韓國精密工學會 2001年度 秋季學術大會論文集 pp.523~526 KSPE 01F131

정밀금형의 설계인자가 박판 전단가공특성에 미치는 영향

신용승*(강원대 대학원 기계· 메카트로닉스 공학부)
김병희**(강원대 기계· 메카트로닉스 공학부)
김헌영**(강원대 기계· 메카트로닉스 공학부)

The effects of die design parameters on shearing of the thin plate

Y. S. Shin (Graduate School , Division of Mechanical Engineering and Mechatronics, KNU)
B. H. Kim (Division of Mechanical Engineering and Mechatronics, KNU)
H. Y. Kim (Division of Mechanical Engineering and Mechatronics, KNU)

ABSTRACT

Shearing is one of the most important operating processes in the field of sheet metal manufacturing. Compared with casting, forging and machining, shearing is very economical to obtain the desired shape. In recent years there has been increasing the use of shearing process in the manufacturing of small and light electronic components. In this paper, it has been researched the experimental investigation to examine the influence of shearing process parameters such as clearance and lower holder configuration. Through the experiment results, the more narrow clearance gives the smaller burr height and the removal of lower holder makes the worse sheared surface. And FE simulation of shearing process using DEFORM-2D were carried out and the results compared with experimental studies

Key Words : Shearing process (전단공정), Shearing process parameter (전단공정변수), Sheared surface (전단면)

1. 서 론

펀칭(punching), 블랭킹(blanking), 트리밍(trimming)등을 포함하는 전단공정은 박판 절단에 있어 가장 널리 사용되고 있는 공법으로 케스팅(casting), 단조성형(forging), 기계가공(mechining) 등에 비하여 요구하는 형상가공이 쉽고 빠르며 경제적이다. 반면 전단시 발생하는 버(burr)와 거친 전단면은 요구되는 제품의 특성에 따라 조립 및 형상 정밀도에 영향을 준다.

20 세기 후반에 이르러 산업의 비약적인 발달과 함께 모든 제품의 소형화, 경량화 및 정밀화 현상이 두드러지게 나타나고 있다. 제품의 소형 정밀화는 그 제품을 구성하는 부품의 소형화로 직결되며, 작고 미세한 정밀부품의 생산에 있어 전단공정은 많은 문제점을 야기시키고 있다. 특히 수 mm 에서 수 μm 크기의 미세한 정밀부품 전단시 발생하는 버는 제품의 조립 생산에 있어 그 영향이 치명적이다.

전단공정에 있어 버 발생과 전단면 형상에 영향을 주는 인자로는 펀치와 다이의 클리어런스(clearance), 펀칭속도, 전단소재의 재료 물성치, 전단날의 마모 정도, 전단날의 전단각, 전단시 상/하 홀더(holder)의 유무 등이 있으며, 이에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다.

정밀전단에 대한 연구는 독일의 Fritz Schiess 에 의해 처음 시작되었으며 현재까지 다양한 형태의 연구결과가 발표되어 왔다[1]. Chang 과 Swift 는 전단 클리어런스와 전단날의 날카로운 정도가 전단에 미치는 영향을 밝혔으며, Johnson et al.은 블랭킹에 있어 펀치속도에 대한 변형률속도의 영향과 온도가 전단에 미치는 영향 등을 포괄적으로 연구하였다[2]. 그 밖에 Holiga, Davies 와 Dhawan, Atkin, C.M. Choy et al., Q. Zhou 와 T. Wierzbicki, E. Taupin et al. 등에 의

해 전단공정에 미치는 각 인자들에 대한 연구가 수행 되었다[3]. 또한 J. Breitling et al.[4], D. C. Ko et al.[5], T. C. Lee et al.[1], Y. W. Stegeman et al.[6] 등에 의하여 유한요소를 이용한 해석적 방법으로 전단 특성을 평가하기 위한 연구가 수행되어졌다. 그리고 최근 반도체 리드프레임(lead-frame), FPC(Flat Printed Circuit) 컨넥터(connector) 등과 같은 소형 부품생산을 위해 두께가 얇은 박판에 대한 정밀 전단이 요구됨에 따라 마이크로 단위의 얇은 박판에 대한 연구가 S. Mekaru[7], E. Eaupin et al.[8], W.B. Lee[3], D. Brokken et al.[9], Ming Li[2] 등에 의해 수행되어졌다.

본 연구에서는 두께가 얇은 황동판에 대하여 전단시 전단 클리어런스 및 상/하 홀더의 유무가 버 발생 및 전단면 형상에 미치는 영향을 실험을 통해 분석하였으며, 유한요소 해석을 이용하여 실험결과와 비교 분석하였으며, 또한 전단시 버 발생 메커니즘을 실험과 유한요소 해석을 이용하여 고찰하였다.

2. 전단실험 및 유한요소 해석

2.1 전단실험

전단실험을 위한 금형은 자체 제작하였으며 실험장치는 Fig. 1 과 같다. 금형은 전단 클리어런스를 조절 가능하게 제작하였으며, 금형의 상/하 홀더는 그 유무에 대한 영향을 알아보기 위하여 탁찰식으로 제작하였다. 전단공정은 프레스 성형공정에 주로 적용되고 있는 단공정식(single action type)을 채택하여 상형금형의 하강운동으로 홀딩과 전단이 거의 동시에 일어나도록 하였다. 전단금형의 재료는 SM45C 이고 전단날은 SKD11 과 초경을 사용하였다. 또한 로드셀(load cell)이 장착된 10ton 프레스와 디지털 오실로스코프(digital oscilloscope)를 이용하여 전단시 발생하는 전단력을 모니터링(monitoring) 하였다.

전단실험은 두께 0.2, 0.3 mm 의 황동 시편을 이용하여 전단클리어런스 15, 30, 60 μm, 하부 홀더의 유무에 대하여 수행되었다. 그리고 전단실험 후 광학현미경을 이용하여 전단부위에 발생한 버와 전단면의 형상을 측정하였다. 전단 실험조건은 Table 1 과 같다.

Table 1 Shearing Condition

Cutting edge material	Sheet thickness (mm)	Shearing clearance (μm)	Lower holder
WC	0.2 0.3	10 30 60	With without

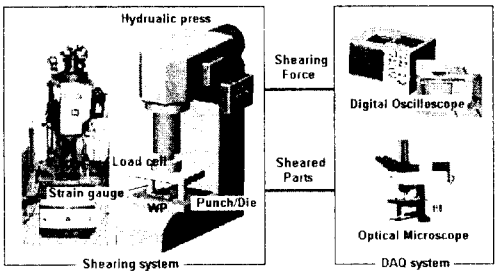


Fig. 1 Shearing, data acquisition and measuring system

2.2 유한요소 해석

전단공정은 많은 변수에 의해 영향을 받으며 이러한 변수들에 대한 조합을 실험적으로 연구하기는 매우 어렵다. 그러나 유한요소 해석 프르그램을 이용하면 각각의 변수들에 대한 영향을 보다 효과적으로 비교 분석할 수 있으며, 전단공정에서의 문제점을 예측 보안하는데 있어 시간과 비용을 절약할 수 있다.

본 연구에서는 상용 프로그램인 DEFORM 2D 를 이용하여유한요소 해석을 수행하였다. 전단해석에 사용된 황동 재료의 물성치는 KS B 0801 13B 호 판재용 규격 시편을 인장 시험하여 Table 1 과 같이 얻었다. 유한요소 해석은 전단실험과 동등한 전단 클리어런스에 대하여 하부 홀더의 유무에 따른 전단특성을 고찰하였다. 전단해석을 위한 소재 모델링은 평면 변형률 상태(plane strain state)의 사각형 요소를 사용하였으며, 재료거동은 J. H. Hollomon 이 제안한 식 (1)과 같은 소성 유동 응력식을 사용하였다.

$$\bar{\sigma} = C\bar{\varepsilon}^{n}\dot{\bar{\varepsilon}}^{m} + y \qquad (1)$$

여기서, $\bar{\sigma}$ 와 $\bar{\varepsilon}$ 는 유효응력, 유효 변형률, C 는 재료상수, y 는 초기 항복응력, $\dot{\bar{\varepsilon}}$ 는 유효변형률 속도를 나타내고, 지수 n 과 m 은 가공경화지수와 변형률 속도 민감지수를 나타낸다. 그러나 본 해석에서는 냉간 가공을 적용하기 위해 $m = 0$ 로 하여 온도에 대한 영향을 최소화하였다.

그리고 일반적인 전단실험에서 전단면은 롤오버(rollover), 버니싱 영역(burnishing zone), 파단 영역(fracture zone), 버(burr) 등의 네 부분으로 나뉘어지는데 그 중에서 재료의 파단을 해석적으로 묘사하기 위하여 Cockcroft 와 Latham 의 연성파괴조건을 사용하였다. 즉, 파단부위의 요소가 임의의 임계치에 도달하면 그 요소를 삭제하여 유한요소 해석으로 파단을 묘사하였다. Fig. 2 는 전단해석을 위한 유한요소 모델이며 해석시간을 줄이기 위해 전단부위만 국소적으로 모델링 하였다. 해석은 CPU 1.2 GHz, RAM 512 MB 의 PC 를 사용하였다.

Table 2 Material properties of brass

Sheet thickness (mm)	UTS (Mpa)	C (Mpa)	n	y (Mpa)	El. (%)
0.2	505	0.1	0.1	325	18.7

3. 결과 및 고찰

3.1 전단 클리어런스에 의한 영향

Fig. 3, Fig. 4 는 두께 0.2, 0.3t 소재에 대해 전단 클리어런스가 10, 30, 60μm 일 경우 광학현미경에 의한 버와 전단면의 촬영사진이다. 전단면은 롤오버, 버니싱, 파단, 버 영역 모두 뚜렷이 나타났다. 그리고 소재 0.2, 0.3t 두께의 15%이내 클리어런스인 10, 30μm 에서는 버의 발생이 거의 나타나지 않았다. 그러나 60μm 경우 0.2t 에서의 전단면은 버니싱 영역이 거의 나타나지 않고 전단은 대부분 파단에 의해 발생한 것으로 나타났으며, 버도 크게 발생하였다. 0.3t 에서도 버니싱 영역이 감소하고 파단영역이 증가하면서 역시 버가 발생하였다. 실험결과 클리어런스/시편두께 비가 감소할수록 버니싱 영역은 증가하며, 파단 영역/버니싱 영역의 비와 버 크기는 감소함을 알 수 있었다.

전단실험에 대한 검증과 전단 메커니즘을 분석하기 위하여 유한요소 해석을 수행하였다. Fig. 5 는 두께 0.2t 클리어런스 30μm 에 대한 유한요소 해석 결과이다. 해석적으로 파단을 묘사하기 위해 사용된 임계치는 2 이며 이 값은 여러번의 유한요소 해석을 수행한 후 실험결과와 비교하여 가장 잘 일치하는 값을 택하였다. 해석결과 하부 홀더가 있는 경우 소재 파단에 있어 실험결과와 매우 유사하였으며, 유한요소 해석을 이용한 전단공정 해석으로 전단면의 파단 형상 예측이 가능 함을 알 수 있었다.

(a) C=10μm (b) C=30μm (c) C=60μm

Fig. 3 Photographs of burr and sheared surface for 0.2 mm sheet thickness with lower holder

(a) C=10μm (b) C=30μm (c) C=60μm

Fig. 4 Photographs of burr and sheared surface for 0.3 mm sheet thickness with lower holder

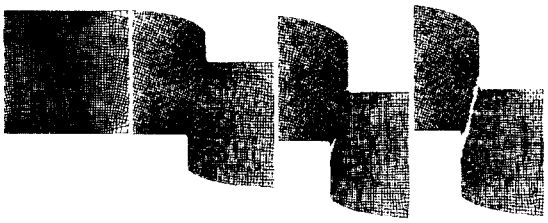
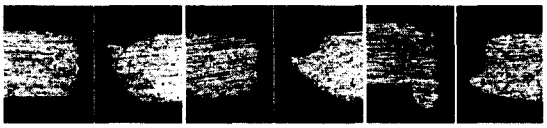


Fig. 5. FE simulation result for 0.2 mm sheet thickness with lower holder

3.1 하부 홀더의 유무에 의한 영향

Fig. 6 은 소재 두께 2t 에 대하여 하부 홀더가 없을 경우의 전단시험 후 광학현미경에 의한 버와 전단면 촬영사진이다. 이 경우 Fig. 3 과 Fig. 4 의 버와 완전이 다른 전단면에 수직한 방향으로 버가 발생하였다. 하부 홀더의 부재로 전단순간 소재에 처짐이 발생하고 이로 인하여 전단부위에 벤딩이 발생하게 된다. 그리고 마지막으로 국부적인 전단부에서 "part"와 "scrap" 사이에 인장응력이 증가하면서 "part" 부분에 전단면의 수직한 방향으로 버가 생성되었다. 반면 "scrap" 부분은 상부홀더에 의하여 Fig. 3,4 와 같이 전단면에 수직한 버가 발생 하였다. 이러한 버 발생 메커니즘을 해석적으로 분석하기 위하여 유한요소 해석을 수행하였다. Fig. 7 은 0.2t, 60μm 에 대한 유한요소 해석 결과이다. 해석결과와 같이 전단시 펀치에 의하여 소재의 처짐과 벤딩이 동시에 일어나며, 클리어런스가 클 경우 펀치의 침범이 많이 진행 되어도 파단이 발생하지 않았다. 그리고 유한요소 해석 역시 최종 단계에서



(a) C=10μm (b) C=30μm (c) C=60μm

Fig. 6 Photographs of burr and sheared surface for 0.2 mm thickness sheet without lower holder

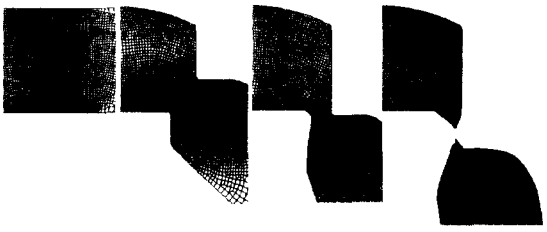


Fig. 5. FE simulation result for 0.2 mm sheet thickness with lower holder

"part"와 "scrap"사이의 인장응력에 의하여 뽀족한 돌기 모양의 버가 발생하는 것을 알 수가 있었다. 또한 버 발생에 있어서 실험결과와 해석결과가 유사하게 나타났다.

4. 결론

두께가 얇은 박판에 대하여 전단클리어런스와 전단시 하부 홀더의 유무가 버 발생 및 전단면 형상에 미치는 영향을 알아보기 위해 전단실험과 유한요소 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 클리어런스/시편두께의 비가 감소할수록 버니싱 영역은 증가하며, 파단 영역/버니싱 영역의 비와 버 크기는 감소한다.

2) 하부 홀더가 없는 경우 전단시 벤딩에 의하여 "part"에는 전단면에 수직하여 버가 발생하고, "scrap"에는 전단면에 수평한 버가 발행한다.

3) 전단시험에서 발생한 버 및 전단면 형상을 분석하기 위한 유한요소해석 결과 실험결과와 유사하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발사업 중, 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 Milli-Structure 생산기술개발 사업의 세부과제로서 수행 중이며, 이에 관계자 여러분들께 감사 말씀을 올립니다.

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. Ming. Li, "An experimental investigation on cut surface and burr in trimming aluminum automotive sheet" , International Journal of Mechanical Science 42, pp. 889-906, 2000
3. W.B. Lee, C.F. Cheung, L.K. Chan and W.M. Chiu, "An investigation of process parameters in the dam-bar cutting of integrated circuit packages" , Journal of Materials Processing Technology 66, pp. 63-72, 1997
4. Jochen Breitling, Bernd Pfeiffer, Taylan Altan and Klaus Siegert, "Process control in blanking" , Journal of Materials Processing Technology 71, pp. 187-192, 1997
5. Dae-Cheol Ko, Byung-Min Kim and Jae-Chan Choi, "Finite-element simulation of the shear process using the element-kill method" , Journal of Materials Processing Technology 72, pp. 129-140, 1997
6. Y.W. Stegeman, A.M. Goijaerts, D.Brokken, W.A.M. Brekelmans, L.E. Govaert and F.P.T. Baaijens, "An experimental and numerical study of a planer blanking process" , Journal of Materials Processing Technology 87, pp. 266-276, 1999
7. S. Mekaru and H. Mekaru, "Analysis of single-side shearing by using punch with high slenderness ratio" , Int. Journal of Mach. Tools Manufact. Vol. 37, No. 8 pp. 1109-1121, 1997
8. Etienne Taupin, Jochen Breitling, Wei-Tsu Wu and Taylan 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. D. Brokken, W. A. M. Brekelmans and F. P. T. Baaijens "Numerical modeling of the metal blanking process" , Journal of Materials Processing Technology 83, pp. 192-199, 1998