

초미세 구리 박판의 마이크로 채널 성형

백승욱^{1#}, 주병윤¹, 임성한², 오수익¹

Micro channel forming of ultra thin copper foil

S. W. Baek, B. Y. Joo, S. H. Rhim, S. I. Oh

Abstract

The objective of this research was to establish the size limitation of micro metal forming and analyze the formability of foil. Flat-rolled ultra thin metallic copper foil(3 μm in thickness) was used as a forming material and foil was annealed to improve the formability at the temperature of 385 $^{\circ}\text{C}$. Forming die was fabricated by using etching technique of DRIE(deep reactive ion etching) and HNA isotropic etching. For the forming die and copper foil were vacuum packed and the forming was conducted as applying hydrostatic pressure of 250MPa to the vacuum packed unit. We successfully obtained the micro channels of 12~14 μm width and 9 μm depth from micro forming process we designed. We also investigated the thickness strain distribution of foil from experiment and FE simulation result. Micro channels had a good formability of smooth surface and size accuracy. We expect that micro metal forming technology will be applied to production of micro parts.

Key Words : Micro Forming, Micro Channel, Thin Foil

1. 서론

기계가공법 중 포밍 기술은 공정을 단순화 시킬 수 있고 대량 생산에 적합한 장점을 지니고 있어 현대 금속 가공 기술의 근간을 이루고 있다. 이러한 장점으로 인해 초소형 기계 부품의 제작에도 포밍 기술을 응용하려는 시도가 최근 활발이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 마이크로 포밍 기술을 이용하여 초미세 금속 박판에 미세 채널을 성형하고 그 성형성을 분석하고자 한다. 최근에 보고된 미세 기계 가공으로는 마이크로 펀칭[1], 마이크로 익스트루전[2], 마이크로 엠보싱[3], 마이크로 채널 성형[4]등이 있으며 이 밖에도 딥드로잉 관련 기술[5]도 소개되고 있다. 임프린트 기술은 주로 고분자 소재를 바탕으로 몰드에 의

해 가공이 이루어진다. 하지만 이번 연구에서는 금속 소재에 정수압을 가하여 마이크로 채널을 성형하게 된다. 성형에 사용된 재료로는 두께 3 μm 의 구리 포일을 사용했으며 성형을 위한 다이로는 반도체 공정을 이용하여 폭 12~14 μm , 깊이 9 μm 의 그루브를 가지는 Si wafer 를 사용했다. 성형은 250MPa의 cold isostatic pressing 을 이용했다. 이번 논문에서는 본 연구팀에서 제안했던 마이크로 채널 성형 공정과 그 성형 결과를 보여주고자 한다.

2. 공정 설계

2.1 공정 설계

이번 연구에서 성형은 CIP(cold isostatic pressure,

1. 서울대학교 기계항공공학부

2. 한국기술교육대학교 기계정보공학부

교신저자 E-mail: baeksw@paran.com

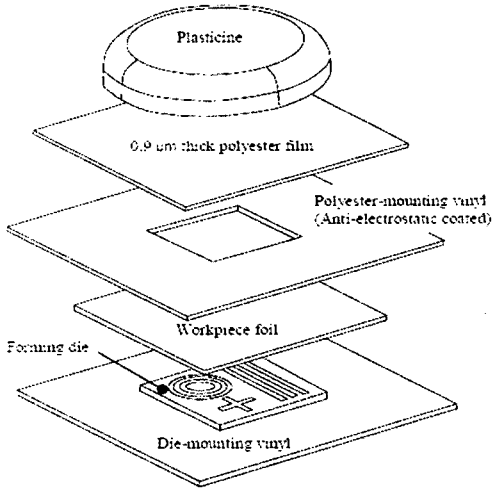


Fig. 1 A stack composed of die-workpiece-polyester film-plastine

Autoclave engineers corp.) 장비를 사용했으며 성형 압력은 250MPa 을 가했다. Fig. 1 은 성형을 위해 진공 포장된 스택의 구성을 나타내고 있다. 80 μm 두께의 폴리머 bag 에 스택을 구성하여 진공 포장하게 된다. 다이를 고정하기 위한 vinyl 을 맨 밑에 깔고 다이와 포일을 놓고 0.9 μm 두께의 폴리 에스터 필름을 상층에 위치시킨다. 그리고 압력 전달 매체로서 plasticine 을 맨 위에 위치시킨다. plasticine 과 포일 사이에 위치하는 폴리 에스터 필름은 표면이 매우 매끄럽고 연신율이 매우 좋다. 따라서 성형에 미치는 영향을 최소화 할 수 있으며 성형 후 포일을 분리하는데 도움을 준다. 포장재로 사용된 폴리머 bag 은 재질의 stiffness 가 커서 정수 압력을 전달하기 힘들다. 따라서 plasticine 은 균일하게 압력을 전달하는 역할을 하게 된다. 이렇게 구성된 스택은 앞서 말한 폴리머 bag 을 이용하여 0.05Torr, 200℃의 진공 챔버 내에서 진공 포장한 후 250MPa 의 hydrostatic pressure 를 이용하여 가압 성형 된다.

2.2 성형 재료

이번 연구에서 사용된 초미세 금속 포일은 두께 3 μm 의 어닐링 된 구리이다. 구리의 연성을 증가시키기 위해 385℃에서 1 분 동안 어닐링 처리를 했다. Fig. 2 는 어닐링 전후의 구리 포일의 grain structure 를 보여준다. 열처리 시간은 결정의 성장과 관계되어 성형시 deformation 에 영향을 끼

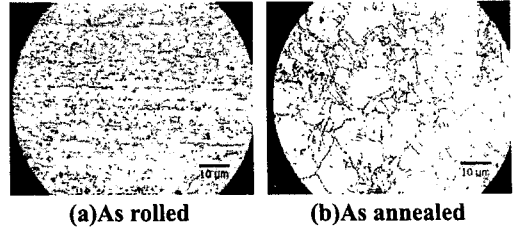


Fig. 2 In-plane grain structure of 3.0 μm thick copper foil

치게 되는데 이러한 영향을 고려했을 때 3 μm 의 구리 포일의 경우는 1 분의 열처리 시간이 적절한 것으로 판단되었다. 포일의 기계적 물성치로는 나노 인덴터에 의한 경도 측정 결과 1.1GPa 이었으며 이때 하중은 1000 μN 을 가했다. 또한 인장강도는 394MPa 이며 포일의 두께 공차는 ±0.3 μm 이내이다.

2.3 다이 제작

다이의 소재는 [100]-oriented single crystal n-type Si wafer 를 사용했으며 원하는 치수의 그루브를 얻기 위해 반도체 공정의 에칭을 사용하였다. 원하는 다이의 치수는 12~14 μm의 폭과 깊이 9 μm이다. 10 분 동안 120℃의 온도에서 SPM 클리닝 (H₂SO₄:H₂O₂=4:1)을 실시한 후 세척을 하고 10 초간 불산 수용액 (HF:H₂O=1:10)을 사용하여 클리닝 후 다시 세척을 실시한다. 포토 레지스트(Photo resist) AZ1512 를 1.2 μm두께로 스핀 코팅 후 95℃에서 90 초간 소프트 베이킹(soft bake)를 실시한다. 다음으로 67.5mJ/cm²의 세기로 7 초간 UV exposure 후 AZ300 MIF solution 에서 development 를 수행하고 역시 세척을 한다. 세척이 끝나면 110℃에서 90 초간 하드 베이킹(hard bake)를 실시한다. 9 μm의 그루브를 wafer 에 만들기 위해 DRIE(deep reactive ion etching)공정을 수행한다. DRIE 에 의해 만들어진 그루브는 모서리가 매우 날카롭고 그루브 내부 벽면에 리플(ripple)이 많이 형성되어 포밍을 위한 다이로 적절하지 않다. 따라서 DIRE 공정 후 이러한 문제를 개선하기 위해 HNA 를 이용한 추가적인 에칭 공정이 필요했다. 먼저 남아 있는 PR 을 O₂ 플라즈마와 piranha 용액, 불산을 이용해서 제거하며 세척 후 12×12mm 의 크기로 dicing 을 수행한다. 성형 다이를 제작하기 위한 마지막 공정으로 그루브 내부 벽면에 생긴 ripple 을 제거하기 위해 HNA(HF:HNO₃:CH₃COOH=3:5:3)

Table 1 Fabrication process flow of Si wafer die for micro forming

Process flow	Detail process
Cleaning	H ₂ SO ₄ : H ₂ O ₂ (= 4 : 1) for 10 min at 120 °C Rinse/Dump for 60 sec HF : H ₂ O(= 1 : 10) for 10 sec Spin dry
Spin coating	HMDS: 500 rpm (5 sec), 2500 rpm (7sec) AZ1512:500 rpm (5 sec), 4500 rpm (35 sec)
Soft bake	for 90 sec, 95 °C on hot plate
Exposure	UV, 67.5 mJ/cm ²
Development	AZ300 MIF solution : H ₂ O(= 6 : 1) (70 sec) Rinse/Dump for 60 sec
Hard bake	for 90 sec, 95 °C on hot plate
DRIE	Depth: 9 μm
PR ashing	O ₂ plasma, 1 hour
PR strip	H ₂ SO ₄ : H ₂ O ₂ (= 4 : 1) for 10min at 120 °C Rinse/Dump for 60 sec HF : H ₂ O(= 1 : 10) for 10 sec Spin dry
Wafer dicing	Cut into square plate of 12x12 mm in size
Isotropic etch	HF : HNO ₃ : CH ₃ COOH(= 3 : 5 : 3) for several seconds

Table 2 Die dimension of Si die for micro forming(w: width, d:depth)

	Die_w12d9	Die_w14d9
material	[100]oriented single crystal silicon	[100]oriented single crystal silicon
width(μm)	12	14
depth(μm)	9	9
wall angle(°)	77	77

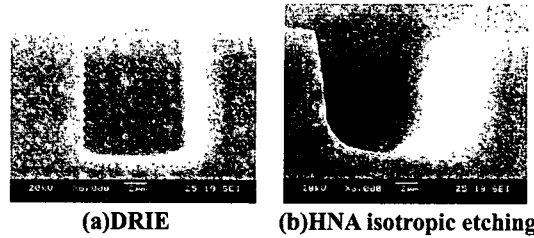


Fig. 3 SEM views of DRIE die and die after HNA isotropic etching for micro forming

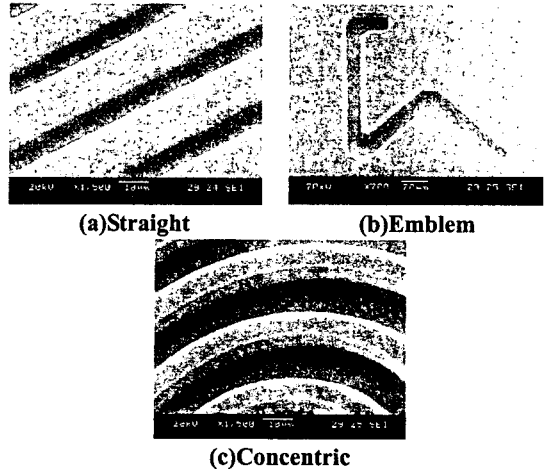


Fig. 4 SEM views of Si wafer die for micro forming

를 사용하여 에칭을 하게 된다. Table 1 은 Si wafer die 를 제작하기 위한 상세한 process flow 를 정리한 것이다. Table 2 는 에칭을 이용해서 성형된 다이의 치수를 요약해서 나타내며 Fig. 3 은 DRIE 에칭과 HNA isotropic 에칭 후의 그루브 모습을 보여준다. HNA 를 이용한 isotropic 을 한 이후에 다소 부드러워진 그루브의 모서리를 얻을 수 있었으며 그루브 내의 ripple 들을 거의 대부분 제거할 수 있었다. Fig. 4 는 위의 방법으로 제작된 실제 성형 다이의 모습을 보여주고 있으며 Fig. 5 는 다이 제작시 생긴 다이의 표면 결함을 보여준다. 기본적으로 Si wafer 다이의 그루브는 에칭 공정에 의해 제작되며 이때 에칭이 균일하게 되지 못하면 그림과 같은 결함이 발생하게 된다. 이러한 결함은 에칭 시간의 조절과 thermal oxidation 을 이용하여 제거할 수 있을 것이다.

3. Micro forming

Fig. 6 과 Fig. 7 은 본 연구 그룹에서 설계한 마이

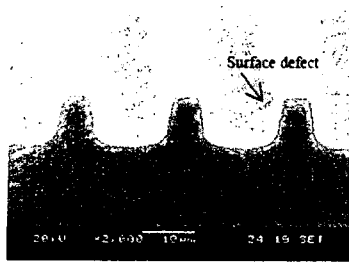


Fig. 5 Surface defect of Si wafer die

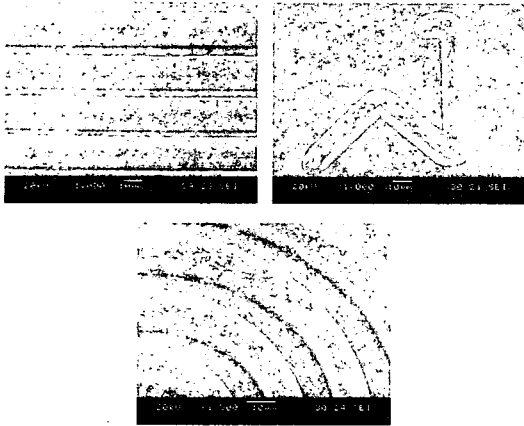


Fig. 6 SEM views of 3 μm copper foil at die contacted side

크로 포밍 공정을 실제 적용한 결과이다. Fig. 6는 die contacted side의 foil의 성형된 모습이며 Fig. 7은 plasticine contacted side의 foil의 성형된 결과를 보여준다. 250MPa의 정수압 하에서 다이 그루브의 치수를 그대로 유지하면서 완벽하게 성형된 결과를 얻을 수 있었다. 표면의 결함도 거의 발견할 수 없었고 채널의 표면이 매우 깨끗하게 유지되고 있는 것으로부터 압력이 plasticine을 통해 균일하게 전달되었다고 생각된다. Fig. 8은 성형된 두께 3 μm 구리 포일의 성형 후 단면의 이미지와 포일의 thickness strain의 실험치와 FE simulation 결과를 비교한 것이다. 성형된 포일의 단면은 비교적 깨끗하고 고르게 성형이 진행되었음을 보여준다. 또한 thickness strain은 실제 실험 결과와 simulation 결과가 크게 다르지 않았고 실험 결과로부터 최대 두께방향 strain은 60% 내외였다. 예상했던 대로 그루브의 모서리 부분에서 가장 큰 thinning이 일어났다. 따라서 보다 고른 두께 분포를 얻기 위해서 그루브의 모서리의 곡률을 더 크게 주어야 할 필요가 있었다. 또한 그루브 주위의 포일의 두께 변화가 거의 없었는데 이

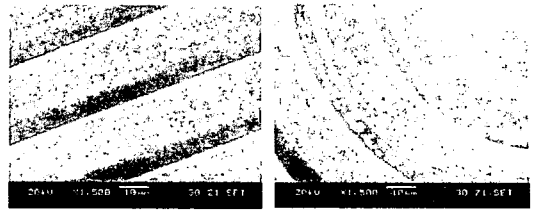
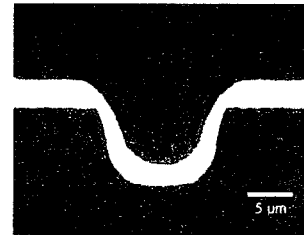
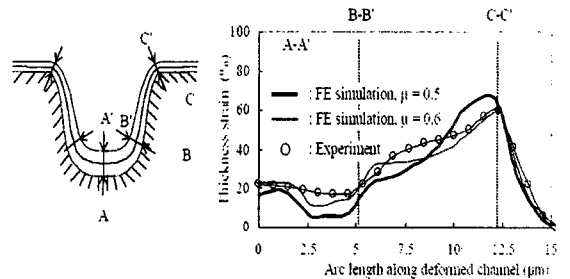


Fig. 7 SEM views of 3 μm copper foil at plasticine contacted side



(a) Sectioning image of channel



(b) Thickness strain of deformed channel

Fig. 8 Sectioning image of channel and comparison of thickness strain distributions of 3 μm copper foil with simulation result

는 250MPa의 비교적 높은 성형 압력에 의해 포일이 그루브 방향으로 이동하지 못한 결과로 예측된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해선 표면의 점착 특성과 마찰 특성을 개선하여 소재의 유동을 원하게 하는 방향으로 접근해야 할 것으로 보인다. 채널의 단면 이미지를 보면 채널의 성형 치수가 그루브의 치수를 그대로 따라가고 있으므로 최적 성형을 위해서 250MPa의 성형 압력은 적합하다고 판단된다.

4. 결론

이번 연구에서는 본 연구팀에서 설계한 마이크로 포밍 기술을 이용하여 초미세 금속 박판의 성형 한계를 규명함과 동시에 성형성을 판단하고자

했다. 생산성과 공정의 단순화에 이점이 있는 포밍 기술을 마이크로 스케일에 적용시켜 그 응용 가능성을 확인해 보고자 했다. 250MPa 의 정수압을 가해 두께 3 μm 의 구리 포일을 최대 성형 높이 9 μm , 폭 12~14 μm 를 가지는 채널 형상으로 성형 하는데 성공했다. 다이는 Si wafer 를 사용했으며 에칭 방법을 사용하여 그루브를 다이에 형상화 할 수 있었다. 포일의 성형성을 현재 수준 이상으로 유지하기 위해서는 다이 그루브의 모서리의 곡률을 향상시킬 필요가 있으며 다이 표면의 점착특성 및 마찰특성을 향상시키는 노력도 필요할 것으로 판단된다. 이번 연구의 결과를 통해 마이크로 포밍 기술이 초소형 기계 부품의 제작에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] S.W. Baek, S.H. Rhim, S.I. Oh, 2005, Evaluation of punching process variables influencing micro via-hole quality of LTCC green sheet, Transactions of Materials Processing, Vol. 14, No. 3, pp. 277~281.
- [2] Geiger, M., Kleiner, M., Eckstein, R., Tiesler, N., Engel, U., 2001, Microforming, Annals of the CIRP, 50/2, pp. 445~459.
- [3] Lke, H., Plancak, M., 1998, Coining process as a means of controlling surface microgeometry, Journal of Materials Processing Technology, 80~81, pp. 101~107.
- [4] B.Y. Joo, S.I. Oh, Y.K. Son, 2004, Forming of Micro Channels with Ultra Thin Metal Foils, Annals of the CIRP, 53/1, pp.243~246.
- [5] F. Vollertsen, Z. Hu, H. Schulze Niehoff, C. Theiler, 2004, States of the art in micro forming and investigations into micro deep drawing, Journal of Materials Processing Technology, 151, pp. 70~79.