

미세 와이어의 버 없는 전단에 관한 연구

김응겸[#], 홍남표^{*}, 김현영^{**}, 김병희^{**}

Burrless shearing of the micro wire

Woong Kyum Kim[#], Nam Pyo Hong^{*}, Heon Young Kim^{**} and Byeong Hee Kim^{**}

ABSTRACT

Punching tools like an electrodes are made by milling or etching or EDM. These methods had time consuming, low efficiency and air pollution. So, we have developed a shearing device which counter punching method for burrless cutting of micro wire. Using the straightened SUS304 wire with 200 μm diameter, we confirmed the tendency of the shear plane for punch tools. It was impossible to completely remove the burr in the shearing process. In order to minimize the burr size and fine shear plane, we have accomplished the various experiment conditions such as the U-groove, the effect of the counter punch, shear angle and clearance. The results of the experiments show that indentation, slip plane and bent shape were related to the shear angle and clearance.

Key Words : Shearing(전단), Micro wire(극세선), Burr(버), shear plane(전단면)

1. 서론

최근 시스템의 크기가 작아짐에 따라, 마이크로 이하의 미세 가공에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 간단한 예로, 이동통신용 부품인 LTCC (Low temperature co-fired ceramic)의 제조 공정에서 수~수십 마이크로 미세 홀 펀치가공의 필요성이 있다. 이러한 미세 홀을 위한 펀치들은 일반적인 기계가공 방법만으로는 불가능하며 IC 제조기술, 방전 가공 및 화학적 에칭등을 사용하여 제작되어 왔다.¹⁻³

1995 년 T. Higuchi⁴ 등은 초정밀 절삭 기술을 이용하여 10 μm 의 전극을 제작하였으며, K. Okano⁵ 등은 1995 년에 마이크로 연삭기술을 이용하여 50 μm

의 전극을 가공하였다.

현재는 미세펀치 툴을 가공하기 위하여 주로 와이어 방전 연삭과 같은 기계가공에 의존하고 있으나 이러한 방법은 한 번의 공정을 통하여 하나의 펀치 툴을 생산하지 못하며 대략 100 분 안팎의 많은 시간을 소요하는 단점이 있다.³ 또한 화학적 에칭을 사용할 경우 공기오염과 같은 불안전 요소들이 있다.

본 연구에서는 마이크로 펀칭 툴을 제작하기 위하여 $\Phi 200 \mu\text{m}$ SUS304 와이어의 버없는 절단을 수행하였다. 와이어 전단 시 생성되는 버를 억제하기 위하여 전단에 영향을 주는 인자를 파악하였다. 또한 전단방식에 따라 전단면 형상을 알아보

^{1st} 접수일: 2005 년 12 월 9 일; 게재승인일: 2006 년 3 월 18 일

[#] 교신저자: 강원대학교 메카트로닉스공학과

E-mail ks22ks@kangwon.ac.kr Tel. (033) 244-8910

^{*} 대한상공회의소 흥천직업훈련원

^{**} 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부

았으며 최소 버가 생성되는 전단 조건을 파악하여 보았다.

2. 마이크로 와이어 전단

2.1 전단 이론

박판 전단 가공은 Fig. 1 과 같이 롤 오버(rollover), 전단영역(burnish area), 파단영역(fracture zone), 버(burr) 등의 4 가지 형태로 구분이 된다.

절단 시 발생하는 버(burr)는 일반적으로 가공 후에 모서리에 발생하는 원치 않는 물체의 돌출된 부분으로 정의할 수 있다. 특히, 소성변형으로 생긴 버는 가공경화로 인해서 더욱 경(硬)하고 불규칙적이어서 다른 부품의 손상과 작업자에게 손상을 일으키기 쉽다.⁷⁻⁹

일단 발생한 버는 반드시 제거되어야 한다. 그러나 아직까지 효과적으로 버 발생을 억제하거나 제거하는 방법에 대한 연구결과가 매우 적은 편이며, 발생하는 버를 수작업으로 제거하는 것이 빈번한 실정이다.¹⁰

박판의 정밀 전단에 관한 연구는 1920 년대 독일의 Fritz Schiess 에 의해 처음 특허 등록되었으며, 현재까지 많은 연구가 진행 중이다.¹¹⁻¹² 일반적인 박판 전단의 경우와 같이 와이어의 완전전단 구현은 현실적으로 매우 어렵다.¹³ 또한, 정밀 전단면을 확보하기 위하여 레이저 절단 혹은 기타 전단가공 후 2 차 가공을 수행해야 한다. 하지만, 이러한 방법들은 생산성 저하와 단가의 상승을 초래한다.¹⁴⁻¹⁵

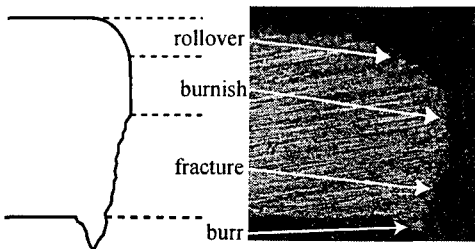


Fig. 1 A schematic cross sectional view of sheared aluminum sheet and an optical micrograph

본 연구에서는 정밀 전단면을 확보하기 위하여 양날이 동시에 전단 수행을 하는 카운터 펀칭 방

식의 전단을 사용하였다. 카운터 펀칭 방식을 사용할 경우, 버의 억제가 가능할 것으로 기대된다.

2.2 전단 실험

Fig. 2 에서 보는 바와 같이 마이크로 와이어의 정밀 전단을 위하여 두 전단날(right, left cutter)이 동시에 와이어를 전단 할 수 있는 카운터 펀칭(counter punching)방식의 전단기를 제작하였다.

전단 공정은 공압원(pneumatic power source)과 푸쉬버튼(push button)을 사용하여 공압 실린더에 부착된 펀치 헤드를 전·후로 왕복시키며, 두 개의 푸셔(pushers)를 타격한다. 이후 푸셔(pushers)는 지렛대 원리에 의해 LM 가이드에 부착된 전단날을 이동시켜 와이어를 절단하게 된다.

실제로 전단이 이루어지는 전단부의 크기는 약 100x100(mm, 전단날과 푸셔 포함)이며, 전단날은 17x20(mm)이다. 실제 전단날을 움직이는 공압 실린더의 스트로크는 약 25 mm 이며, 약 8bar 의 압력으로 전단을 수행한다.

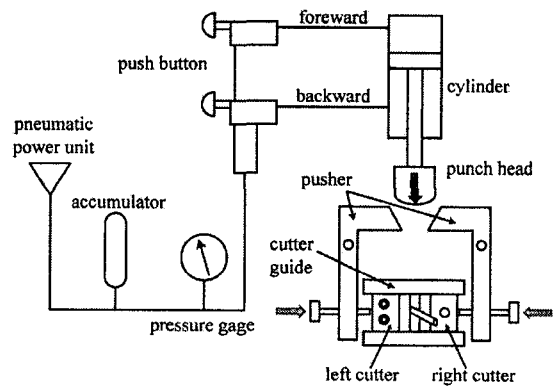


Fig. 2 Schematic of shearing process of micro wire

Table 1 Experiment setup of shearing micro wire

Material	Wire diameter(μm)	Shearing clearance(μm)	Shear angle($^{\circ}$)
SUS304	200	10	0
		20	10
		40	20

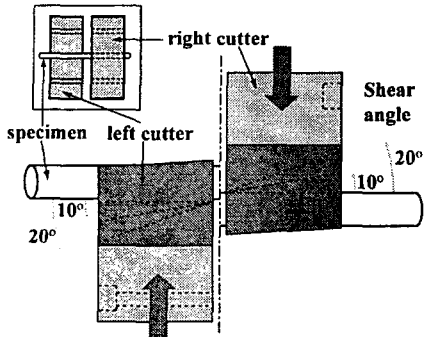


Fig. 3 Schematic of the shearing system

전단 실험조건은 Table 1 과 같이 $\Phi 200\mu\text{m}$ SUS304 와이어를 이용하여 클리어런스 10, 20, 40 μm , 전단각 0° , 10° , 20° 에 대하여 실험을 수행 하였으며, 광학현미경 및 SEM 을 이용하여 전단부 위에 발생한 버와 전단면의 형상을 관찰하였다.

Fig. 3 은 와이어를 절단하는 방식을 나타내고 있다. 펀치 헤드에 의해 전단날이 동시에 전단 수행할 수 있도록 하였다. 전단날에는 와이어 방전을 이용하여 전단각(shear angle)을 약 10° , 20° 가공하였으며, 전단날 끝부분(blade tip)은 초경을 사용하여 제작하였다.

3. 실험 및 고찰

3.1 U-groove 형상의 효과

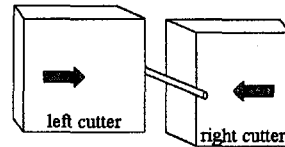
금속재료의 가공에 널리 사용되는 전단가공은 한 쌍의 전단날이 서로 단척짐으로써 재료를 절단 하는 것을 말하며, 봉재(棒材)·형재(形材)의 전단 날은 소재단면의 모양에 맞추어서 만들어진다.

Fig. 4 (a)와 같이 U형 홈을 가공하지 않은 일반적인 전단날과 (b)의 U형 홈에 의한 전단날을 이용한 전단방식을 비교하여 보았다. U형 홈은 와이어 방전기를 사용하여 선폭 $200\mu\text{m}$, 깊이는 약 2mm 가공하여 제작하였다.

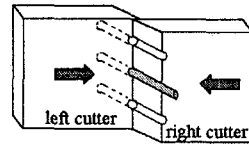
Fig. 5 는 U형 홈 전단과 일반적인 전단 방식을 사용하여 와이어 전단결과를 보여주고 있다. 일반적인 전단날을 사용할 경우 와이어 끝면이 구부러 지거나 미끄러지는 형상을 볼 수 있다.(Fig. 5 (a)) 그러나 Fig. 5 (b)와 같이 U형 홈을 가공하여 전단을 수행할 경우, U형 홈 전단에서 미끄러진 형상이나 구부러진 형상은 볼 수 없으나 압흔(indentation)이 발생하였다.

3.2 전단각에 의한 영향

전단날이 마모되어 그 전단각이 감소하면 버의 크기, 전단면의 거칠기와 전단영역은 증가하나 파 단영역은 감소한다. 또한 전단면도 매우 불균일하게 나타난다. 또한, 공구에 전단각 을 만들어 재료

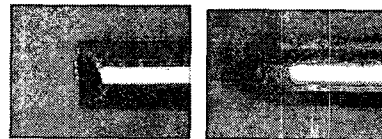


(a) general cutter

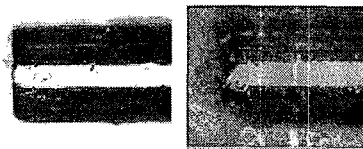


(b) U-groove cutter

Fig. 4 Schematics of general and U-groove cutting



(a) cutting plane shapes by general cutter



(b) cutting plane shapes by U-groove cutter

Fig. 5 Micrograph of $200\mu\text{m}$ SUS304 wire edge shape by general and U-groove cutter

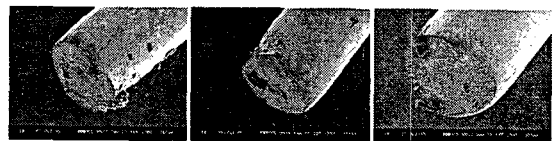


Fig. 6 SEM images of the cutting plane by shear angle (the clearances are 5% of $200\mu\text{m}$ SUS304 wire for all three tests)

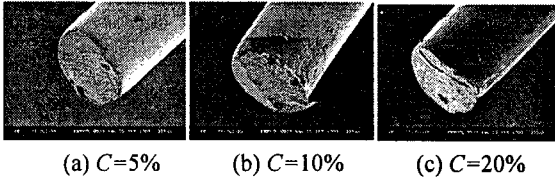


Fig. 7 SEM micrographs of 200 μm SUS 304 wire at 0° cutting angle (C : clearance accordance with the wire diameter)

를 전단하면, 전단력을 크게 줄 수 있다.

Fig. 6 은 전단각에 따른 와이어 전단면을 보여주고 있다. 전단각이 커짐에 따라 파단 영역이 감소됨을 알 수 있으며, 전단각이 커짐에 따라 카운터 펀칭에 의한 압흔(indentation)이 나타났다.

3.3 전단 클리어런스에 의한 영향

펀치-다이 간극이 커질수록 전단력과 전단면에너지는 감소하기 때문에 롤-오버, 파단영역 및 파단각, 파단깊이, 버 높이, 전단면 거칠기 등이 증가한다. 반면 전단영역은 감소한다. 이에 따라 클리어런스에 따른 전단면 형상을 파악하였다.

Fig. 7 은 클리어런스에 따른 와이어의 형상을 나타내고 있다. 5%의 클리어런스에서 롤 오버의 형상이 가장 작았으며, 전단면의 거칠기가 감소됨을 알 수 있다. 또한 10% 이상의 클리어런스에서 큰 압흔(indentation)과 버가 발생되는 것을 알 수 있다.

4. 실험 결과

본 연구에서는 양쪽 날이 전단 수행을 할 수 있도록 전단기를 설계/제작 하였으며, 절단된 와이어의 형상을 광학 현미경 및 전자 현미경(SEM)을 이용하여 형상을 관찰 하였다.

전단날 끝단에 U-형 홈을 가공한 전단날을 사용하였을 때 깨끗한 전단면을 얻을 수 있었다. 또한 카운터 펀칭 방식의 절단을 이용하여, 0° 전단각 및 5% 클리어런스일 때 최소버와 깨끗한 전단면을 얻을 수 있었다.

이와 같이 전단각 및 클리어런스가 버 생성 및 전단면에 가장 많은 영향을 주는 요인이라 할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 바이오, 반도체 분야 등에 사용되고 있는 버없는 와이어/로드를 위한 정밀 절단 시스템을 개발하는 것이다.

직선 처리 된 와이어를 사용 목적에 맞게 절단하기 위하여 정밀 전단기를 제작하였다. 직경 200 μm 의 SUS304 와이어를 이용하여 전단실험을 수행하였다. 전단 시 버 발생의 최소화를 위하여 전단날 끝단에 U 형 홈을 가공하였다. 전단 후 와이어에는 압흔(indentation)이 발생하였다. 이는 전단 시 두 전단날이 동시에 전단되지 못하기 때문이다. 작은 전단각(0°)과 10%이하의 클리어런스일 때, 최소버와 깨끗한 전단면을 얻을 수 있었다.

마이크로 와이어의 전단실험을 수행하여 버없는 전단면을 얻을 수 없었다. 그러나 카운터 펀칭방식, 최적의 클리어런스 및 전단각을 이용할 경우, 버없는 깨끗한 전단면을 얻을 수 있을 것이다.

추가적으로 버없는 전단을 위하여 10 μm 이하의 클리어런스에서 추가적인 실험을 수행해야 할 것이며, 전단 실험장치의 개선이 필요하다. 또한 전단 시 와이어를 지지할 수 있는 패드를 사용하는 방법도 추후에 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Fan, L. S., "IC-processed Electrostatic Micromotors," *Sensor & Acuator*, Vol. 20, pp. 41-48, 1989.
2. Marques, C., Desta, Y. M., Rogers, J., Murphy, M. C. and Kelly, K., "Fabrication of High-Aspect-Ratio Microstructures on Planar and NonPlanar Surfaces Using a Modified LIGA Process," *Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 6, No. 4, pp. 329-336, 1997.
3. Lim, H. J., Lim, Y. M., Kim, S. H. and Kwak, Y. K., "Study on the Fabrication of Ultrathin Punch," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 17, No. 12, pp. 145-150, 2000.
4. Yamagata, Y. and Higuchi, Y., "Three dimensional Microfabrication by Precision Cutting Technique," *Journal of JSPE*, Vol. 61, No. 10, pp. 1361-1364, 1995.
5. Waida, T. and Okano, K., "Micro-Grinding of

- Micro-machine Component,” Journal of JSPE, Vol. 61, No. 10, pp. 1365-1368, 1995.
6. Lim, Y. M. and Kim, S. H., “Diameter control of an extremely thin cylindrical microprobe by electrochemical etching,” Rev. of Sci. Instrum., Vol. 71, No. 5, pp. 2166-2168, 2000.
 7. Kim, S. S., Han, C. S. and Lee, Y. S., “Development of a new burr-free hydro-mechanical punching,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 162-163, pp. 524-529, 2005.
 8. Eary, D. F., “Techniques of Press Working Sheet metal,” Prentice-Hall, pp. 1-55, 1974.
 9. Lange, K., “Handbook of Metal Forming,” McGraw-Hill, Chapter 24, 1985.
 10. Fukui, S., Konda, K. and Maeda, K., “Smooth shearing by stepped profile tool,” Ann. CIRP, Vol. 20, pp. 57-58, 1971.
 11. Lee, T. C., Chan, L. C. and Zheng, P. F., “Application of the finite-element deformation method in the fine blanking process,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 63, pp.744-749, 1997.
 12. Hong, N. P., “A study in the on-machine measurement and minimization of burrs in the sheet metal by using the laser,” Ph. D. diss, Kangwon National University, pp. 3-4, 2004.
 13. Oyane, M., Sato, T., Okimoto, K. and Shema, S., “Criteria for ductile fracture and their applications,” Journal of Mechanical Working Technology, Vol. 4, pp. 65-81, 1980.
 14. Shin, Y. S., Kim, B. H. and Kim, H. Y., “A study on the fine-shearing characteristics of a micro sheet metal under shearing force analysis,” Korean Society of Precision Engineering, pp. 494-497, 2000.
 15. Kang, D. C., Jeon, B. H. and Lee, W. P., “Development of shearing mechanism for without burr,” Korean Society of Machine Tool Engineers, pp. 573-578, 2000.