

레이저를 이용한 박판 버의 정밀측정

신홍규*(강원대), 홍남표(강원대), 김현영(강원대), 김병희(강원대)

Precision measuring of burrs on sheet metal using the laser

H. G. Shin(KNU), N. P. Hong(KNU), H. Y. Kim and B. H. Kim(KU)

ABSTRACT

The sheet metal shearing process is normally used in the precision elements such as semi-conductor components. In precision elements, burrs usually reduce the quality of machined parts and cause interference, jamming and misalignment during assembly procedures and because of their sharpness, they can be safety hazard to personnel. Furthermore, not only burrs are hard to predict and avoid, but also deburring, the process of removing burrs, is time-consuming and costly. In order to get the burr-free parts, therefore, we developed the precise burr measuring system using the laser. The laser burr measuring system consists of the laser probe, the photo detector, the achromatic doublet lens, and the rotary & the X-Y table. In previous reports, we used simple vertical measuring method. But, as we used relatively bigger laser spot diameter and had the limited reflection angle, it was difficult to obtain the precise measuring results. So called, the spot size effect makes the profile of burr measured distorted and the burr height measured smaller. By introducing the novel laser measuring method which employing the achromatic lens system and the tilting mechanism, we could make the spot size smaller and get the appropriate beam direction angle. Through the experiments, the accuracy of the developed system is proved. The burr height measured during the punching process can be used for automatic deburring and in-situ aligning.

Key Words : Burr (버), Sheet metal (박판), Micropunching (마이크로펀칭), Spot size (초점크기), Tilting angle(경사각)

1. 서론

버(burr)란 절삭가공이나 전단가공에 있어 소성 변형에 의하여 피 가공물의 가장자리(edge)부에 발생하는 작은 용기모양의 돌출부를 말한다. 특히, 펀칭(punching), 블랭킹(blanking), 피어싱(piercing) 등의 공정을 포함하는 박판 전단 가공 시 발생하는 버는 요구되는 제품의 특성에 따라 조립 및 형상 정밀도에 큰 영향을 준다.

20 세기 후반, 산업의 비약적인 발달과 함께 제품의 소형화 현상이 두드러지게 나타났으며 이러한 현상은 제품을 구성하는 부품의 소형 정밀화를 가져왔다. 전단 시 피 가공재의 가장자리에 발생하는 버는 제품의 조립 생산에 있어 그 영향이 타 공정에 비하여 크다. 그러므로 전단가공 후 발생한 버를 제거하기 위한 후 가공 필수적이며, 이로 인한 비용의 증대가 초래된다. 그러나 전단가공에 의하여 버가 없는 작고 미세한 정밀부품을 생산하는 것

은 거의 불가능하므로, 적용되는 부품에 따라 조립 및 형상정밀도에 영향을 주지 않는 범위 내에서 버의 형상 및 크기를 결정해야 한다.

전단공정에 있어 버 발생과 전단 면 형상에 영향을 주는 인자로는 펀치와 다이(die)의 클리어런스(clearance), 펀칭 속도, 전단재료의 특성, 전단날의 마모 정도, 전단시 상/하 홀더의 유무 등이 있다. 정밀 전단에 대한 선행 연구를 살펴보면 Chang⁽¹⁾ 등은 전단 클리어런스와 전단날의 날카로운 정도가 전단에 미치는 영향을 밝혔으며, Johnson 과 Slater⁽²⁾ 는 블랭킹에 있어 펀치속도에 대한 변형률 속도의 영향과 온도가 전단에 미치는 영향 등을 포괄적으로 연구하였다. 그 밖에 Holiga, Atkin, Choy 와 Balendra, Zhou 와 Wierzbicki, Taupin 등에 의해 전단공정에 미치는 각 인자들에 대한 연구가 수행되었다⁽³⁻⁷⁾. 또한 Jeong, Breitting, Stegeman, Ko, Taupin 등에 의하여 유한 요소법을 이용한 해석적 방법으로 전단 특성을 평가하기 위한 연구가 수행되었다⁽⁸⁻¹¹⁾.

본 연구에서는, 수차 제어에 의해 구동된 정밀 펀칭 시스템에 의해서 발생한 박판 비의 레이저 측정점에 중점을 두었다. 마이크로 펀칭 시스템은 1 μ m의 수차 정밀도를 지니고 있으며, 다이와 박판 재료의 평면 이송을 수치적으로 제어한다. 이와 더불어 펀치와 다이의 초기 정렬을 위해서, 직접통전방식(direct electric current method : DECM)을 이용하여, 펀치와 다이 간의 비 크기와 높이를 최소화 및 균일하게 하였다.

펀칭 시스템에서 발생된 비는 레이저를 이용하여 비의 높이를 개괄적으로 측정하였다. 측정의 오차를 줄이기 위하여, 레이저의 초점 크기를 줄였으며, 레이저와 박판 비 사이의 측정각을 45°로 유지함으로써, 보다 구체적인 비 형상을 측정하였다. 마이크로 펀칭 시스템에서, DECM에 의해 발생되는 비의 크기를 줄이면서, 동시에 자동적으로 인-시츄(in-situ) 정렬이 가능하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

2. 레이저를 이용한 비 측정

2.1 마이크로 펀칭 시스템

오늘날 전자공학 분야의 비약적인 발전으로 모든 제품들이 소형 경량화 추세에 있다. 제품의 소형화는 그 제품을 구성하는 부품의 소형화로 직결되며, 특히 미세 전자부품들 중에서 반도체 리드프레임(lead frame)과 같이 전류를 흐르게 하는 도체부분이나 기계적인 동작을 수행하는 많은 부품들이 전단이나 스탬핑에 의하여 제작된다. 또한, 전단시 발생하는 비는 제품의 조립 정밀도에 큰 영향을 끼칠 뿐만 아니라 최종 제품의 형상 정밀도에도 영향을 준다. 그러나 이러한 비를 완전히 제거하기란 현실적으로 불가능하다. 본 연구에서는 자체 제작한 마이크로 펀칭 시스템에서 발생한 비의 크기를 최소화하는 것이 궁극적인 목적이다. 자체 설계/제

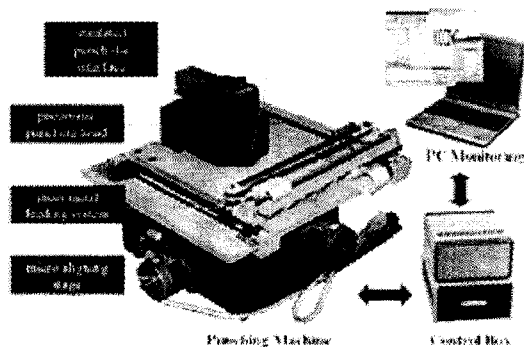


Fig. 1 Micro punching system

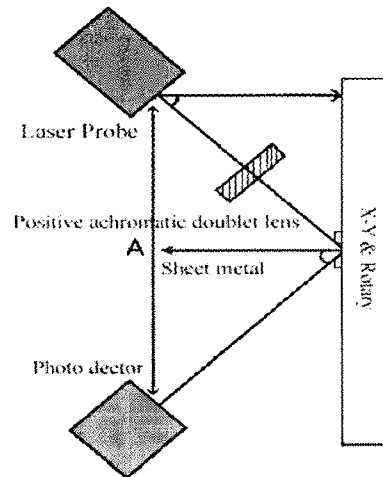


Fig. 2 Schematics of burr measurement

작한 마이크로 펀칭 시스템은 기본적으로 3×3mm의 사각형 홀을 펀칭 할 수 있게 하였으며, 펀치와 다이를 교체함으로써 1×1mm, 0.5×0.5mm 사각홀 뿐만 아니라 원형, 타원형, 직사각형 등 다양한 모양의 제품을 펀칭 할 수 있도록 하였다. Fig. 1과 같이 펀칭 헤드부, 소재 이송부, 그리고 X-Y 테이블로 구동되는 펀치와 다이 정렬부로 구성된다. 본 마이크로 펀칭 시스템은 마이크로프로세서에 의해 구동 및 작동 상태가 모니터링 되며, RS232C 시리얼 통신을 사용함으로써 그 작동이 수치적으로 제어된다. 박판 전단에 있어 비 및 전단면 형상에 가장 큰 영향을 주는 인자가 전단날 사이의 간극이다. 마이크로 펀칭 시스템은 직접 통전 방식에 의한 펀치-다이 정렬 방식을 이용하여 마이크로 펀칭 시스템이 보다 정밀한 펀치-다이 정렬을 수행할 수 있도록 하여 펀칭 시 비 발생을 최소화하였다. 그러나, 비의 완전한 제거는 불가능 하였으며, 직접 통전 방식 자체에서 펀치가 다이에 수 mm로 접근했을 때 접촉이 일어나지 않는 상태에서 통전이 발생하는 오차가 발생하였다. 직접 통전 방식에 의한 초기 정렬의 오차를 줄이면서, 펀칭 시 발생하는 미세 박판의 양쪽 비가 균일하게 나올 수 있도록 하기 위하여, Fig. 2와 같이, 레이저를 이용한 비의 높이를 측정하는데 중점을 두었다.

2.2 레이저에 의한 비 측정의 원리와 구성

레이저를 광원으로 하는 간섭계는 측정 단위인 파장이 미터에 직접 소급되고 높은 간섭에 의한 측정거리, 높은 주파수 안정도에 의한 좋은 정밀 정확도를 얻을 수 있기 때문에 정밀 측정 장치에 널



Fig. 3 Burr measurement device using the laser

리 사용되고 있다. 그리고, 레이저는 보통 수십 미터의 측정범위에서 Å 수준의 분해능을 갖고 있으며, 10^7 이상의 정확도를 얻고 있다. 이러한 레이저 간섭계는 제작이 용이하고, 높은 분해능을 가지고 있으며, 그리고 신호 처리가 간단하여 실험실 수준에서도 쉽게 구현할 수 있다. 하지만, 레이저 주파수의 불 안정도와 측정 시스템의 부정확에 의한 정렬 오차, 공기 굴절을 보정에 따른 오차 및 진동등에 의한 오차도 발생한다. 최근 나노 기술의 급격한 발달에 따른 나노미터 수준의 정밀 정확도를 갖는 측정이 여러 분야에서 요구되는 추세이다.

본 연구에서는, 마이크로 펀칭 시스템에 의해 발생한 미세 박판의 버의 높이를 측정하여, 이를 보정하여 다시 마이크로 펀칭 시스템의 인-시츄 정렬을 가능케 하는 것이 목적이다. 사용된 레이저는 670nm 의 파장에 측정범위 28~32mm, 초점 사이즈 60~100 μ m 를 지나는 가시광 반도체 레이저이다. 레이저를 이용하여 박판 버의 높이를 측정하기 위해서, 그림 3 와 같이, 장치를 구성하였다. 일반적으로 수직으로 측정하는 것이 올바른 측정법이지만, 이 경우, 미세 박판에서 발생한 버는 불과 한 점에 불과하기 때문에, 단순한 높이 측정은 가능하나, 자체 버의 형태나 구체적인 높이 측정은 구현하기란 불가능했다. 수직 측정법의 오차를 줄이기 위해서, 측정각을 주어 레이저가 버의 휘어진 부분에도 영향을 미칠 수 있게 측정하였다. 그리고, 기존 레이저 센서 자체가 지니고 있는 초점 사이즈가 버의 크기보다 크기 때문에, 레이저 초점 사이즈를 줄이는데 중점을 두었다. 그림과 같이 레이저 센서와 측정물인 미세 박판의 버 사이에 아크로매틱 더블렛 렌즈 (achromatic doublet lens)를 설치함으로써, 레이저 초점 사이즈를 식[1]에 따라서, 1~2 μ m 까지 줄였다. 식 [1]에서 λ 는 레이저의 파장이고, D 는 렌즈의 직경, 그리고 f는 렌즈의 물체와의 초점 거리이다.^(12,13)

$$r_s = \frac{2}{\pi} \lambda \frac{f}{D} \quad [1]$$

인-시츄 정렬을 실행하기 위하여, 미세 박판의 두

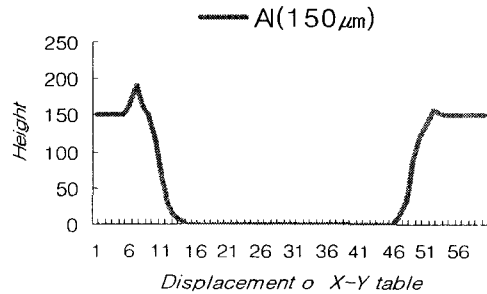


Fig. 4 Graph of the burr height using the laser

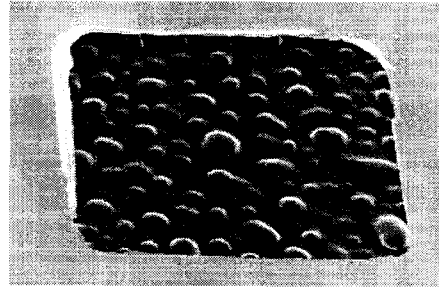


Fig. 5 The SEM photograph of aluminum sheet

개의 버를 순차적으로 측정했다. 하지만, 레이저와 예각을 이루는 좌측 버는 그 형상이나 높이가 비교적 안정적으로 나왔지만, 펀칭 된 블랭크 부분을 지나 둔각을 이루는 우측 버에 레이저가 도달했을 때, 예각을 이루는 버 보다, 다소 정밀도가 떨어지게 측정되었다. 이를 보완하기 위해서, 회전 테이블을 사용하였고, 측정물을 정 중앙에 정렬시킨 후, 180° 회전함으로써 불안정했던 버의 높이를 측정할 수 있었다. 즉, 한 개의 미세 박판의 버를 두 번에 걸쳐 측정함으로써, 정확도를 높였으며, 두 개 조로 이루어진 데이터를 산술 평균 처리하여 결과를 얻을 수 있었다.

3. 결과 및 토의

레이저를 이용하여 미세 박판의 버 높이를 하는 과정에서 Fig. 4 와 같은 X-Y 테이블의 이동에 따른 버의 높이를 나타낸 그래프를 유도할 수 있었다. 그림에서, 좌측 부분이 우측 부분에 비해 현저히 높게 측정되었음을 알 수 있었다. 미세 박판의 재료로는 두께 150 μ m 의 알루미늄을 이용하였다. 그리고, Fig. 5 는 Fig. 4 에서 나타난 미세 박판의 버를 SEM 촬영한 결과이다. 그림에서 표시한 부분과 같이, 좌측에 버가 선명하게 나타났으며, 레이저로 측정한 결과와 비교해 볼 때 두 개의 결과값에 차이가 없음을 알 수 있었다. 레이저로 측정한 값과 실



Fig. 6 The optic microscope photograph of aluminum sheet metal after molding process

제 버의 높이값을 비교하기 위해서, Fig. 6 와 같이 편칭 된 미세 박판의 단면을 몰딩 후, 광학 현미경으로 100 배 확대하여 측정된 결과를 이용하여 높이를 측정하였다. 광학 현미경 자체 내의 이미지 프로를 이용하여, 그 높이를 측정된 결과는 약 47 μ m 로 측정되었고, 레이저로 측정된 결과의 높이와 차이가 없음을 정량적으로 보여주었다.

본 연구에서, 레이저를 이용하여 편칭 된 미세 박판의 버를 측정하는데 가장 중요한 요소로 레이저와 미세 박판의 버 사이의 경사각과 버의 크기보다 작은 레이저 초점 크기였다. 45°의 경사각을 줌으로써, 버의 휘어짐 부분까지 깊게 측정이 가능하였으며, 회전 테이블을 이용하여, 반대 부분도 동일한 과정 하에서 측정이 가능하였다. 그리고, 에크리매틱 더블렛 렌즈를 사용하여, 기존 레이저 자체가 지니고 있는 초점 크기보다 현저히 작은 레이저 초점을 얻을 수 있었고, 이를 이용하여 버의 정밀한 측정이 가능하였다. 하지만, 주변의 진동이나 측정각의 변화에 의해 가끔 오차가 발생하였다. 따라서, 향후 수행되어질 연구에서는 이를 보완하며, 기존 마이크로 편칭 시스템에 부착하여, 실시간 측정 및 자동 정렬이 가능한 인프로세스 제어형(In-process control type)의 정밀 편칭 시스템으로 발전시킬 계획이다.

4. 결론

본 연구에서는 박판의 미세 편칭 가공 시, 발생하는 버 형상 및 이를 최소화하기 위한 방법을 연구하기 위하여 정밀 편칭 시스템을 제작하였다. 그리고, 자체 제작된 마이크로 편칭 시스템을 이용하여 미세 박판을 편칭하고, 레이저를 이용하여 미세 박판의 버를 측정하였다. 기존의 수직으로 측정할 때, 발생하는 오차를 줄이기 위해서, 레이저와 버 사이의 경사각을 주었으며, 레이저의 초점 크기를 현저히 줄임으로써, 버의 형상과 높이를 정밀하게 측정할 수 있었다. 그리고, 측정된 값과 실제 측정값을 비교함으로써 레이저 측정의 유용성을 검증하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지원 차세대 신기술 개발 사업 중 Milli-Structure 생산기술개발사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사합니다.

참고문헌

1. T. C. Lee, L. C. Chan and P. F. Zheng, "Application of the finite-element deformation method in the fine blanking process", *Journal of Materials Processing Technology* 63, pp. 744-749, 1997.
2. T. M. Chang and H. W. Swift, "Shearing of Metal bars", *J. of the Inst. of Met.*, Vol. 78, 1950.
3. W. Johnson and R.A.C. Slater, "Survey of slow and fast blanking of metals at ambient and high temperatures", *Proceedings of the international Conference of Manufacturing Technology CIRP-ASTME*, pp.825, 1967.
4. L.A. Holiga, "Punch to die clearance", *ASTME 33rd Annual meeting*, 65(2), 1965.
5. A.G. Atkins, "On cropping and related process", *International Journal of Mechanical Sciences* 22, pp.215, 1980.
6. C.M. Choy and R. Balendra, "Experimental analysis of parameters influencing sheared-edge profiles", *Proceedings of the 4th international conference on sheet metal*, pp. 101-110, 1996.
7. Q. Zhou and T. Wierzbicki, "A tension zone model of blanking and tearing of ductile metal plates", *International Journal of Mechanical Science* Vol. 38. No. 3, pp. 303-324, 1996.
8. E. Taupin, J. Breitling, W.T. Wu and T. Altan, "Material fracture and burr formation in blanking results of FE simulations and comparison with experiments", *Journal of Materials Processing Technology* 59, pp. 68-78, 1996.
9. S.H. Jeong, "A study in shearing mechanism by FEM", *MS Thesis, Seoul National University, Korea*, 1996.
10. M.G. Cockcroft and D.J. Latham, "Ductility and the workability of metals", *Journal of the institute of metals* Vol. 96, pp.33-39, 1968.
11. J. Breitling, B. Pfeiffer, T. Altan and Klaus Siegert, "Process control in blanking", *Journal of Materials Processing Technology* 71, pp. 187-192, 1997.
12. J. Wilson and J.F.B. Hawkes, "Laser Principle and Applications", *Prentice Hall*, pp. 90-145, 1987.
13. Francis A. Jenkins and Harvey E. White, "Fundamentals of Optics", *Mc Graw Hill, Physics Series*, pp. 78-112, 1976.