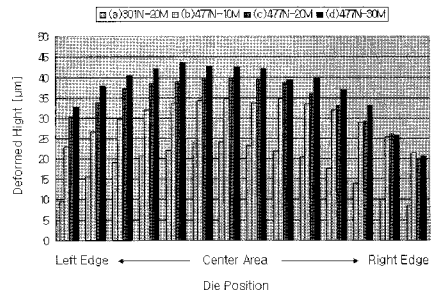


Fig. 4 The height of micro formed pyramid-type of AL5083 superplastic alloy (Temp=530 $^{\circ}\text{C}$, $W_a=100 \mu\text{m}$ Pyramid, Load=301 N, Time=20 min (a), Load=477 N, Time=10 min (b), 20 min (c) and 30 min (d))

3. 실험결과 및 고찰

3.1 정적하중에 의한 초소성합금과 비정질 합금의 마이크로 성형성

정적 하중에 의한 AL5083 초소성 합금과 $\text{Zr}_{62}\text{Cu}_{17}\text{Ni}_{13}\text{Al}_8$ 비정질 합금의 마이크로 성형성을 조사하기 위하여 한번의 길이가 100 μm 인 Pyramid 금형을 이용하여 성형성 실험을 수행하였다. 성형온도는 AL5083의 경우에는 530 $^{\circ}\text{C}$ 이며, $\text{Zr}_{62}\text{Cu}_{17}\text{Ni}_{13}\text{Al}_8$ 는 435 $^{\circ}\text{C}$ 조건에서 실험하였다. Fig. 4는 AL5083 초소성 합금을 각각 정적하중 301 N에서 20분간 실험한 결과와 정적하중 477 N 하에서 10분, 20분 및 30분 동안 성형 실험하여 전사된 피라미드형상 높이를 비접촉 3차원 미세형상측정기를 이용하여 측정된 결과를 보여주고 있다. 측정결과 금형의 가운데 부분에서 가장 큰 값을 가지며 금형의 가장자리로 갈수록 성형높이는 줄어들었다. 성형의 높이는 작용하는 하중이 클수록, 작용하는 하중의 시간이

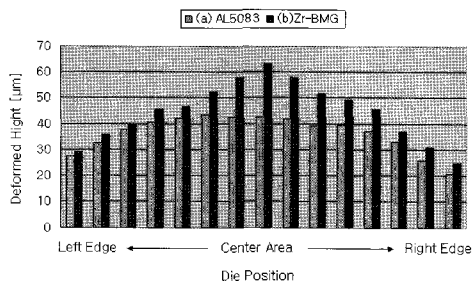


Fig. 5 The hight of micro formed pyramid-type of AL5083 superplastic alloy (a) and $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ bulk metallic Glasses (b) (Time=30 min, $W_d=100 \mu m$ Pyramid, Load=477 N, Temp=530°C (a), 435°C (b))

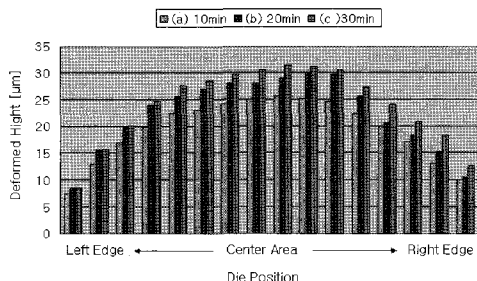


Fig. 7 The hight of micro formed pyramid-type of AL5083 superplastic alloy ($W_d=100 \mu m$ Pyramid, Load=477 N (50 Hz) Temp=530°C, Time=10 min (a), 20 min (b) and 30 min (c))

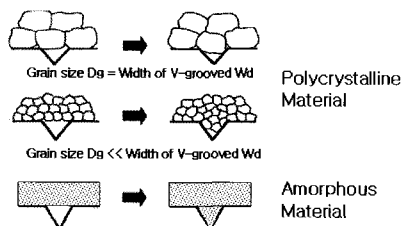


Fig. 6 Schematic diagram showing that material with small grain size shows good replication of the V-grooved pattern on the micro die⁽⁸⁻⁹⁾

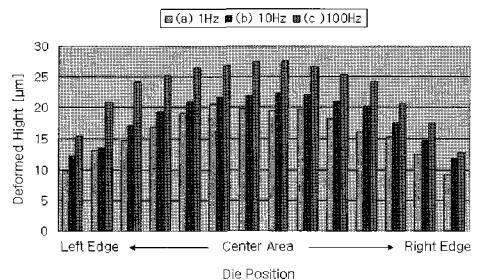


Fig. 8 The hight of micro formed pyramid-type of AL5083 superplastic alloy ($W_d=100 \mu m$ Pyramid, Time=20 min, Temp=530°C, Load=239 N (DC)+239 N (1 Hz AC) (a), 239 N (10 Hz AC) (b) and 239 N (100 Hz AC) (c))

많을수록 성형높이가 크다는 것을 알 수 있다. 금형의 가운데 부분에서의 성형높이는, 하중이 301N일 때 24.1 μm이고, 477 N일 때 10분, 20분, 30분 조건에서의 성형높이가 각각 34.7 μm, 39.9 μm, 43.5 μm이었다.

Fig. 5는 정적하중 477 N 하에서 AL5083 초소성 합금과 $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ 비정질 합금을 각각 온도 530°C와 435°C에서 30분 동안 성형 실험한 결과이다. 같은 하중 조건하에서 성형높이가 금형의 가운데 부분에서 Zr-BMG의 경우 63.2 μm이고, AL5083의 경우 42.5 μm로써 가장 큰 값의 차이를 보였고, 금형의 가장자리로 갈수록 성형높이가 낮아지며, 두 재료간의 성형높이의 차이 간격은 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이 마이크로 성형성에 있어서 결정립의 크기가 성형성에 큰 영향을 준다는 사실을 확인할 수 있다.

3.2 진동부가에 의한 초소성합금과 비정질합금의 마이크로 성형성

진동하중 부가 시간에 의한 초소성 합금과 비정질 합금의 마이크로 성형성을 조사하기 위하여 한 번의 길이가 100 μm인 Pyramid 금형을 이용하여 실험을 수행하였다. 성형온도는 AL5083의 경우에는 530°C이며, $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ 은 435°C에서 실험하였다. Fig. 7은 AL5083 초소성 합금을 주파수 50Hz에서 각각 편진하중 0-477 N 조건에서 실험하여 얻어진 마이크로 성형형상 높이를 측정한 결과이다. 성형높이는 금형의 가운데부분에서 가장 크고 가장자리로 갈수록 성형높이가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 가장 큰 성형높이는 성형시간에 대해서 각각 25.7 μm, 29.8 μm 그리고 31.5 μm의 값을 보였다.

Fig. 8은 AL5083 초소성 합금을 진동 부가하는 주파수의 변화에 대한 실험결과를 보여주고 있다. 하중 477 N를 각각

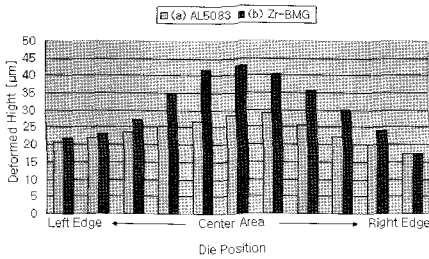


Fig. 9 The height of micro formed pyramid-type of AL5083 superplastic alloy (a) and $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ bulk metallic Glasses (b) (Time=30 min, $W_d=100 \mu m$ Pyramid, Load=477 N (100 Hz AC), Temp=530°C (a), 475°C (b))

1 Hz, 10 Hz 및 100 Hz 조건으로 편진 부가로 실험하여 얻어진 마이크로 성형형상 높이를 측정된 결과이다. 성형높이는 금형의 가운데부분에서 가장 크고 가장자리로 갈수록 성형높이가 낮아지며, 성형높이는 진동수가 높아질수록 커지는 것을 확인할 수 있다. 가장 큰 성형높이는 주파수 조건에 대해서 각각 20.6 μm , 22.4 μm 그리고 27.6 μm 의 값을 보였다.

Fig. 9는 하중 477 N, 진동부가 주파수 100 Hz 하에서 30분 동안 성형 실험한 결과이다. 실험결과 금형 가운데 부분에서의 성형이 크게 이루어지며 비정질합금의 성형성이 초소성합금의 성형성 보다 크게 나타남을 확인할 수 있다. 또한 금형의 가장자리로 갈수록 성형성의 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 가장 큰 성형높이는 초소성합금의 경우 29.1 μm 이었고, 비정질합금의 경우 42.9 μm 이었다.

3.3 금형 내부의 마이크로 성형성

앞의 실험결과로부터 정적하중 조건과 진동 부가시 성형 결과를 살펴보면 금형의 가운데 부분의 성형이 가장 크게 되고 금형의 가장자리로 갈수록 성형의 크기가 줄어드는 것을 관찰할 수 있다. 또한 Zr-비정질합금의 경우가 AL5083 초소성 합금의 경우보다 성형성의 차이가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 성형성의 분포는 원주형 소재 단조시 소재와 금형 접촉면에서의 압력분포를 힘의 평형조건과 전단변형에너지 조건을 이용하여 슬래브 해석법으로 계산하면 반지름 방향 x에서의 압력을 구할 수 있다. 이때 작용하는 압력 p의 분포는 아래 식(1)과 같다.⁽¹⁰⁾ Fig. 10은 이러한 압력분포를 도식적으로 표현하고 있다.

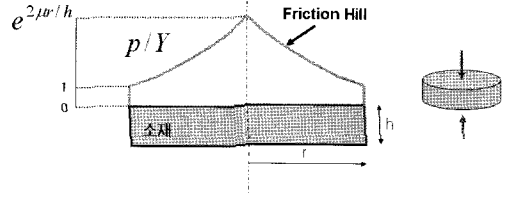


Fig. 10 The pressure distribution of the forging process for circular-shape material (Friction hill)⁽¹⁰⁾

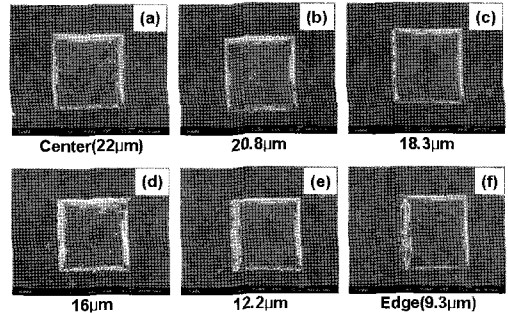


Fig. 11 SEM microphotographs (x500) of the AL5083 deformed specimens with pyramid dies (AL5083, center(a), (b), (c), (d), (e) and edge(f))

$$p = Y e^{2\mu(r-x)/h} \quad (1)$$

따라서 편치의 가운데 부분이 가장 큰 하중상태에 놓이게 되고 가장자리로 갈수록 작용하는 하중의 크기가 작아지므로 성형되는 크기도 작아진다. Fig. 11은 AL5083 초소성 합금을 정적하중 239 N, 온도 530°C, 시간 20 min 조건하에서 한 번의 길이가 100 μm 인 Pyramid-die를 이용해서 실험한 결과를 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 결과이다. 금형의 가운데 부분의 성형된 형상이 가장 크며 가장자리 방향으로 갈수록 성형 크기가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 성형된 형상의 크기는 각각 22 μm , 20.8 μm , 18.3 μm , 16 μm , 12.2 μm 그리고 9.3 μm 이다.

Fig. 12는 $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ 비정질 합금을 정적하중 477 N, 온도 435°C, 시간 40 min 조건 하에서 한 번의 길이가 100 μm 인 Pyramid-die를 이용해서 실험한 결과를 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 결과이다. 금형의 가운데 부분의 성형된 형상이 가장 크며 가장자리 방향으로 갈수록 성형 크기가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 성형된 형상의 크기는 각각 61.3 μm , 58.5 μm , 50.2 μm , 43.5 μm , 33.3 μm 그리고 25 μm 이다.

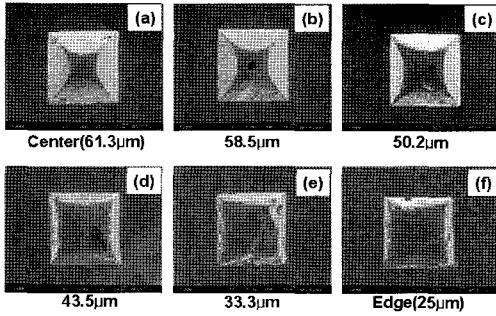


Fig. 12 SEM microphotographs (x500) of the $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ deformed specimens with pyramid dies ($Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$, center (a), (b), (c), (d), (e) and edge (f))

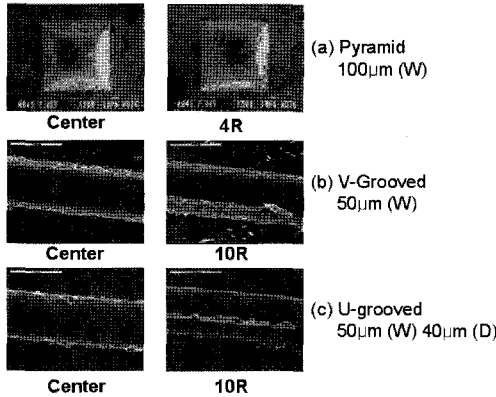


Fig. 13 SEM microphotographs (x500) of the Al5083 deformed specimens with pyramid dies (a), V-grooved (b) and U-grooved(c) (Load=477 N, Time=30 min, Temp=530°C)

3.4 금형 내부의 금속유동 고찰

마이크로 금형내부의 금속의 유동특성을 고찰하기 위해서 Pyramid type, V-grooved, U-grooved 다이를 이용하여 AL5083 초소성 합금과 $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ 비정질 합금을 여러 가지 조건하에서 실험을 수행하였고, 진동부가의 영향이 각각의 소재의 성형성에 미치는 영향에 대해서 관찰 하였다.

Fig. 13은 AL5083 초소성 합금에 대해서 여러 가지 형태의 마이크로 다이를 사용하여 하중 477 N, 온도 530°C, 시간 30min 조건에서 실험한 결과이다. 성형된 형상을 관찰해 보면 금형의 중앙부 성형은 좌우 대칭이 되도록 성형이 되었고, 중앙부에서 일정거리 떨어진 곳에서의 성형은 소재가 금형 안에서 자국의 흔적을 남기면서 성형이 된 것을 관찰 할

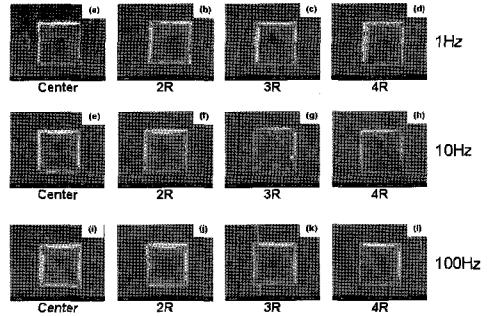


Fig. 14 SEM microphotographs (x500) of the Al5083 deformed specimens with pyramid dies (Time=20 min, Temp=530°C, Load=DC239 N+AC239 N (1 Hz) : (a)~(d), (10 Hz) : (e)~(h) and (100 Hz) : (i)~(l))

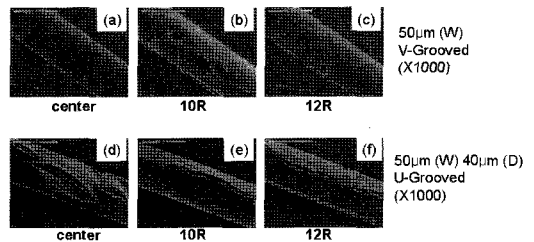


Fig. 15 SEM microphotographs of the $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ deformed specimens with V-grooved die (a), U-grooved die (b) (Load=477 N, Time=30 min, Temp=435°C)

수 있다. 이는 마이크로 성형과정에서 금형 안에서의 소재의 이동이 하중방향으로의 주된 이동이 있고, 또한 금형의 중앙부에서 가장자리 방향으로의 소재의 이동이 존재한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 14는 AL5083 초소성 합금의 마이크로 성형에 있어서 진동부가의 효과를 관찰하기 위해서 정적하중 239 N에 진동하중 239 N를 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz의 가진 조건으로 성형한 결과를 보여주고 있다. 이 결과로부터 가진 주파수가 1 Hz일 경우에는 금형 내부의 소재 이동이 확연하게 관찰이 되나 주파수가 10 Hz, 100 Hz에서의 성형결과에는 아주 미미한 소재의 이동 흔적이 관찰된다. 따라서 마이크로 성형성 품질을 향상시키는데 진동부가의 효과가 기대된다.

Fig. 15는 $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ 비정질 합금의 금형 내부에서의 유동상태를 관찰하기 위해서 V-Grooved 금형과 U-Grooved 금형을 이용하여 마이크로 성형실험을 수행한 결과이다. 금형의 중앙부위의 성형성은 좌우의 치우침이 없

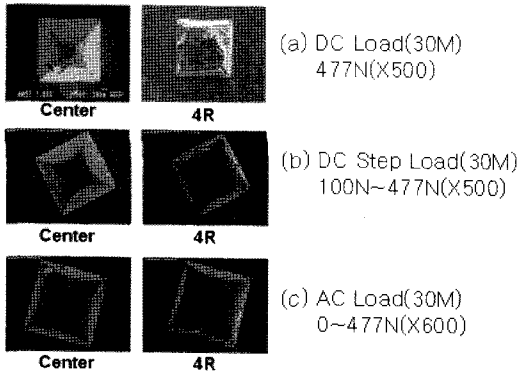


Fig. 16 SEM microphotographs of the $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ deformed specimens with Pyramid die (DC Load=477 N (a), DC STEP load=99.4 N~477 N (b), AC load=0~477 N (c), Time=30 min, Temp=435°C)

이 성형이 되었으나 U-grooved 에서의 성형시에는 표면에 크랙이 V-grooved 에서의 성형보다 더 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 가장자리 위치에서의 성형은 가장자리 방향으로의 이동은 작으며 펀치에 의한 하중방향으로의 성형이 크게 일어나는 것을 알 수 있다.

비정질 합금의 경우에는 성형성에 미치는 인자 중 변형속도의 영향이 크다고 알려져 있다. 변형속도의 영향을 관찰하기 위해서 정적하중, STEP하중, 진동부가 상태에서의 성형을 실시하여 그 결과를 Fig. 16에 나타내었다. 성형의 크기는 정적하중 상태일 때가 가장 크고 다음이 STEP 하중(단계별로 하중을 높임) 그리고 진동부가 하중시 성형의 크기는 가장 작은 결과를 주었다. 그러나 성형된 소재의 표면에 크랙이 발생하였는데, 정적하중 시가 가장 심한 크랙 현상을 보였고 STEP하중 시는 경미한 크랙이 관찰되었으며 진동하중 시에는 표면에 크랙이 관찰 되지 않았다. 따라서 비정질 합금의 마이크로 성형에 있어서 진동부가의 효과는 성형된 소재 표면의 크랙을 발생시키지 않고 성형할 수 있는 조건을 제공할 수 있다고 하겠다.

4. 결론

본 연구에서는 Al5083 초소성 합금과 $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ 비정질 합금을 이용하여 마이크로 진동 성형가공 실험을 수행하였다. 이로부터 마이크로 성형시에 성형성은 재료가 가지는 결정립의 크기에 의존하기 때문에 같은 조건하에서 그 크기가 작지만 결정립을 가지는 Al5083 초소성 합금 보다

는 결정립을 가지지 않는 $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ 비정질 합금의 성형성이 좋았다. 또한 마이크로 성형에 있어서 진동부가 하중이 마이크로 성형성에 영향을 미친다는 사실을 확인하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 초소성 합금과 비정질 합금의 성형에 있어서 성형하중과 시간을 증가시키면 성형크기가 커지며 같은 조건일 경우 비정질 합금의 성형성이 초소성 합금보다 좋다.

(2) 진동부가 시 주파수를 높이면 성형성이 좋아지며 성형이 이루어진 후 성형높이를 측정하면 금형의 중앙부위가 가장 큰 성형이 이루어지고 금형의 가장자리로 갈수록 성형높이가 작아진다. 마이크로 금형의 완전한 형상을 전사하기 위한 성형조건 들 중 진동부가의 효과를 관찰할 수 있었다.

(3) Al5083 초소성 합금의 마이크로 성형시 진동부가를 실시하여 성형을 하면 금형 내부에서의 소재의 유동성을 개선시켜 성형성 정도를 좋게한다.

(4) $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ 비정질 합금의 마이크로 성형시 진동부가를 실시하여 성형을 하면 소재의 변형속도에 영향을 주어 성형표면에서의 크랙발생을 억제시킨다.

참고문헌

- (1) Lee, Y. S., 2004, "Deformation Behavior of Bulk Amorphous Alloys during Hot Forming Process," *KSTP*, Vol. 12, No. 8, pp. 696~703.
- (2) Geiger, M., Kleiner, M., Eckstein, R., Tiesler, N. and Engel, U., 2001, "Microforming," *Annals of the CIRP*, Vol. 50, pp. 445~462.
- (3) Engel, U. and Eckstein, R., 2002, "Microforming-from basic research to its realization," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 125-126, pp. 1~10.
- (4) Saotome, Y. and Iwazaki, H., 2001, "Superplastic backward microextrusion of micro parts for micro-electro-mechanical systems," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 119, pp. 307~311.
- (5) Lee, N. K., Choi, T. H., Lee, H. J., Choi, S. O., Park, H. J. and La, W. K., 2005, "Development of Micro Metal Forming Manufacturing System," *KSMTE Spring conference*, 2005, pp. 383~388.
- (6) Na, K. H., Park, H. J. and Cho, N. S., 2000, "Development of Manufacturing Technology for Milli-Structure," *Proceedings of the Korean Society*

- of Precision Engineering Conference(II)*, KSPE, pp. 1039~1042.
- (7) Inoue, A., 2000, "Stabilization of metallic supercooled liquid and bulk amorphous alloys," *Acta Mater*, Vol. 48, pp. 279~306.
- (8) Saotome, Y., Zhang, T. and Inoue, A., 1999, "Microforming of MEMS parts with amorphous alloys," *Mater. Res. Soc. Proc.*, Vol. 554, pp. 385~390.
- (9) Ok, M. R., Suh, J. Y. and Hong, K. T., 2004, "Micro Forming of Bulk Metallic Glass using the Deformation Behavior in the Supercooled Liquid Region," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 13, No. 1, pp. 9~14.
- (10) Kim, N. S., Lim, Y. T. and Jinn, J. T., 2002, *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 286~290.