

마이크로 NCT에 의한 대칭형상구멍의 전단특성

홍남표*, 김병희**, 장인배**, 김현영**, 오수익***

Characteristics of Symmetric-Shape Parts Shearing on Micro NCT

N. P. Hong, B. H. Kim, I. B. Chang, H. Y. Kim, S. I. Oh

Abstract

The shearing process for the sheet metal is normally used in the precision elements such as a frame of TFT-LCD or lead frame of IC chips. In these precision elements, the burr formation prevents the system assembly and needs the additional burr removing process. In this paper, we developed the small size NC punching system which has an aligning kinematics between the rectangular shaped punch and die. The punch is driven by an air cylinder and the sheet metal is moving on the X-Y table system which is driven by two stepping motors. The microprocessor control the whole system and communicate with the monitoring PC by RS232C serial communication protocol. The graphic user interface program in PC monitors and control the punching system. The cross shaped joint hinge supports the punching die and positioned by two differential screws, whose are installed in perpendicular directions. The aligning between the punch and die is performed using the sheets of half thickness(0.1mm Brass) of the real process for the frame of the TFT-LCD. Using half thickness Brass, the burr formation is magnified and we can decide the aligning direction more easily then using the real thickness(0.2mm) Aluminum. In this paper, the aligning results are measured manually using the SEM photographs and we hope to make the automated aligning procedures using some kinds of image processing techniques

Key Words : Micro NCT, Shearing, Burr, Alignment, Flexural guide

1. 서론

박판 성형 공정은 판재에 인장력을 가하여 판재의 형상을 변형시키는 기계가공방법으로 굽힘, 전단, 스트레칭, 딥 드로잉 및 아이어닝 등으로 분류할 수 있다. 이들 중 특히, 전단(shearing) 가공 방법은 소재를 한 쌍의 날(blade)이 달린 공구 사이에 끼우고 압력을 주어 소재에 전단 응력을 발생시켜 필요한 형상으로 절단하는 가공

로, 블랭킹(blanking), 트리밍(trimming), 피어싱(piercing) 등의 공정을 포함하며, 박판(sheet metal)의 성형 및 제조 공정에 가장 많이 사용되고 있는 중요한 공정 중의 하나이다. 반도체 리드프레임이나 TFT-LCD 반사박판 등과 같이 소형, 정밀 부품에서는 펀칭가공 시 버가 형성되면 후가공에 따른 비용의 증대를 초래하며, 많은 경우 후가공 자체가 불가능하다. 또한, MEMS 가공기법에 대한 관심이 높아지면서, 미세가공 부품을 이

* 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부 대학원

** 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부

*** 서울대학교 기계·항공공학부

용한 제품의 응용사례가 늘어나고 있는 추세인데, 미세 박판의 편칭 및 절곡구조가 이들 초소형 기계 제품의 외장 프레임으로 사용되고 있다.

정밀전단에 대한 연구는 독일의 Fritz Schiess에 의해 처음 시작되었으며 현재까지 다양한 형태의 연구결과가 발표되어 왔다¹⁾. Chang과 Swift는 전단 클리어런스와 전단날의 날카로운 정도가 전단에 미치는 영향을 밝혔으며, Johnson et al.은 블랭킹에 있어 편칭속도에 대한 변형률속도의 영향과 온도가 전단에 미치는 영향 등을 포괄적으로 연구하였다⁸⁾. 그 밖에 Holiga, Davies와 Dhawan, Atkin, C.M. Choy et al., Q. Zhou와 T. Wierzbicki, E. Taupin et al. 등에 의해 전단공정에 미치는 각 인자들 즉, 편칭-다이 클리어런스, 편칭속도, 전단재료의 물성치, 전단날의 날카로운 정도, 전단각 등에 대한 연구가 수행되었다⁴⁾. 최근에는 제품 소형화와 정보기기의 발전으로 TFT-LCD 구조물, 반도체 리드 프레임, 컨택터 등 비교적 두께가 얇은 박판에 대한 정밀 전단이 요구됨에 따라 마이크로 단위의 얇은 박판에 대한 연구가 Etienne Taupin et al.²⁾, W.B. Lee⁴⁾, Jochen Breitling et al.⁵⁾, D. Brokken et al.⁷⁾, Ming Li⁸⁾ 등에 의해 수행되어져 왔다.

그런데, 미세 편칭기구에서는 편칭과 다이 사이의 얼라인먼트에 따라 가공 품질이 변할 뿐만 아니라 편칭과 다이의 간섭에 의한 공구의 손상 및 망실의 우려가 있기 때문에 편칭 공정 내에서 양자간의 얼라인먼트를 능동적으로 조절해야만 한다. 이를 위해서는 편칭 작업을 수행하기 전에 편칭과 다이 사이의 간극에 대한 계측을 통한 보정을 수행하거나 예비 편칭 작업 후 그 결과물을 토대로 하여 얼라인먼트를 조절해야만 하는데, 계측과정을 통한 얼라인먼트 보정은 공구가 작아짐에 따라 계측의 어려움이 증대되어 현실적으로 성공적인 적용이 어려울 것으로 판단되고 있다. 이에 반하여 예비편칭 시편을 토대로 한 후처리 보정은 수작업에 의해 기본 얼라인먼트를 조절해야 하고, 가공 후에 측정을 수행하여야 하지만 버의 형성특성으로부터 얼라인먼트 조절량을 추정할 수 있기 때문에 현실적으로는 가장 실현성이 높은 얼라인먼트 방법인 것으로 판단된다. 본 논문에서는 본 연구에서는 미세 이송이 가능한 다이와 박판 재료의 평면 이송 시스템을 구비한 수치제어형 자동 편칭 시스템을 제작하여, 상용 자동 판금기인 NCT에서와 같이 박판에 편칭을 수행한 후 버 형성특성을 측정하여 편칭다이의 미세 위치를 조절하는 방식으로 버의 형성이 최소가 되는 편칭과 다이 사이의 얼라인먼트를 조절한 후 본격적인 자동 편칭 시스템을 구동하는 방식을 채택하므로써, 현재까

지는 미세 구멍의 성형에서 가장 난제로 대두되어지는 편칭과 다이 사이의 얼라인먼트 문제를 해결할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 박판의 편칭

2.1 전단 기구(kinematics)

전단가공의 기구를 살펴보면, Fig. 1에서와 같이 편칭이 하강하여 판재에 접촉한 후 공구 어텐덤(addendum)부가 판재를 언더컷(undercut)해 가는 과정에서 공구면으로부터의 코너의 힘에 의해 판재는 굽힘을 받아 공구면으로부터 떨어지려고 한다. 이 때, (P_p, F_p) 와 (P_d, F_d) 두 힘의 조합이 일종의 썩기작용을 일으켜 이들의 힘이 어느 정도 커지면 어텐덤 근방에서부터 균열이 발생한다. 일반적으로 균열은 판재의 굽힘영향에 의해 다이 측부터 먼저 들어간다. 그러나 판재에 스톱퍼를 대고 판의 다이면으로부터의 튀어 오름을 방지하면 편칭은 측면에서 접하는 전단 droop 측의 재료가 인장되고 다이면 위의 재료가 압축 응력을 받으므로 이 때에는 편칭의 어텐덤 측부터 균열이 들어가게 된다. 균열이 성장하고 상 하 양방향으로부터의 균열이 서로 만나 전단 과정이 종료된다.

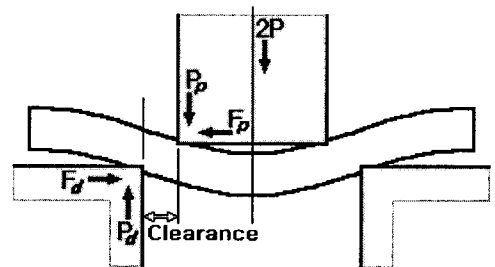


Fig. 1 The kinematics of Shearing

판재를 전단가공에 의해 절단, 분리하거나 천공 및 외형 편칭을 할 때, 필요로 되는 하중은 기본적으로 재료의 전단하중과 전단면의 곱으로 나타나며 재료의 전단하중은 재질과 압연조건 및 열처리 등에 의해 서로 다른 값을 갖는다.

전단에 필요한 하중은 다음 식과 같이 주어진다.

$$P = C \cdot l \cdot t \cdot \tau \quad (1)$$

여기서,

l = 전단길이(mm); t = 소재의 두께(mm)

τ = 재료의 극한인장강도(kg/mm²)

C = 전단각에 따른 보정계수

본 논문에서는 3×3[mm] 크기의 정사각형 단면을 갖는 펀치를 사용하며, 재료는 두께가 0.1[mm]인 적황동 (Cu-Zn-240)과 두께 0.2[mm]인 A5052-O 알루미늄 판재를 사용한다. 사용하는 재료의 물성치와 그에 따른 전단강도는 Table 1에 제시되어 있다.

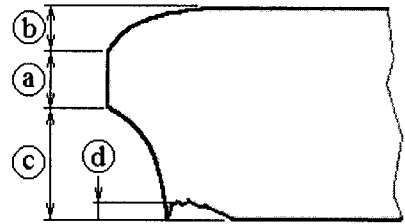


Fig. 2 Shape of the sheared face

Table 1 Material Properties for the test specimens

| | |
|-------------------|------------------------|
| Material | A5052-O |
| Ultimate Strength | 9.1 kg/mm ² |
| Correction Factor | 0.7 |
| Thickness | 0.2 mm |
| Shear Force | 15.3 kg |
| Material | Cu-Zn-240 |
| Ultimate Strength | 8 kg/mm ² |
| Correction Factor | 0.7 |
| Thickness | 0.1 mm |
| Shear Force | 6.7 kg |

전단 가공면의 형상은 Fig. 2에서와 같이 큰 전단 변형을 받은 면에서와 공구의 측면에서 버니싱 (burnishing) 가공되어 광택이 있는 깨끗한 부분 ㉠, 공구가 언더컷할 때 끌려 들어간 자유표면의 부분(소재가 펀치의 끝날에 눌러진 면) ㉡, 균열이 생겨 파단한 부분에서 결정입자면이 나타난 미소한 요철이 심한 부분 ㉢ 및 어텐덤은 높은 응력상태에 있기 때문에 균열 발생점은 절삭날의 선단보다 약간 측면에 들어간 곳에 생기는 결과 만들어지는 부분 ㉣ 등 네 개의 부분으로 이루어져 있다. 이들 부분의 절삭면에서 차지하는 비율은 재료의 종류와 전단 조건에 따라 달라지는 데, 일반적으로 연성이 많은 재료에서는 절삭의 대부분이 전단에 의해 형성되어 전단 droop과 복귀에 의한 ㉡와 ㉣가 비교적 크게 발생한다. 반면에, 연성이 부족한 재료에서는 절삭면의 대부분이 파단면으로 되고 전단 droop와 전단에 의한 ㉠와 ㉢가 작다. 일반적으로, 동일 재료일지라도 틈새의 크기에 따라 전단 절삭면의 형상이 변화한다.

또한, 전단가공시 균열이 발생, 성장하는 형태는 Fig. 3에서와 같이 펀치와 다이 사이의 틈새에 영향을 받는다. 전단 가공에 있어 판재의 최종 분리는 양 절삭날 사이를 연결하는 균열에 의해 이루어지므로 이 균열의 화합에 따른 최적의 가공면을 얻기 위해서는 제품의 수량과 정도 및 형상 등을 고려하여 전단금형 틈새의 크기를 결정해야 한다.

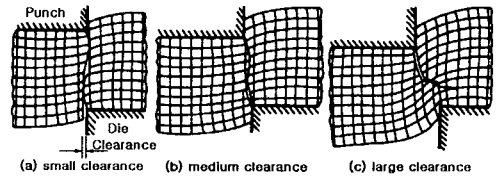


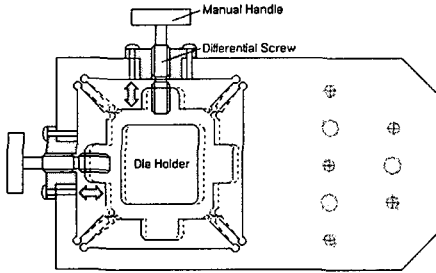
Fig. 3 The effect of the clearance to the crack propagation

2.2 전단틈새의 미세조정

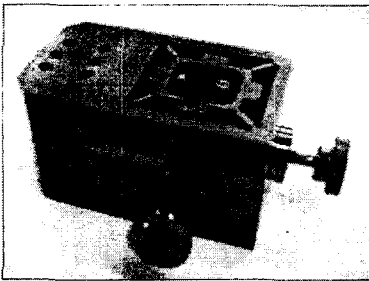
전단가공 중 특히 펀칭가공은 닫힌 경로상태로 전단이 수행되기 때문에 펀치와 다이 사이의 틈새는 설계과정에서 임의적으로 결정되어버린다. 그러나, 미리 결정되어버린 틈새 내에서도 펀치와 다이 사이의 얼라인먼트에 의해 각 방향별로 서로 다른 틈새가 형성되어 가공면의 불균일을 초래하기 때문에 전단틈새의 미세 조절기구가 필요하게 된다. 특히, 펀치의 상당 직경이 밀리미터 이하의 단위로 감소하게 되면 얼라인먼트의 중요성은 계측 및 보정에 있어서의 어려움과 더불어 크게 증가하게 된다.

본 논문에서 펀칭다이의 미세 이송 시스템은 미세 이송기구에서 자주 사용되어지는 탄성 힌지를 사용하였다. 그런데, 일반적으로 탄성 힌지는 미세 회전각에 대하여 발생하는 코사인 에러를 무시한 상태에서는 순수 수평 운동과 유사한 운동을 구현할 수 있다는 점에 착안하여 1자유도의 운동을 구현하기 위하여 일반적으로 채용되어지는 기구학적 베어링 메커니즘으로, 주로 압전 소자에서 발생하는 수십 마이크로 단위의 미세 이송을 증폭하여 수백 마이크로 범위의 이송을 만들어내는 데 사용되어진다. 따라서, 변위의 증폭과 2자유도 운동을 동시에 구현하기 위해서는 매우 복잡한 힌지-레버 기구가 연결된 형상을 구현해야만 하는 난점이 있다. 그런데, 본 연구에서 채용된 힌지는 최대 이송거리가 펀치와 다이 사이의 공차 범위를 넘어서지 않기 때문에 최대 수십 마이크로 변위만을 필요로 한다. 따라서 별도의 증폭을 위한 레버 메커니즘을 필요로 하지 않고, 2차원 평면운동을 동일 메커니즘 내에서 구현한다 하여도 심각한 커플링 현상을

유발하지 않는다. 따라서, 본 논문에서는 Fig. 4 에 도시된 것과 같은 x자형 회전관절기구를 갖는 가이드 메커니즘을 구축하였다.



(a) Schematic diagram



(b) Photograph for real stage

Fig. 4 Cross Shaped flexural guide mechanism for 2 plane movement

또한, 이송기구는 미세 이송이 가능하면서도 이송 후 그 위치를 기구학적으로 구속하여 전원이 꺼진 후에도 그 위치를 잃어버리지 않는 이송 메커니즘을 필요로 하며, 향후 서보 시스템의 장착이 가능하여야 한다. 이를 충족시킬 수 있는 스크루형 이송 시스템이 바로 미분나사이다. 미분나사는 Fig. 4에 도시된 것과 같이 미터계 나사와 유니파이계 나사의 미세한 피치 차이를 이용하여 이송을 구현하는 이송기구로, 본 논문에서는 M10×1.25 미터나사와 UNF3/8×20 인 유니파이 나사를 사용하므로서 1회전 당 약 20 μm 정도의 이송 정밀도를 구현하였다. 본 논문에서는 미분나사를 수동으로 이송하도록 하였으나 향후에는 이를 스테핑모터로 대체하여 서보 시스템을 구축할 예정이다.

2.3 펀칭시스템의 구축

표준품으로 생산되는 펀치⁹⁾는 Fig. 5 에 도시된 바와 같이 공압 실린더로 구동되는 셀렉트 리테이너 세트에 장착되며 다양한 단면형상 및 크기의 교체가 가능하며, 펀치의 선단부에는 박판소재를 펀칭하기 직전에 소재를

수평방향에 대해 구속하기 위하여 우레탄 재질의 스트리퍼를 설치하였다. 펀치는 리테이너 내측면을 기준으로 하여 평행운동을 하는데, 상하운동의 반복 정밀도는 제조사에 의해서 10μm 이내로 보장이 되어 있다. 또한 다이는 엔드 리테이너 내에 설치되는데, 다양한 형상의 교체가 가능하도록 설계되어 있다. 본 논문에서는 전단가공 시 발생하는 버 형성특성을 고찰하기 위하여 선단부 펀치크기를 3×3[mm]로 선정하였으나 펀치와 다이를 교체하면 향후 미세펀칭 가공특성에 대한 고찰도 가능하다.

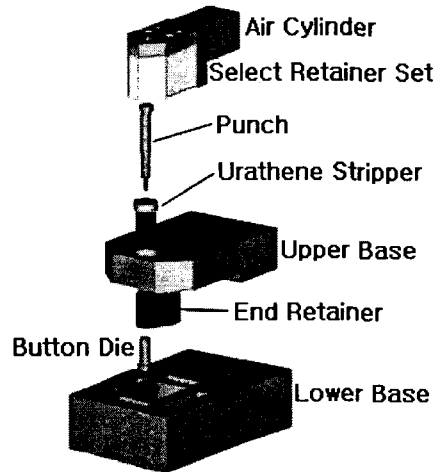


Fig. 5 Schematics of the punching tool assembly

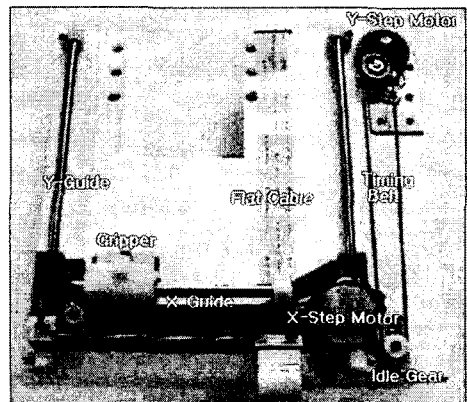


Fig. 6 Table System for the Micro NCT

가공 대상물인 박판 부재를 2차원 평면 내에서 자동으로 이송하기 위하여 Fig. 6에서와 같이 리니어 가이드와 스테핑모터 및 타이밍 벨트 구동 시스템을 사용한 이송계를 구축하였다. 평면 이송 시스템은 최초 작동 시 2개

의 포토커플러를 사용하여 원점을 확인한 후 작동을 개시하며, 하나의 작업단위가 종료되면 자동적으로 원점으로 복귀하도록 프로그램이 되어 있기 때문에 비록, 이송계가 개루프 제어로 구동되지만 원점을 잃어 오작동을 하는 경우는 거의 발생하지 않는다. 스테핑모터의 구동력을 증가시키기 위하여 감속기가 채용되었으며, 모터의 반대편에는 아이들 축이 설치되어 타이밍 벨트를 지지하고 있다. y축의 가이드를 위해서는 한 쌍의 리니어 가이드가 사용되었고 베어링으로는 플라스틱 계통인 무윤활 방식 물론 베어링이 사용되었다. x축에는 박판 부재를 고정하기 위한 클램프가 설치되어 있으며, 단축으로 구성되어 있다. x축 이송계는 y축 상에 얹혀 있으므로 전선을 끌고 다녀야 하는데, 전선의 강성을 무시할 수 없기 때문에 계의 작동 정밀도에 영향을 끼칠 수도 있다. 전선의 강성을 최소화하기 위하여 본 논문에서는 박판 폴리머 위에 박막금속으로 전선이 성형된 플랫(flat)케이블을 사용하였다.

본 연구에서 개발된 마이크로 NCT 시스템은 독립형 마이크로프로세서에 의하여 구동 및 작동상태가 모니터링되며, RS232C 시리얼통신을 사용하여 제어값과 모니터링 결과가 모니터링 PC로 전송된다. PC에는 윈도우즈 기반의 모니터링 프로그램이 작성되어 있어 마이크로 NCT 시스템의 제어와 모니터링이 그래픽 환경 하에서 수행된다. 전체 시스템의 구성도는 Fig.7에 도시되어 있다.

펀칭 공정은 두 개의 스테핑모터와 두 개의 포토커플러 및 두 개의 홀 센서, 그리고 하나의 공압 실린더로 구성된다. 스테핑모터는 박판 부재의 X-Y 이송을 위한 구동기이며, 포토커플러는 원점 보정을 위한 것이다. 공압을 사용하여 펀칭 공정을 수행하며, 공압 실린더의 전진 및 후진을 감지하여 펀치가 판재에서 완전히 빠지지 않은 상태에서 판재를 이송하는 오류가 발생하지 않도록 펀치의 전진 및 후진을 홀 센서를 사용하여 감지한다.

Fig. 8에서는 실제로 구축된 시스템의 외형을 보여주고 있다. X-Y 방향으로 구동되는 그리퍼는 테이블 상에서 박판소재를 가공위치로 이송하며 해당 가공위치에서 펀칭작업이 수행된다. 본 연구에서 개발된 시스템은 분당 300타의 가공속도를 갖고 있다.

3. 결과 및 고찰

본 논문에서 개발된 NC 제어형 마이크로 펀칭 시스템을 사용하여 TFT-LCD의 프레임 재료로 주로 사용되는 두께 0.2 mm인 A5052-O 알루미늄 판재의 가공실험을

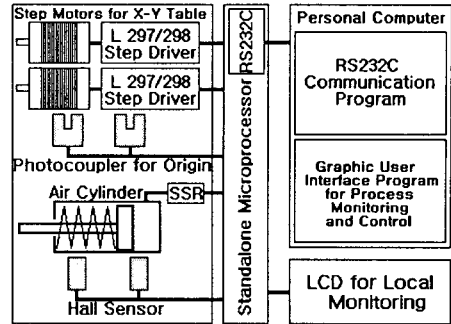


Fig. 7 Schematics for the Micro NCT System

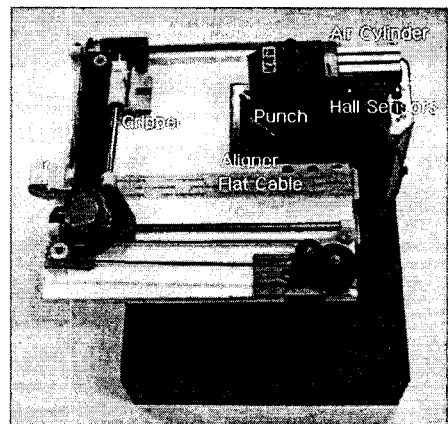


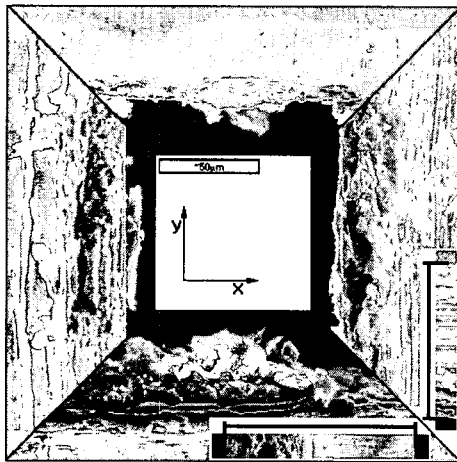
Fig. 8 The Micro NCT System

수행하였다. 본 가공에 앞서 두께가 0.1mm인 황동 재질의 판재를 사용하여 버 발생특성을 검사하였다. 동일한 틈새조건 하에서 가공용 판재의 두께를 감소시키면 버는 실제 조건에서보다 훨씬 더 증폭될 뿐만 아니라 얼라이먼트가 갖추어지지 않은 상태에서 펀칭 가공을 수행하면 발생할 수 있는 펀치와 다이의 날 마모 현상을 줄일 수 있는 이점이 있다.

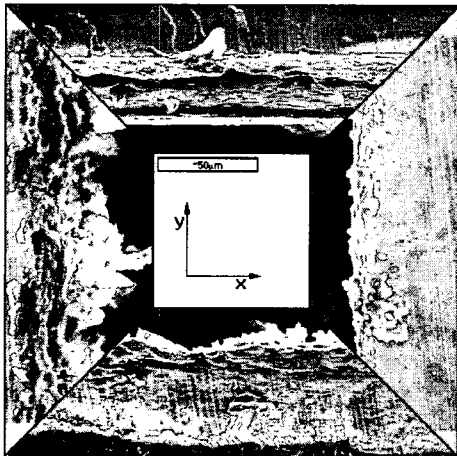
본 논문에서 사용한 펀치와 다이의 단면형상 치수는 각각 3.000×3.000 [mm]와 3.030×3.030 [mm]이므로 펀치와 다이의 얼라이먼트가 정확히 맞는 경우 공칭 간극은 $15\mu\text{m}$ 이 된다. Fig. 9 (a)에서는 두께가 0.1mm인 판재에 대한 최초 가공 시 발생한 버의 SEM 영상을 보여주고 있다. 그림에 따르면 버는 +x 및 -y 방향으로 심하게 치우쳐져서 나타남을 알 수 있다. 이를 근거로 하여 미분나사로 구동되는 미세 이송시스템을 -x 및 +y 방향으로 각각 약 $25\mu\text{m}$ 정도씩 이송하여 가공을 수행한 결과 (b)에서와 같이 버의 발생특성이 현저하게 줄어들었다. 또한 +x 방향은 버의 발생이 극단적으로 작은 반면 다른 모든 방향에서의 버 발생량은 유사하게 나타나고 있

음을 확인할 수 있다.

이 시스템에 대하여 두께가 0.2mm인 TFT-LCD 프레임 가공용 판재를 사용하여 가공특성을 측정한 결과가 Fig. 10 (a) 및 (b)에 각각 도시되어 있다. 얼라인먼트를 조절하기 전단계인 (a)의 경우 판재의 편칭시 소요되는 가공력이 공압 실린더의 편칭력을 초과하는 수준에 도달하여 편칭 공정이 정상적으로 수행되지 못하여 타공이 이루어지지 못한 반면, (b)의 경우 성공적인 얼라인먼트 조절로 인하여 가공력이 감소되어 허용 가능한 정도의 버 발생을 수반하며 정상적으로 편칭공정이 수행됨을 관찰할 수 있다.

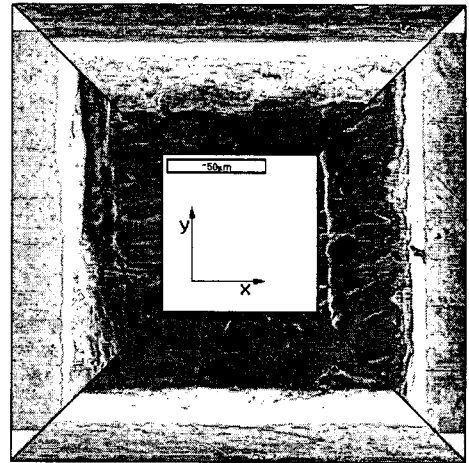


(a) before the alignment correction

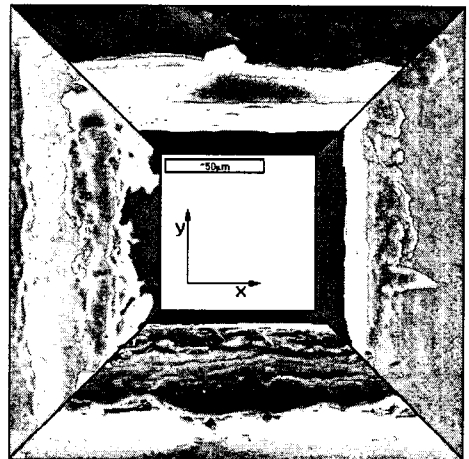


(b) after the alignment correction

Fig. 9 The characteristics of burr formation for 0.1 mm thickness Brass plate



(a) before the alignment correction



(b) after the alignment correction

Fig. 10 The characteristics of burr formation for 0.2 mm thickness Aluminum plate

4. 결론

본 연구에서는 박판의 미세편칭 가공 시 수반되는 버 성형에 대한 측정을 통하여 얼라인먼트를 조절함으로써, 버 발생특성을 극소화시키기 위한 방안을 모색하였다. 본 가공공정에서 소요되는 판재 두께의 1/2인 판재를 사용하여 시험가공을 수행한 후 버의 성형특성을 관찰하여 얼라인먼트의 편향량을 예측하고 이를 토대로 하여 미분 나사를 이용한 보정을 수행함으로써, 모든 방향으로 동일한 수준의 버가 발생하도록 얼라인먼트를 조절한다. 이후 본 가공을 수행하면 주어진 편칭과 다이 사이의 간극조건 하에서 버 성형을 극소화시킬 수 있음을 관찰하였다. 본 연구 결과를 기초로 하여 편칭 시 발생하는 버

의 발생방향과 발생량을 측정하여 얼라인먼트를 보정할 수 있는 서보 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

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

5. 참고문헌

1. T. C. Lee, L. C. Chan, 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. Etienne Taupin, Jochen Breitling, Wei-Tsu Wu and Taylan Altan, 1996, "Material fracture and burr formation in blanking results of FEM simulations and comparison with experiments", *Journal of Materials Processing Technology* 59, pp 68-78,
3. Dae-Cheol Ko, Byung-Min Kim and Jae-Chan Choi, 1997, "Finite-element simulation of the shear process using the element-kill method", *Journal of Materials Processing Technology* 72, pp 129-140
4. W.B. Lee, C.F. Cheung, L.K. Chan, W.M. Chiu, 1997, "An investigation of process parameters in the dam-bar cutting of integrated circuit packages", *Journal of Materials Processing Technology* 66, pp 63-72
5. Jochen Breitling, Bernd Pfeiffer, Taylan Altan and Klaus Siegert, 1997, "Process control in blanking", *Journal of Materials Processing Technology* 71, pp 187-192
6. M. Samuel, 1998, "FEM simulations and experimental analysis of parameters of influence in the blanking process", *Journal of Materials Processing Technology* 84, pp 97-106
7. Y.W. Stegeman, A.M. Goijaerts, D.Brokken, W.A.M. Brekelmans, L.E. Govaert, F.P.T. Baaijens, 1999, "An experimental and numerical study of a planer blanking process", *Journal of Materials Processing Technology* 87, pp 266-276
8. 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

9. Catalog of MITSUMI standard components, 2000-2002