

마이크로 드릴링을 이용한 미세압출다이 가공에 관한 연구

민승기*, 제태진, 이응숙*, 이동주**

A study on the machining of micro-extruding die using micro-drilling

S. K. Min*, T. J. Jae, E. S. Lee(Korea Institute of Machinery & Materials)⁺

D. J. Lee(Mechanical Eng. Dept., CNU)⁺⁺

Abstract

The micro-extruding die is a die for manufacturing of fine-wire by extruding process. The fine-wire made from the micro-extruding can be effectively applied to fields of semiconductor parts and medical parts etc. It is predicted that the demand of fine-wire in industry is more and more increasing.

In this study $\Phi 50 \mu\text{m}$ micro-drill which is coated with diamond is used for drilling of super micro-hole sizes. For the machining of taper parts of entrance and exit, drill having $\Phi 9\text{mm}$ inclination angle 20° and angle 30° is used. This is useful for anti tool-breakage and excessive too-wear in drilling process. After micro-drilling, the polishing process by diamond abrasive and polishing wood is carried out for increasing surface roughness.

Key words : Micro-extruding die (미세압출다이), Fine-wire (극세선), Super micro-hole (초소구경), Micro-drill(미세드릴), Entrance part (입구부), Exit part (출구부), Surface roughness (표면거칠기)

1. 서론

현재, 극세선이나 튜브의 제작방법에는 일반적으로 압출법과 인발법이 이용되고 있는 실정이다.^[1] 인발 공정은 인발비의 한계로 인해 여러 번의 공수가 필요하게 되고, 일회 가공으로 큰 단면감소와 균일한 품질을 얻기가 곤란하므로 이때는 압출공정이 유리하다고 볼 수 있다.

압출공정을 위해서는 용융금속에 의한 열팽창계수의 변화율이 적고, 내마멸성이 우수한 소재를 사용하여 미세압출다이를 가공해야 한다. 이 금형에 의해 압출된 시제품들은 극세선 및 미세튜브로서 반도체와 의료분야 등에 폭넓게 활용될 수 있다.^[2]

본 연구에서는 극세선을 압출하기 위해 SKD-11 소재에 자체적으로 설계한 $\Phi 9\text{mm}$, 테이퍼부의 경사 각 40° , 60° 인 초경공구강 드릴과 다이아몬드가 코팅된 $\Phi 50 \mu\text{m}$ 미세드릴을 사용하여 압출직경이 대략, $\Phi 50 \mu\text{m}$ 인 미세압출다이를 가공하였다.

드릴링 공정이 끝난 후, 소재를 진공열처리(HRC 47-48) 하였으며, 입구부와 출구부의 테이퍼부분(taper parts)을 연마하여 연마 전 Ra : $2.67-2.85 \mu\text{m}$ 에서 연마후 Ra : $0.12-0.25 \mu\text{m}$ 로 표면거칠기를 향상시켰다.

* 주저자, 충남대학교 기계공학과 대학원(momo1223@hanmail.net)

주소: 305-764 대전광역시 유성구 공동 220

+ 한국기계연구원 저능형정밀기계연구부

++ 충남대학교 기계공학과

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용된 마이크로 머신(MEGA-360)은 에어베어링 스피들(air-bearing spindle)에 의한 고속 회전이 가능하며, 마이크로 드릴링(micro-drilling), 마이크로 밀링(micro-milling), 테이퍼 앤드밀에 의한 디프 그루빙(deep-grooving)가공 등에 적용이 가능하다. Fig. 1과 Table 1에 마이크로 머신의 외관과 사양을 나타내었다.

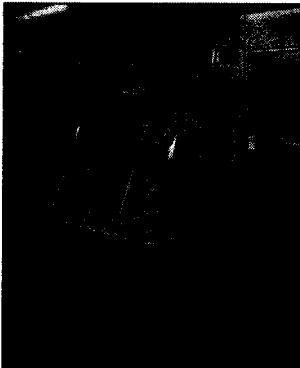


Fig. 1 Micro-machine

Table 1 Specifications of the micro-drilling machine

Item		Unit	Specifications
Machine stroke	X/Y/Z Axis	mm	410×330×200
	Table	Max. load	kg
Spindle	Spindle speed	rpm	3000-36,000
	Max. feed rate	m/min	15
Feed rate	Cutting feed rate	mm/min	1-10,000
	ATC	Max. tool dia.	mm
Machine	Height	mm	2,050
	Floor space Required	mm	1,300×1,870
Dimension	Weight	kg	2,500

2.2 가공소재와 센터드릴

본 실험에서 사용된 미세압출다이의 소재는 SKD-11이며, 가공시 발생하는 절삭력을 측정하기 위해 Kistler 사의 공구동력계(9257-A2)와 증폭기(5019-B130)를 사용하였다.

Table 2는 SKD-11의 화학적 성분표이며, Fig. 2는 미세압출다이를 가공하기 위해 제작된 소재의 형상과 대략적인 치수를 나타낸 것이다.

Table 2 Chemical compositions of SKD-11

C(%)	Mo(%)	Cr(%)	V(%)
1.55	0.80	11.5	0.9

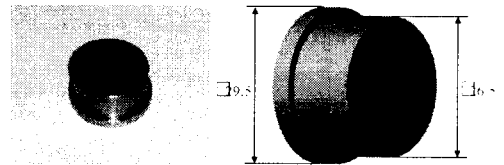


Fig. 2 Appearance of SKD-11 and dimensions

아래의 Fig. 3은 입구부와 출구부의 테이퍼부분을 가공하고자 설계되어 사용된 센터드릴이다. (a)센터드릴은 일반적인 드릴과 유사한 형상으로서, 가공시 공구마멸과 절입에 의한 날끝부분 파손이 급격히 발생하는 문제점이 있었다. 이에 따라 (b)의 형상으로 개선하여 드릴을 제작하였다.

(b)센터드릴은 (a)센터드릴에 비해 재료제거율이 적지만, 과도한 절삭력이 발생되지 않으며 공구마멸과 파손도 적은 편이다. 공구의 재질은 일반적으로 널리 사용되는 초경공구강이며, 공구의 직경은 $\phi 9$ mm이다. (b)는 가공머신의 편의상 생크(shank)부를 $\phi 6$ mm로 변경하여 제작하였다.



(a) Before improvement (b) After improvement

Fig. 3 Drill for micro-extruding die

3. 미세압출다이 가공

3.1 소재고정과 드릴가공

소재의 고정을 위해 열경화성 수지인 베이크라이트(backlite)를 사용하였으며, 가공면의 정확한 평탄도를 맞추고자 인디케이터(indicator)로 측정하여 $1\mu\text{m}$ 범위 내로 셋팅한 후, 순간접착제로 고정하였다.

평탄도의 재확인을 위해 가공이 끝난 후, 인디케이터로 다시 측정을 하였으며, 이때의 오차범위는 $\pm 0.5 - 0.8\mu\text{m}$ 로 측정되었다.

소재의 고정작업이 오차범위내(대략, $1\mu\text{m}$ 이내)에서 완료되었다면, 입구부(Entrance part)와 출구부(Exit part)의 테이퍼부를 가공하기 위해 드릴 직경에 따라 단계별로 가공을 한다.

Fig. 4는 미세압출다이의 가공치수를 나타낸 것이며, Fig. 5는 소재의 평탄도를 맞추고자 인디케이터로 측정하는 공정을 나타낸 것이다.

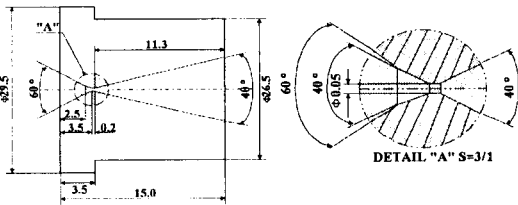


Fig. 4 Dimensions of the micro-extruding die

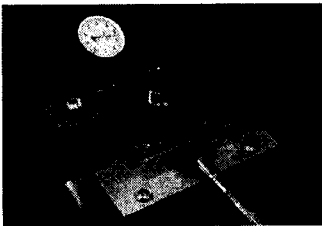


Fig. 5 Measure of indicator by alignment and flatness

출구부는 입구부에 비해 테이퍼부가 깊기 때문에 $\phi 1-\phi 9\text{mm}$ 의 드릴을 사용하여 가공을 한다. 이때, 작은 직경의 드릴부터 가공을 하게되면, 큰 직경의 드릴사용시 발생하는 가공부하를 감소시킬 수 있다.

입구부는 테이퍼부가 깊지 않기 때문에 60° 드릴을 사용하여 가공 후, 40° 드릴로 가공을 한다. 입구부와 출구부의 가공이 끝나면, 최종적으로 다이아몬드 코팅된 $50\mu\text{m}$ 미세드릴을 사용하여 구멍을 가공한다.

Fig. 6은 소재를 공구동력계에 고정시킨 후, $\phi 1-\phi 9\text{mm}$ 드릴을 사용하여 출구부 가공이 완료된 상태는 나타낸 것이며, Fig. 7은 $50\mu\text{m}$ 의 미세구멍가공까지 포함된 전체적인 공정을 모델링한 것이다.

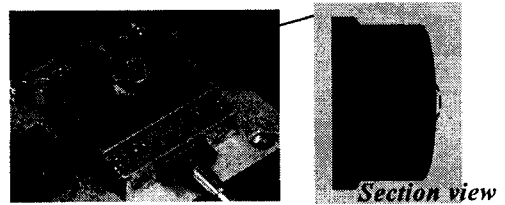


Fig. 6 Drilling by steps

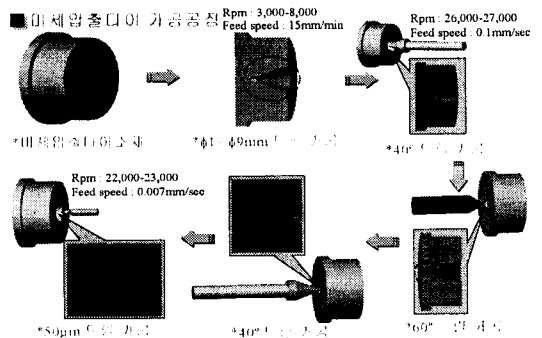


Fig. 7 Machining process of micro-extruding die

드릴링 조건은 드릴의 직경과 입구부, 출구부에 따라 서로 다르지만, 주축 회전수가 입구부는 10,000 - 25,000rpm, 출구부는 3,000 - 27,000rpm 이며, 이송속도는 0.1 - 0.25 mm/sec 범위내에서 가공을 하였다.

$50\mu\text{m}$ 의 미세구멍가공시 조건은 주축 회전수 22,000 - 23,000rpm, 이송속도는 0.007mm/sec로 가공하였다.

절삭유는 수용성 절삭유(W-210)를 사용하였으며, 이 절삭유는 모든 공정에 사용되었다.

Fig. 8은 $\phi 1\text{mm}$ 드릴을 사용하여 테이퍼부의 가공시 발생하는 절삭력을 그래프로 나타낸 것이며, 공

구동력계(tool dynamometer)의 특성상 축방향 하중인 추력(thrust force)만을 측정하였다. [3][4]

본 실험에서는 테이퍼부와 미세구멍가공시, 모든 공정을 스텝이송방식(Step feed)에 의해 가공하였다. 스텝이송방식의 특징은 공구의 스텝백(step back) 이송에 의해 칩과 절삭열의 배출이 원활하게 되므로 미세구멍가공시 필수적으로 요구되는 가공방법이다. [5] Fig. 9에 스텝이송방식을 다이어그램으로 나타내었다.

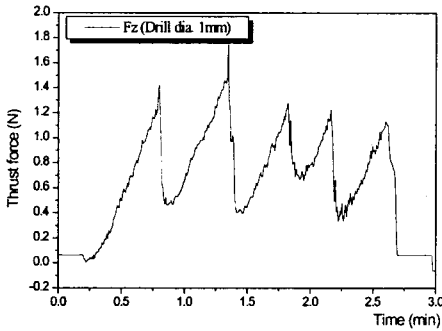


Fig. 8 Cutting force in $\varnothing 1\text{mm}$ drilling

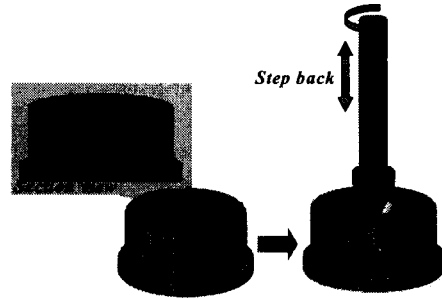


Fig. 10 Center-drilling of extrude part

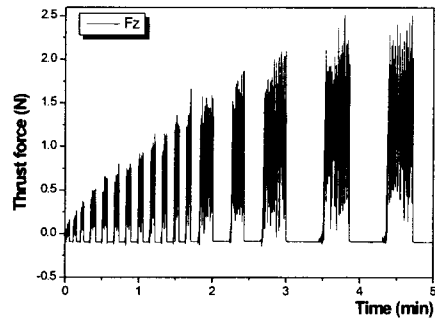


Fig. 11 Cutting force in 40° center-drilling

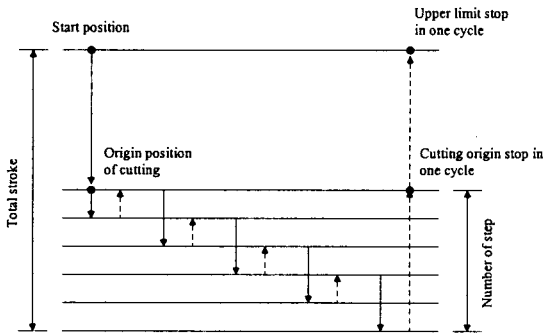


Fig. 9 Diagram of step back method

드릴에 의해 테이퍼부의 가공이 끝나면, 40° 의 테이퍼 경사각을 갖는 센터드릴(center-drill)을 사용하여 가공한다. 가공조건은 절입깊이에 따라 주축 회전수가 입구부는 25,000rpm, 출구부는 26,000 - 28,000rpm이며, 이송속도는 0.1mm/sec로 양쪽 모두 동일하다. Fig. 10은 센터드릴에 의해 출구부 가공공정을 모델링한 것이며, Fig. 11은 이때 발생된 절삭력을 나타낸 것이다.

기타사항으로는 입구부 가공시, 60° 센터드릴 공정이 추가된다. 60° 센터드릴은 시중에 널리 유통되는 제품이므로 쉽게 구입이 가능하다.

입구부와 출구부의 가공이 완료되면, 다이아몬드 코팅된 $50\mu\text{m}$ 드릴을 사용하여 미세구멍을 가공한다. 가공조건은 주축의 회전속도 22,000 - 23,000rpm이며, 이송속도는 0.007mm/sec이다. 이 미세구멍은 용융금속이 강제적으로 압출되어 미세극세선이 제작되어지는 통로이므로, 가공시 주의를 요하는 공정이기도 하다. Fig. 12는 $\varnothing 50\mu\text{m}$ 드릴에 의한 가공공정을 모델링하여 나타낸 것이다.

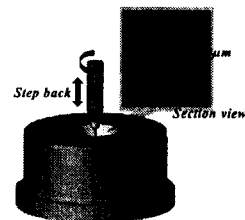


Fig. 12 Micro-drilling process with $\varnothing 50\mu\text{m}$ drill

3.2 미세구멍측정

본 실험에서는 총 8개의 미세압출다이를 가공하였으며, 가공이 끝난 후 미세구멍의 진원도 및 홀 크기를 파악하고자 모니터 내장형 공구 현미경 (microscope with built-up monitor)을 사용하여 미세구멍을 측정하였다.

측정결과, 가공오차는 평균적으로 입구부 2.53%, 출구부 7.85%로 나타났다. Fig. 13은 입구부와 출구부의 미세구멍측정결과를 그래프로 나타낸 것이며, Fig. 14에서는 측정형상을 나타내었다.

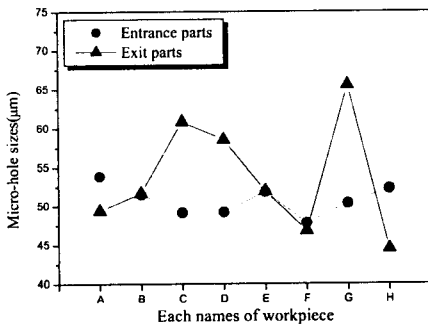


Fig. 13 Measure of micro-hole sizes

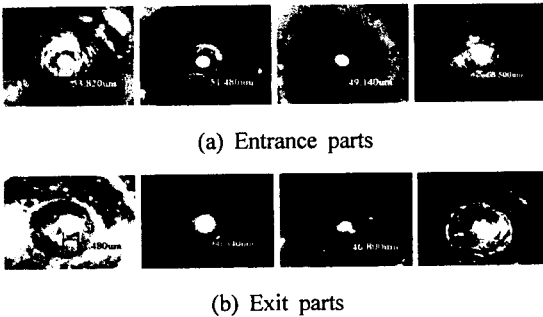


Fig. 14 Micro-hole sizes drilled

3.3 진공열처리

드릴가공이 완료된 소재는 강제 압출시 발생되는 내부치수의 변화를 방지하기 위해 진공열처리 과정을 거쳐야만 한다. 본 실험에서 열처리는 소재경도 H_RC 47 - 48정도로 하였으며, 열처리 전·후의 치수 변화를 확인하고자 소재의 외경 및 내경을 측정한다.

결과, 치수 변화가 거의 없었다. Fig. 15는 진공열처리된 미세압출다이를 나타낸 것이다.



Fig. 15 After vacuum heat-treatment

3.4 테이퍼부의 연마공정

용융된 금속의 유동 및 배출을 원활히 하고자 입구부와 출구부의 테이퍼부를 연마하였다. 연마공정은 선반(lathe)의 주축에 진공열처리된 미세압출다이를 고정시켜 1500 - 1600rpm으로 회전시킨 상태에서 테이퍼부의 형상에 맞도록 가공되어진 참나무에 다이아몬드가 함유된 연마재를 첨가하여 수행하였다.

연마공정에 의한 표면거칠기 향상을 파악하고자 연마 전·후의 표면거칠기를 측정하였다. 측정장비는 Taylor Hobson사의 Talysurf series 2를 사용하였으며, 테이퍼부의 측정거리는 5mm이다.

측정결과, 연마전에는 Ra : 2.67 - 2.85 µm이었으나, 연마 후에는 Ra : 0.12 - 0.25 µm로 테이퍼부의 표면거칠기가 향상되었다.

Fig. 16는 Talysurf series 2를 사용하여 테이퍼부의 표면거칠기를 측정하는 과정을, Fig. 17은 진공열처리된 상태에서 연마하기 전·후의 표면거칠기 측정결과를 나타낸 것이다.

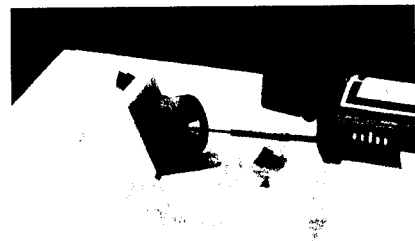
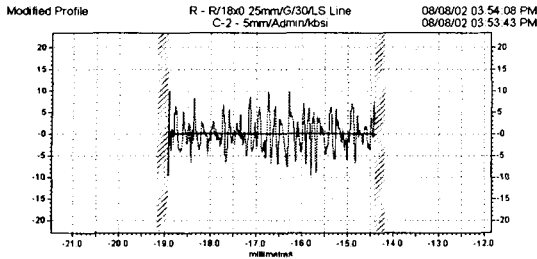
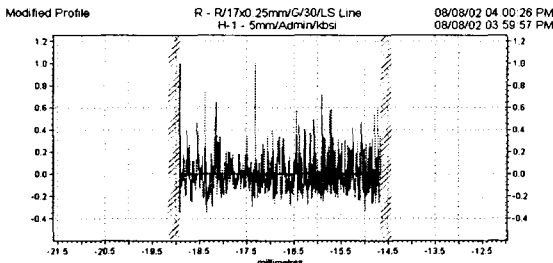


Fig. 16 Measure of taper parts



(a) After vacuum heat-treatment process [Ra : 2.67 μm]



(b) After polishing process [Ra : 0.12 μm]

Fig. 17 Surface roughness on taper part

4. 결론

(1) 본 실험에서 자체적으로 설계한 드릴과 다이아몬드 코팅된 50 μm 의 미세드릴을 사용하여 스텝이송방식에 의해 미세압출다이를 가공하였다. 가공 후 측정결과, 평균 오차는 입구부 2.53%, 출구부 7.85%로 나타났다.

(2) 미세압출공정시 금형의 내마멸성을 높이고자 H_RC47-48의 범위 내에서 미세압출다이를 진공열처리하였다. 열처리 전·후의 치수변화를 확인하고자 측정을 한 결과, 외경과 내경의 치수변화는 거의 일어나지 않았다.

(3) 용융된 금속의 유동 및 배출을 원활히 하고자 다이아몬드 연마재를 사용하여 미세압출다이의 테이퍼 부분(taper parts)을 연마하였다. 연마 전에는 Ra : 2.67-2.85 μm 이었으나, 연마 후에는 Ra:0.12-0.25 μm 로 테이퍼면의 표면거칠기가 향상되었다. 차후에 적절한 연마조건을 선정하여 가공할 경우, 효과적인 연마면을 얻을 수 있으리라 판단된다.

(4) 본 실험에서는 미세구멍 내부의 연마는 아직까지 곤란하다고 판단되며, 차후에 ER유체 연마, 또는 MR유체 연마를 응용하여 적용하는 것이 효과적이라 사료된다. 현 시점에서 가장 적절한 방법이라 여겨지는 것은 제품을 생산하기 전, 시험적으로 반복적인 압출공정을 하여 내부표면 및 이물질 제거하는 것이라 판단된다.

후기

본 연구는 산업자원부의 미세금형 가공기술 개발과제 일환으로 한국기계연구원의 주관아래 수행된 것이며, 연구비 지원에 대해 감사드립니다.

참고문헌

1. 나경환, 박훈재, 김응주, 조남선, "극세선 및 미세투브압출기술 개발", 제 1회 Milli-Structure 생산기술개발 Workshop, pp. 3-4, 2000.
2. 이용숙, 제태진, 신영재, 최두선, 이재경, 이현용, 강제훈, "미세금형 가공기술 개발에 관한 연구", 산업자원부 1단계 보고서, pp. 89-90, 2002.
3. 이용숙, "미세구멍가공용 드릴링 머신 개발", 제 2회 심포지움, 한국기계연구원, pp. 291-294, 1994.
4. M. C. Shaw, C. J. Oxford, "On the Drilling of Metal 2. The torque and thrust in Drilling", Transaction of the ASME, Jan, 1957.
5. S. K. Min*, D. J. Lee, E. S. Lee, J. H. Kang, D. W. Kim, "A Study on the Characteristics of Micro Deep Hole Machining in Micro Drilling Machine", Korean Society Machine Tools Engineers, pp.275-280, Apr, 2001.