

소프트 다이 플레이트를 이용한 미세 구멍 펀칭 연구

유준환* · 주병윤* · 전병희** · 오수익***

A Study on Micro Hole Punching with Soft Die Plate

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

Abstract

In micro hole punching process, it is very difficult to align punch with die hole. Misalignment can cause a falling-off in hole quality and breakage of punch and die. Micro punching using soft die plate without a die hole has a big advantage because it is not necessary to align punch with die hole and to consider die clearance. Soft die plates are made by polymers or hard rubbers which are softer than metals. In this study, several micro punching experiments are conducted. Micro punching test with some materials shows that micro hole punching is feasible with some soft die plates. Through the section shape obtained by mounting and polishing, the punched hole quality is measured and the shapes of burr and dome are studied.

Key Words : soft die plate, micro punching, mounting, burr, dome

1. 서 론

정보, 정밀, 반도체 등의 산업 현장에서는 초소형, 초박형 미세 부품의 개발을 위해서 정밀 미세 구멍 가공에 대한 필요성이 대두되고 있다. 직경 수십 μm 의 잉크젯 프린트헤드 노즐 가공, 기판의 비아(via)회로 구멍 가공 등은 미세 구멍 가공의 예이다. 이러한 미세 구멍 가공을 위해서 마이크로 밀링, 초음파 가공, 미세 구멍 펀칭, 마이크로 방전가공, 이온 가공, 엑시머 레이저 가공 등 다양한 가공법에 대한 연구가 진행되고 있다. 그 중에서도 펀칭에 의한 정밀 가공은 다른 가공 방법에 비해서 양질의 구멍을 얻는데 매우 용이하고 빠르며 경제적이랄 수 있다.^(1~3) 그런데 미세 구멍 펀칭의 경우 펀치와

다이 구멍의 직경이 수십 μm 에 이르게 되면 펀치와 다이 구멍의 위치 맞춤은 매우 어렵게 된다. 만약 펀치와 다이 구멍이 조금만 어긋나도 양질의 구멍을 얻을 수 없을 뿐만 아니라 펀치와 다이에 많은 손상이 간다.⁽⁴⁾ 위치 맞춤 문제를 해결하기 위하여 (1) 화상 장치를 이용하여 펀칭 시스템을 제어하는 방법 연구 (2) 펀치의 유효 직경보다 수 배 큰 직경의 다이를 이용한 펀칭 연구 (3) 펀칭 시스템의 제조나 조립으로 위치 맞춤을 해결하려는 연구 (4) 유연한 재료를 다이로 사용하여 다이 구멍 없이 펀칭을 수행하는 연구 등이 진행되고 있는데 (4)의 경우에는 위치 맞춤은 전혀 고려할 필요가 없기 때문에 다른 방법에 비하여 큰 장점을 갖는다. 다이 구멍이 없는 유연한 다이를 사용하는 펀칭은 펀칭이 되는 동시에 다이 구멍이 가공되는 것으로 생각할 수 있으며 다이로

* 서울대학교 기계항공공학부 대학원

** 인덕대학 컴퓨터응용설계전공

*** 서울대학교 기계항공공학부

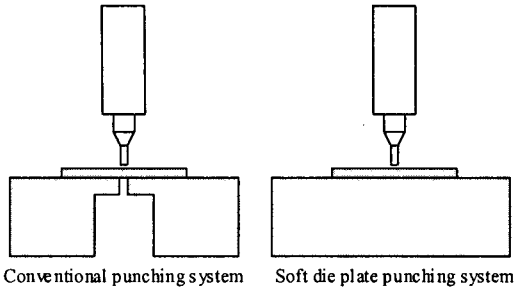


Fig. 1 Comparison between conventional punching system and soft die plate punching system

사용되는 재료는 일반적으로 펀치의 손상을 줄이기 위하여 펀치와 다이로 사용되는 재료에 비하여 강도가 작은 재료를 사용하여야 하기 때문에 다이 플레이트의 재료로 폴리머를 선택하였다.

본 연구에서는 미세 구멍 펀칭 시스템에서 얇은 금속 판에 소프트 다이 플레이트를 이용하여 펀칭 실험을 수행하여 다이 구멍이 있는 일반적인 다이를 이용한 미세 구멍과 비교하고, 소프트 다이 플레이트와 시편의 경도에 따른 미세 구멍의 모양을 조사하였다. 사용된 소재는 두께 50 μm 의 황동(brass Cu70/Zn30)과 스테인레스 스틸(SUS316)이며, 직경 50 μm 의 펀치, 그리고 폴리에틸렌, 아크릴 다이 플레이트를 이용하여 미세 구멍 펀칭을 수행하였다.

2. 실험 방법

2.1 미세 구멍 펀칭 시스템

미세 구멍 펀칭 실험은 서울 대학교 미세 성형 연구실에서 제작된 마이크로 펀칭 시스템을 이용하여 수행되었다. 실험에는 직경 50 μm 의 펀치가 사용되었고, 150 mm/s의 펀칭 속도로 펀칭 실험이 수행되었다. 펀치는 다이몬드 휠을 이용한 연삭을 통하여 가공되었으며 펀치의 재

Table 1 Material properties of the punch

Parameter	Value
Material	Tungsten Carbide (Co : 12%, 0.7 μm)
Hardness (HV30)	1550
Elastic Modulus	560 GPa
Bending Strength	4 GPa

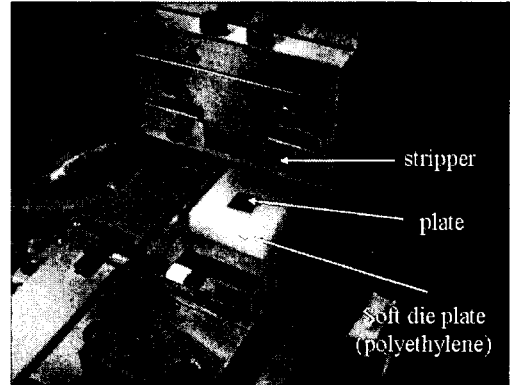


Fig. 2 Micro Punching System with Soft Die Plate

료 물성치는 Table 1에 나타나 있다.

미세 구멍 펀칭 시스템에서는 펀치의 수직 운동을 위해서 1.3 μm 의 정밀도를 가진 수직 이송 장치가 사용되었으며 펀치 홀더와 스트리퍼(stripper)는 1 $\mu\text{m}/10\text{mm}$ 의 정밀도를 갖는 LM(Linear Motor) 가이드에 의해 상대 운동을 하도록 고안되었다. Fig. 2는 소프트 다이 플레이트를 이용한 미세 구멍 펀칭 시스템을 나타낸다.

2.2 소프트 다이 플레이트의 경도 측정

소프트 다이 플레이트를 이용한 미세 구멍 펀칭은 펀치가 위에서 가공 소재와 그 밑에 있는 소프트 다이 플레이트를 눌러주는 가공 방법이다. 이러한 가공 방법의 특성상 소프트 다이 플레이트의 경도가 가공 소재 구멍의 단면 형상을 결정지어주는 중요한 요소라 할 수 있으므로 소프트 다이 플레이트로 사용되는 폴리 에틸렌과 아크릴의 경도를 측정하였다. 경도 측정을 위해서 듀로미터 A형이 사용되었는데 이것은 강화 고무 혹은 플라스틱의 경도를 측정하기 위한 것이며 0부터 100사이의 값으로 경도를 표시하는 기구이고 유리의 측정값을 10으로 하여 상대적인 경도 값을 나타내어준다. 다이로 사용되는 폴리에틸렌과 아크릴의 경도값은 Table 2에 나와 있다.

2.3 미세 구멍의 측정 방법 연구

SEM(Scanning Electron Microscope)은 마이크로단위의 작은 물체의 모습을 보여주는 데 널리 사용되고 있다. 광학 현미경과는 달리 SEM은 광파 대신에 전자를 이용

Table 2 Hardness test of soft die plates

Material	Hardness
polyethelene	65~75
acryl	85~95
glass	100

하여 확대된 영상을 만들어내므로 광학 현미경으로 가능한 것보다 더욱 세밀하고 확대된 3차원 영상을 얻을 수 있다. Fig. 3는 폴리에틸렌 다이 플레이트를 이용하여 펀칭한 시편을 SEM으로 촬영한 것인데, SEM 촬영으로 얻은 확대된 영상은 버와 롤오버의 치수를 측정하거나 단면의 모습을 자세히 관찰하기 위해서는 부족하다.

미세한 시편 단면의 확대된 이미지는 시편을 마운팅하고 단면을 광학 현미경으로 촬영하여 얻을 수 있다. 시편을 불포화 폴리테스테르 수지 등과 같이 굳혀서 그라인딩과 폴리싱을 통해서 원하는 위치의 단면을 찾고 단면의 모습을 관찰하는 방법인데 구멍의 모습은 물론이고 버와 롤오버의 형상도 자세하게 나타내어주므로 미세 구멍을 관찰하는데 있어 가장 적당하다. Fig. 4는 마운팅된 시편들과 그라인딩과 폴리싱 후 원하는 단면을 찾은 시편들을 보여주고 있으며 Fig. 5는 불포화 폴리테스테르를 사용하여 시편을 마운팅하여 단면을 찾는 방법을 보여주고 있다.

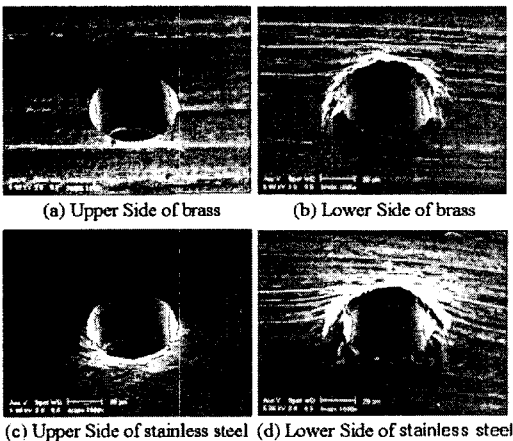


Fig. 3 SEM - punched hole with polyethylene die plate

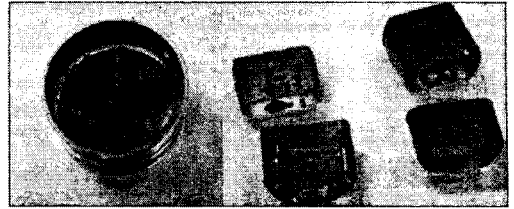


Fig. 4 Mounted workpiece and polished specimen

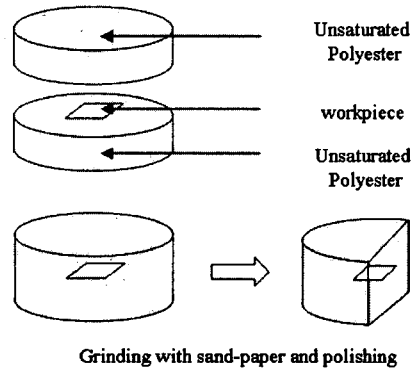


Fig. 5 Cold mounting and polishing

3. 실험 결과

3.1 미세 구멍 펀칭의 검증

소프트 다이 플레이트를 이용한 펀칭에서는 소재가 가공 되는 것이 아니라 시편이 펀치에 의해서 찢어질 수가 있기 때문에 이를 확인할 필요가 있다. Fig. 6, Fig. 7은 유리를 다이 플레이트로 사용하여 미세 구멍 펀칭 실험을 한 결과인데, 가공 소재인 황동은 펀칭이 되지 않고 찢어졌으며 다이 플레이트로 사용된 유리 역시 깨진 것을 확인할 수 있다.

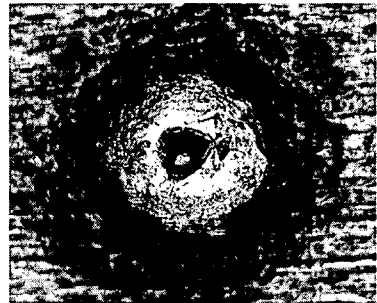


Fig. 6 Lower side of brass (with glass die plate)

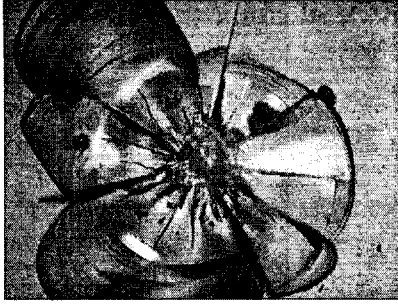


Fig. 7 Broken glass die plate by punching

소재가 펀칭 되었음을 검증하기 위해서 소프트 다이 플레이트에 박혀있는 스크랩(scrap)의 크기와 모양을 관찰하고, 시편의 단면 형상을 다이 구멍이 있는 다이를 사용하여 펀칭된 시편의 형상과 비교하였다. Fig. 8은 광학 현미경을 사용하여 폴리 에틸렌 다이에 박혀있는 황동 스크랩을 관찰한 그림이고 Fig. 9은 다이 구멍이 있는 일반적인 다이를 갖고 펀칭을 한 황동 시편과 소프트 다이 플레이트를 갖고 펀칭을 한 황동 시편을 비교한 것이다. 황동 스크랩은 약 $50\ \mu\text{m}$ 의 직경의 원 형상이고, 일반적인 다이를 이용하여 펀칭된 시편과 비교하여 보아도 롤오버, 버 부분이 발달된 점을 제외하면 일반적인 방법에 의한 시편의 단면 형상과 매우 비슷한 가공 결과를 보이므로 황동 소재는 미세 구멍 가공이 제대로 되었다고 할 수 있다.

3.2 미세 구멍 단면의 정의

소프트 다이 플레이트를 이용한 펀칭은 일반적인 다이를 이용하여 펀칭된 소재의 단면의 형상과 차이가 있다. 구멍이 있는 다이에 의해 펀칭된 미세 구멍과 다른 점은 롤오버와 버가 크게 나타나고 프랙처 존(fracture zone)이 작게 나타난다는 점이다. 이것은 다리로 사용되는 재

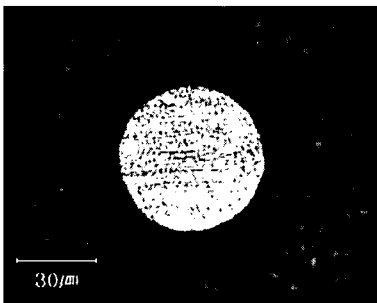
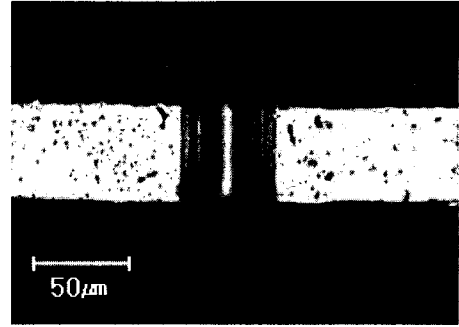
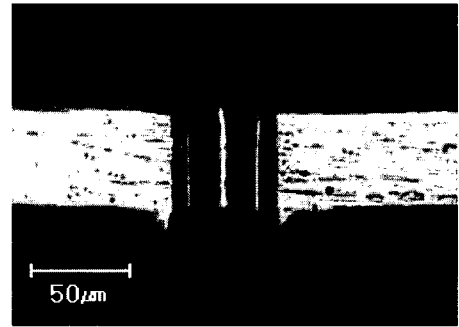


Fig. 8 Scrap in the polyethylene die plate



(a)



(b)

Fig. 9 Comparison between (a) micro hole punched with conventional micro punching system and (b) micro hole punched with soft die plate micro punching system

료가 펀칭에 사용된 소재들보다 연한 폴리머 재료이고 다이 구멍이 없기 때문이다. 미세 구멍의 단면에서 보이는 영역들은 Fig. 10과 같이 구분하였다. 또한 롤오버 영역이 넓게 나타나고 돔(dome)의 모습을 하고 있기 때문에 소재 윗면 구멍 주위 영역을 돔존(dome zone)이라 지칭하였으며, 버가 확연히 구분되지 않기 때문에 버의 높이는 밑면 전체의 치짐 중에서 윗면의 치짐만큼을 빼 것으로 정의하였다.

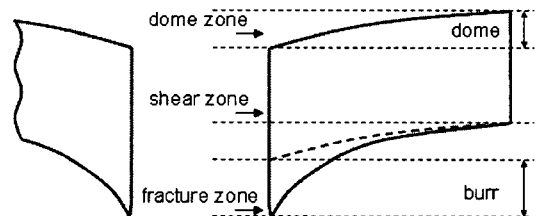


Fig. 10 Definition of the portions of the sheared edge

3.3 미세 구멍 펀칭실험 결과

미세 구멍 펀칭실험은 황동과 스테인레스 스틸 소재에 폴리에틸렌과 아크릴을 다이 플레이트로 사용하여 수행되었으며, 가공된 미세 구멍의 단면은 Fig. 11에 나타나 있다.

Fig. 11 (a), (b)는 황동 시편이고, Fig. 11 (c), (d)는 스테인레스 스틸 시편인데 두 소재에서의 미세 구멍의 형상은 확연하게 구분된다. 황동의 경우에는 폴리 에틸렌 다이 플레이트를 사용하여 펀칭을 하였을 경우 둠이 8%, 버가 20%, 아크릴 다이 플레이트를 사용하여 펀칭을 하였을 경우 둠이 7%, 버가 44%로 나타났다. 반면에 스테인레스 스틸의 미세 구멍을 관찰하여보면 황동의 경우와 매우 다르며, 폴리 에틸렌 다이 플레이트를 사용하여 펀칭을 하였을 경우 둠이 34%, 버가 2%, 아크릴 다이 플레이트를 사용하여 펀칭을 하였을 경우 둠이 14%, 버가 6%로 나타났다. 그러므로 황동의 경우 펀칭에 의한 전체의 치짐 중에서 둠보다는 시편 밑부분의 펀칭된 구멍 주위에 나타나는 버가 지배적이라고 할 수 있다. 이것은 폴리 에틸렌 다이 플레이트나, 아크릴 다이 플레이트를 사용하였을 경우 모두에 해당되며 특히 아크릴의 경우에는 버가 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 반면에 스테인레스 스틸의 미세 구멍 단면에서는 황동의 경우와는 달리 버보다는 전체적인 치짐이라고 할 수 있는 둠이 지배적으로 나타났으며 이것은 스테인레스 스틸이 황동보다 더 경도가 높은 재료이기 때문이라 생각된다.

또한 각각의 다이 플레이트 재료에 따른 버 형상의 차이점을 살펴보면, 황동 소재의 경우 폴리 에틸렌 다이 플레이트를 사용하여 펀칭을 하였을 때 20%에서 아크릴 다이 플레이트를 사용하여 펀칭을 하였을 때 44%로 증가하였으며 스테인레스 스틸 시편의 경우에도 2%에서 6%로 증가하였다. 둠 형상의 차이점은 황동 시편의 경우 폴리 에틸렌 다이 플레이트를 사용하여 펀칭을 하였을 때 8%에서 아크릴 다이 플레이트를 사용하여 펀칭을 하였을 때 4%로 감소하였으며 스테인레스 스틸 시편의 경우에도 34%에서 14%로 감소하였다. 이상의 실험과 관찰으로 경도가 높은 다이 플레이트를 사용할수록 둠은 작아지고 버는 커지는 것을 확인할 수 있다

Fig. 12은 황동과 스테인레스 스틸 시편의 다이 플레이트 재료에 따른 둠과 버의 변화를 나타낸 그래프이다. 스테인레스 스틸에서는 둠이 황동에서는 버가 지배적으로 나타나는 것을 그래프에서 확인할 수 있다.

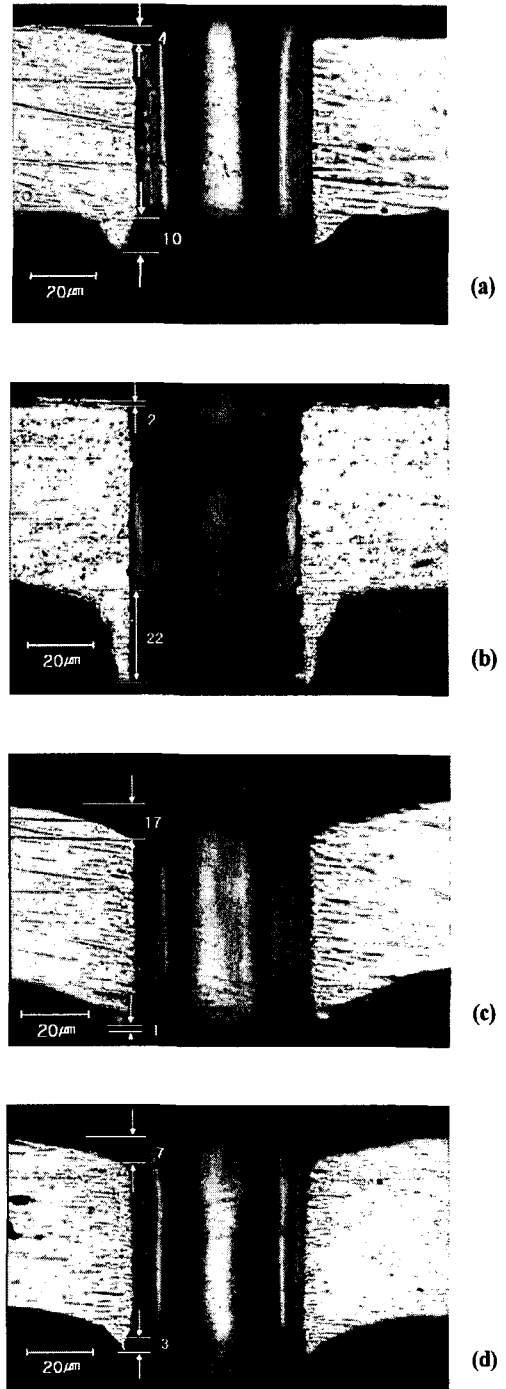
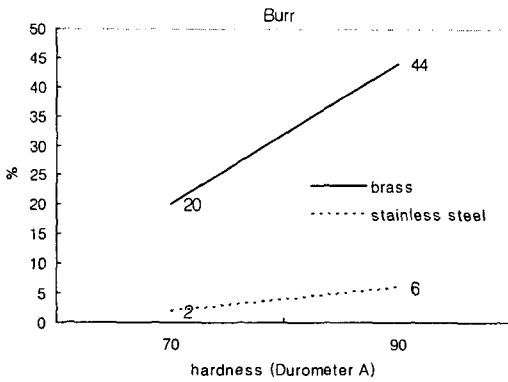
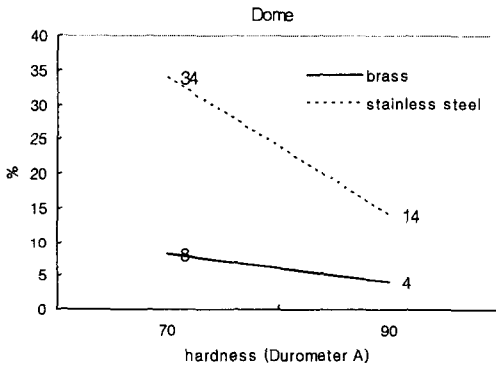


Fig. 11 Punched hole with soft die plate :
 (a) brass punched with polyethylene die plate
 (b) brass punched with acryl die plate
 (c) stainless steel punched with polyethylene die plate
 (d) stainless steel punched with acryl die plate



(a)



(b)

Fig. 12 Measurement of burr and dome (a) burr height percentage (b) dome height percentage

4. 결론

펀치와 다이 구멍의 위치 맞춤의 어려움을 해결하기 위하여 다이 구멍이 없는 소프트 다이 플레이트를 이용하여 미세 구멍 펀칭 실험을 하였다. 시편과 소프트 다이 플레이트의 재료에 따른 버와 돔의 모양을 연구하였으며 이번 연구의 결과는 다음과 같이 요약 된다. :

(1) 펀칭에 있어 다이 구멍이 없는 경우, 시편이 찢어질 가능성이 있다. 그런데 폴리 에틸렌, 아크릴 등의 비교적 연한 재료를 다이로 사용할 경우 펀칭이 가능하였고, 스크랩과 가공 소재 단면 형상을 관찰하여 이를 확인할 수 있었다.

(2) 가공 소재로 황동이 사용된 경우에는 돔보다 버가 지배적으로 나타났으며, 스테인레스 스틸의 경우에는 돔이 지배적으로 나타났다. 또한 다이 플레이트로 경도가 높은 아크릴을 사용했을 경우 돔이 더 작게, 버는 더 크

게 나타났다.

(3) 경도가 다른 가공 소재와 소프트 다이 플레이트를 이용하여 불필요한 버와 돔의 크기를 모두 줄이는 것은 쉽지 않다. 이것은 펀치와 소재의 기하학적 조건이나 펀칭 속도 등의 다른 조건으로 제어해야 할 것으로 생각 된다.

이번 연구에서는 시편과 다이의 재료에 따른 미세 구멍의 모습에 대한 연구가 이루어졌지만, 앞으로는 펀칭 속도, 시편의 두께, 그리고 펀치의 직경 등의 다양한 조건에 따라서 미세 구멍의 모습이 어떻게 변하는지에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

후 기

본 연구는 Milli-Structure 생산기술개발과제 '미세박판 성형기술의 개발'의 일환으로 진행되었습니다. 본 연구에 도움을 주신 모든 분들에게 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) M. Samuel, 1997, "FEM simulations and experimental analysis of parameters of influence in the blanking process", Faculty of Engineering, Mansoura University, Egypt. Journal of Materials Processing Technology 84, pp. 97-106.
- (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) S. K. Maiti, A. A. Ambekar, U. P. Singh, P.P. Date and K. Narasimhan, 2000, "Assessment of influence of some process parameters on sheet metal blanking", Journal of Materials Processing Technology 102, pp. 249-256.
- (4) B. Y. Joo, S. I. Oh and B. H. Jeon, 2001, "Development of Micro Punching System", Annals of the CIRP, Vol. 50, pp. 191-194.