[논문] 한국소성가공학회지, 제 15 권 제 4 호, 2006
Transactions of Materials Processing, Vol.15, No.4, 2006

미세스탬핑 공정에서 블랭크 형상의 영향에 관한 연구

심현보#

A Study on the Effect of Blank Shape on the Miniature Stamping

Hyun Bo Shim

(Received February 2, 2006)

Abstract

Due to a recent growth of the area of MEMS and a trend moving toward smaller scale, a micro manufacturing that is usually related with lithography is now emerging. Differently from traditional manufacturing processes, the micro or miniature manufacturing usually requires expensive sophisticated equipments and its characteristics are of high cost and of low productivity. However, a miniature stamping, which makes small sized product with a thin metal usually in the range of meso-scale, can be realized in a low cost and in a high productivity with relatively inexpensive equipments. For a successful development of miniature stamping, lots of obstacles, including material properties related with formability, have to be overcome. Since the thin metal shows distinctive characteristics, e.g., size effect and statistically scattered material properties, the formability of miniature stamping is not good in general and the possible shape with the miniature stamping is limited relatively simple shapes. Since the optimal blank improves formability and the improved formability can make up for problems of material properties, the possibility of success can be increased. This study is carried out to show the possibility of miniature stamping and to verify the effect of optimal blank for the miniature stamping.

Key Words : Optimal Blank, Miniature Stamping

1. 서 론

미세스탬핑(miniature stamping)은 크기가 몇 mm 에서 몇 μm 정도에 이르는 미세하고 작은 초소형의 기계요소를 스탬핑 공정을 이용하여 만드는 성형기술로 정의된다. 미세스탬핑은 소형이면서 정밀도가 높은 메카트로닉스 기술을 필요로 하는 각종 정보통신기기나 정밀기기, 미세수술, 인공장기, 진단과 치료에 따른 고통을 줄일 수 있는 고도의 의료 시스템, 소형기구등에 사용되는 미세부품 제작에 응용된다. 이러한 미세부품의 가공을 위해서는 기존의 생산체계에서 요구되던 고객 요구의 다양화 및 짧은 제품수명주기에 대응하기 위한 제품개발 기간단축과 비용절감의 노력뿐만 아니라 미세제품의 정밀 가공을 위한 노력이 부가적으로 필요하다. 즉 미세성형기술은 전통적인 생산방식에서의 추구하던 생산성 향상, 개발기간을 단축하기 위한 노력뿐만 아니라 기술의 혁신을 요구하고 있다[1~3].

스탬핑공정은 미리 일정형상으로 가공된 소재, 즉 블랭크를 원하는 제품형상이 되도록 미리 제작된 한 쌍의 금형 사이에 넣고 금형을 가압함으로써 소재를 원하는 형상이 되도록 성형하는 공정을 의미한다. 이때 소재의 형상이 필요한 형상보다 클 경우 성형 후 불필요한 부분을 제거한 후 사용한다. 최적블랭크는 스탬핑 후 원하는 최종형상으로 성형이 되는 초기 소재의 모양을 의미하는데 최적블랭크를 사용할 경우 성형 후 제

교신저자: 영남대학교 기계공학부, E-mail: hbshim@yu.ac.kr

거하는 소재의 양을 최소화 할 수 있어 소재의 이용률을 향상시켜 줄 수 있다. 뿐만 아니라 최적 블랭크는 소재의 유동을 쉽게 하여 성형성을 향상시켜 주기 때문에 난성형 형상의 스탬핑 제품도 성형이 가능하도록 도와주는 장점이 있다. 일반적으로 성형이 어려운 형상의 스탬핑 일수록 최적블랭크로 인한 유동개선의 효과가 크게 나타나기 때문에 특히 난이도가 높은 형상의 부품일수록 블랭크의 형상이 미세스탬핑 공정의 개발에 결정적인 영향을 미칠 수 있다.

본 연구는 미세스탬핑에 미치는 블랭크 형상의 영향을 조사하기 위해 수행하였으며 이를 위해 한변의 길이가 3mm 인 정사각형컵 스탬핑 공정을 대상으로 소재의 형상을 달리하면서 성형해석과 미세성형실험을 수행하였다. 본 연구는 미세스탬핑용 박판소재의 물성치 측정에 관한 연구[4]의 후속으로 수행되었으며 이 연구에서 측정한 물성치를 사용하여 미세스탬핑의 성형해석을 수행하였으며, 최적블랭크의 형상은 반경벡터법[5]을 이용하여 결정하였다.

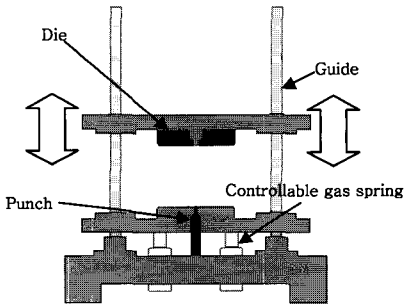
2. 실험장치의 구성

본 연구에 사용된 미세스탬핑 실험장치는 앞의 연구[1]에서 제작된 미세인장시험기에서 그립장치 카트리지를 제거한 후 Fig. 1(a)의 다이세트 카트리지를 교환장착하는 방식으로 제작되었다. 즉 다이세트 카트리지에 개스스프링이 설치된 블랭크 홀더, 그리고 펀치를 카트리지의 하부에 두고, 여기에 3개의 가이드 축을 설치하여 상부금형이 가이드축을 따라 움직일 수 있도록 설계함으로써 인장시험과 스탬핑실험을 하나의 장비에서 가능하게 제작되어 있다. 홀딩력은 가스스프링에 충전된 질소가스의 압력에 따라 조절이 가능하도록 하였으며 이때 질소개스의 압력은 최대측정용량 10bar, 분해능 0.01bar의 디지털 인디케이터(indicator)와 레귤레이터(regulator)를 통해 조절된다. Fig.1(b)는 다이세트 카트리지를 장착한 후의 미세스탬핑 실험장치의 사진을 보여주고 있다.

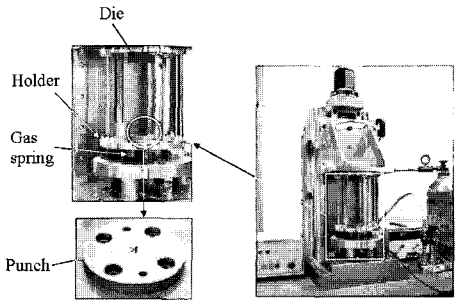
3. 미세 스탬핑실험

3.1 실험조건의 결정

Fig. 2 는 미세스탬핑 실험에 사용된 다이와 펀치의 형상칫수를 나타내고 있다. 다이의 형상은



(a) Die Set Cartridge



(b) Stamping Die

Fig. 1 Set-Up for Stamping

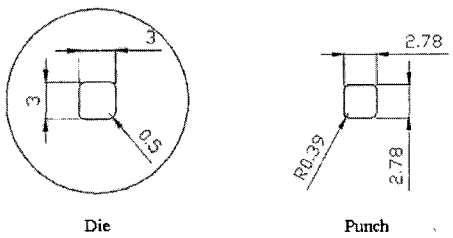


Fig. 2 Geometry of Stamping Die

한 변의 길이가 3mm 이고 모서리반경이 0.5mm, 펀치의 형상은 한 변의 길이가 2.78mm, 모서리반경이 0.39mm 인 정사각형으로 설계하여 펀치와 다이 사이의 간극을 0.11mm 가 되도록 하였다.

본 연구에서는 미세인장시험[4]에서 얻은 물성치를 이용하여 블랭크 형상, 홀딩력, 소재두께, 재질, 컵의 깊이, 최적블랭크의 경우 목표형상 등을 달리하면서 성형해석을 수행하고, 해석 결과를 분석하여 적절한 실험조건을 결정하였다. 블랭크 형상의 영향을 조사하기 위해 성형후 원하는 형상이 되는 최적블랭크와 정사각형 블랭크에 대하여 성형해석과 실험을 수행하여 그 결과를 비교하였다.

성형해석을 위하여 동적외연적 유한요소 성형해석 프로그램인 DynaForm[6]을 사용하였고, 반경벡터법을 이용하여 최적블랭크 형상을 결정하였다. 반경벡터법은 먼저 블랭크 형상을 가정하고 이를 이용하여 성형해석을 수행한 뒤 성형후 형상이 목적형상과의 차이를 측정하여 성형후 목적형상이 되는 블랭크 형상을 찾는 방법으로 실험실 규모의 시편뿐만 아니라 자동차부품 등과 같은 실제부품에도 적용하여 그 정확도가 여러 차례 입증된 바가 있다[5]. 본 연구에 사용된 소재는 580℃에서 풀림처리한 두께 100 μm 의 Cu, 1000℃에서 풀림처리한 두께 100 μm 의 STS 316L, 그리고 1020℃에서 열처리한 두께 50 μm 의 STS 316L 이며 각각에 대한 물성치는 Table 1 과 같다.

Table 1 Material Property[1]

Properties	STS 316L		Cu(99.9%)
	Thickness 100 μm	Thickness 50 μm	Thickness 100 μm
Annealing Temp.(℃)	1000	1020	580
Young's Modulus, E [GPa]	25.9	31.4	22.5
Strength coefficient, K [MPa]	1547	1540	400
Lankford value, R	0.84	0.84	0.58
Work hardening exponent n	0.57	0.54	0.40

Table 2 Cases of Study

	Material	Thickness (μm)	Holding force (N)	Drawing depth (mm)	Flange width (mm)
Case 1	Cu (99.9%)	100	50	1.0	1.0
Case 2	STS 316L	50	50	2.0	1.0
Case 3	STS 316L	100	60	2.2	1.0
Case 4	STS 316L	100	60	2.5	0.65
Case 5	STS 316L	100	60	2.7	0.65

그런데 본 연구는 블랭크 형상이 미세성형에미치는 영향을 조사하고 이를 바탕으로 미세성형의 가능성을 조사하기 위하여 수행되었다. 그런데 미세성형공정을 실제로 수행하는 데는 제품의 크기가 작기 때문에 소재의 취급이나 정렬 등의 어려움이 있다. 따라서 시행착오 횟수를 줄이기 위해 성형해석을 통해 성형가능성을 먼저 조사한 뒤 실제 실험을 수행하는 방식으로 이루어 졌다. 즉 목표형상을 미리 정하기 보다는 시행착오방법으로 목표형상과 홀딩력 등과 같은 공정조건을 설정하고 이를 성형해석을 통해 확인하는 방법으로 공정조건을 설정하였다.

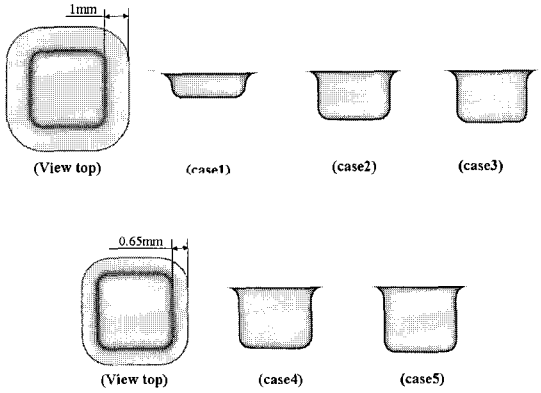


Fig. 3 Target Shapes

Table 2 는 이런 방법으로 결정한 성형조건을 나타내고 있다. Case 1~Case 3 은 성형 후 컵의 깊이가 각각 1mm, 2mm, 3mm 인 경우에 대한 공정조건을 나타내고 있다. 이 조건하에서의 최적블랭크 설계를 위해 성형후 목표형상을 각각의 컵의 깊이까지 성형했을 때 1.0mm 의 균일한 폭의 플랜지가 남는 형상으로 설정하였다. Case 4 와 Case 5 는 성형후 컵의 깊이가 각각 2.5mm, 2.7mm 가 되는 경우에 대한 공정조건을 나타내고 있다. 최적블랭크설계를 위한 목표형상은 각각의 깊이까지 성형했을 때 0.65mm 의 균일한 플랜지폭이 남는 형상으로 설정하였다.

Table 1 을 보면 공정조건을 Table 2 와 같이 설정한 이유를 알 수 있다. 즉 Cu 재질의 목표 깊이를 STS316L 재질에 비하여 낮게 설정한 이유는 Cu 재질의 가공경화지수와 이방성계수가 모두 낮아 성형성이 떨어지고 또 실제 예비실험에서도 쉽게 파단이 일어났기 때문에 목표형상의 컵의 깊이를 낮게 하였다. 또한 Case 4 와 Case 5 는 앞의 경우에 비하여 컵이 깊은데 이 때문에 성형후 플랜지폭을 작게 설정하였다. 즉 최종형상에서의 플랜지폭이 좁을수록 블랭크의 면적이 감소하기 때문에 변형에 대한 저항이 작아 비교적 성형이 쉬워지

기 때문에 깊게 설정하였다. 그런데 본 논문에서 성형성이 나쁜 것으로 간주하고 있는 Cu 재질도 가공경화지수가 0.40 이기 때문에 스탬핑에 일반적으로 채택하고 있는 재질의 가공경화지수에 비하여 낮지 않은 편이기 때문에 미세성형의 어려움을 이 사실로부터 짐작할 수 있다.

3.2 시편의 준비

본 연구에 필요한 블랭크를 준비할 때 시편의 크기가 작아 기존의 블랭킹 가공은 사용이 곤란하고, 또 실험실 규모의 연구이기 때문에 레이저 가공, 와이어방전가공, CIP(Cold Isostatic Pressing) 등과 같은 가공방법을 고려할 수 있다. 이중 CIP 가공의 경우 소재에 열유입이 없기 때문에 가공에 따른 조직의 변화를 유발하지는 않으나 레이저나 방전가공의 경우 가공도중 작용하는 열이 조직의 변화를 유발할 수 있어 블랭크 소재의 준비, 즉 블랭크 형상의 가공을 위해서는 CIP 의 사용이 나은 편이다. 그렇지만 CIP 장비의 사용상의 어려움 때문에 본 연구에서는 와이어방전 가공을 통해 소재를 준비하였다. 대신 와이어 방전에 따른 물성치의 변화를 조사하였다.

Fig. 4 는 방전절단면을 SEM 으로 촬영한 사진이며 와이어 방전가공에 의해 소재의 크기에 관계없이 표면에서 약 8 μm 정도부위까지 방전열에 의한 조직이 변화되었음을 확인하였다. 또한 절단면에서의 열영향부에 의한 물성치의 변화를 조사하기 위하여 풀림처리된 100 μm 두께의 STS 316L 판재를 압연방향에 평행한 방향으로 절취한 뒤 각각 와이어방전절단으로 Fig. 4 의 미세인장시편과 KS 13B 호 인장시편을 각각 제작한 후 KS 13B 인장시편은 Instron 시험기에서, 미세인장시편은 본 연구에서 제작된 인장시험기에서 각각 실험한 결과를 Fig. 5 에 비교하였다. 이렇게 큰 시편과 작은 시편의 인장시험결과를 비교한 이유는 방전가공시 열영향부의 깊이는 시편의 크기에 관계없이 일정하지만 큰 시편의 경우 시편의 단면적에 대한 열영향부의 면적이 미세인장시편에 비하여 작기 때문이다. 즉 시편의 단면적이 클수록 열영향부의 영향이 증가한다는 점을 이용하여 방전절단에 의한 물성치변화를 유추할 수 있다. Fig. 5 의 인장시험결과를 보면 탄성계수의 값을 제외한 항복응력, 최대인장강도, 연신율 등이 서로잘 일치하고 있다. 이 사실을 미루어 볼 때 와이어 방전절단에 의해 소성영역에서의 물성치의 변화는 크지 않다는 사실을 확인할 수 있었다.

Fig. 4 Effect of Wire Cutting on Microstructure

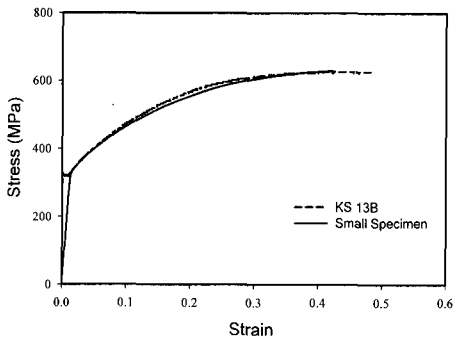
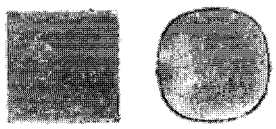
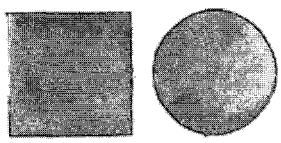


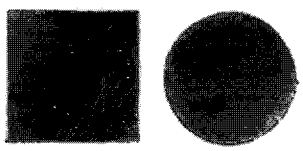
Fig. 5 Comparison of measured stress-strain curve to show the effect of wire cutting



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Fig. 6 Blank Shapes (experiment)

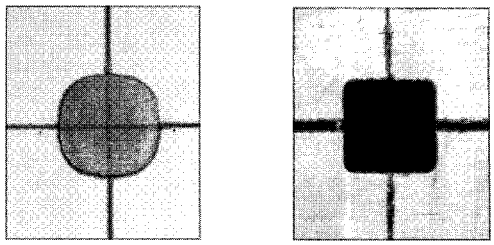
Fig. 6 은 실험에 사용한 블랭크의 모습을 비교한 것으로 Table 2 의 각 경우에 대한 최적블랭크와 비교를 위해 채택한 정사각형블랭크의 모양을 나타내었다. 최적블랭크의 형상은 플랜지의 형상오차가 0.05mm 이내가 될 때까지 반경벡터법을 적용하여 찾았으며 정사각형 블랭크 크기는 소재의 성형 깊이를 감안하여 적절히 결정하였다. 실험에 사용된 블랭크는 미세인장시험 시편과 동일한 방법으로 와이어 방전절단에 의해 제작하였다.

Fig. 6(a)는 Table 2 의 Case 1, 즉 Cu 재질의 성형깊이 1.0mm 에 대하여 블랭크의 형상을 보여주고 있다. 즉 한변의 길이가 5.70mm 인 정사각형 블랭크와 1.0mm 깊이로 성형한 후 폭 1mm 의 균일한 플랜지폭이 되도록 하는 최적블랭크 형상과, 한변의 길이가 5.70mm 인 정사각형블랭크의 모양을 보여주고 있다. 최적블랭크형상은 반경벡터법을 2 차례 적용하여 구하였다. 마찬가지로 Fig. 6(b)는 Table 2 의 Case 2 에 대하여 반경벡터법을 세 차례 적용하여 결정한 최적블랭크 형상과 한변의 길이가 7.0mm 인 정사각형 블랭크를 보여주고 있다. Fig. 6(c)는 Table 2 의 Case 3 에 대하여 반경벡터법을 세 차례 적용하여 결정한 최적블랭크와 한 변의 길이가 7.26mm 인 정사각형 블랭크를 보여주고 있다. 각각의 경우에 대하여 반경벡터법의 적용횟수가 달라지는 이유는 성형형상과 그에 따른 최적블랭크 설계를 위한 목표형상오차가 매우 작기 때문에 블랭크 형상의 미세한 변화에 의해서 성형 후 플랜지의 변화가 민감하게 변화하고 또 성형마지막 단계에서 소재가 블랭크 홀더를 완전히 빠져 다이라운드에 위치할 때 주름이 발생되는 정도가 다르게 나타나기 때문이다.

4. 실험 및 평가

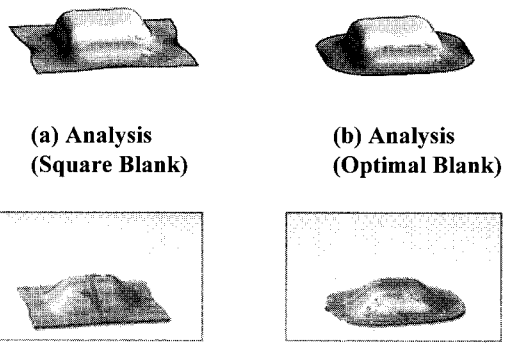
4.1 시편의 정렬

스탬핑시 성형 후 모양은 블랭크의 모양뿐만 아니라 블랭크의 위치에도 크게 영향을 받는다. 본 실험에서는 블랭크의 크기가 아주 작기 때문에 수작업으로 블랭크를 정밀하게 위치시키기가 쉽지 않다. Fig. 7 은 실험시 블랭크를 정확한 위치에 두기 위해 사용한 방법을 나타낸 것이다. 즉 연필로 블랭크에 정밀하게 중심선을 그은 후, 이 블랭크를 미리 중심선을 그려놓은 다이에 일치시킴으로써 블랭크를 정렬한 후. 3mm/min 의 속도로 스탬핑 실험을 하였다.



(a) Blank (b) Holder

Fig. 7 Blank Positioning



(a) Analysis (Square Blank) (b) Analysis (Optimal Blank)

(c) Experiment (Square Blank) (d) Experiment (Optimal Blank)

Fig. 8 Drawing Product: Case 1

4.2 실험결과

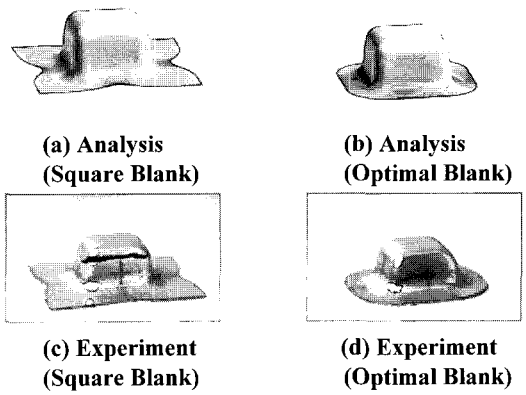
Fig. 8 은 Table 2 의 Case 1, 즉 두께 100 μm 의 Cu 재질로 깊이 1.0mm 까지 성형했을 때의 성형해석과 실험결과를 비교한 것이다. Fig. 8(a)와 Fig. 8(b)는 각각 Fig. 6(a)의 한변의 길이가 5.70mm 인 정사각형블랭크와 최적블랭크를 이용하여 외연적 판재성형해석 프로그램인 DynaForm[3]로 성형해석한 모습을 나타내고 있다. 정사각형 블랭크를 사용한 경우 두께변형률이 최대 +12.8%, 최소 -16.3%로 나타났고, 최적블랭크의 경우 최대 +10.0%, 최소 -15.8%로 나타나 최적블랭크를 사용한 경우가 보다 균일한 변형률분포, 특히 두께변형률의 감소량이 작았다. Fig. 8(c)와 Fig. 8(d)는 각각 정사각형 블랭크와 최적블랭크로 깊이 1.0mm 까지 성형실험한 후의 시편의 모양을 나타내고 있다. 이 경우는 변형의 정도가 크지 않아 정사각형 블랭크의 경우도 찢어짐이 없이 성형이 이루어지고 있다.

성형후 플랜지의 모양에서 벽면부위의 플랜지가 성형해석결과보다 실제 실험에서의 더 많이 남아 있고, 또 실제 실험으로 얻은 시편의 벽면

경사가 성형해석과는 달리 경사지게 보이는데 이 이유는 금형의 가공시 펀치와 다이라운드의 크기를 0.5mm 로 지정하였으나 실제로는 이보다 크게 가공이 되었고, 또한 와이어방전가공으로 준비한 시편의 형상도 당초 계획한 형상과 차이가 있기 때문으로 추정된다. 다시 말하면 금형과 소재의 가공시 발생할 수 있는 미세한 형상오차가 시편의 크기에 비하여 상대적으로 크기 때문에, 변형 후의 형상이 차이가 나는 것으로 판단된다.

Fig. 9 는 Table 2 의 Case 2, 즉 두께 50 μm 의 STS316L 로 깊이 2.0mm 의 컵성형에 대한 성형해석과 실험결과를 비교한 것이다. Fig. 9(a)와 Fig.9(b)는 각각 Fig. 6(b)의 한변의 길이가 7.0mm 인 정사각형 블랭크와 최적블랭크를 이용하여 성형 해석한 모습을 나타내고 있다. 정사각형 블랭크의 경우 두께변형률이 최대 +22.7%, 최소 -17.9%로 나타났고, 최적블랭크의 경우 최대 +29.3%, 최소두께 -15.3%로 나타났다. 최적블랭크를 사용한 경우가 정사각형 블랭크를 사용한 경우보다 두께증가량은 크지만 두께감소량은 약간 작게 나타나고 있다. 보다 엄밀한 파단발생여부의 판단을 위해서는 성형한계도를 적용하는 것이 필요하지만 간단하게 두께감소의 정도로 판단한다면 최적블랭크를 사용한 경우가 그렇지 않은 것에 비하여 파단발생의 가능성이 작아짐을 알 수 있다. Fig. 9(c)와 Fig. 9(d)는 각각 정사각형 블랭크와 최적블랭크로 깊이 2.0mm 까지 미세성형한 후의 시편의 모양을 나타내고 있다. 정사각형 블랭크를 사용하였을 때는 찢어짐이 발생하고 있으나 최적블랭크를 사용한 경우는 찢어짐이 없이 성공적으로 성형이 이루어지고 있음을 잘 보여주고 있다.

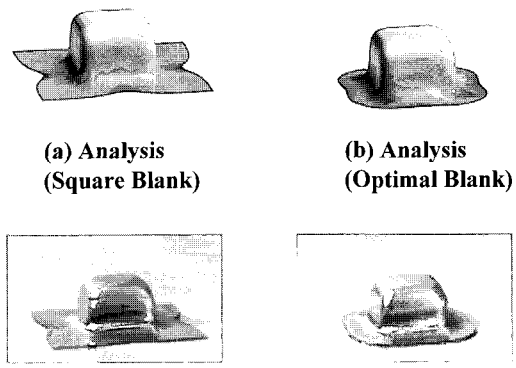
Fig.10 은 Table 2 의 Case 3, 즉 즉 두께 100 μm 의 STS316L 로 깊이 2.2mm 의 컵성형에 대한 성형해석과 실험결과를 비교한 것이다. Fig.10(a)와 Fig.10(b)는 각각 Fig.6(c)의 한변의 길이가 7.26mm 인 정사각형블랭크와 최적블랭크를 이용하여 성형해석한 모습을 나타내고 있다. 정사각형블랭크의 경우 두께변형률이 최대 +16.8%, 최소 -18.7%로 나타났고, 최적블랭크의 경우 최대 +20.1 %, 최소 -17.5%로 나타나 최적블랭크를 사용한 경우가 정사각형블랭크에 비하여 두께감소가 약간 작았다. Fig. 10(c)와 Fig 10.(d)는 각각 정사각형블랭크와 최적블랭크로 깊이 2.2mm 까지 미세성형한 후의 시편의 모양을 나타내고 있다. 정사각형블랭크



(a) Analysis (Square Blank) **(b) Analysis (Optimal Blank)**

(c) Experiment (Square Blank) **(d) Experiment (Optimal Blank)**

Fig. 9 Drawing Product: Case 2



(a) Analysis (Square Blank) **(b) Analysis (Optimal Blank)**

(c) Experiment (Square Blank) **(d) Experiment (Optimal Blank)**

Fig.10 Drawing Product: Case 3

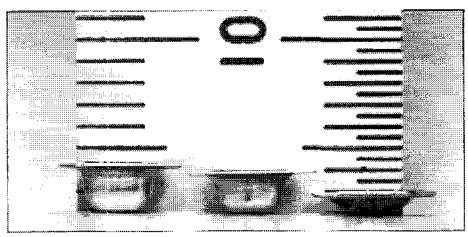


Fig.11 Deformed Specimen with Optimal Blank

를 사용하였을 때는 찢어짐이 발생하고 있으나 최적블랭크를 사용한 경우는 찢어짐이 없이 성공적으로 성형이 이루어지고 있다.

Fig. 11은 스탬핑 실험에 의해 성형된 컵의 측면 사진이다. 오른쪽 컵은 Table 2의 Case 1의 성형한 모습이고, 가운데 컵은 Case 2의 성형한 모습, 그리고 왼쪽 컵은 Case 3의 성형한 모습을 보여주고 있다.

Fig. 12 는 Case 4 와 Case 5 에 대하여 최적 블랭크로 성형한 모습을 나타내고 있다. 즉 두께 100 μm 의 STS 316L 재질로 성형후 플랜지 폭이 0.65mm 인 경우에 대하여 성형가능한 컵의 최대 깊이를 조사하기 위하여 시행착오과정을 거쳐 실험조건을 결정한 것인데 최적블랭크를 사용하였을 때 목표 깊이를 각각 2.50mm, 2.70mm 인 경우까지 찢어짐이 없이 성형이 가능하였다. 목표형상의 컵의 깊이를 2.70mm 보다 더 깊게 하였을 때는 최적 블랭크를 사용하더라도 찢어짐이 발생하였다. 목표형상의 플랜지폭을 0.60mm 로 한 경우는 성형의 마지막 단계에서 플랜지의 끝부분이 다이 라운드 근방에 위치하게 됨에 따라 주름이 발생되어 성형이 불가능하였다.

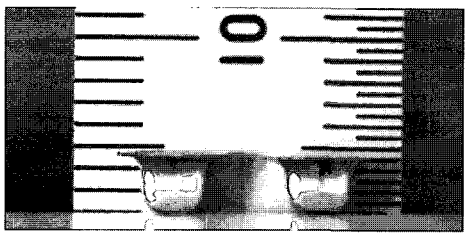


Fig.12 Deformed Specimen with Optimal Blank

5. 결 론

본 연구에서는 미세스탬핑에서의 블랭크형상의 영향을 조사하기 위해 미세스탬핑 프레스를 제작하였다. 또한 반경벡터법을 사용하여 구한 최적블랭크에 의한 실험과 정사각형 블랭크를 사용한 실험을 비교하였는데 최적블랭크를 사용한 경우가 그렇지 않은 것에 비해 성형성이 더 좋은 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 블랭크 형상이 미세 스탬핑 공정에 큰 영향을 미치고 있음을 확인하였으며 따라서 미세스탬핑 공정을 개발할 때 블랭크 형상도 주요한 공정인자로 포함될 수 있음을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 지역대학우수과학자 지원사업(R05-2004-000-10034-0)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] H. Justinger, et al., 2005, Analysis of cup geometry and temperature condition in the miniaturized deep drawing process, 8th ICTP, Verona, Italy.

[2] C. Wang, et al., 2005, Research on microforming apparatus and process of microgear, 8th ICTP, Verona Italy.

[3] J. P. Wulberg, M. Terzi, 2005, Investigation and application of size effects in laser assisted forging of microparts transparent tool, 8th ICTP, Verona, Italy.

[4] 김양수, 심현보, 2006, 미세 스탬핑용 박판소재의 물성치 측정, 한국소성가공학회지 제 15 권 13 호, pp. 247~254.

[5] 심현보, 박종규, 2003, 블랭크 설계와 배치의 일체화를 통한 스탬핑 공정 최적화 시스템의 개발, 한국소성가공학회지 제 12 권 제 7 호, pp. 165~622

[6] Dynaform User's Manual version 960, ETA Software.