

하프피어싱에 의한 원형돌기의 성형 및 마킹공정에의 응용

정효기¹ · 김종호[#]

Forming of Circular Protrusion by Half-Piercing and its Application to Marking of Sheet Metal

H. K. Jung, J. H. Kim

(Received December 9, 2011 / Revised January 26, 2012 / Accepted February 7, 2012)

Abstract

Marking is a process that engraves letters or a pattern onto the surface of sheet metal. During marking, it is important to set the proper working conditions for clarity of the letters. In this study a simple case for forming circular protrusions by half-piercing and embossing was initially attempted to determine the working conditions which gave good results with respect to shape accuracy. Corner-radius and flatness of circular protrusions made under several experimental conditions were measured and compared. It is shown that the precision of protrusions by half-piercing is superior to that of embossing, and the clearance between punch and die exerts a strong influence on the shape accuracy rather than the penetration percentage into the thickness of the sheet metal. The marking dies for "SNUT" letters, as an example, by applying the above results were manufactured with four different clearances. The working variables for the experiment were clearance and marking depth. For the very shallow depth of 0.1mm the letters were not clearly read. Letters marked under other conditions were easily distinguished with increasing marking depth. It was confirmed that the half-piercing technique with proper values of the working variables gives good quality for the marking of sheet metal.

Key Words : Marking, Half-piercing, Embossing, Clearance, Penetration, Marking die, Marking Depth

1. 서 론

금속 박판재에 돌기를 성형하는 방법으로는 프레스 금형에서 소재를 국부적으로 인장성형시키면서 비딩(beading)이나 엠보싱(embossing)에 의해 문자나 형상을 성형하는 방법[1]과 진단금형의 구조에서 펀치를 소재 두께의 40~50%까지 침입시키면서 다이측으로 소재를 돌출시켜 돌기를 형성하는 방법이 있다. 특히 후자의 방법은 하프 피어싱(half-piercing)이라 하여 모터코어(motor core)의 자동 적층이나 판재의 정밀전단 가공법에 많이 적용되고 있으며[2,3], 또한 하프피어싱에 의한 돌

기 성형을 문자, 캐릭터 등의 각인(marking) 작업에도 응용될 수 있다.

대형 제품의 각인에 사용되는 엠보싱은 펀치와 다이 사이의 틈새(clearance)를 소재 두께보다 크게 하여 소성 변형시키는 것으로 돌출된 각인의 선명성이 떨어지는 단점이 있으며, 하프피어싱 방법은 펀치와 다이의 틈새가 소재 두께의 10% 이하로 되기 때문에 돌출부의 형상이 선명하게 되어 중소형 제품의 각인 성형에 적합한 것으로 판단된다.

피어싱 공정은 펀치가 소재에 침입하여 펀치 날끝에서 소재의 전단이 계속 진행되다가 궁극적

1. 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과
교신저자: 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과,
E-mail: jhkim365@seoultech.ac.kr

으로 크랙(crack)이 발생하면서 파단 분리되는 작업인데, 하프피어싱에서는 파단 분리가 일어나지 않는 최대의 침입깊이가 필요하고, 이때의 침입깊이(penetration depth)를 소재 두께에 대한 백분율로 표시한 것이 침입률(percentage of penetration)이다[1]. 이 침입률은 소재나 금형 설계조건에 따라 달라지기 때문에 각인 작업에 응용하기 위해서는 하프피어싱에 의해 성형된 돌기에 크랙이 발생하지 않는 적절한 범위의 침입률 데이터가 필요하게 된다.

금속 판재 표면에 표시되는 각인은 이와 같이 소재의 침입깊이와 금형의 틈새에 따라 각인의 모양과 선명성에 차이가 발생하고, 또한 각인이 표시된 제품 표면의 굴곡변형(camber)에도 영향을 미치기 때문에 이에 대한 작업조건 연구가 필요하다.

문자나 형상을 제품표면에 적용하는 다른 방법으로 잉크나 라벨을 이용하는 경우도 있다. 이 경우에는 간단하게 제품의 표면에 적용할 수 있지만, 사용 환경이 좋지 못한 경우에는 박리되거나 손상되어 각인 확인이 안되기 때문에 금속 표면에는 소성변형을 이용한 각인 공정이 유리하다.

각인 패턴 성형에 관한 연구[4,5]로는 롤투롤(roll-to-roll) 성형에 의한 박판재의 엠보싱 패턴이 최근에 연구되었고, Lee[6] 등은 냉간 등방압 성형 공정을 이용한 마이크로 엠보싱 패턴의 성형성에 관해 연구하였다.

본 연구에서는 원형돌기 실험으로 직경 3mm 펀치를 사용하여 하프피어싱 작업을 할 때 틈새의 변화에 따른 알루미늄 소재의 최대 침입률을 먼저 구하고, 모든 틈새에 적용할 수 있는 동일 침입률 조건에서 다시 틈새를 변화시키면서 성형된 돌기의 품질과 선명성을 조사한다. 원형돌기 실험결과를 적용한 각인 금형을 제작하여 정밀 각인 실험을 추가 수행하였으며, 엠보싱 작업에 의한 각인 제품도 함께 비교 분석하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

본 연구에서는 자동차, 항공기, 선박의 구조재, 광학기기, 기계부품 등에 사용되는 2.0mm 두께의 알루미늄 합금(AL6061-O) 판재를 소재로 선택하였으며, 이 소재에 대한 기계적 성질이 Table 1에 주어져있다.

Table 1 Mechanical properties of specimen

Material	AL6061-O
Thickness (t, mm)	2.0
Tensile strength (kgf/mm ²)	13.7
Elongation (%)	26.6

Table 2 Experimental conditions for forming of circular protrusion

	Half -piercing	Embossing
Clearance (c, %)	-10,-5, 0, 5,10	110
Penetration depth (h, mm)	0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8	

2.2 원형돌기 실험방법

실험은 가동식 스트리퍼판 방식[1]의 피어싱 금형으로 9x9mm 크기의 소재에 스프링력 21.5kgf을 부과한 상태에서 하프피어싱 실험을 하였다. 실험은 펀치 직경 3mm를 기준으로 6개의 틈새 조건에 따라 다이 인서트(die insert)를 각각 준비하여 실험 조건별로 바뀌가면서 실험하였다.

틈새는 소재 두께에 대한 편측 간극을 퍼센트(%)로 표시하는데, 본 실험에서는 틈새를 -10%(0.2mm)에서 10%까지 5% 간격으로 변화시키면서 하프피어싱 실험을 하였으며, 추가적으로 110%(2.2mm)의 틈새를 적용한 엠보싱 공정을 실험하여 각인의 선명성을 비교하였다. 또한 3가지 틈새 조건에 대해서는 최대 침입률을 조사하기 위해 펀치 침입깊이를 0.5mm에서 1.8mm까지 0.1mm씩 증가시키면서 실험을 하여 크랙의 발생 유무를 확인하였다. Table 2는 원형돌기 실험에 대한 조건을 나타내고 있다.

2.3 원형돌기 실험결과

2.3.1 최대 침입률

펀치의 침입깊이를 증가시키면서 제품의 크랙이 발생될 때까지 돌기성형 실험을 수행하였다. Fig. 1은 하프피어싱된 시편을 예폭시 수지로 마운팅한 후 판재의 압연방향에 평행하게 중심면을 절단하고 폴리싱하여 크랙 발생을 확인하기 위한 단면을 보여주고 있으며, 이 단면으로부터 틈새에 따라 돌출된 돌기의 형상과 변형도 함께 측정하

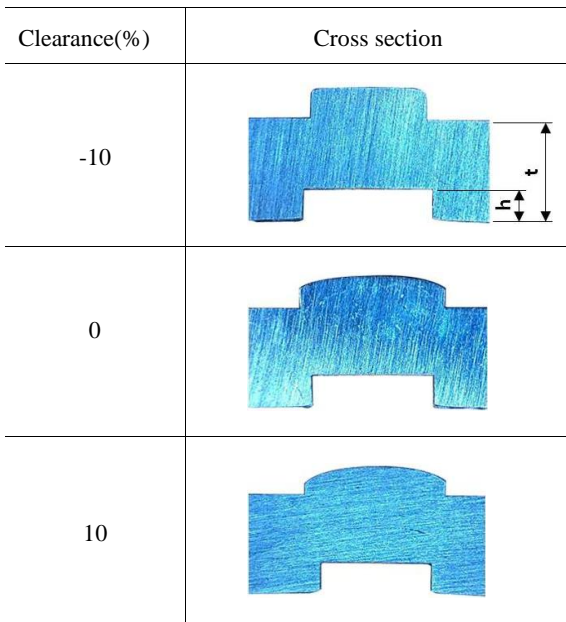


Fig. 1 Typical cross-sectional view of half-pierced specimen

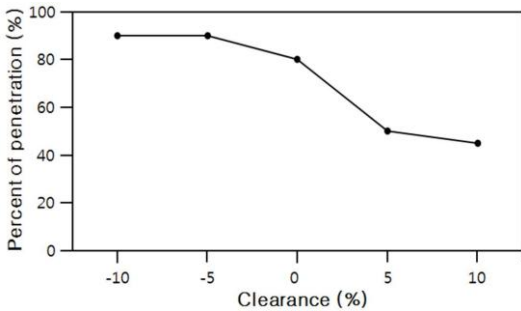


Fig. 2 Max. penetration of specimen with respect to clearance change

였다. Fig. 2는 틈새 변화에 따른 최대 침입률(h/t)을 나타낸 것으로 틈새가 -10%일 때는 최대 침입률이 90%(1.8mm) 이고, 틈새가 10%에서는 최대 침입률이 45%(0.9mm)로 각각 나타나 틈새가 증가함에 따라 최대 침입률이 감소하고 있다.

2.3.2 틈새와 침입률의 영향

각인의 선명성은 Fig. 3에서와 같이 돌출된 각인의 형상에 크게 의존하며 본 연구에서는 선명한 각인을 위해 돌기의 코너반경과 평면도가 큰 영향을 미치는 것으로 고려하여 이들의 정밀도를 비교하였다.

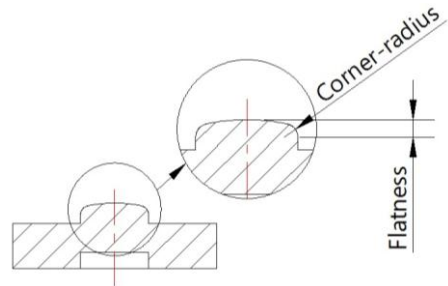


Fig. 3 Influence factor on clarity of marking

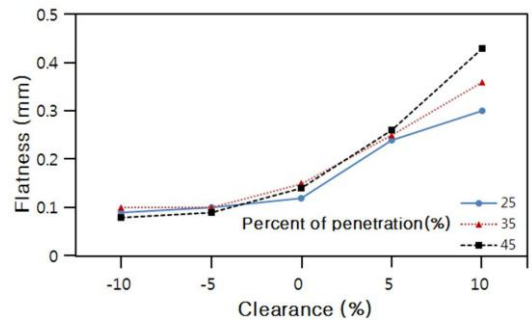


Fig. 4 Comparison of flatness according to penetration

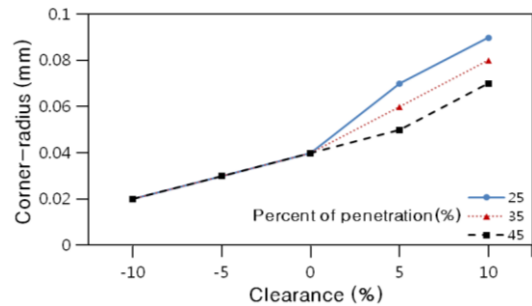


Fig. 5 Comparison of corner-radius according to penetration

Fig. 4와 Fig. 5는 틈새의 변화에 따른 원형돌기의 평면도와 코너반경을 침입률에 따라 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 틈새가 증가할수록 굽힘의 영향이 커서 돌기의 코너반경과 평면도가 급격히 나빠지고 있으며, 침입률의 깊이 영향은 틈새보다 적게 나타나고 있지만 틈새가 증가할수록 이의 영향도 서서히 증가되는 것을 알 수 있다. 특히 일반 전단금형의 설계 방식과는 다르게 틈새를 마이너스로 설계한 하프피어싱의 경우에 돌기부의 윤곽이 아주 선명하게 각인될 수 있는 것으로 나타났다.

Table 3 Comparison of flatness and corner-radius between half-piercing and embossing

Clearance(%) \ Penetration(%)	Flatness		Corner-radius	
	-10	110	-10	110
25	0.09	0.36	0.02	6.30
35	0.10	0.53	0.02	5.30
45	0.08	0.69	0.02	3.65

또한 Fig. 4와 Fig. 5에서 가장 선명하게 나타난 -10%의 틈새에서 작업한 하프피어싱과 틈새 110%에서 성형한 엠보싱 돌기에 대한 형상 정밀도 비교가 Table 3에 주어지 있다. 침입률에 관계없이 엠보싱 제품의 정밀도가 평면도의 경우엔 4~8배 크게 나타났고, 코너반경의 경우에는 180~315배 크게 나타나 중소형 제품의 각인공정에 적용하기 어려운 것으로 나타났다.

2.4 각인 실험

원형돌기 실험에서 얻은 성형 조건을 적용하여 “SNUT”라는 각인용 금형을 Fig. 6과 같이 설계 제작하였으며 이를 위한 실험조건은 Table 4와 같다.

시편은 원형돌기 실험에서와 동일한 소재를 120×60mm로 준비하여 사용하였다. 실험은 35톤 크랭크프레스에서 램(Ram)의 하사점 위치를 조절하면서 각인 깊이를 조정하였으며, 틈새는 4개의 다이 플레이트를 별도로 제작하여 변화시켰다.

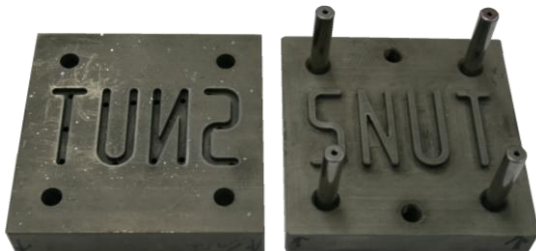


Fig. 6 Marking die for experiment

Table 4 Experimental conditions for marking

	Half-piercing	Embossing
Clearance (%)	-10, 0, 10	110
Marking depth (mm)	0.1, 0.2, 0.35, 0.5, 0.7, 0.9	

2.5. 각인 실험 결과

두께 2mm의 판재 각인 작업을 하면 Fig. 7에서와 같이 제품의 평면이 굴곡되는데 이 굴곡 변형량을 캠버(camber)량이라 하고 이를 각 실험조건에 따라 비교 검토하였다. 돌기 자체에 대한 코너반경과 평면도에 의한 각인의 선명성은 원형돌기의 실험결과를 활용할 수 있으며, 돌기가 성형된 제품 전체에 대한 변형은 캠버량 측정을 통해 비교할 수 있다.

Table 4의 조건에 따라 각인된 일부 제품의 사진이 Fig. 8에 주어지 있으며, 각 제품의 캠버량은 각인 글씨를 기준으로 상하 5mm, 좌우 10mm 지점의 6곳을 측정하여 구하였다.

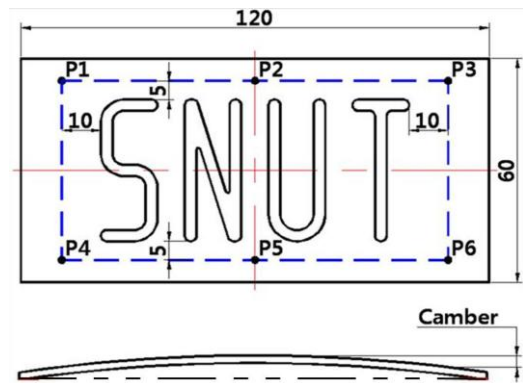
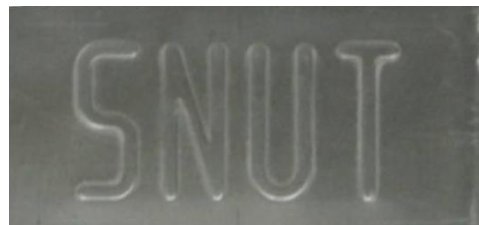


Fig. 7 Measurement of camber



(a) Half-piercing(c = 10%, h = 0.5mm)



(b) Embossing(c = 110%, h = 0.5mm)

Fig. 8 Samples marked according to experimental conditions

Table 5 Test results of camber

(Unit: mm)

Clearance(%) \ Penetration(%)	-10	0	10	110
10	0.30	0.37	0.42	0.73
17.5	0.40	0.46	0.43	0.87
25	0.57	0.53	0.44	1.00
35	1.02	0.70	0.46	1.07
45	1.39	0.85	0.51	1.11

각인 깊이가 0.1mm 경우에는 각인이 선명하게 나타나지 않아 본 실험에서 제외했으며, 육안으로 각인이 구별되는 실험조건에 대한 캠버량 측정 결과가 Table 5에 주어져 있다. 각인 깊이가 증가할수록 캠버량이 증가하기 때문에 실제 공정에 적용하기 위해서는 적절한 각인 깊이가 필요함을 알 수 있다. 특히 각인 깊이가 0.35mm(침입률 25%) 이하에서는 마이너스(-) 틈새일 때 캠버량이 적은 것을 알 수 있고, 각인 깊이가 0.5mm 이상에서는 일반 전단가공에서 많이 적용하고 있는 플러스(+) 틈새에서 적은 캠버량을 나타내고 있다. 또한 틈새가 아주 큰 엠보싱의 경우에는 캠버량이 너무 커서 선명한 각인 공정으로는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

3. 결론

본 연구에서는 알루미늄 소재를 이용한 각인공정에서 금형의 틈새와 침입률의 변화에 따라 원형돌기와 각인 성형 실험을 통해 성형품의 선명성과 캠버량을 분석하였으며, 이들 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 금속 판재에 대한 각인 공정은 하프피어싱 방법이 엠보싱 공정보다 각인의 선명성이 더 우수한 것으로 나타났다

(2) 원형돌기 성형에서 각인의 선명성을 나타내는 돌기의 평면도와 코너반경의 실험 결과, 틈새가 침입률보다 더 큰 영향을 미치고 있으며, 틈새가 증가할수록 이들 측정치가 크게 증가하였다. 특히 원형돌기의 선명성은 침입률에 상관없이 -10%의 틈새 조건에서 가장 우수한 것으로 나타났다.

(3) 각인 제품의 캠버량 비교에서는 각인 깊이가 0.2mm 이상에서는 각인을 육안으로 모두 구분할 수 있는 제품이 성형되었지만, 제품의 캠버량을 고려할 때 각인 깊이에 따라 적정 틈새의 하프피어싱 방법을 선정할 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] D. F. Eary, E. A. Reed, 1974, Techniques of Pressworking Sheet Metal, Prentice-Hall, New Jersey, USA, pp. 198~199.
- [2] S. S. Kim, C. S. Han, Y. S. Lee, 2005, Development of a New Burr-free Hydro-mechanical Punching, J. Mater. Process. Technol., Vol. 162-163, pp.524~529.
- [3] W. J. Chung, K. B. Hwang, J. H. Kim, H. Y. Ryu, 2008, A Study on the Improvement of the Accuracy of a Shaving Process using a Progressive Die, Int. J. Mod. Phys. B, Vol. 20, No. 32, pp. 5673~5679.
- [4] K. S. Lee, S. W. Kim, M. C. Shin, J. H. Lee, 2009, , Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Spring Conf.(Y. T. Keum), Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 397~400.
- [5] B. W. Min, W. S. Seo, J. B. Kim, H. J. Lee, S. H. Lee, J. H. Kim, 2011, Prediction of Wrinkle in Micro R2R Forming and Its Improvement, Trans. Mater. Process., Vol. 20, No. 1, pp. 42~47.
- [6] H. J. Lee, N. K. Lee, G. A. Lee, H. W. Lee, S. Choi, 2006, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Spring Conf.(M. Y. Huh), Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 243~246.