

## 초경합금 소재 마이크로드릴의 가공특성 평가

김건희\*

(논문접수일 2002. 10. 16, 심사완료일 2002. 11. 7)

### Analysis of Characteristic Evaluation of Microdrilling for the Cemented Carbides Materials

Gunhoi KIM\*

#### Abstract

Recently, reduction of industrial products in size and weight has increased by the application of micro-drill for gadgets of high precision and gave rise to a great interest in a micro-drilling. Due to the lack of tool stiffness and the chip packing, micro-drilling requires not only the robust tool structure which has not affected by the vibration, but also the effective drilling methods designed to prevent tool fracture from cutting troubles. Firstly, this paper presents a optimum characteristic evaluation method of 0.15mm microdrill in consideration of new manufacturing processes for improving the product rate and extend the tool life, and secondly suggests between microdrilling characteristic properties of tool and evaluation of workpiece quality through experiment.

**Key Words :** 마이크로 드릴(Micro-drill), 생산성(Productivity), 초경합금소재(Cemented Carbides material), 공구수명(Tool life), 가공 품위(Workpiece Quality), 진원도(Roundness), 진직도(Straightness)

### 1. 서론

드릴가공은 기계가공기술 중 가장 기본적인 가공 방식 중의 하나로 생산성 향상의 측면에서 점차 고속화되어가고 있고, 전자제품 등의 고기능화, 다양화, 소형화 등의 추세에 대응하기 위해 드릴작업의 미세화 및 심공화의 요구가 증대되고 있다. 특히 최근의 첨단의료 장비나 소형소자의 신소재

개발로 나노 정도의 드릴가공이 요구되고, 이들 소재가공을 위한 마이크로 드릴의 개발 및 새로운 소재에 대한 가공성의 평가가 시급한 실정이다<sup>(1)</sup>. 현재는 초경합금을 미립자화하여 어느 정도 인성을 증대시킨 마이크로 드릴이 개발되어 있으나 이 또한 고속절삭용으로는 많은 문제점이 대두되고 있다. 이를 보완하기 위해 내열을 고려하여 드릴공구에 TiC, TaC 등을 첨가한 복합공구 등의 개발이 되고 있

\* 주저자, 전주대학교 공학부 (gunhoi@jeonju.ac.kr)  
주소: 560-759 전북 전주시 완산구 효자동3가 1200번지

으며, 그 외에 초경합금재의 드릴 선단부에 소결 다이아몬드를 접합한 복합드릴, 드릴의 선단부에 다이아몬드를 코팅한 미세 드릴 등이 등장하고 있다<sup>(2)</sup>.

따라서, 본 연구는 150  $\mu$ m급 이하의 초경합금소재 마이크로 드릴의 공구재료에 대한 공구수명과 가공품위를 고려한 고속회전용 드릴의 진원도, 가공부하 특성, 공구수명, 가공조건에 따른 드릴선단의 마모형태의 분석, 공작물 종류에 따른 센터링 오차 등에 관한 성능평가에 대한 기초적 실험을 하고, 이에 관련된 150  $\mu$ m급 이하 마이크로 드릴가공의 가공기술을 정립하였다.

## 2. 초경합금소재 마이크로드릴의 공구수명과 가공품위에 미치는 영향

### 2.1 고속가공을 위한 영향인자

본 연구에서는 150  $\mu$ m이하 급의 마이크로 드릴의 가공 특성 실험을 목표로 하였다. 초경합금(Cemented carbides)은 금속의 탄화물분말을 소성하여 만든 경도가 H<sub>R</sub>C 85~90 정도에 이르는 합금이다. 일반적으로 사용하고 있는 초경공구는 탄화 텅스텐을 주체로 한 결합금속인 Co(코발트)와 W(텅스텐) 입자들 사이의 코발트에 탄소와 텅스텐을 녹인 것이다. 이와 같은 마이크로 드릴용 초경공구의 선정에 있어서는 경도, 항절력, 인성, 입자크기, 밀도 등의 물리적 특성을 고려하여야 하며, 특히 미립자의 크기에 따라 드릴의 가공성과 성능을 크게 좌우하게 된다. Fig. 1은 마이크로

Table 1 Nomenclature and influence components of microdrill

Symbol	Nomenclature	Influence Component	Weight Grade
A, B	Cutting edge length	Hole position accuracy	Very important
C	Web thickness	Shank stiffness	Important
D, E	Chisel edge width	Stiffness, vibration	Very important
F	Ray back	Chip melting	Very important
G	Hook	Stiffness	Important
H	Taper	Chipping, stiffness	Very important
I	Plare	Stiffness	General
J	Web offset	Centering	Very important

드릴의 설계시에 고려해야할 설계요소를 나타내며, Table 1은 Fig. 1에 대한 명칭 및 영향정도를 나타낸다.

또한 본 연구의 실험대상인 마이크로 드릴용 초경공구로, 초경 마이크로 드릴은 강 또는 난삭재의 가공에서는 사용이 곤란하였으나 최근에는 이를 극복하여 강과 난삭재의 가공에도 많이 사용 중이며, 또한 고속 가공도 가능하지만 장비의 강성 및 정도가 필히 요구되므로 Up-Light에서 사용은 가급적 자제해야 하며, 파손의 우려를 감안하여 구폭비를 적게 하며, 파손 및 Chipping이 발생할 가능성 등을 고려한 설계가 필요하다. 본 연구대상의 초경합금 마이크로 드릴용 미립자의 크기는 0.6  $\mu$ m이하의 미세분말을 사용하는 소재를 대상으로 하였다.

생산성을 증시킨 마이크로 드릴의 가공성과 수명에 관계되는 요소 중에 치즐각(Chisel edge angle), 선단각(Point angle), 헬리스각(Helix angle)에 대한 부분이며, 웹두께(Web thickness), 마진폭(Margin width), 플루트 폭(Flute width), 티닝(Tinning)부분이다. 그밖에 마이크로 드릴의 형상설계시에 고려해야할 부분으로 Overall length, Shank diameter, Body length, Flute length, Undercut 등이다. 구체적으로는 드릴 생산성 및 수명에 중요한 영향을 미치는 영향인자로는 비틀림각(Helix angle), 플루트 길이(Flute length), 선단각(Point angle), 웹 사이즈(Web thickness), 언더컷(Undercut)등이다. 또한 일반적인 드릴에 있어서는

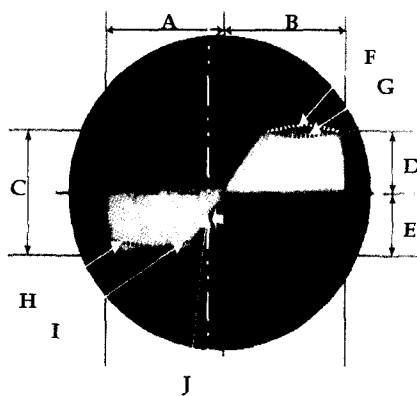


Fig. 1 Influence components of microdrill for tool life and quality

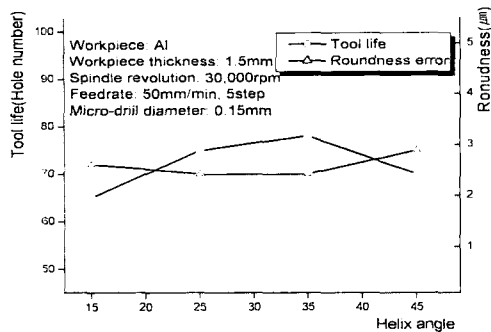
**Table 2 Data of the tool life and workpiece quality about point edge**

Cuts diameter	** 0.2992 mm	0.2970 mm	-0.0010	0.0010 mm	0.0023	0.0013 mm
Relief diameter	** 0.2604 mm	0.2570 mm	-0.0010	0.0010 mm	0.0267	-0.0257 mm
Overlap (**Gao)	** -0.0040 mm	0.0030 mm	0.0030	0.0030 mm	-0.0070	-0.0040 mm
Web thickness	** 0.1170 mm	0.0500 mm	-0.0010	0.0020 mm	0.0670	0.0650 mm
Difference of cutting edge	** 0.0051 mm	0.0020 mm	-0.0010	0.0010 mm	0.0030	0.0020 mm
Difference of cutting edge	** 0.0008 mm	0.0030 mm	-0.0010	0.0010 mm	-0.0023	0.0013 mm
Web offset	** 0.0018 mm	0.0800 mm	0.0100	0.0100 mm	0.0783	0.0683 mm
Flare (**Taper) CE1	** 4.6 °	0.5 °	-0.2	3.2 °	4.1	3.9 °
Flare (**Taper) CE2	** 7.4 °	0.5 °	-0.2	3.2 °	6.9	6.7 °
Layback (**Hook) CE	0.0006 mm	0.0010 mm	-0.0010	0.0010 mm	-0.0005	0.0000 mm
Layback (**Hook) CE	0.0011 mm	0.0010 mm	-0.0010	0.0010 mm	0.0003	0.0000 mm
CH PS 1	** 0.0021 mm	0.0000 mm	-0.0013	0.0013 mm	0.0022	0.0009 mm
CH PS 2	0.0004 mm	0.0000 mm	-0.0013	0.0013 mm	0.0005	0.0000 mm
Margin width CE1	** 0.0714 mm	0.0570 mm	-0.0052	0.0050 mm	0.0145	0.0095 mm
Margin width CE2	** 0.0714 mm	0.0640 mm	-0.0050	0.0050 mm	0.0075	0.0025 mm
Land angle CE1	** 67.1 °	83.0 °	-2.0	2.0 °	-15.9	-13.9 °
Land angle CE2	** 66.0 °	83.0 °	-2.0	2.0 °	-17.0	-15.0 °
Diff. parallelism	** 2.7 °					
Diff. margin width	** 0.0000 mm					



**Fig. 2 Check point for influencing tool life and workpiece quality of point edge**

드릴의 가공성에 크게 영향을 미치는 영향인자로 드릴 선단부의 Chisel edge Angle, Margin부의 형상, Thinning부의 형상에 의해 드릴의 가공성이 크게 좌우된다<sup>(3-7)</sup>.



**Fig. 3 Relationship between tool life and roundness error according about helix angle**

또한 Fig. 2는 마이크로 드릴의 가공성 및 수명에 주요한 영향을 정도를 측정·분석해야할 선단부의 핵심부로서 본 연구에서는 0.15mm 마이크로 드릴을 대상으로 하였다. 또한 Table 2는 Fig. 2에서 정한 각 부에 대한 측정 데이터이다.

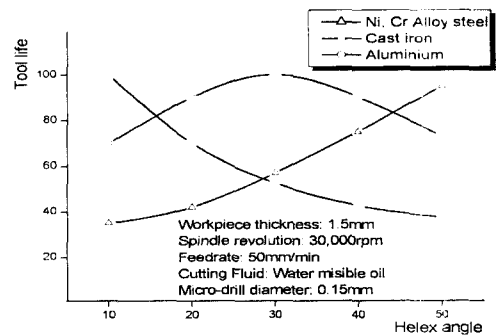
### 3. 마이크로 드릴의 각 요소별 특성

#### 3.1 Helix angle의 특성

마이크로 드릴의 비틀림 각(Helix angle)은 드릴 외주부의 경사각(Rake angle)의 역할을 하며, 이 비틀림 각을 크게 하면 절삭성이 향상되어 저항력은 감소되나, 칩 배출은 역으로 나빠진다. 또한 마이크로 드릴 강성의 저하로 인한 진동발생의 원인이 된다. 따라서 금속가공용 마이크로 드릴의 생산성과 공구수명을 극대화하기 위한 최적설계는 피삭재의 재질에 따라서 비틀림 각의 크기를 변형할 필요가 있다.

Fig. 3은 비틀림 각에 따른 칩 배출, 공구수명, 가공면의 구멍의 진원도 관계를 나타내고 있다.

Fig. 3의 결과에서 알 수 있듯이 비틀림 각이 크에 따라 칩의 배출성은 용이하게 되나 공구수명은 감소되는 경향이 있음을 알 수 있다. 따라서 비틀림 각의 사용범위는 25°~30°가 적당하나, 생산성을 중시하는 경우를 고려하여 피삭재의 종류에 따라서 마이크로 드릴의 비틀림 각을 변경할 필요가 있다. 즉 연한 피삭재 가공시에 비틀림 각이 클 경우, 진동과 칩핑이 발생하게 되어 마이크로 드릴의 수명이 저하되는 반면, 칩의 변형폭이 적게되어 상대적으로 열발생이 적어 마이크로 드릴의 수명이 연장된다. 한편 강한 재료에는 약한 비틀림으로 인하여, 또한 연한 재료는 강한 비틀림으로 인하여, 또한 소구경으로 뒎에 따라 강성이 약해지



**Fig. 4 Relationship between helix angle and tool life according to material sorts**

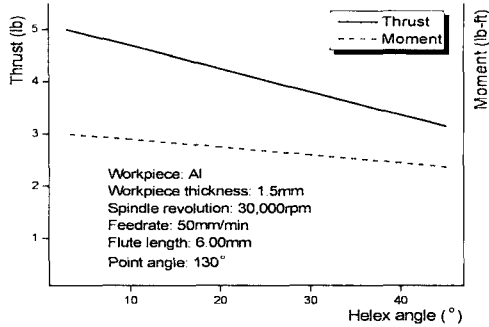


Fig. 5 Relationship between thrust and moment according to helix angle

므로 비틀림 각을 작게하는 것이 좋다. 이는 강한 소재에는 강성을 부여하고, 연한 소재에는 절삭성을 부여하기 위한 것이다.

또한 Fig. 4는 공작물 종류에 따른 비틀림 각과 공구수명과의 관계에 대한 실험결과로서 Ni와 Cr의 합금강은 비틀림 각이 30°일 때 공구수명이 가장 길며, Cast Iron의 경우에 있어서는 비틀림 각이 길수록 공구수명은 길어지는 반면, 알루미늄인 경우에 있어서는 오히려 비틀림 각이 클수록 공구수명은 저하되는 것을 볼 수 있다. 즉 이는 마이크로 드릴 가공은 가공물의 종류에 따라 비틀림 각의 최적값이 매우 달라짐을 알 수 있다. Fig. 5는 비틀림 각에 따른 Thrust와 Moment의 변화를 나타내고 있다. 이 결과에서 알 수 있듯이 비틀림 각이 증가함에 따라 Moment는 큰 변화가 없으나, Thrust의 경우는 감소됨을 알 수 있다. 즉 이는 난삭재 가공용 마이크로 드릴은 비틀림 각을 어느 정도 크게하는 것이 유리함을 의미한다.

또한 절삭저항이 고적 절삭성에 중점을 두는 알루미늄 가공 및 절삭온도에 의해 가공정확도를 동반하는 스테인레스 강과 내열강 등에는 비틀림 각을 크게 하는 것이 바람직함을 알 수 있다. 칩 배출성이 떨어지면 홀의 가공정도가 나빠지며, 가공부하가 발생하여 마이크로 드릴의 수명에 영향을 주게된다.

### 3.2 Flute 길이의 특성

Flute 길이에 대한 마이크로 드릴의 강성은 Flute의 길이 가 길수록 마이크로 드릴의 강성은 약해짐을 알 수 있다.

그러나 마이크로 드릴의 강성을 크게 하기 위해서 Flute length를 짧게 할 수는 없고, 이는 가공품의 두께에 적합한

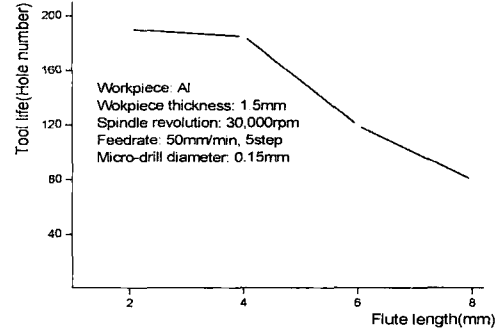


Fig. 6 Relationship between tool life and flute length

Flute length의 범위 안에서 최대강성을 갖는 길이로 설계한다. 또한 Fig. 6은 Flute length에 따른 마이크로 드릴의 수명을 나타내고 있다. Flute length가 길면 마이크로 드릴의 강성은 저하되며 따라서 마이크로 드릴의 수명이 짧아짐을 알 수 있다.

또한 Fig. 7은 Flute length에 따른 가공 구멍의 진직도와 진원도에 대한 실험 결과로 Flute length에 따른 가공 구멍의 진직도와 진원도에는 많은 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다. 즉 Flute length가 길수록 가공 시작시에는 센터링이 부정확하게 되어 진원도가 나빠짐을 알 수 있으며, 가공 중에는 강성의 저하에 의하여 진동발생의 원인이 되어 진직도가 나빠짐을 알 수 있다.

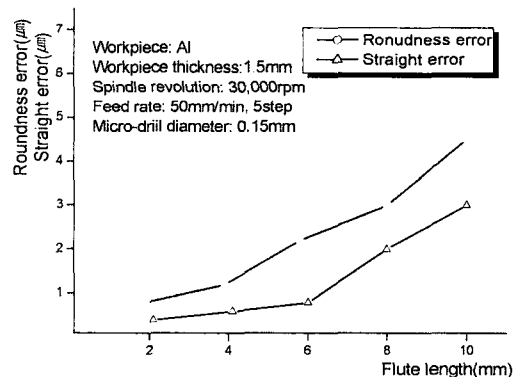


Fig. 7 Relationship between roundness error and straight error according to flute length

### 3.3 선단각(Point angle)과 절삭성능, 절삭저항과의 특성

선단각은 절삭성능에 영향을 주며, 피삭재의 종류에 따라 일반적으로 118°~140°로 주어지나 표준 값으로 118°를 추천되고 있다. 선단각이 지나치게 작게 되면 절삭날의 길이가 길어져 chip의 형태가 얇게 되어 절삭날 단위당 절삭저항은 증대하게 된다.

Fig. 8은 선단각에 따른 트러스트와 토크와의 관계를 나타내고 있다. Fig. 14에서와 같이 선단각이 작을수록 트러스트 저항은 감소되지만 반대로 토크는 증가하고 가공 후에는 버의 발생이 증가되게 된다. 반대로 선단각이 클수록 트러스트 저항은 증가하지만 토크는 감소하게 되며, 가공 후에 구멍 직경이 확대되는 경향이 있으며, 버의 발생이 억제되어 공구수명을 연장할 수 있다. 그러나 선단각이

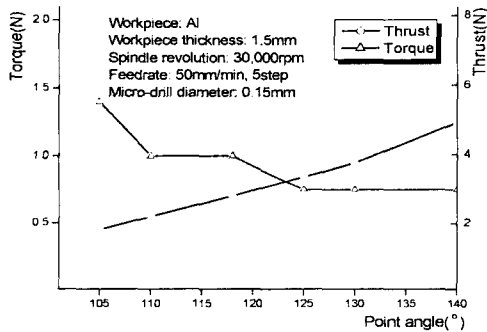


Fig. 8 Relationship between thrust and torque according to point angle

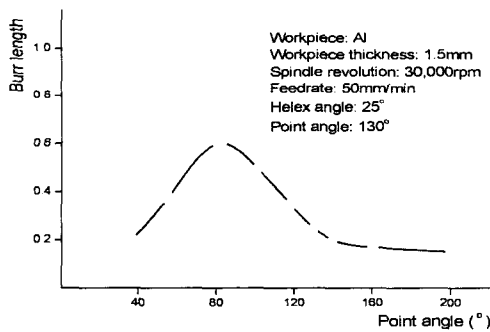


Fig. 9 Relationship between point angle and burr length

한계각 이상이 되면 절삭성이 나빠져 오하러 가공부하를 증대시키게 되어 가공품위를 떨어뜨리는 결과를 초래한다.

또한 Fig. 9는 선단각에 따른 버 길이에 관한 실험결과로 선단각이 80°일 경우가 대체적으로 버의 길이가 크며, 오하러 80°이상이 되면 선단각이 증가함에 따라 버의 길이는 작게 됨을 알 수 있다. 즉 이는 선단각은 크게 할수록 버의 길이는 짧아져 가공성은 양호함을 의미하는 것으로 특히 연결강을 가공하는 경우의 마이크로 드릴의 선단각은 비교적 크게 하는 것이 가공성이 우수함을 알 수 있다.

### 3.4 웹 두께와 드릴강성 특성

마이크로 드릴의 웹부는 마이크로 드릴의 축심부를 형성하는 부분으로 우선적으로 절삭성과 강성을 고려한 설계에 중점을 두고 분석하였다.

웹 두께(Web size)는 Fig.10과 같이 마이크로 드릴의 중심부의 두께로서 축심부를 형성하여 마이크로 드릴의 강성을 결정지으며, 일반적으로 마이크로 드릴직경의 11%~20% 정도로 하며, 금속용 마이크로 드릴의 경우에는 28%~33%로 하는 것이 일반적이다.

경우에 따라서는 깊은 구멍 가공용에 있어서는 55%까지도 가능하다.

따라서 본 연구에서는 금속가공용 마이크로 드릴의 강성과 절삭성을 극대화하기 위한 구속조건 하에서 웹 두께의 최적결정을 위한 실험을 하였다. Fig.10과 같이 마이크로 드릴의 웹 두께에 따른 드릴의 강성과의 관계에서 보듯이 웹 두께가 증대됨에 따라 마이크로 드릴의 강성은 급격히 증대됨을 알 수 있다. 하지만 웹 두께가 어느 한계 값 이상으로 되면 절삭성은 매우 급격히 감소됨을 알 수 있다. 따라

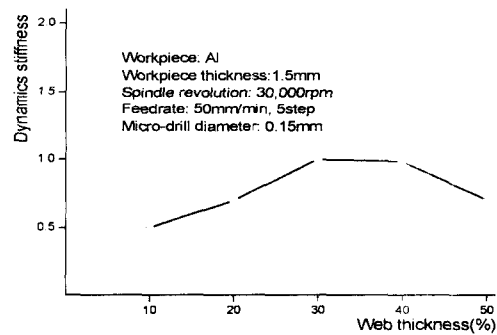


Fig. 10 Relationship between web thickness and dynamic stiffness for microdrill

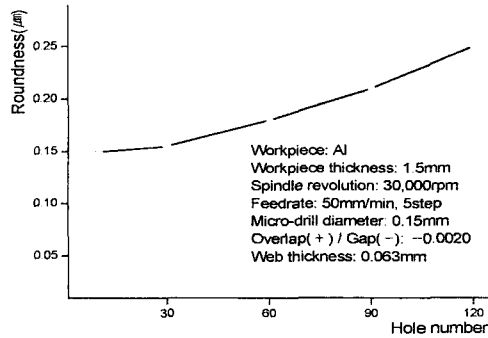


Fig. 11 Relationship between number of machining hole and roundness

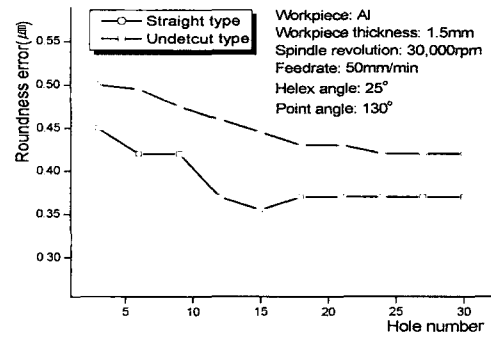


Fig. 12 Relationship between number of drilling hole and roundness according to shank type

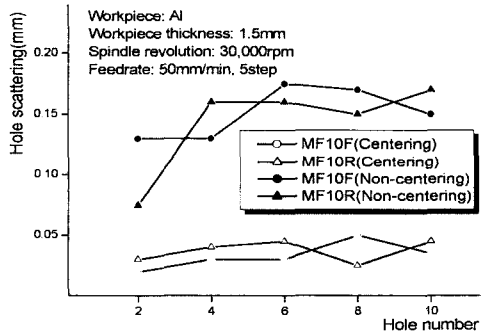


Fig. 13 Relationship between number of machining hole and hole scattering

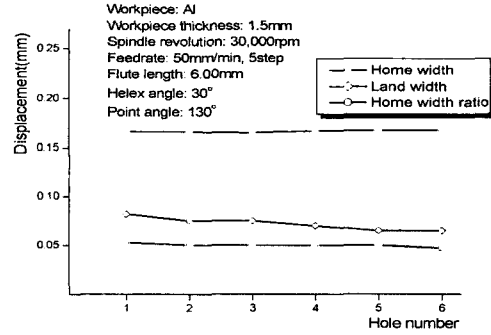


Fig. 14 Relationship between number of machining hole and displacement

서 본 연구에서는 마이크로 드릴의 절삭성을 극대화하면서 드릴의 강성을 만족할 수 있는 0.15mm급 이하의 마이크로 드릴의 웹 두께 조건은 30%~40%정도가 최적임을 알 수 있다.

#### 4. 가공회수와 가공정도와와의 관계

##### 4.1 가공회수에 따른 진원도 관계

Fig.11은 가공회수에 따른 진원도 관계에 대한 실험결과로 일반적으로 가공회수가 증가할수록 가공물에 대한 진원도는 나빠짐을 알 수 있다. 즉 이는 요구하는 가공정도에 따라 마이크로 드릴의 사용횟수를 결정해 놓아야 함을 의미한다.

또한 Fig.12는 마이크로 드릴의 샹크 형태에 따른 가공회수와 진원도와의 관계를 나타내고 있다. 일반적으로 마이크로 드릴의 샹크 형태는 Straight 형태와 Undercut 형태를

사용하고 있으며, 이 결과에서와 같이 어느 형태를 사용하든 진원도의 오차는 감소하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 공구수명 내에서의 진원오차는 초기 가공회수에서는 진원오차가 커지다가 어느 정도 가공회수, 즉 15회 정도 이상에서는 오히려 안정된 진원오차 범위에서 가공할 수 있음을 알 수 있다.

##### 4.2 가공회수와 가공산포와의 관계

마이크로 드릴의 가공에 있어서는 Fig.13과 같이 가공전의 가공부에 대한 센터링 작업을 하는 경우와 하지 않은 경우에 있어서 매우 가공위치의 정확도가 매우 달라짐을 알 수 있다. 본 실험에 사용된 초경소재용 마이크로 드릴의 특성은 MF10 소재의 경우에 있어서는 입자크기는 0.50 μm 분말, 경도 HRA가 93.0, 밀도가 14.60g/cm<sup>3</sup>, WC 함량이 94%, Co함량이 6.0%의 것이고, MF10 소재의 경우에 있

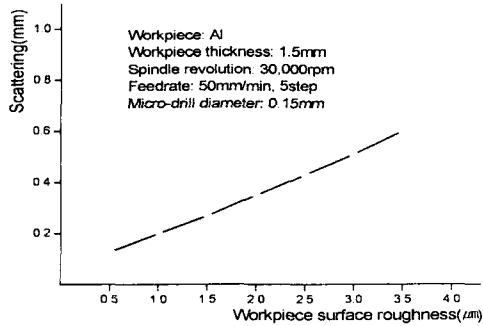


Fig. 15 Relationship between workpiece surface and scattering

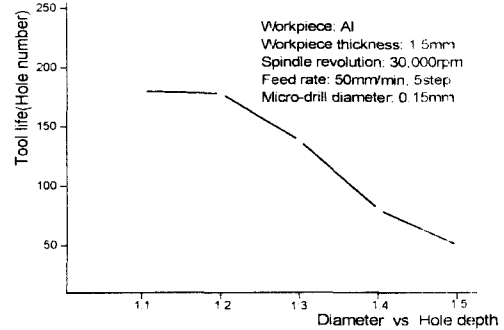


Fig. 17 Tool Life according to microdrill diameter vs hole depth

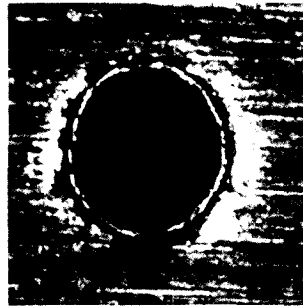


Fig. 16 Microscopic for the surface roughness of 1 μm(left) and 3.5 μm(right)

어서는 입자크기는 0.50 μm분말, 경도 HRA가 93.0, 밀도가 14.60g/cm<sup>3</sup>, WC 함량이 94%, Co함량이 6.0%의 것을 사용하였다. 그림의 결과와 같이 가공 전에 센터링을 하지 않은 경우는 센터링이 있는 경우에 비하여 Hole Scattering이 2~2.5배 정도로 위치정도 오차가 발생함을 알 수 있다.

#### 4.3 가공회수와 가공변위 관계

Fig.14는 마이크로 드릴의 흠폭, 랜드 폭, 흠 폭비에 따른 가공변위의 영향에 대한 실험결과로서 흠폭과 랜드 폭의 가공회수에 따른 가공변위의 영향은 비교적 없는 것으로 나타났으나 흠폭비에 따른 가공변위는 가공회수가 증가함에 따라 점진적으로 증가된다. 이는 마이크로 드릴의 강공시에 가공변위를 억제하기 위해서는 흠폭비의 결정이 매우 중요함을 의미한다.

#### 4.4 공작물의 표면거칠기와 가공위치 정도

Fig.15는 가공물의 표면 거칠기에 따른 홀가공의 위치정

도로 공작물의 표면 거칠기가 나쁠수록 가공위치 오차는 비례적으로 증가함을 알 수 있다. 즉 정확한 홀가공 정도를 유지하기 위해서는 가공물의 표면 거칠기가 양호할수록 정확한 가공위치를 얻을 수 있음을 의미한다. 또한 Fig. 16은 가공물의 표면 거칠기가 1 μm인 경우와 3.5 μm인 경우에 대한 사진과 데이터로 600배로 촬영한 것이다. 사진에서와 같이 가공물의 표면 거칠기가 좋을수록 가공 홀에 대한 진원도 및 진직도가 양호함을 알 수 있다.

#### 4.5 마이크로 드릴의 직경과Hole 깊이에 따른 공구수명

마이크로 드릴의 공구수명은 드릴의 직경과 가공구멍 깊이와의 관계에 의하여 공구수명은 매우 달라지며, 일반적으로 마이크로 드릴의 직경과 가공구멍 깊이는 직경의 3배 이하에서는 수명의 변화가 비교적 적으나, 구멍 깊이가 직경의 3배 이상이 되면 마이크로 드릴의 수명은 급격히 저하됨을 알 수 있다. Fig. 17은 마이크로 드릴의 직경과 구멍 깊이에 따른 수명에 대한 실험 결과를 나타내고 있다.

## 5. 결론

본 연구는 150  $\mu$ m급 이하의 초경소재 마이크로 드릴의 개발의 공구수명을 고려한 고속회전용 드릴의 강성분석, 가공품의 진원도 및 진원도 실험, 가공부하와 공구수명, 가공 조건에 따른 드릴선단의 마모형태의 분석 등을 고려한 마이크로 드릴의 생산성을 증시한 미세가공의 가공기술을 제안하였다. 얻어진 결과는 아래와 같다.

- (1) 생산성을 증시한 150  $\mu$ m급 마이크로 드릴의 특성분석을 위한 형상별 영향인자를 분석하여 그 영향인자를 제안하였다.
- (2) 150  $\mu$ m 급 마이크로 드릴의 가공성을 극대화를 전제로 위 전체형상 설계, 요소별 형상설계를 공구수명과 가공품위를 고려한 설계에 바탕을 두고 할 수 있도록 그 각 요소에 대한 기초적 실험을 통하여 마이크로 드릴의 최적설계 기준을 제안하였다.
- (3) 최적 설계한 마이크로 드릴에 대한 특성실험을 바탕으로 가공품위와 공구수명을 극대화할 수 있도록 제안하였다.

## 참고 문헌

- (1) 澤田 潔, 平井俊雄, 河合知彦, 奥秀明, "Superprecision Micro-machining by nano-machine", 日本機械學會講演論文集(JPN), Vol. 48, pp. 243~244, 1999.
- (2) Peter Muller, "Flexible Usage of Microdrill" European Production Engineering 16, pp. 79~81, 1992.
- (3) Frazao, J., "On the Design and Development of a New BTA Tool to Increase Productivity and Workpiece Accuracy in Deep Hole Machining," IJAMT, Vol. 1, No. 4, pp. 3~23, 1986.
- (4) Griffiths B.J., "Axial Hole Run-out during Deep Drilling(Self Piloting Drilling)", Proc. of the Second Int'l Conference on Deep Hole Drilling and Boring, pp. N1~N7, 1977.
- (5) Gunhoi KIM, "Optimum Manufacturing Process of Micro-drill," The Korean Society of Manufacturing Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 109~116, 2002.
- (6) Katsuki, A., Onikura, H., Sakuma, K., Taguchi, K., "The Influence of Tool Geometry on Axial Hole Deviation in Deep Hole Drilling -Shape of the Guide Pad-", J. of the KSPE, Vol. 56, No. 524, pp. 1010~1016, 1990.
- (7) 장성규, 전연찬 "Deep Hole 가공시 SM55C의 절삭성에 관한 연구", 한국공작기계학회지, 제7권, 제4호, pp. 56~63, 1999.