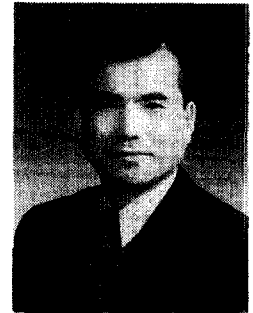


미세심공드릴 가공기술

김희남*

Micro Deep Hole Drilling Operation Technique

Hee-Nam Kim*



학회 재무이사

1. 개요

절삭 가공 중에서 구멍 가공은 그 비중이 약 30%~40%에 달할 정도로 상당히 중요한 공정중의 한 부분이라고 할 수 있다. 특히, 최근 들어서는 초소형화된 전자제품, 광섬유 커넥터, 의료용 광학기기, 우주항공용 전자부품 그리고 컴퓨터 산업에 있어 프린트 기판, IC용 Mask 등의 분야로 확대·적용됨으로써 이에 발 맞추어 미세심공 가공기술이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 하지만 미세심공 가공기술을 실현함에 있어서는 여러 가지 문제점들이 따른다. 미세드릴은 워낙 작은 직경과 높은 세장비로 인해서 드릴의 강성이 현저하게 떨어지며, 또 절삭유의 공급이 어려우므로 열과 칩 배출에 어려움이 따른다. 그러므로 미세심공 가공기술의 실현을 위해서는 이러한 문제점들을 극복해야 하며 또한 최적의 절삭 조건을 찾아내는

것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 미세심공 가공기술은 최근들어 많은 관심의 대상이 되고 있으며 국내에서도 이 분야에 대해 조금씩 눈을 떠가고 있다. 하지만 외국에서는 실지로 $\phi 0.01\text{mm}$ 까지의 미세구멍 가공이 실용화된 단계에 있는 반면 국내에서의 미세구멍 가공기술은 상당히 초보적인 단계임을 부인할 수 없다. 본 연구에서는 Fig. 2에서와 같이 $d_1 0.35\text{mm} \times l_2 5.3\text{mm}$ 의 미세드릴을 사용하여 직경 2.0mm의 Be-Cu재료를 CNC 선반에서 여러 가지의 절삭조건을 주어가며 가공하였으며, 각 절삭조건에 따른 구멍 내면의 표면 상태를 관찰·비교함으로써 최적의 절삭 조건을 찾아내고자 하였다. 또한 미세심공 드릴가공에 있어서 가공상의 난점들을 살펴 보고, 변수가 될 수 있는 여러 요인들을 고찰해 보고자 한다. 이 실험에서 재료로 쓰이고 있는 Be-Cu 재료는 주로 커넥터 잭핀등에 널리 사용되고 있다. Fig. 1은 재질이 Be-Cu

* 명지대학교 기계공학과

로서 지름 0.35mm, 깊이 3mm의 미세심공을 갖는 초소형 커넥터 잭핀을 보여 주고 있다. 이 커넥터 잭핀은 아직 우리나라에서는 자체 생산을 하지 못하며 수입에 의존하고 있다. 왜냐하면 깊이가 지름의 약 9~10배나 되는 깊은 구멍을 가공하는데 있어서는 많은 어려움이 따르며 더군다나 미세 드릴로 이를 실현하기란 상당한 고도의 기술을 필요로 하고 있다. 특히 커넥터 잭핀과 같이 대량생산을 요하는 제품을 가공시 종래의 수직 드릴링 가공에서는 생산 효율이 떨어지고 한계가 있지만 여기서 개조하여 시도하는 CNC 선반상에서의 수평드릴링 가공은 이런 문제점들을 극복하고 연속·다량으로 커넥터 잭핀을 생산해 낼 수 있다는 점에 있어 상당한 고부가 가치가 있다고 생각된다.

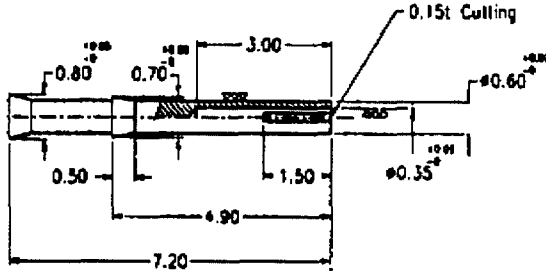


Fig. 1 Test specimen

2. 실험 장치

미세심공 드릴가공시 사용된 실험장치를 Photo. 1에서 보여 주고 있다. 본 실험에서는 수평상의 연속 드릴링 작업을 구현하기 위하여 산업 현장에서 쓰이고 있는 CNC 선반을 가지고 실험을 하였다. 사용한 CNC선반은 SNP11으로 공구는 고정되고 피삭재가 회전하면서 가공이 이루어 지는 방식의 선반이다. 하지만 1차 예비 실험을 하면서 전용 드릴링 머신과는 달리 기계의 크기가 크고 또 피삭재가 회전하는 것으로 인하여 기계의 떨림이 많이 발생하였고, 이 진동으로 인한 조그만 외부 충격들도 미세드릴의 파단에 적지 않는 영향을 주었다. 또한 CNC 선반상에서는 최대출력 RPM이 낮기 때문에 미세심공 드릴가공을 이루는데는 한계가 있었다. 그래서, 2차 실험에 들어 가면서 부터는 높은 절삭속도를 주기 위하여 약 50,000RPM 이상까지 낼 수 있는 High Frequency Spindle Motor를 장착·개조하여 사용하였다. 그러므로, 개조된 선반은 모터로 인하여 미세드릴이 구동되고 피삭

재는 고정시킨 채 자동 공급만 이루게 하였다.

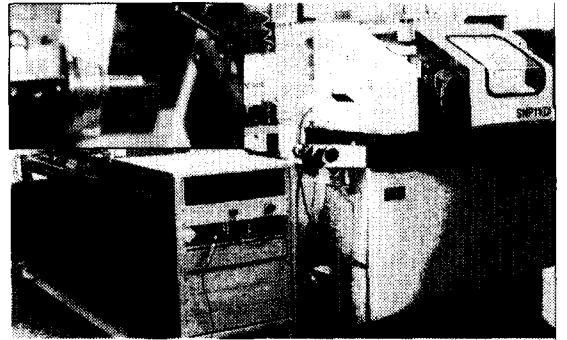


Photo. 1 Measuring system for cutting resistance

3. 드릴

실험에 사용된 드릴의 형상과 사양을 Fig. 2와 Table 1에 나타내었다.

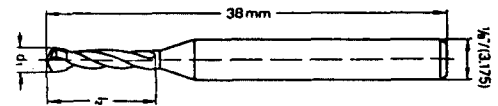


Fig. 2 Geometry of micro drill

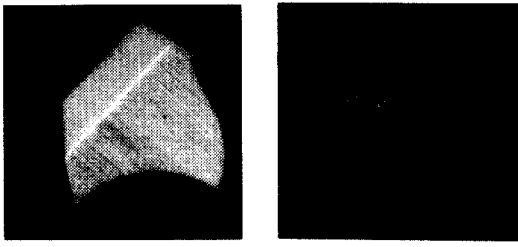
Table 1 Dimension of micro drill

ML-Drill diameter(d_1)	0.35mm
Overall length(l)	38mm
Flute length(l_2)	5.3mm
Shank(ϕ)	3.175mm
Material	TC K10
Point angle	128°

그림에서 볼 수 있듯이 사용된 드릴은 선단 부분이 Flute 부분보다 약간 더 큰 것을 볼 수 있다. 이는 Flute 부분에 여유를 주어 마찰열과 칩 배출을 용이하게 하는데 크게 효과를 줄 것이라 생각된다.

미세드릴 가공에 있어서는 특히 드릴의 선별이 가공 상

태에 큰 영향을 준다. 왜냐하면 본 연구에 사용된 미세드릴은 소결상태로 제작되어 취성이 강하기 때문에 드릴의 선단부에 이물질이 붙어 있거나 선단부가 서로 대칭이 되지 못할 때 드릴 가공시 떨림 상태가 커지면서 쉽게 파단된다. 일반적으로 지름이 큰 드릴은 이러한 영향들을 무시하기에 충분하다. 처음 미세심공드릴가공을 시도할 때에는 이를 고려하지 않았지만 드릴의 선별이 다른 어느 조건 못지 않게 중요하다는 것을 깨닫게 되었다. Photo. 2는 가공전 드릴의 상태를 보여주고 있다. 미세심공 드릴가공을 실현하려면 왼쪽 사진과 같이 절대 A급 드릴만을 선별하여서 사용해야 한다.



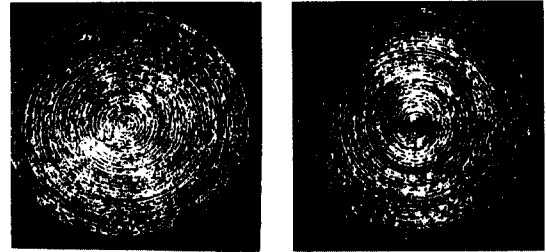
(a) 양호 (b) 불량

Photo. 2 Condition of micro drill (Lip)

4. 단면가공

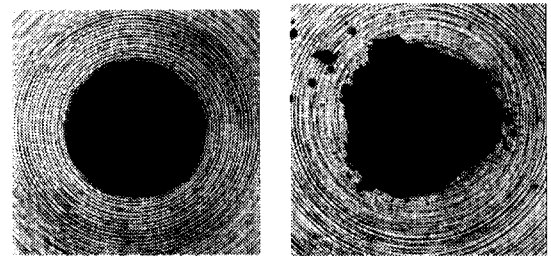
미세심공 드릴가공에 있어서 가공할 단면은 드릴의 선정 못지 않게 상당히 중요하다. 왜냐하면 초기 드릴의 진입시 가공 단면의 표면 상태에 따라서 중심이 흐트러지기도 하고 정확하게 자리를 잡기도 하기 때문이다. 다른 어느 드릴도 가공면에 영향을 받기는 하지만 특히 미세드릴의 경우에는 강성이 약하기 때문에 민감하게 영향을 받을 수 밖에 없다. 초기 미세드릴 가공시 단면의 표면 상태가 좋지 않으면 드릴이 미끄러져 중심을 잡지 못함으로 즉시 파손이 된다. 또한 드릴이 중심을 잡았다 하더라도 불안정하게 잡았을 때는 떨림 현상이 생겨 드릴의 파손은 불가피하다. 그러므로, 특히 미세심공 드릴가공 기술에 있어서는 얼마나 가공면의 상태를 양호하게 하는가가 중요한 관건이다.

Photo. 3는 Be-Cu 커넥터 잭핀의 단면 가공 상태를 보여 주고 있으며, Photo. 4는 Be-Cu 커넥터 잭핀에의 미세심공 절삭 상태를 보여 주고 있다.



(a) 양호 (b) 불량

Photo. 3 Condition of cross section for Be-Cu connector jack pin



(a) 양호 (b) 불량

Photo. 4 Shape of micro deep hole for Be-Cu connector jack pin

5. 각 절삭 조건에 따른 구멍 내면의 표면거칠기

Photo. 5는 구멍 내면의 표면 거칠기를 측정 한 비접촉 방식인 Rodenstock Metrology RM600을 보여 주고 있다.

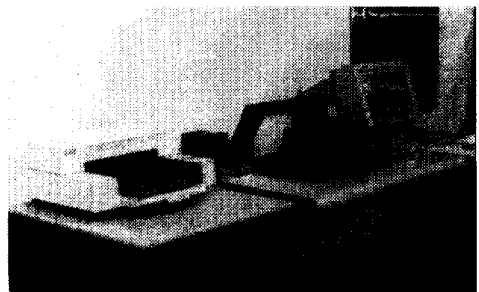


Photo. 5 Rodenstock Metrology RM600

① 절삭속도의 변화가 내면의 표면거칠기에 미치는 영향

전체 실험에서 단계절입이송은 A, B, C 3가지 타입으로 설정했으며 여기서는 B형타입으로 0.1mm×30회와 C형타입으로 0.15mm×6회+0.12mm×6회+0.1mm×14회, 이송속도를 50mm/min 및 60mm/min로 주었을 때 절삭속도를 27.49m/min(25,000rpm), 32.99m/min(30,000rpm), 38.48m/min(35,000rpm), 43.98m/min(40,000rpm), 49.48m/min(45,000rpm)로 변화시켜 가공한 후 가공된 표면거칠기를 조사하였다. 이 때 절삭속도와 가공된 표면 거칠기와의 관계를 Fig. 3에 나타내었다.

대체적으로 각 그래프 마다 27.49m/min에서 32.99 m/min까지 표면거칠기는 전반적으로 좋아짐을 보이다가 38.48m/min에서 가장 양호한 표면 상태를 보이고 있음을 알 수 있다. 그리고, 이후로 절삭속도가 43.98m/min과 49.48m/min로 증가할수록 표면 거칠기 상태가 나빠짐을 알 수 있다.

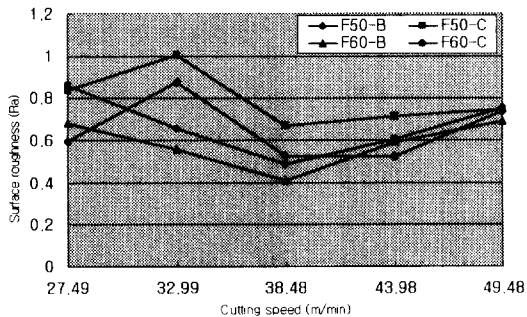


Fig. 3 Cutting speed vs. surface roughness (Feed rate=50,60mm/min, Step feed=Type B,C)

② 이송속도의 변화가 내면의 표면거칠기에 미치는 영향

스텝 이송을 A형타입으로 0.05mm×60회와 C형타입으로 0.15mm×6회+0.12mm×6회+0.1mm×14회, 절삭속도를 32.99m/min(30,000rpm)와 43.98m/min(40,000rpm)으로 주었을 때 이송속도를 50mm/min, 60mm/min, 70 mm/min으로 변화시키면서 실험하였으며, 이때의 가공된 내면의 표면 거칠기와 이송속도의 관계는 Fig. 4에 표시한 바와 같다.

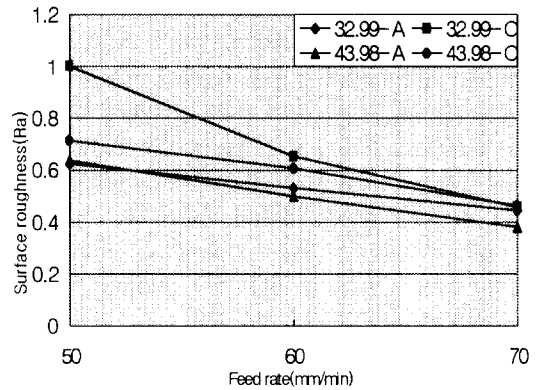


Fig. 4 Feed rate vs. surface roughness (Cutting speed=33.99, 43.98m/min, Step feed = Type A,C)

Fig. 4에서 보는 바와 같이 내면의 표면거칠기는 본 실험에서 주어진 조건에서 이송량이 증가할수록 양호하였다. 보통 이송속도가 증가할수록 내면의 표면 거칠기가 나빠지는 것이 일반적인 예이다. 하지만 미세심공 드릴가공에 있어서는 이송속도가 증가할수록 내면의 표면거칠기가 더욱 좋아지는 것을 볼 수 있다. 이는 이송속도가 빨라질수록 칩배출을 더욱 더 원활하게 해 주는데 기인한 것이라 사료되어진다. 하지만 이 그래프에서 이송속도가 증가할수록 어디까지 표면거칠기가 계속 좋아질 것인지에 대한 실험을 이루지 못해 데이터가 미흡한 것이 사실이다. 이는 이후 보완 실험을 통해 밝히고자 한다. 하지만 추측컨데 내면의 표면거칠기가 양호해 지는 것에는 한계가 있고 그 이유로는 어느 한계 이송속도에 도달하면 칩 배출이 더욱 원활해 지지만 오히려 잦은 칩 배출에 의한 표면의 굽힘 현상이 발생할 것이며 구멍 내면과 드릴의 빠른 마찰로 인한 경화 현상에 기인한 것이라 사료되어진다.

③ 단계절입이송

단계절입이송 방식이란 일정만큼 절입 이송한 다음, 절입 원점으로 복귀하고 다시 절입을 시작하는 다단계의 과정이다. 단계절입이송의 개념을 Fig. 5를 통해 이해할 수 있다. 구멍 가공중 단계절입 이송은 칩배출, 공작물의 냉각등에 효과를 가져 올 수 있다. 이는 특히 칩배출이 곤란하여 드릴이 쉽게 파단되는 미세심공 드릴가공에 있어서

는 대단히 효과적인 방법이라고 할 수 있다. 드릴이 절입이송후 절입 원점으로 복귀하는 사이클을 여러번 계속적으로 반복하면서 칩을 강제적으로 배출시키기 때문에 원활한 칩 배출을 기대할 수 있다.

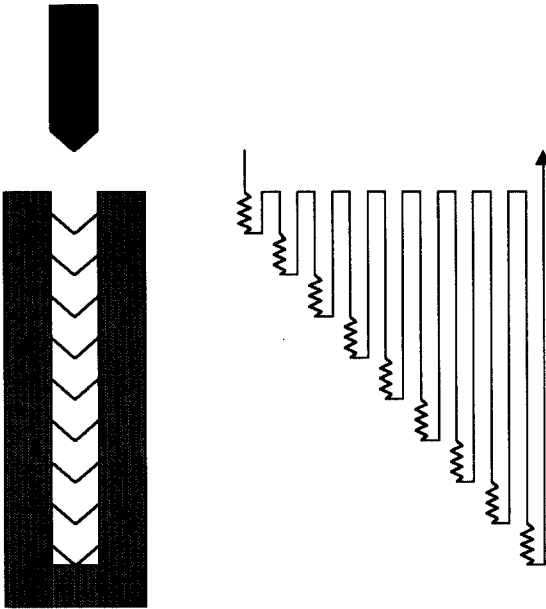


Fig. 5 Concept of step feed

앞의 그래프 Fig 3, 4에서 단계이송에 관한 사항을 비교해 보면 B 타입으로 0.1mm×30회로 가공할 때가 C형 타입으로 0.15mm×6회 + 0.12mm× 6회 + 0.1mm×14회로 가공할 때 보다 내면의 표면 상태가 더 양호한 것을 볼 수 있고, A형 타입으로 0.05mm×60회로 가공할 때가 C형 타입으로 0.15mm×6회 + 0.12mm× 6회 + 0.1mm×14회로 가공할 때 보다 더 양호한 내면의 표면 상태를 보이고 있음을 알 수 있다. 여기서 볼 때 스텝을 많이 줄수록 칩 배출은 더욱 원활해짐으로 인해 양호한 표면 상태를 얻을 수 있었으리라 사료된다. 하지만 경제적인 측면에서 볼 때 무한정 스텝을 많이 줄 수는 없다. 또한 너무 많은 스텝을 주면 구멍의 내면과 드릴과의 마찰 시간이 길어져 피삭재에 경화 현상이 일어나며 또한 드릴의 수명도 짧아질 수 있다. 그리고 잦은 칩 배출로 인하여서 부스러진 칩들이 구멍 내벽과 드릴사이에서 긁힘 현상을 유발 할 수도 있을 것이다. 따라서 최적의 스텝량

을 결정하는 것이 미세심공드릴 가공기술의 또 하나의 주요한 관건이라고 할 수 있을 것이다. 또한 스텝을 일정하게 주느냐, 감소하는 타입으로 줄 것이냐, 증가하는 타입으로 줄 것이냐 등등 다양한 스텝 방식이 있다. 아직 이에 대한 연구를 깊이 이루지 못하였지만 최적의 스텝 조건을 찾는 것도 앞으로 미세심공 드릴가공 기술에 있어서 급선무라고 할 수 있다.

Photo. 3은 단계절입이송이 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회인 C형타입으로 주었을 때의 사진으로 내면의 표면 상태가 다단계로 이루어져 있음을 확인할 수 있다.

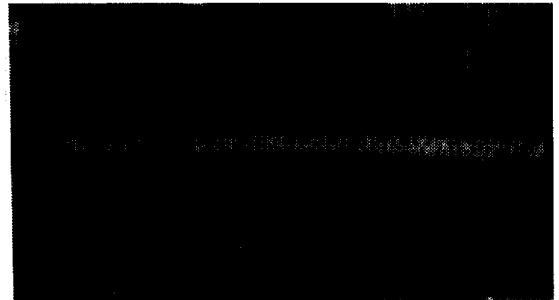


Photo. 6 Step feed

4. 결론

본 연구에서는 Be-Cu재료를 피삭재로 하여 미세심공드릴가공시 가공 상태에 영향을 미치는 인자들에 대하여 고찰하여 보았고, 절삭조건 변화가 구멍 내면의 표면 거칠기에 미치는 영향을 비교·검토하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 미세심공 드릴가공시 드릴의 선택은 현미경으로 관찰하여 A급 만으로 선별하여 사용해야 한다.
- ② 미세심공 드릴가공에 있어서 가공할 단면의 표면 상태가 평탄해야 한다.
- ③ 절삭속도의 변화가 가공 구멍 내면의 표면거칠기에 미치는 영향에서는 대체적으로 절삭속도가 38.48m/min 부근에서 가장 양호하였다.
- ④ 이송속도의 변화가 가공 구멍 내면의 표면 거칠기에 미치는 영향에서는 이송속도가 증가할수록 더욱 양호한 내면의 표면 거칠기를 얻을 수 있었다. 하지만, 이송속도가 어느 한계에 달하면 공구와 피삭재간의 경화 현상

이나 칩의 굽힘현상으로 인하여서 내면의 표면 상태는 더욱 악화되리라 사료되어진다.

- ⑤ 단계절입이송은 원활한 칩 배출을 주무로 미세심공 드릴가공시 중요한 변수로 작용하리라 본다. 여기서 너무

작은 단계절입이송은 오히려 표면상태를 악화시킬 수 있고 시간적·경제적으로 부적합 할 수 있다. 따라서 시간적·경제적인 것과 양호한 내면의 표면 상태를 함께고려하여 가장 적절한 단계절입 이송방식을 선택하는 것이 중요하리라 본다.