

Al5083 초소성 합금과 Zr-BMG의 Cavity 위치에 따른 마이크로 성형연구

손선천^{1#}, 박규열²

A Study on the Micro Forming of Al-based Superplastic Alloy and Zr-BMG for the Cavity Position

S. C. Son, K. Y. Park

Abstract

Micro forming is a suited technology to manufacture very small metallic parts(several mm~ μ m). In this study, the micro forming property was studied, using Al5083 superplastic alloy with micro grain, suitable for the micro forming process and Zr-BMG amorphous with pseudo-superplastic phenomena in the supercooled liquid state. Micro forming experiments under stastic load status showed that distortion by slip and spin of the grain system and slip inside the grain was observed in the Al5083 superplastic alloy. In case of Zr-BMG, because there is no grain, the distribution of the forming property was similar to the load distribution between punch and metal.

Key Words : Micro Forming(마이크로 성형), Superplastic Alloy(초소성합금), Bulk Metallic Glass(비정질합금), Metal Flow(금속유동)

1. 서론

최근 첨단 산업의 급속한 발전으로 고-기능성을 가진 소형부품 및 제품은 경량화 및 집적화를 갖춘 미세부품에 대한 생산기술을 필요로 한다. 마이크로 소성성질을 이용한 미세부품의 제조기술 개발은 대량생산에 의한 가격경쟁력과 더불어 3차원형상의 부품제조가 가능하며, 여러 가지 합금을 활용할 수 있어 재료의 제한을 받지 않는 장점을 가지고 있어서 미세부품 제조분야에 많은 공헌이 기대된다[1-3]. 마이크로 소성가공이란 금속재료의 소성변형 능력을 이용하여 수 μ m에서 수 mm 정도의 크기에 해당하는 소형부품을 성형하는 기술로 정의되며[2]. 결정립의 크기가 작은 초소성합금이나 결정립이 존재하지 않는 비정질합금 등이 마이크로 소성가공에 적합한 소재라고 알려

져있다. 한편, 부품의 소형화로 인한 치수효과(size effect) 때문에 종래의 금속성형기술을 마이크로 성형에 직접 적용할 수 없으며, 여러 가지 실험을 통해 성형공정에 대한 기초 연구가 이루어지고 있다[4]. 초소성합금은 특정한 온도에서 인장파괴가 일어날 때까지 수백% 이상의 연신율의 특징을 가지며, 비정질 합금은 유사 초소성현상이 발생하는 과냉각액체 영역(supercooled liquid state)의 구간에서 변형제한이 거의 없는 뉴토니안 점성유동 거동을 보임으로써, 작은 하중으로도 성형이 가능하고 우수한 성형성을 지니기 때문에 미세성형에 적합한 소재이다[5-6].

본 논문에서는 초소성 재료인 Al5083합금과 비정질합금인 $Zr_{62}Cu_{17}Ni_{13}Al_8$ 합금에 대해서 마이크로 성형시스템을 이용하여 마이크로 성형실험을 수행하였다.

1. 울산대학교 기계자동차공학부

2. 울산대학교 기계자동차공학부

교신저자: 울산대학교, E-mail: uivfson@ulsan.ac.kr

2. 마이크로 성형실험 장치

Al5083 초소성합금 및 Zr-BMG의 미세성형실험을 위하여 Fig.1과 같이 PZT actuator를 이용한 마이크로 진동성형 시스템을 설계 제작하였다. 본 시스템은 하중 제어부와 온도제어부로 구성되어 있으며, K-type 열전대를 사용하여 실제온도를 측정 및 보정하여 실험조건을 맞추었다. 하중을 가하는 펀치는 PZT actuator의 상하방향 구동에 의해 위치를 제어하며, 구동은 전압의 크기와 주파수의 크기에 의해 제어된다. 사용된 PI사의 PZT actuator의 성능은 최대 전압(100V)인가 시 60 μ m의 변위를 발생하며 이 때 발생하는 최대 force는 1000N이다.

한편, 본 연구에서는 마이크로 성형성을 평가하기 위해 마이크로 금형 내부에 성형된 재료의 전사특성을 측정하는 방법을 사용하였다. 이를 위해 Fig.2에서 보여주는 바와 같이 (100)실리콘 단결정 기판을 이용하여 이방성 에칭에 의해 피라미드 형상의 마이크로 금형을 제작하였다. 금형의 크기는 가로x세로가 5mmx5mm이며 하나의 금형에 마이크로 금형이 array 형태로 배열되어 있다.

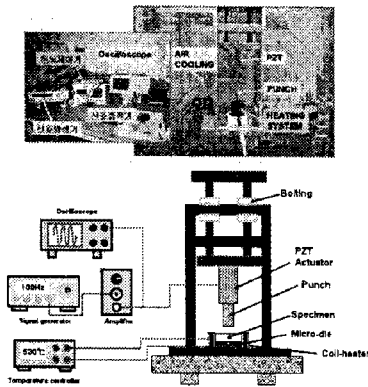


Fig. 1 Photograph and schematic illustration of Micro Vibration Forming system.

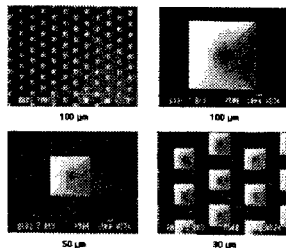


Fig. 2 Micro die and array using by silicon(Pyramid)

한편, 본 연구에서 마이크로 성형성을 평가하

기 위해 마이크로 금형 내부에서의 형상 전사성을 평가하였다. 마이크로 형상의 성형표면을 관찰하기 위해서 주사전자현미경(SEM)를 이용하였고, 성형 후 각 마이크로 금형 array의 위치에 따른 성형높이를 측정하기 위해서 고 분해능 비접촉 3차원 미세형상 측정장비를 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Al5083 초소성합금의 cavity array 위치별 마이크로 성형성

Cavity 위치 별 Al5083 초소성합금의 마이크로 성형성을 조사하기 위하여 한 변의 길이가 100 μ m인 피라미드 cavity array를 이용하여 성형실험을 수행하였다. 성형온도는 기초실험을 통해 얻은 가장 최적온도인 530 $^{\circ}$ C조건하에서 하중은 PZT actuator의 전압의 크기를 조절하면서 정하중 형태로 각각 301N, 477N, 746N으로 인가하였으며, 성형시간은 10분, 20분, 30분 및 40분이다. 각각의 위치별 금형에 전사된 피라미드 형상 중 cavity 중앙부분에 성형된 높이를 비교하여 Fig.3에 보여주고 있다. 하중이 301N에서 477N으로 증가 시 성형높이 증가 폭이 37%증가하였으나, 477N에서 746N으로 증가 시 성형 높이 증가 폭은 12%증가 하였다.

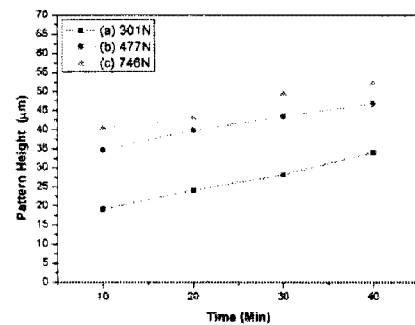


Fig. 3 Pattern height to time at cavity array center of Al5083(Temp:530 $^{\circ}$ C, Wd: 100 μ m)

성형된 피라미드 형상의 높이는 그래프에서 보는 바와 같이 작용하는 하중이 클수록, 하중의 작용시간이 많을수록 성형 높이가 커짐을 알 수 있다. 이때 초소성합금의 마이크로 성형에 있어서 결정립의 크기의 영향으로 재료가 고온상태에서의 유동이 어느 정도까지는 하중에 비례하여 증가하지만 미세한 영역 안으로 더 많은 소재의 이동에는 하중이 증가하고 성형시간이 많아지더라

고 성형이 잘 이루어지지 않는다는 것을 보여준다. 이는 결정립 자체의 변형을 일으킬 수 있는 하중이나 성형시간이 주어지지 않는다면, 소성변형의 주 변형기구인 미세 결정립의 슬립(slip)과 회전(spin)기구에 의한 성형에 한계를 가진다는 것을 의미한다. 또한 시간의 변화에 따라 성형높이의 증가 경향이 정비례하는 것은 실험시간 40분까지는 Al5083 초소성합금의 경우에는 결정립의 성장이 일어나지 않았다는 것을 의미한다.

Fig.4는 피라미드 형상의 마이크로 cavity array 중 각각의 피라미드 금형 위치에 따른 성형높이 측정결과를 보여주고 있다. 성형하중은 477N이며, 성형시간은 각각 10분, 20분, 30분 및 40분이며, 301N의 성형하중 결과와 비교하였다. 실험결과 cavity array 중앙부 성형높이가 가장 높고 가장자리로 갈수록 성형높이가 점차적으로 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 마이크로 금형 내부에서의 금속의 유동이 펀치와 소재 사이의 하중분포의 차이에서 기인함을 알 수 있고, 결정립이 존재하는 초소성합금의 경우 결정립의 탄성회복에 의해 cavity array의 중앙부와 가장자리 부위의 성형높이의 차이가 완만한 형태를 보이고 있다.

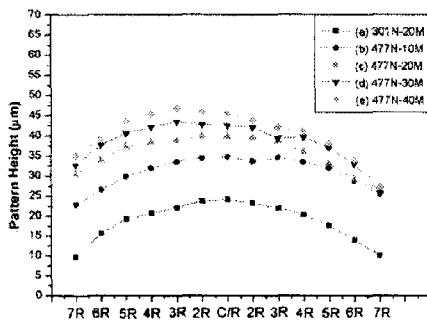


Fig. 4 Pattern height distribution in cavity array of Al5083 (Temp:530 °C, Wd: 100 μ m)

3.2 Zr-BMG의 cavity array 위치별 마이크로 성형성

Cavity 위치 별 Zr-BMG 합금의 마이크로 성형성을 조사하기 위하여 한 변의 길이가 100 μ m인 피라미드 cavity array를 이용하여 성형실험을 수행하였다. 성형온도는 기초실험을 통해 얻은 가장 최적온도인 420 $^{\circ}$ C 조건하에서 하중은 PZT actuator의 전압의 크기를 조절하면서 정하중 형태로 각각 301N, 477N, 746N으로 인가하였으며, 성형시간은 10분, 20분, 30분 및 40분이다. 각각의 위치 별

금형에 전사된 피라미드 형상 중 cavity 중앙부분에 성형된 높이를 비교하여 Fig.5에 보여주고 있다. 성형 높이는 하중이 증가할수록, 성형시간이 많을수록 커지는 것을 알 수 있으나 하중이 증가할수록 성형 높이의 증가 폭은 작아지는 것을 알 수 있다. 또한, 성형시간이 30분을 지나면서 성형 높이의 변화가 곡선의 경향을 보이기 시작하는데 이는 성형 시 가열되는 온도의 영향으로 비정질 합금의 결정질화의 영향으로 판단되며, 성형시간 40분인 시편의 합금특성을 XRD로 조사한 결과 약간의 결정질 생성을 확인할 수 있었다. 실험에 사용된 피라미드 형상의 금형의 최대 높이는 70.6 μ m이며, 성형시간 30분을 기준으로 성형높이를 측정한 결과 하중이 301N의 경우 80.5%, 477N의 경우 89.5%, 746N의 경우 91.2%의 성형 높이를 보였다.

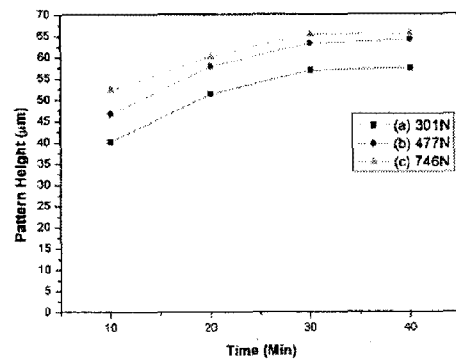


Fig. 5 Pattern height to time at cavity array center of Zr-BMG(Temp:420 $^{\circ}$ C, Wd: 100 μ m)

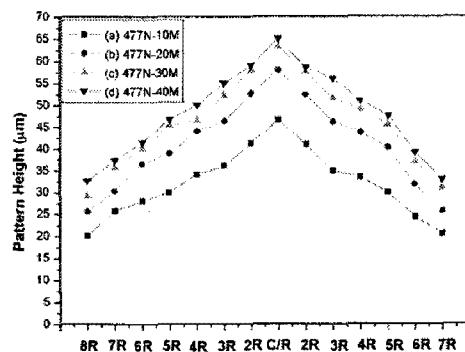


Fig. 6 Pattern height distribution in cavity array of Zr-BMG(Temp:420 $^{\circ}$ C, Wd: 100 μ m)

Fig.6은 피라미드 금형 cavity array 위치에 따른 마이크로 성형 높이의 측정결과를 보여주고 있다. 성형하중이 477N일 때 성형시간이 각각 10분, 20

분, 30분 및 40 성형했을 경우 cavity 위치별 마이크로 성형 높이의 변화를 보여주고 있다. 성형높이는 cavity array 중앙부가 가장 높고 가장자리로 갈수록 성형높이가 점차적으로 낮아짐을 알 수 있으며, 성형시간이 증가할수록 성형높이의 증가 폭은 약간씩 감소하는 경향을 보이고 있다. 성형높이 그래프의 분포형태가 Al5083 초소성합금의 경우와 비교했을 때 중앙부와 가장자리부위의 차이가 훨씬 큰 결과를 보여주고 있으며 이러한 성형높이의 분포는 성형중 발생하는 펀치와 소재사이의 압력분포 경향에 더 근접한 것을 알 수 있다.

3.3 Al5083초소성합금과 Zr-BMG의 마이크로 성형성 비교

Fig.7은 Al5083 초소성 합금과 Zr-BMG 합금에 같은 크기의 정하중을 가하여 성형한 후 Cavity array 위치별 마이크로 성형 높이를 측정한 결과를 보여주고 있다. 성형온도는 각각 530℃와 420℃에서 성형하였고, 성형하중은 477N, 성형시간은 30분으로 하였다. cavity array 중앙부와 가장자리 부위의 성형 높이 분포를 볼 때, Al5083 초소성합금의 경우에는 성형높이의 차이가 23μm이며 완만한 언덕형상의 분포를 보였으며, Zr-BMG의 경우의 성형높이의 차이는 38.2μm이며 가파른 산형상의 성형분포를 보였다.

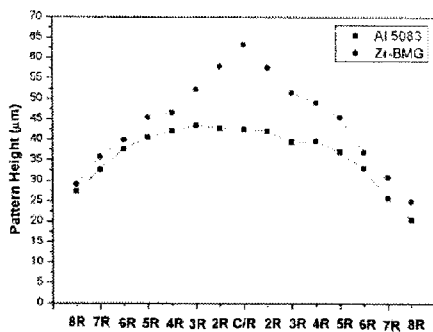


Fig. 7 Pattern height distribution in cavity array of Al5083 and Zr-BMG(Load:477N, Time:30M)

한편 Fig.8과 Fig.9는 성형실험 후 cavity array 중앙부분(C/R)과 2R, 3R 등 가장자리 부분의 성형 형상을 SEM으로 관찰한 것을 보여주고 있다. 초소성합금과 비정질합금의 cavity array 위치에 따라 이러한 성형특성을 갖는 것은 우선적으로 각각의 합금의 결정립의 크기 차이에 기인한다. 비정질합

금의 경우에는 하중이 작용하는 한 마이크로 금형 내부에서 금속의 성형이 계속해서 일어나지만 초소성합금의 경우에는 Fig.10에서 보여주는 바와 같이, 결정립의 크기로 인해 결정립 자체의 변형을 수반하지 않고서는 더 이상의 성형이 일어나지 않는다는 것을 의미한다. 또한 비정질 합금의 경우가 원주형상의 소재를 단조가공 할 때 펀치와 소재 사이에 발생하는 압력분포형상의 성형분포를 나타낸다고 할 수 있다.(Fig.11)

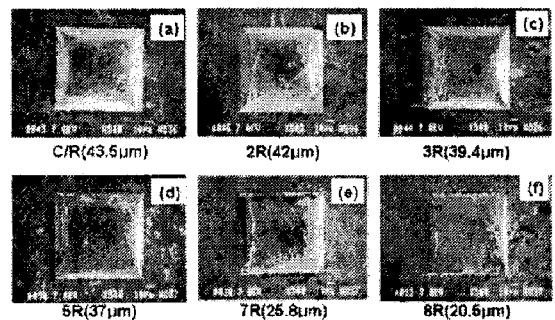


Fig. 8 SEM of micro pattern height of Al5083 (a)C/R, (b)2R, (c)3R, (d)5R, (e)6R & (f)8R

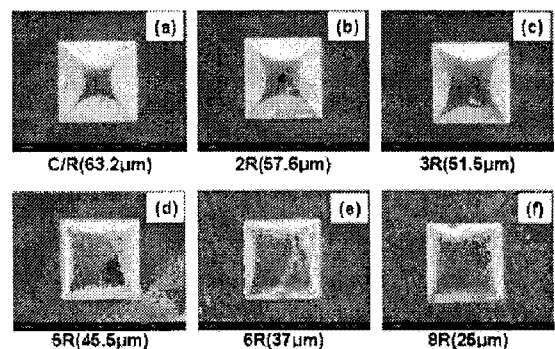


Fig. 9 SEM of micro pattern height of Zr-BMG (a)C/R, (b)2R, (c)3R, (d)5R, (e)6R & (f)8R

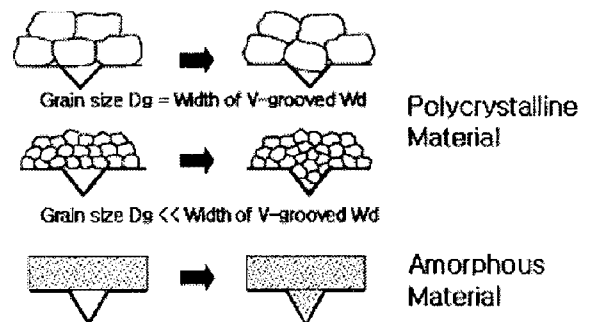
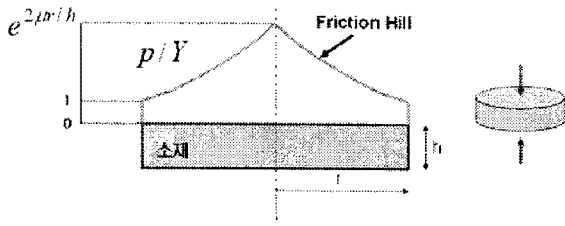


Fig. 10 Schematic diagram of microformability of polycrystalline and amorphous material[3]



참고 문헌

Fig. 11 Pressure distribution of the forging process for cylindrical material with friction die and material[7]

4. 결론

Al5083 초소성 합금과 Zr-BMG 합금에 피라미드 형상의 금형을 이용하여 마이크로 성형성을 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 정하중 상태에서 Al5083 초소성합금의 경우 micro 금형 cavity array 위치 별 성형 높이의 분포를 확인한 결과 가장자리와 중앙부위가 완전한 분포를 보였다.

(2) 이는 마이크로 금형 내부에서의 변형이 초소성합금의 변형기구인 결정립계의 미끄럼(slip) 및 회전(spin) 및 결정립의 탄성회복도 마이크로 성형에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

(3) Zr-BMG의 경우에는 결정립이 존재하지 않으므로 마이크로 금형 내부에서의 금속의 유동이 뉴토니안 점성유동과 더불어 결정립의 탄성회복이 없는 거동을 하며, 중앙부위와 가장자리 부위의 성형높이의 분포가 cavity array 내부의 압력분포에 가까운 형태로 성형이 이루어진다.

- [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., Kieiner, M., Eckstein, R., Tiesler, N., Engel, U., 2001, Microforming Annals of the CRIP, Vol. 50, pp. 445~462.
- [3] Engel, U., Eckstein, R., 2002, Microforming form basic research to its realization, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 125-126, pp. 1~10.
- [4] Nak-Kyu. Lee., Tae-Hoon. Choi., Hye-jin Lee., Seog-Ou Choi., Hoon-Jae Park., Won-Ki La., 2005, Development of Micro Metal Forming Manufacturing System, KSMTE Spring conference, pp. 383~388.
- [5] Na, K. H., Park, H. J., and Cho, N. S., 2000, Development of Manufacturing Technology for Milli-Structure Proceeding Conference(II) KSPE, pp. 1039~1042.
- [6] Inoue, A., 2000, Stabilization of metallic supercooled liquid and bulk amorphous alloys Acta Mater, Vol. 48, pp. 279~306.
- [7] 김낙수, 임용택, 진종채, 2002, 공업재료가공학, Addison-Wesley, pp. 158~164.