

미세 구멍 펀칭 기구 개발

주병윤* · 오수익** · 전병희***

Development of Micro Punching System

B. Y. Joo, B. H. Jeon, and S. I. Oh

Abstract

A micro hole punching system was developed and micro holes of 100 μ m in diameter were successfully made on brass sheets of 100 μ m in thickness. A micro punch made of tungsten carbide was designed to withstand the punch load, considering the buckling and the bending moment due to possible misalignment error. The punch was fabricated by the grinding process with diamond wheel. The die was designed considering the punch load and fabricated by micro electrodischarge machining process. In this system the stripper is designed to guide punch tip to minimize the possible misalignment. The punch was installed on a vertical stepper and the die was mounted on an X-Y translation unit. The precision motion controller controlled all motions of the micro hole punching system. In this study technical difficulties and solutions in the micro hole punching process were also discussed.

Key Words : Micro Hole, Micro Punching, Alignment.

1. 서 론

최근 들어 산업 현장에서는 초소형, 초박형 미세 부품의 정밀 가공에 대한 필요성이 커지고 있다. 직경 수십 μ m의 잉크젯 프린트헤드 노즐⁽¹⁾ 가공은 미세 구멍 가공의 한 예이다. 이러한 미세 구멍 가공을 위해서 마이크로 밀링⁽²⁾, 초음파 가공⁽³⁾, 마이크로 펀칭⁽⁴⁾, 마이크로-EDM⁽⁵⁾, 이온 가공⁽⁶⁾, 엑시머 레이저 가공⁽⁷⁾ 등 다양한 가공법에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 연구의 목표는 얇은 금속판에 두께/직경 비가 1~2이고 직경 25~100 μ m의 미세 구멍을 펀칭으로 가공할 수 있는 정밀한 프로토타입 미세 구멍 펀칭 시스템을 개발

하는 것이다. 본 연구에서 개발된 미세 구멍 펀칭 기구의 특징은 다음과 같다. 첫째, 펀칭 시 소재를 잡아주고 펀치를 가이드하기 위해 기존 펀칭용 금형과 같이 스트리퍼 금형이 도입되었다. 둘째, 직경 25 μ m의 미세 구멍 펀칭을 위해서 기존 펀칭 시스템과는 달리 펀치는 수직 운동만을 하는 반면 다이가 정밀한 x-y 이송 장치 위에서 움직일 수 있게 하였다. 셋째, 금형의 가공 가능성이 고려되었다. 넷째, 조립 오차에 의한 시스템 정밀도 저하를 방지하기 위해 부품 수를 최소화하였다. 본 연구에서 개발한 펀칭 기구를 이용하여 두께 100 μ m의 황동 박판에 직경 100 μ m의 미세 구멍을 펀칭하였다.

* 서울대학교 대학원

** 인덕대학 컴퓨터응용설계과

*** 서울대학교 기계항공공학부

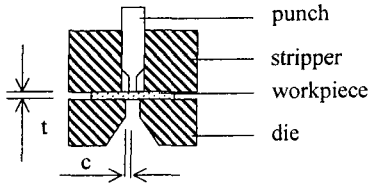


Fig. 1 Schematic View of Microhole Punching

2. 기술적 어려움

Fig.1은 미세 구멍 펀칭 공정의 개괄도이다. 직경 $25\mu\text{m}$ 의 미세 구멍 펀칭 시 발생할 수 있는 기술적 어려움은 다음과 같다. 정밀 전단⁽⁸⁾에서는 소재 두께에 대한 다이 클리어런스의 비(c/t)가 대략 0.5%이고 다이 클리어런스 c 는 대략 $0.1\mu\text{m}$ 이다. 이러한 매우 작은 다이 클리어런스 조건으로 펀치와 다이 구멍의 위치 맞춤은 매우 어려우며 위치 맞춤 실패로 인한 금형의 파손이 예상된다. 일반 전단 공정⁽⁸⁾에서 c/t 는 대략 5~10%이고 다이 클리어런스는 약 $1\mu\text{m}$ 이다. 따라서 일반 전단 공정에 의한 직경 $25\mu\text{m}$ 의 미세 구멍 펀칭을 위해서 수 mm의 펀치 행정 동안 발생할 수 있는 금형의 직진 정밀도를 $1\mu\text{m}$ 이내에서 맞추어야 한다. 이러한 금형의 직진 정밀도는 펀칭 금형에 LM 가이드를 적용함으로써 구현할 수 있다. 한편 미세 구멍 펀칭 공정은 환은, 청정 조건에서 수행 되어야 한다. 미세 구멍 펀칭 공정 시 금형의 열변형은 금형의 위치 맞춤 실패의 원인이 될 수 있기 때문이다. 금형의 열변형에 대한 문제는 다중 펀치를 갖는 금형의 경우 더 심각하기 때문에 본 연구에서는 단일 펀치를 갖는 펀칭 금형을 선택하였다.

본 연구에서 설계된 미세 펀치는 세 단을 갖고 있다. 첫째 생크는 구멍 펀칭 시 이용되고 둘째 생크는 스트리퍼에 의해서 가이드 되고 셋째 생크는 펀치 홀더에 의해서 고정된다. Fig.2는 스트리퍼 금형과 펀치 홀더 금형의 이심 오차에 의해서 야기될 수 있는 미세 펀치의 변형을 보여준다. 여기서 D , e , c 를 각각 미세 펀치의 둘째 생크의 직경, 미세 펀치와 스트리퍼 가이드 구멍과의 클리어런스, 펀치 홀더 금형과 스트리퍼 금형과의 이심 오차라고 하자. 만약 $e > c$ 이면 금형의 이심 오차는 미세 펀치의 변형을 야기 시킨다. 이때 미세 펀치에 발생하는 최대 굽힘 응력은 펀치 재료의 TRS(transverse rupture strength)보다 작아야 한다. 또한 펀치 홀더 금형과 스트리퍼 금형의 이심 오차는 미세 펀치의 입사각의 오차 θ 를 유발한다. 이러한 미세 펀치 변형과 입사각 오차는 보 이론으로부터 구할 수 있다.

일반적인 펀칭 금형에서 스트리퍼 금형은 펀칭 공정

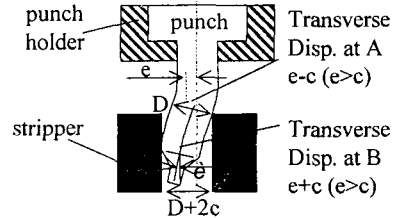


Fig. 2 Effect of Eccentricity of Die Set

시 소재를 잡아주고 펀치 끝단을 가이드 해 주는 역할을 한다. 따라서 직경 $150\sim 200\mu\text{m}$ 보다 큰 구멍 가공을 위한 펀칭용 금형에서는 스트리퍼 구멍과 다이 구멍의 크기가 동일하다. 이 경우 스트리퍼 구멍과 다이 구멍은 방전 가공에 의해서 동시에 가공되고 수백 개 이상의 구멍을 동시에 펀칭할 수 있는 금형을 제작 및 조립할 수 있다. 그러나 직경 $100\mu\text{m}$ 미만의 미세 구멍 펀칭 시에는 Fig.2에서와 같이 스트리퍼는 파손되기 쉬운 미세 펀치의 끝단을 피해서 미세 펀치의 둘째 단을 가이드 해 준다. 이 경우 스트리퍼 구멍과 다이 구멍의 크기는 서로 다르기 때문에 스트리퍼 구멍과 다이 구멍을 동시에 가공하기가 매우 어렵다. 또한 동시에 가공이 가능하더라도 미세 구멍 펀칭 시 발생할 수 있는 금형의 열변형은 펀치와 다이 구멍의 위치 맞춤 실패의 원인이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다중 펀치를 갖는 금형을 피하고 단일 펀치를 갖는 시스템을 선택하였다. 본 연구에서는 두께 $100\mu\text{m}$ 의 황동 소재에 직경 $100\mu\text{m}$ 의 미세 구멍 펀칭을 위한 부품이 설계, 제작되었다.

3. 펀칭 기구 설계 및 제작

3.1 미세 펀치

Fig.3은 끝단 직경이 $100\mu\text{m}$ 인 미세 펀치의 설계 도면이다. 미세 펀치는 초경 합금으로 만들어졌고 다이아몬드 휠을 이용한 연삭 공정에 의해서 가공되었다. 초경 합금의 압축 강도, TRS, 탄성 계수는 각각 6.5, 3.8, 560GPa이다. 본 연구에서 사용한 소재는 두께 $100\mu\text{m}$ 의 황동 CDA377⁽⁹⁾이며 최대 인장 강도 S_u 는 약 394.7MPa

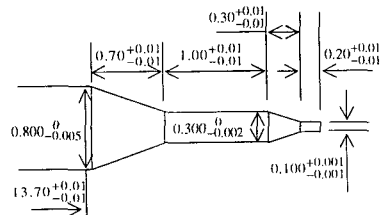


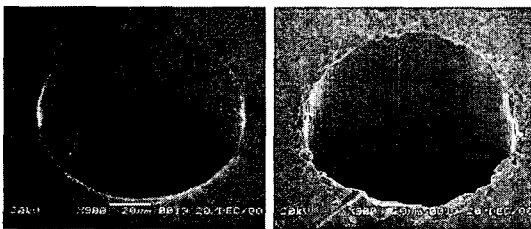
Fig. 3 Micro Punch Dimension(mm)

장착되어 있는 0.1 μ m의 반복 정도를 갖는 x-y이송 장치에 고정 되어 있다. 이송 장치는 정밀 제어가 가능하다.

4. 미세 구멍 펀칭

펀치와 다이 구멍의 정확한 위치 맞춤은 미세 구멍 펀칭에서 해결해야 할 중요한 과제이다 본 연구에서는 직경 100 μ m의 펀치 끝단을 직경 110 μ m의 다이 구멍 속에 정확히 위치 맞춤을 하기 위해서 광학적 위치 맞춤 방법을 도입하였다. 거울을 지면에서 60도의 각도로 스트리퍼 금형에 비스듬히 삽입하고 33mm의 대물 거리를 갖는 렌즈를 30도의 각도로 기울임으로써 스트리퍼 구멍을 통해 다이 홀을 수직으로 볼 수 있다. 펀치와 다이 구멍의 위치 맞춤 방법은 다음과 같다. 다이 블록에 부착된 두께 70 μ m의 알루미늄 필름에 펀치를 하강시켜 펀치 끝단의 자국을 낸 후 광학 시스템과 화상 처리를 통하여 펀치 자국과 다이에 존재하는 여러 개의 구멍들의 상대 위치를 측정한다. 실제 미세 구멍 펀칭 시 소재를 펀치와 다이 블록 사이에 삽입하고 이미 측정된 펀치와의 상대 위치 만큼 다이를 이송함으로써 소재에 여러 구멍들을 펀칭한다.

본 연구에서 개발한 미세 구멍 펀칭 시스템에 의해서 두께 100 μ m의 황동 소재에 직경 100 μ m의 미세 구멍을 펀칭하였다. 이때 다이 구멍의 직경은 110 μ m이다. Fig.6은 펀칭된 구멍을 보여 준다. Fig.6-(a)에서와 같이 펀칭된 구멍의 윗면은 원형의 구멍 형상과 롤오버 영역, 그리고 깨끗한 전단면이 관찰된다. 한편 Fig.6-(b)와 같이 구멍의 밑면은 불균일한 버가 관찰된다.



(a) Upper Side (b) Lower Side
Fig. 6 Punched Microhole on Brass

4. 결론

본 연구에서는 미세 구멍 펀칭 시스템이 개발되었고 이를 이용하여 두께 100 μ m의 황동 소재에 직경 100 μ m의 구멍을 성공적으로 펀칭하였다.

미세 구멍 펀칭에서 향후 연구 방향은 다음과 같다. 첫째, 펀치와 다이 구멍의 위치 맞춤 방안이 개선 되어

야 한다. 둘째, 다이 클리어런스, 펀칭 속도, 소재의 종류, 다이 구멍의 품질 등 여러 펀칭 공정 조건이 펀칭된 구멍의 품질에 끼치는 영향이 조사되어야 한다. 셋째, 생산성의 향상을 위해서 다중 펀치를 갖는 금형의 제조 및 조립 방안에 대한 연구가 수행 되어야 한다. 넷째, 보다 작은 구멍의 펀칭 실험이 수행 되어야 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중, 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 Milli-Structure 생산 기술 개발 사업의 세부과제로서 수행중이며, 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

- (1) P. Chen, 1999, "Pressure Response and Droplet Ejection of a Piezoelectric Inkjet Printhead", Int. J. of Mech. Sci., Vol. 41. pp. 235~248.
- (2) T. Takeuchi, H. K. Toenshoff, 1997, "Three Dimensional Micromachining by Machine Tools", CIRP, Vol. 46/2, pp. 621~628.
- (3) K. Egashia, T. Masuzawa, 1999, "Microultrasonic Machining by the Application of Workpiece Vibration", CIRP, Vol. 48/1, pp 401~404.
- (4) T. Masuzawa, M. Fujino, 1990, "A process for Manufacturing Very Fine Pin Tools", SME Technical Paper, MS90-307.
- (5) G. M. Kim, C. N. Chu, 1999, "Machining Rate and Electrode Wear Characteristics in Micro-EDM of Micro-Holes", J. of the Korean Society of Precision Eng., Vol 16/10, pp. 94~100.
- (6) I. Miyamoto, 1990, "Focused Ion Beam Fabrication of Micro Mechanical Parts", CIRP, Vol. 39/1, pp. 205~208.
- (7) H. K. Toenshoff, D. Hesse, J. Mommsen, 1993, "Micromachining Using Excimer Lasers", CIRP, Vol. 42/1, pp. 247~251.
- (8) S. Kalpakjian, 1992, "Manufacturing Processes for Engineering Materials", Addison-Wesley Pub. Co.
- (9) T. Altan, S. I. Oh, H. L. Gegel, 1983, "Metal Forming: Fundamentals and Applications", American society for metal.
- (10) M. Geiger, F. Vollertsen, R. Kals, 1996, "Fundamentals on the Manufacturing of Sheet Metal Microparts", CIRP, Vol 45/1, pp. 277~282.