

알루미늄 판재의 고 세장비 피어싱가공을 위한 작업변수의 영향

김종길¹ · 김종봉² · 김종호[#]

The Influences of Process Parameters in Piercing with a High Aspect Ratio for Thick Aluminum Sheet

J. G. Kim, J. B. Kim, J. H. Kim

(Received November 15, 2013 / Revised December 5, 2013 / Accepted December 16, 2013)

Abstract

The aspect ratio of a hole is defined as the ratio of the thickness to the diameter of the sheet metal. Most holes in the sheet metal industry are made by piercing. However, for thick sheets, which have an aspect ratio greater than 2, a machining process like drilling instead of piercing is usually used to make holes. In the current study, piercing, which is a shearing process, is evaluated to punch a hole with a high aspect ratio by using a newly designed die set-up. The piercing die was manufactured to prevent the punch from buckling and also to improve the alignment between the die components. An aluminum alloy sheet was selected for the experiments. The influence of several process parameters such as sheet thickness, clearance and stripping force were investigated. Experimentally, a hole with an aspect ratio of 5 was pierced. The resulting hole had a clean surface and the dimensional accuracy of pierced hole was considerably improved with decreasing clearance between punch and die. It is also shown that the larger penetration depth of the effective sheared surface can be achieved for high aspect ratio piercing relative to conventional piercing with a low aspect ratio.

Key Words : High Aspect Ratio, Piercing, Buckling, Stripping Force, Clearance, Effective Sheared Surface

1. 서 론

금속 판재에 구멍을 가공하는 방법으로는 드릴(drill) 공구를 이용한 가공법과 프레스 금형을 이용한 피어싱 가공법이 있는데, 이때 소재 두께와 구멍 직경의 비를 세장비(aspect ratio)라고 한다.

일반 피어싱 가공은 세장비 1.0~1.5 이하에서 이루어지며, 정밀 금형의 경우에는 세장비 2배 까지도 피어싱 가공이 가능하다[1]. 그 외에 세장비 2를 초과하는 경우에는 펀치의 좌굴 임계하중보다 펀치의 축 방향으로 걸리는 전단력이 더 크거나[2], 또는 펀

치 날 끝에 작용되는 측방력(side thrust)에 의한 굽힘 모멘트로 인해 가느다란 펀치가 파손될 우려가 있으므로 드릴링 공정으로 가공한다. 이러한 드릴링 공정은 드릴의 직경이 작을수록, 가공물의 두께가 클수록 가공능률은 현저히 떨어진다[3]. 또한 가공의 세장비가 클수록 피어싱 가공에 비해 시간과 비용, 그리고 구멍의 직각도가 불안정하므로 정밀 가공을 필요로 하는 경우에는 적용하기 어렵다.

최근 자동차와 항공 제조기술이 발달하면서 부품의 경쟁력을 확보하기 위한 연구개발이 요구되고 있다. 하나의 부품을 제작하는데 여러 공정이 필요함에

1. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

2. 서울과학기술대학교 기계자동차공학과

Corresponding Author : Dept. of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology, E-mail: jhkim365@seoultech.ac.kr

따라 최고의 품질을 유지하면서 제작 시간의 단축과 비용 절감이 경쟁력 확보의 중점사항이라 할 수 있다. 현재 드릴링 작업에 의존하던 작은 구멍 가공을 프레스 기계에서 피어싱 공정을 포함한 프로그램식 금형으로 대체할 수 있다면 부품 생산의 경쟁력 확보에 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

작은 구멍의 피어싱 공정에 관한 연구로 Sasada 등[4]은 고 세장비의 피어싱 공정에 대한 유한요소 해석을 통해, 피어싱의 초기 단계에서는 펀치의 하강과 함께 소재는 펀치 주위의 반경방향으로 유동한다는 것을 나타내면서 펀치 침입량과 스크랩 돌출량이 다르다는 것을 발표하였다. Yoo 등[5]은 미세 홀 펀칭 실험을 통해 직경 25 μ m의 구멍전단에서는 유효전단면 비율이 높게 가공되는 것을 확인하였다.

이외에도 반도체 리드프레임이나 가전제품의 금속부품에 적용되는 피어싱 구멍의 전단면 형상과 공정변수의 영향에 대한 연구, 그리고 피어싱, 블랭킹, 벤딩, 드로잉 등의 여러 공정이 복합된 프레스 제품의 자동공정설계에 관한 연구가 진행되고 있지만[6~8], 아직까지 고 세장비의 구멍가공을 위한 피어싱 공정에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에는 작은 구멍의 드릴링 가공을 대체할 수 있는 직경 1.2mm의 구멍치수를 기준으로 피어싱 금형을 설계 제작하고, 두께 4, 5, 6mm의 두꺼운 판재 3종류를 소재로 선택하여 고 세장비의 피어싱 가능성을 확인한다. 또한 가공된 구멍의 치수정밀도와 유효전단면 등의 품질에 영향 미치는 작업 변수들에 대한 효과도 실험적으로 조사하고자 한다.

2. 실험

2.1 시험 재료

본 연구에는 차량, 선박의 구조재, 광학기기 등에 적용되는 알루미늄 합금(AL6061-T6)을 사용하였으며 이 소재의 기계적 성질 시험결과는 Table 1과 같다.

Material	AL6061-T6
Tensile strength (kgf/mm ²)	34.7
Shear strength (kgf/mm ²)	11.6
Elongation (%)	15.0
Hardness (HrB)	60

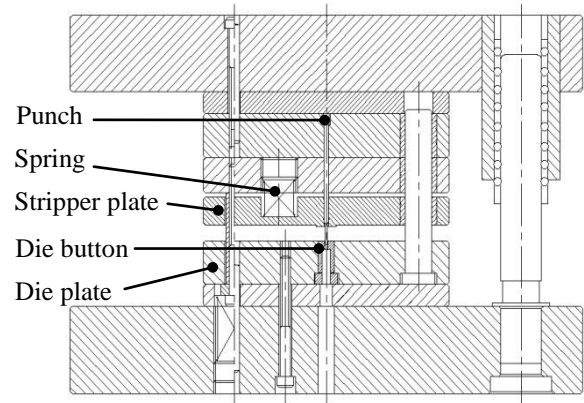


Fig. 1 Piercing die designed for experiment

2.2 실험

본 실험에 사용한 Fig. 1의 금형은 고 세장비의 구멍이 피어싱되더라도 가느다란 펀치가 파손되지 않도록 펀치를 보호, 안내하는 기능을 부여하기 위해 스트리퍼판(stripper plate)과 펀치 사이의 틈새를 0.02mm 이하로 설계하였다. 또한 피어싱할 때 소재를 고정하면서 압축력(스트리핑력)을 부가하기 위해 스트리퍼판에 스프링을 설치하였다. 그리고 펀치 스트로크(stroke)에 관계없이 일정한 하중을 유지하기 위해 스트리퍼판을 하부금형에 고정시켰다. 다이플레이트는 인서트(insert)방식으로 설계하여 각 실험조건에 따라 다이버튼(die button)을 바꿔가면서 틈새를 변경하도록 하였다.

고 세장비의 피어싱 실험을 위해 현재 드릴링 가공하고 있는 1.2mm의 구멍을 실험 대상으로 선택하고 이를 펀치의 기준치수로 정하였다. 소재의 두께는 4, 5, 6mm의 3종류를 선택해 최대 세장비 5까지의 가공 가능성을 조사하면서 피어싱된 제품의 품질을 비교 분석하여 최적의 작업조건을 제시하고자 하였다.

이를 위해 치수 정밀도에 영향을 크게 미치는 틈새를 변화시키기 위해 다이 치수를 Table 2에서와 같이 5종류로 준비하여 조사하였다. 그리고 최대의 유효전단면 비율을 얻기 위한 압축력 크기를 조사하기 위해 스트리핑력을 45kgf로부터 360kgf까지 증가시키면서 이의 효과를 분석하였다.

프레스 금형에서의 틈새(c/t, %)는 일반적으로 소재 두께(t)에 대한 펀치와 다이 사이의 편측 간극(c)을 백분율로 표시한다. 본 연구에서는 3종류의 두께를 사용함에 따라 각각의 실험조건에 따라 틈새를 계산하면 Table 3에서와 같다.

Table 2 Experimental conditions for piercing

Sheet thickness (mm)	4, 5, 6
Diameter of punch (mm)	1.2
Diameter of die (mm)	1.32, 1.44, 1.8, 2.16, 2.4
Stripping force (kgf)	45, 131, 227, 360

Table 3 Clearance (c/t, %) calculated for each experimental condition

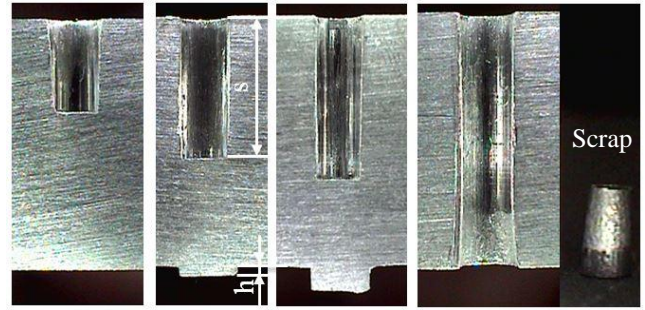
Sheet thickness (t, mm)	Diameter of die (mm)				
	1.32	1.44	1.80	2.16	2.40
4	1.5	3.0	7.5	12.0	15.0
5	1.2	2.4	6.0	9.6	12.0
6	1.0	2.0	5.0	8.0	10.0

2.3 실험결과

Fig. 2는 두께 6mm, 틈새 1%, 스트리핑력 45kgf 조건에서 실험했을 때 펀치의 침입깊이(punch stroke, s)에 따라 피어싱되는 과정을 나타낸다. 세장비가 1보다 작은 박판재의 전단가공 시에는 소재 두께와 피어싱된 스크랩(scrap)의 두께가 일반적으로 거의 동일하나, 본 연구에서와 같이 세장비가 큰 경우에는 초기 피어싱 단계에서는 소재가 반경 외측 방향으로의 유동이 발생하면서 스크랩 돌기 형성에 기여하지 않고 있다[4].

Fig. 2(a)에서 처럼 펀치 침입깊이가 2.25mm(소재 두께의 38%) 이상이 되면서 소재 두께 밑으로 스크랩 돌기가 형성되는 것을 알 수 있으며, Fig. 2(d)와 같이 피어싱 공정이 완료되었을 때 스크랩의 돌기 높이는 2.5mm, 즉 소재 두께의 43% 밖에 되지 않았다. 이와 같은 과정을 펀치 침입깊이에 따라 스크랩 돌기 높이의 추이를 살펴보면 Fig. 3과 같다. 펀치가 소재 두께의 38% 침입했을 때 스크랩 돌기가 서서히 생성되기 시작하여 60%를 넘게 되면, 이때부터 펀치 스트로크 만큼의 피어싱 전단이 일어나면서 돌기 높이가 급증하게 된다.

Fig. 4는 알루미늄 시편의 피어싱된 단면형상을 나타내고 있다. 사진에서와 같이 소재 두께는 눌림면(roll-over)과 전단면(burnish)을 함께 표시하는 유효전단면(effective sheared surface, E)과 파단면(fracture)으로 구성되고 이들의 합이 소재 두께가 된다. 판재의 전단가공에서는 유효전단면 비율이 높을수록 전단된 구멍의 품질이 우수하다고 판단



(a) 2.25mm (b) 3.43mm (c) 4.02mm (d) 6.0mm

Fig. 2 Formation of scrap(h) according to punch stroke(s)

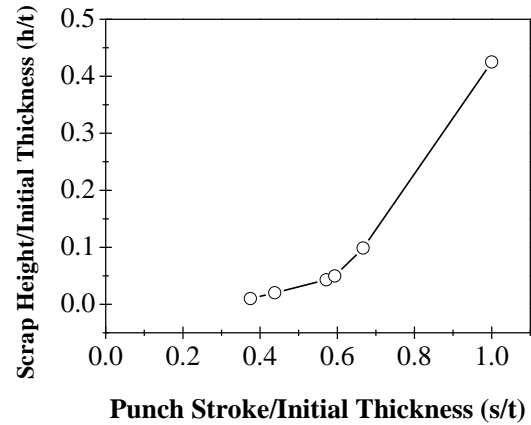


Fig. 3 Comparison of scrap height according to punch stroke

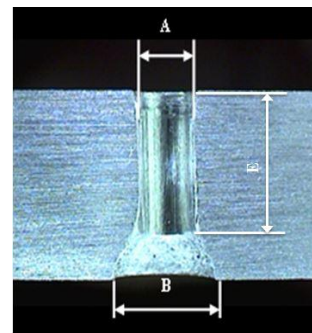


Fig. 4 Typical cross-section of a pierced specimen

한다. 피어싱된 구멍 치수는 전단면 치수(A)와 파단면 치수(B)로 구성되는데, 파단영역이 커질수록 파단면 치수(B)가 증가되면서 제품의 치수정밀도가 나빠지게 된다.

Table 2에 제시된 실험조건에 따라 우선 두께 3종류와 틈새 5종류를 각각 변화시키면서 실험한 피어싱

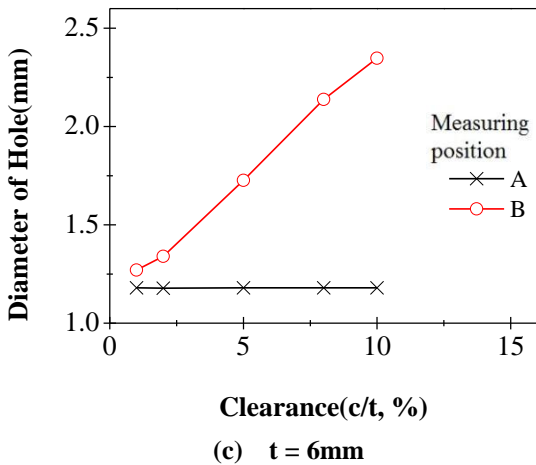
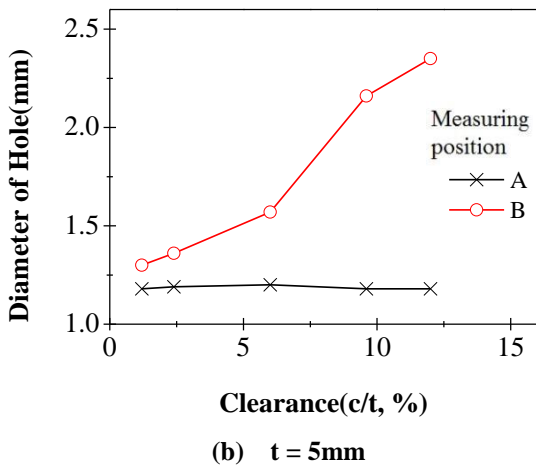
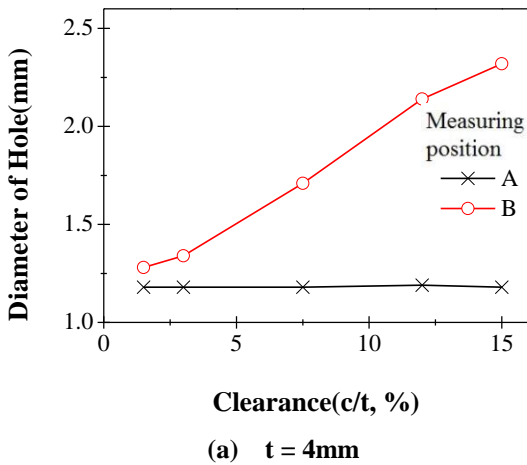


Fig. 5 Comparison of dimensional accuracy according to sheet thickness and clearance

제품의 치수 측정 결과가 Fig. 5에 주어져 있다. 틈새와 두께 변화에 관계없이 고 세장비 5까지 알루미늄 소재에 대해 피어싱 가공이 가능함을 확인하

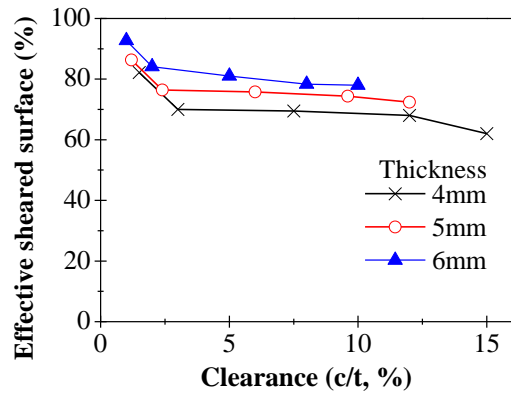


Fig. 6 Comparison of effective sheared surface according to clearance

였고, 두께 별로 제품의 치수정밀도 분포를 보면 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다. 틈새에 따라서는 큰 변화를 나타내고 있는데, 전단면 치수(A)의 경우엔 스프링백 영향으로 펀치 기준치수 1.2mm보다 0.02mm 작은 1.18mm로서 틈새 변화에 관계없이 일정하지만, 과단면 치수(B)는 틈새 증가에 따라 과단 경사각이 커지면서 최대 2.35mm까지 측정되어 기준치수로부터 96%까지 오차가 발생되었다. 그러나 두께가 6mm 이고 틈새가 1%에서는 B 치수가 1.27mm로 6%의 오차밖에 발생되지 않았다. 따라서 알루미늄 판재의 고 세장비 전단가공에서 구멍의 치수 정밀도를 높이기 위해서는 소재 두께보다 틈새 설계가 더 중요하고, 틈새 설계는 2% 이내로 제한하는 것이 바람직하다.

Fig. 6은 스트리핑력 45kgf 조건에서 두께와 틈새에 따른 유효전단면의 비율을 비교한 것이다. 고 세장비의 피어싱에서는 유효전단면이 실험조건에 관계없이 약 70% 이상의 깨끗한 전단면을 구성하고 있고, 두께가 두꺼울수록 유효전단면 비율이 증가하고 있다.

두께가 6mm이고 틈새가 1%일 경우엔 정밀전단에 가까운 92.7%의 높은 유효전단면 비율을 나타내고 있으며 틈새가 증가하여 10%로 되면 유효전단면은 78%까지 감소하고 있다. 특히 틈새가 2%에서 1%로 작아지면 유효전단면 비율이 급격히 10% 증가하고, 2%에서 10%로 증가함에 따라 유효전단면이 7% 가량 서서히 감소하는 것으로 나타났고, 이러한 경향은 두께가 4, 5mm의 소재에도 비슷하게 나타났다.

앞의 실험 결과를 토대로 정해진 작업조건(두께 6mm, 틈새 2%)에서 스트리핑력 변화에 따른 정밀도

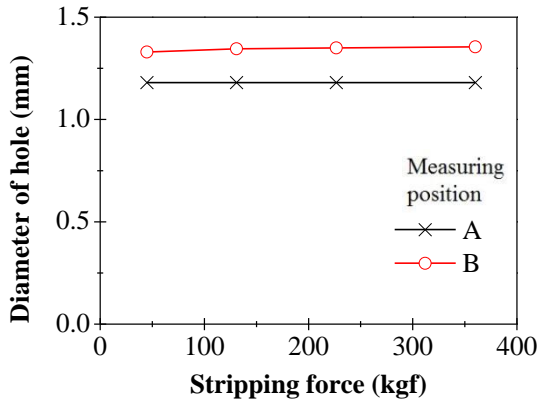


Fig. 7 Influence of stripping force on dimensional accuracy of pierced hole

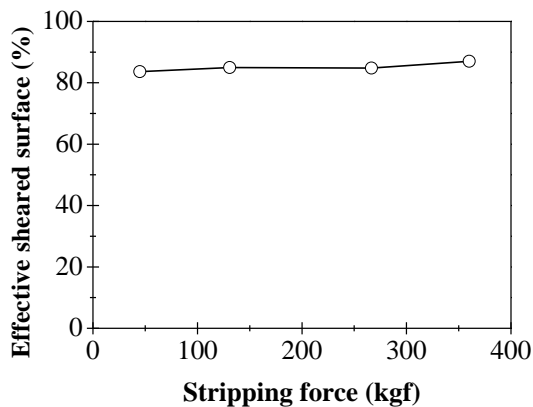


Fig. 8 Comparison of effective sheared surface according to the stripping force

변화를 조사한 것이 Fig. 7에 주어져 있다. 스트리핑력은 범용의 전단에 적용하는 하중(45kgf)으로부터 정밀전단에 적용하는 하중(360kgf)까지 변화시켰지만, 피어싱된 구멍의 전단면 치수(A)는 1.18mm로 일정하고, 파단면 치수는 1.33에서 1.36mm까지 약 2% 밖에 증가하고 있지 않아 거의 일정한 것으로 판단된다.

그러나, 구멍의 유효전단면 비율은 Fig. 8에서 보는 바와 같이 스트리핑력이 증가함에 따라 3.4% 증가된 87%까지 서서히 증가하고 있다. 피어싱 가공 전에 소재에 압축력을 부가하는 효과는 유효전단면의 향상에 일부 기여하는 것으로 나타났지만, 이 하중은 전단하중과 비슷한 크기이기 때문에 금형설계시 고려할 필요가 있다.

3. 결론

본 연구에서는 알루미늄 소재의 고세장비 피어싱 작업을 위해 금형을 설계, 제작하고 소재의 두께, 금형 틈새와 스트리핑력을 변화시키면서 구멍의 치수 정밀도와 유효전단면에 미치는 영향을 조사하였으며 이들의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 펀치 좌굴을 예방하기 위해 정밀하게 제작된 금형을 통해 알루미늄 소재를 피어싱하면 본 연구의 3가지 실험조건하에서는 세장비 5까지의 전단 가공이 가능함을 확인하였다.

(2) 틈새가 커질수록 파단영역이 넓어지면서 전단면 치수는 거의 일정한 반면에, 파단면 치수는 점점 확대되어 구멍의 상하 치수 오차가 점점 증가하기 때문에 치수 정밀도 향상을 위해서는 틈새를 2% 이내로 관리할 필요가 있다.

(3) 두꺼운 판재의 구멍 치수 정밀도는 소재 두께보다 틈새 변화에 큰 영향을 받고 있으며, 소재 두께가 증가하면 구멍내의 유효전단면 비율이 크게 증가하여 80% 이상을 기대할 수 있다.

(4) 틈새가 2% 이내로 작을 경우엔 유효전단면 비율이 크게 향상되지만, 틈새가 점점 증가하면 유효전단면은 서서히 감소하게 된다.

(5) 두꺼운 판재의 피어싱에서는 스트리핑력 변화의 효과가 치수정밀도와 유효전단면의 비율에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] W. S. Kim, W. P. Lee, 1996, Press Working Technology, Korea Industrial Information Center, Seoul, pp. 132~144.
- [2] Y. U. Kim, D. H. Lee, 1999, Local Buckling Analysis of the Punch in Stamping Die and Its Design Modification, J. KSPE, Vol. 16, No. 3, pp. 25~29.
- [3] J. U. Han, J. S. Won, E. S. Lee, Y. G. Jung, 1996, An Experimental Study on Micro Drilling Using Step Feed, J. KSPE, Vol. 13, No. 12, pp. 46~53.

- [4] M. Sasada, H. Kobayashi, I. Aoki, 2006, Study on Piercing Mechanism of Small Holes, J. Mater. Process. Technol., Vol. 177, No. 1~3, pp. 649~652.
- [5] J. H. Yoo, S. H. Rhim, S. I. Oh, 2003, A Study on Shear Fracture Behavior of Metal in Micro Hole Punching Process, Trans. Mater. Process, Vol. 12, No. 4, pp. 202~206.
- [6] H. S. Kim, H. A. Lee, W. H. J. Kim, H. P. Kim, Y. J. Kim, 2006, Proc. Kor. Soc. Precis. Eng. Autumn Conf. (editor: T. Y. Oh), Kor. Soc. Precis. Eng., Seoul, Korea, pp. 233~234
- [7] S. H. Rhim, Y. K. Son, S. I. Oh, 2005, Proc. Die and Plastic Work. Symp(editor: C. G. Kang), Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 193~197.
- [8] B. C. Hwang, C. Kim, W. B. Bae, 2008, Development of an Automated Progressive Design System for Manufacturing Product with Multi Processes, Piercing, Bending and Deep Drawing, J. KSPE, Vol. 25, No. 12, pp. 55~64.