

자동 정렬 펀칭 시스템의 개발과 디버링

홍남표*·신홍규*·김병희**·김현영**

Development of auto-alignment punching system and de-burring

N. P. Hong, H. G. Shin, B. H. Kim and H. Y. Kim

Abstract

The shearing process for the sheet metal is normally used in the precision elements such as semi-conductor components. In these precision elements, the burr formation brings a bad effect on the system assembly and demands the additional de-burring process. In this paper, we have developed the desktop-type precision punching system to investigate the burr formation mechanism and present kinematically punch-die auto aligning methodology, for the purpose of burr uniformizing and minimizing, between the rectangular shaped punch and die. By using the scanning electron microscope, the aligned punching results are compared with the miss-aligned ones. Also, we measured the relative burr heights using the self-designed laser measuring device for in-situ self aligning. Since it is hard to get the perfect, so called, burr-free edges during the shearing process, we introduced the ultrasonic de-burring machine. The de-burring operation was carried out by a novel de-burring method, the reversal flow resistance method, under different machining loads and abrasive types. The final de-burring results show the validity of our punching de-burring system pursuing the burr-free punched elements.

Key Words : Micro Punching, Aligning, Burr Measurement, De-burring

1. 서론

버(burr)란 절삭가공이나 전단가공에 있어 소성변형에 의하여 피가공물의 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.

20세기 후반, 산업의 비약적인 발달과 함께 제품의

소형화 현상이 두드러지게 나타났으며 이러한 현상은 제품을 구성하는 부품의 소형 정밀화를 가져왔다. 전단 시 피 가공재의 가장자리에 발생한 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 것은 거의 불가능하므로, 적용되는 부품에 따라 조립 및 형상정밀도에 영향을 주지 않는 범위 내에서 버의 형상

* 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과 대학원

** 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부

및 크기를 결정해야 한다.

전단공정에 있어 버 발생과 전단면 형상에 영향을 주는 인자로는 펀치와 다이(die)의 클리어런스(clearance), 펀칭속도, 전단재료의 특성, 전단날의 마모 정도, 전단시 상/하 홀더의 유무 등이 있다.

본 연구에서는 수치 제어에 의해 구동되어지는 정밀 펀칭시스템을 개발하였다. 1 μ m의 수치 정밀도를 가지는 X-Y 테이블 및 스텝모터를 이용하여 미세 이송이 가능한 다이와 박판 재료의 평면 이송 시스템을 구비한 수치 제어형 자동 펀칭 시스템을 제작하였다. 직접통전방식(direct electric current method : DECM)을 이용하여, 펀치와 다이간의 버 크기와 높이를 최소화 및 균일하게 하였다. 그리고, 레이저 측정을 이용하여 버 높이를 개괄적으로 측정하여 DECM의 오차를 줄일 수 있었다. 잔류 버를 제거하기 위하여, 초음파를 이용하여 해결할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 펀칭 시스템

2.1 펀칭 시스템의 구조

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 스텝핑에 의하여 제작되어진다. 또한 전단 시 발생하는 버는 제품의 조립 정밀도에 큰 영향을 끼칠 뿐만 아니라 최종 제품의 형상 정밀도에도 영향을 준다. 그러나 이러한 버를 완전히 제거하기란 현실적으로 불가능하다. 본 연구에서는 발생한 버의 크기를 최소화하는 것이 궁극적인 목적이며, 이를 위하여 마이크로 펀칭 시스템을 제작하였다. 자체 설계/제작한 마이크로 펀칭 시스템은 기본적으로 3 \times 3mm의 사각형 홀을 펀칭 할 수 있게 하였으며, 펀치와 다이를 교체함으로써 1 \times 1mm, 0.5 \times 0.5mm 사각홀 뿐만 아니라 원형, 타원형, 직사각형 등 다양한 모양의 제품을 펀칭 할 수 있도록 하였다. 그림 1과 같이 펀칭 헤드부, 소재 이송부, 그리고 X-Y 테이블로 구동되는 펀치와 다이 정렬부로 구성된다. 본 마이크로 펀칭 시스템은 마이크로 프로세서에 의해 구동 및 작동 상태가 모니터링 되며, RS232C 시리얼 통신을 사용함으로써 그 작동이 수치적으로 제어된다. 또한, 윈도우 기반의 PC 용 모니터링 프로그램에 의해 마이크로 펀칭 시스템의 제어와 모니터링이 그래픽 환경 하에서 수행된다.

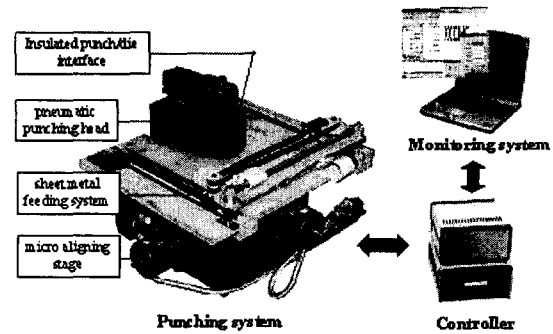


Fig 1. Micro punching system

2.2 직접통전방식에 의한 자동 얼라인먼트

박판 전단에 있어 버 및 전단면 형상에 가장 큰 영향을 주는 인자가 전단날 사이의 간극이다. 따라서 본 연구에서는 직접 통전 방식에 의한 펀치-다이 정렬 방식을 이용하여 마이크로 펀칭 시스템이 보다 정밀한 펀치-다이 정렬을 수행할 수 있도록 하여 펀칭 시 버 발생을 최소화 및 제안된 정렬 방법의 유용성 검증에 있다.

직접통전방식(DECM)에 의한 펀치와 다이 사이의 간극 및 정렬 제어는 마이크로 펀칭 시스템 설계 시 하부 금형과 X-Y 테이블의 베이스 사이를 절연하여 펀치와 다이 사이에 전기적 절연을 유도하였다. 이후, 스텝핑 모터에 작동 펄스(pulse)를 입력하여 X-Y 테이블을 상/하, 좌/우로 구동시켜 각각의 접지된 지점을 찾고 상/하, 좌/우 지점간의 펄스를 계산하여 펄스값의 1/2이 되는 지점으로 X-Y 테이블을 이동시킴으로써 펀치-다이 정렬을 수행하였다. 물론, 이때 모터의 백래쉬(backlash)와 스틱슬립(stick-slip)을 염두해 두어야 한다. 그러나 이 방법을 사용할 경우 펀치가 다이에 수 mm로 접근했을 때 접촉이 일어나지 않은 상태에서 통전이 발생하였다. 이러한 오차를 줄이기 위해 많은 실험을 수행한 후 기준이 되는 전류 세기를 선정하고 그 전류 세기를 기준으로 접촉을 판별하였다.

2.3 레이저를 이용한 버의 측정

전단 시 발생한 버의 효율적인 억제 및 제거를 위해서는 정밀한 버의 측정이 선행되어야 한다. 그러나 얇은 박판에 발생한 버는 그 크기가 매우 작아 측정상의 많은 문제점을 야기한다. 본 연구에서는 레이저를 이용한 비접촉식 버 측정을 실행하였다. 하지만, 버의 크기에 비해서 현저히 큰 레이저 스팟 사이즈에 따른 오차가 매우 컸으며, 버의 반경에 따른 측정하지 못하는 부분이 있었

다. 이를 해결하기 위해서, 스팟 사이즈를 줄이고, 측정 각을 변화시키는데 주안점을 두었다. 스팟 사이즈는 레이저 프로브 앞에 아크로매틱 더블릿 렌즈(achromatic doublet lens)를 사용하여 스팟 사이즈를 줄였으며, 측정 각도 대략 45°로 하여 비의 반경에 의해 측정하지 못한 부분을 측정하였다. 그리고 회전 테이블을 이용하여 180°로 위상을 바꾸어 측정각에 따른 오차를 재 측정함으로써 줄일 수 있었다.

2.4 디버링

전단 공정 후 발생한 버는 많은 경우가 소성변형에 의해 발생하므로 항복점이 원 소재보다 커지게 된다. 그러나 발생한 버의 크기가 매우 작기 때문에 디버링이 가능하다. 후판에 대한 디버링 작업은 기계 가공이나 수작업에 의하여 이루어지지만 박판의 경우는 기계 가공이 어렵다. 특히 미세 박판의 경우 기계 가공이나 수작업이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 초음파 가공의 특성을 전단 시 발생한 버를 제거하기 위한 디버링 공정에 적용하였다.

초음파 가공을 이용한 기존의 디버링 공정들은 다양하게 수행되었으며 지금까지도 많은 연구가 수행되고 있다. 그러나 이 경우는 단지 초음파 진동에 의한 슬러리 입자의 충격력에만 의존하여 디버링을 유도하였기 때문에 버 끝(팁: tip)이 매우 작고 소성 변형 경화를 겪은 버를 제거가 쉽지 않다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 그림 2와 같은 새로운 디버링 방법을 제안하였다. 이 경우는 슬러리 입자의 직접 충격에 의한 효과와 초음파 진동에 의한 슬러리 입자의 유동에 의한 효과가 동시에 고려되기 때문에 기존의 방법보다 디버링 효과가 크게 나타났다. 그러나 제안된 디버링 방법의 경우 롤오버 부분에서의 표면 가공이 발생할 수 있으므로 사용되는 제품의 용도에 따라 가공 시 공구의 위치 선정에 주의해야 한다.

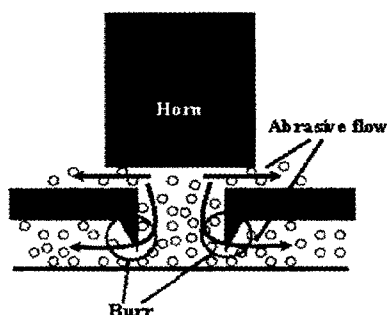


Fig 2. New proposed method

3. 결과 및 토의

자체 제작한 마이크로 펀칭 시스템을 이용하여 두께 0.15 mm의 알루미늄판에 대하여 초기 임의의 위치에서 펀칭 실험을 수행하고, 펀치-다이 정렬을 수행한 후 다시 펀칭 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 펀치와 다이의 크기는 각각 3×3 mm와 3.02×3.02 mm로 펀치와 다이의 정렬이 정확하게 맞았을 경우 공칭 간극은 10 μm이 된다. 그림 3(a)는 초기 임의의 위치에서 펀칭한 SEM 사진이다. 좌측에 버가 발생한 것을 알 수 있다. 그림 3(b)는 펀치-다이 정렬을 수행한 후의 SEM 사진이다. 좌측 버의 발생이 현저히 감소된 것을 알 수 있지만, 버가 완전히 사라진 것은 아니다.

레이저에 의해 측정되어진 버의 대략적인 높이는 그림과 같다. 측정 재료는 그림 3(a)와 같이 좌측에 버가 발생한 두께 0.15 mm의 알루미늄 사용하였다. 본 그래프는 45°로 경사지게 레이저로 측정된 값과 회전 테이블을 이용하여 180° 위상을 변화시켜서 측정된 값을 수치 평균적으로 계산하여 나타낸 그림이다. 기존에 측정된 결과에 비교해 볼 때, 버의 측정에 있어서 레이저 스팟의 직경과 측정각이 중요한 인자임을 알 수 있었다.

자동 정렬 펀칭 공정을 수행 후, 남아 있는 버를 제거하기 위해서 디버링 공정을 수행하였다. 표 1과 같은 조건하에, 디버링 공정의 연구는 디버링 특성을 얻기 위

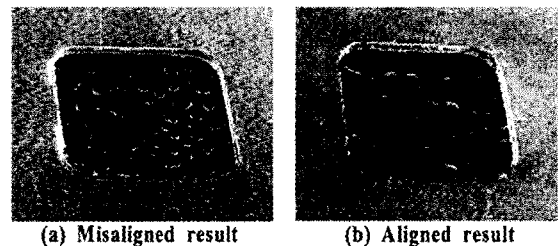


Fig 3. SEM photographs of aluminum sheet punching

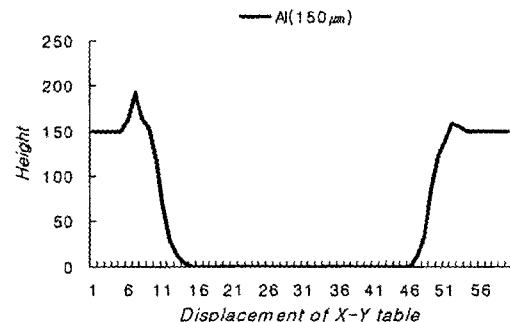
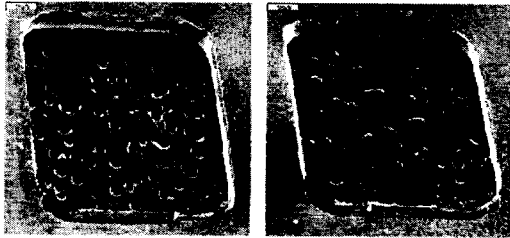


Fig. 4 Result of burr measurement

Abrasive	GC #320(40 μ m), #600(20 μ m)
	C #320(40 μ m), #600(20 μ m)
De-burring tool	6mm, Tungsten carbide
Slurry	50 wt % (water : abrasive)
Workpiece	Al (0.2t)



(a) Before the de-burring (b) After the de-burring
Fig 5. Comparison of burr size with de-burring process

하여 실험적으로 수행하였다. 실험 소재로는 사각 홀이 펀칭되어져 있는 0.2mm의 알루미늄 박판을 사용하였다. 그림 5는 초음파에 의한 버의 와 같은 방법을 사용하여, 디버링은 가공력(load)과 가공 입자의 크기와 종류에 따른 실험을 수행하였다. 가공력이 커질수록 버 제거율도 동시에 증가했지만, 지나치게 힘이 커지게 되면, 박판의 표면 거칠기가 나빠졌을 뿐만 아니라, 표면에 가공 흔적이 뚜렷하게 남았다. 따라서 적절한 가공력의 선택이 중요함을 알 수 있었다. 그리고, 가공 입자의 종류와 크기에 따른 디버링 효과는 산화규소계 CG입자가 가장 컸으며, 입자 크기에 따른 영향은 #600이 #320보다 다소 효과가 크게 나타났으나 큰 차이는 보이지 않았다.

4. 결론

본 연구에서는, 펀칭 공정에서 발생하는 버를 균일하고 최소화하기 위해 직접 통전 방식과 자체적으로 본래의 위치로 귀환하는 펀치-다이의 자동 정렬을 소개했다.

레이저 버 측정 시스템은 버의 정밀한 측정을 위해 개발하였다. 기존의 레이저 스팟 크기의 문제와 측정각을 해결함으로써 보다 정밀한 버의 형상과 크기에 대해서 알 수 있었으며, 또한 전단 시 자동 정렬에도 사용되어 질 수 있다. 그리고, 남아있는 버를 제거하고 버 없는 펀치 요소를 얻기 위하여, 초음파를 이용한 역류 저항식의 디버링 방법을 또한 제시하였다. 펀칭후, 디버링 공정의 전후를 비교한 결과는 이를 잘 증명하는 예이다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지원 차세대 신기술 개발사업 중 Milli-Structure 생산기술개발사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) T. C. Lee, L. C. Chan and P. F. Zheng, 1997, "Application of the finite-element deformation method in the fine blanking process", Journal of Materials Processing Technology 63, pp. 744-749.
- (2) T. M. Chang and H. W. Swift, 1950, "Shearing of Metal bars", J. of the Inst. of Met., Vol. 78.
- (3) W. Johnson and R.A.C. Slater, 1967, "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.
- (4) L.A. Holiga, 1965, "Punch to die clearance", ASTME 33rd Annual meeting, 65(2).
- (5) R. Davies and S.M. Dhawan, 1996, "Further developments in high-speed blanking of metals", Proceeding of International MTDR conference.
- (6) A.G. Atkins, 1980, "On cropping and related process", International Journal of Mechanical Sciences 22, pp.215.
- (7) C.M. Choy and R. Balendra, 1996, "Experimental analysis of parameters influencing sheared-edge profiles", Proceedings of the 4th international conference on sheet metal, pp. 101-110.
- (8) Q. Zhou and T. Wierzbicki, 1996, "A tension zone model of blanking and tearing of ductile metal plates", International Journal of Mechanical Science Vol. 38. No. 3, pp. 303-324.
- (9) E. Taupin, J. Breiting, W.T. Wu and T. Altan, 1996, "Material fracture and burr formation in blanking results of FE simulations and comparison with experiments", Journal of Materials Processing Technology 59, pp. 68-78.
- (10) S.H. Jeong, 1996, "A study in shearing mechanism by FEM", MS Thesis, Seoul National University, Korea.
- (11) M.G. Cockcroft and D.J. Latham, 1968, "Ductility

- and the workability of metals", *Journal of the institute of metals* Vol. 96, pp.33-39.
- (12) J. Breitling, B. Pfeiffer, T. Altan and Klaus Siegert, 1997, "Process control in blanking", *Journal of Materials Processing Technology* 71, pp. 187-192.
- (13) Y.W. Stegeman, A.M. Goijaerts, D.Brokken, W.A.M. Brekelmans, L.E. Govaert and F.P.T. Baaijens, 1999, "An experimental and numerical study of a planer blanking process", *Journal of Materials Processing Technology* 87, pp.266-276.
- (14) D.C. Ko, B.M. Kim and J.C. Choi, 1997, "Finite-element simulation of the shear process using the element-kill method", *Journal of Materials Processing Technology* 72, pp. 129-140.
- (15) W.B. Lee, C.F. Cheung, L.K. Chan and W.M. Chiu, 1997, "An investigation of process parameters in the dam-barcutting of integrated circuit packages", *Journal of Materials Processing Technology* 66, pp. 63-72.
- (16) Ming. Li, 2000, "An experimental investigation on cut surface and burr in trimming aluminum automotive sheet", *International Journal of Mechanical Science* 42, pp. 889-906.
- (17) Ming. Li, 2000, "Micromechanisms of deformation and fracture in shearing aluminum alloy sheet", *International Journal of Mechanical Science* 42, pp. 907-923.
- (18) A.M.Goijaerts, L.E. Govaert, F.P.T. Baaijens, 2001, "Evaluation of ductile fracture models for different metals in blanking", *Journal of Material Processing Technology* 100, pp.312-323.