

투과전자현미경용 시료 측정 스테이지 미세부품 개발

Developing Micro device of Measurement Stage for TEM

*국명호¹, 이상용¹, 김효식¹, 양순철¹, #김건희¹, 김윤중²

*M. H. Kook¹, S. Y. Lee¹, H. S. Kim¹, S. C. Yang¹, #G. H. Kim(kgh@kbsi.re.kr)¹, Y. J. Youn²

¹ 한국기초과학지원연구원 초정밀가공팀, ² 한국기초과학지원연구원 전자현미경연구부

Key words : TEM(transmission electron microscope), micro device, stage

1. 서론

투과전자현미경은 나노 신소재의 원자 구조를 밝히는 전자 결정학(Electron Crystallography) 분야와 세포소기관의 삼차원 구조를 밝히는 전자토포그래피(Electron Tomography) 분야에 주로 활용된다. 그리고 이 두 분야는 NT와 BT연구의 핵심 분야로써 최근 선진국에서도 많은 연구를 하고 있다. 투과전자현미경에서 시료 측정 스테이지는 시료가 직접 장착되는 부분으로 장착된 시료를 연구자가 원하는 방향으로 최대한 폭넓은 범위에서 정밀하게 이동, 경사, 회전시킬 수 있어야 한다.¹⁻³⁾ 그러므로 어떻게 조작하는가에 따라 그 측정 결과가 크게 달라진다. 그러나 현재의 시료 측정 스테이지는 경사, 회전의 제한과 부정확성을 가지고 있어 최근 NT, BT의 핵심 기법으로 부상하고 있는 삼차원적 원자분해능 작업을 하는데 가장 큰 문제점으로 존재하고 있다. 이에 따라 경사각 범위가 넓고 정밀도가 높으며, 시편을 여러 방향에서 관찰할 수 있는 스테이지를 제작하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 개량된 측정스테이지를 개발하기 위한 초석으로 정밀 미세부품을 개발하였다. 본 논문의 내용은 크게 네 부분으로 되어 있으며, 우선 첫 번째는 측정 스테이지의 전체 모델링에 대하여 다루고 있다. 그리고 다음으로는 핵심 부품인 시료컵과 벨트의 제작에 대하여 논의하였다. 마지막으로 이러한 부품을 제작하기 위하여 전용으로 개발한 소형 2축 미세가공기와 실험계 획법을 활용한 가공기의 절삭특성 실험에 대하여 기술하였다.

2. 시료 측정 스테이지 미세부품 개발

2.1 스테이지의 설계

시료측정 스테이지의 개발은 TEM(Transmission Electron Microscope)내에서 구동할 수 있는 다양한 형태의 부품을 설계하고 제작해야 한다. 스테이지의 소재는 Al6061로 선정하였는데, 비자성체인 점과 가공성, 강성, 그리고 경량성을 동시에 가지고 있기 때문에 소재로서 선정하였다. 스테이지의 주요한 부위는 헤드부분의 미세구동 부분에 있기 때문에 그 부분을 중심으로 설계 및 제작을 진행하였다. Fig. 1은 스테이지의 전체 3D Model을 완료한 상태이고, Fig. 2는 헤드 부분을 상세하게 볼 수 있도록 확대시킨 그림이다.



Fig. 1 Design of measurement stage



Fig. 2 Head of the holder

2.2 Rotation Cup과 Sample Cup의 설계 및 제작

스테이지에 들어갈 회전컵/시료컵이 좌우 이동할 수 있도록 부품을 설계, 제작하였다. 회전컵/시료컵의 소재는 동(Cu)으로 선정하였는데, 그 이유는 회전컵/시료컵의 표면 거칠기가 좋아야 하고 가공성과 비자성체인 점을 고려하여 선정하였다. 또한 시료컵의 내부 이동거리가 ±0.4mm로 설계 되었으며, 회전컵/시료컵의 제작은 Fig. 3에서 보는 것과 같이 범용 선반에서 가공한 회전컵/시료컵의 표면형상이 SEM(Scanning Electron Microscope)에서 측정한 결과 균일하지 못하다는 결론을 얻었다. 때문에 범용 선반보다 한 단계 높은 정밀도로 가공할 수 있는 미세가공기로 제작을 하였다.

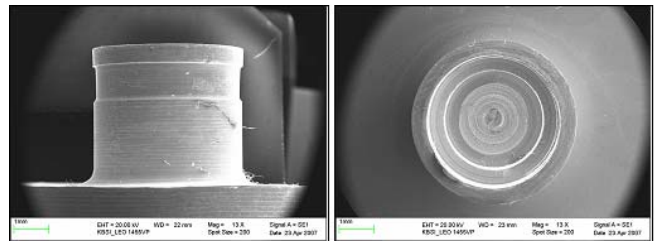


Fig. 3 Manufactured Sample Cup by the Lathe

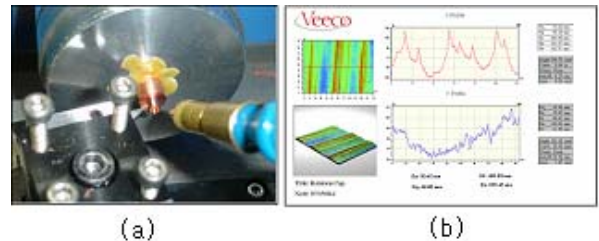


Fig. 4 Manufactured Sample Cup by Micro Machine

Fig. 4의 a에 초미세가공기로 가공하는 모습과 b는 초미세가공기로 가공한 표면을 NT2000으로 측정한 데이터로서 표면 거칠기 Ra 50.42 nm를 얻을 수 있었다.

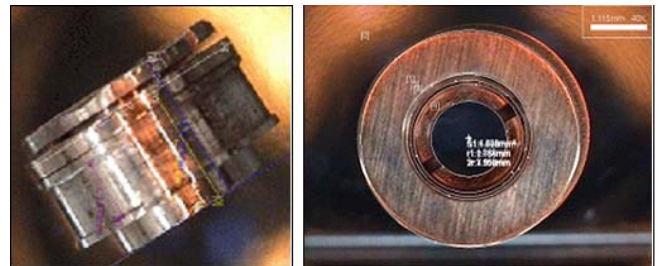


Fig. 5 Manufactured Rotation Cup and Sample Cup

2.3 Rotation Belt의 설계 및 제작

Rotation Belt의 설계 및 제작하였다. 소재로는 고력황동을 선정하였으며, 고력황동은 동합금으로 일명 Mn 청동(manganese bronze)이라 불리기도 하는 이 소재는 Cu-Zn 계열 합금 중 강도가 가장 큰 황동에 1-3% Mn을 합금한 것이나 현재에는 그 이외에도 Al, Fe, Ni, Sn 등의 원소를 첨가하여 높은 강도와 내식성, 특히

Table 1 elements of high strength brass

Elements	High Strength Brass (%)					
	KS D 6007				C6872	C6873
	HBsC1	HBsC2	HBsC3	HBsC4	HBsRE	HBsRE2
Cu	55-60	55-60	60-65	60-65	56-60.5	55-59
Zn	33-42	30-42	22-28	22-28	잔부	잔부
Mn	0.1-1.5	0.1-3.5	2.5-5.0	2.5-5.0	0.5-2.5	1.0-3.0
Fe	0.5-1.5	0.5-2.0	2.0-4.0	2.0-4.0	0.1-1.0	0.2-1.5
Al	0.5-1.5	0.5-2.0	3.0-7.5	5.0-7.5	0.2-2.0	0.2-2.0
Sn	1.0 이하	1.0 이하	0.5 이하	0.2 이하		
Ni	1.0 이하	1.0 이하				
Pb	0.4 이하	0.4 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.5 이하	0.5 이하
Si	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하		

내해수성이 요구되는 부품재료로 사용된다. 비자성체 중에서 Rotation Belt에 맞는 재료 조건을 가지고 있기에 고력황동 소재로 선정하였다. Table 1은 고력황동의 물성치를 나타낸다. "중공 실린더형 박빙 방식"을 이용하여 Rotation Belt를 초정밀가공기(Nanoform600)로 정밀한 표면거칠기와 원주 길이를 가지는 Belt를 제작하였다(원주길이: 772mm, 두께: 0.045mm, 폭: 0.9mm). Fig 6의 좌측은 초정밀가공기로 벨트를 가공하는 모습이고, 우측 그림과 Fig. 7은 벨트 제작 후 완성된 사진을 보여주고 있다.

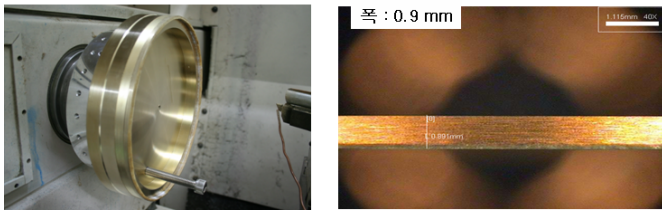


Fig. 6. Manufacture of High Strength Brass Belt



Fig. 7. High Strength Brass Belt

3. 미세 가공기 개발 및 절삭 특성 연구

기존의 대형 초정밀 공작기계를 이용한 가공은 자원의 소비, 공간적 여유, 에너지 소모적인 면에서 상당히 비효율적이다. 그러므로 부품이 원하는 가공 정밀도의 향상 및 일반적이며 효율적인 실현가능성을 달성하기 위해서는 미소 부품 가공 전용의 저가형 초소형 공작기계를 개발하는 것이 필수적이다. 개발 결과 생산 시스템을 축소 및 소형화하여, 부품 가공에 따른 생산 제조 원가의 절감을 하는 것이다. 다음 그림 8은 개발된 미세가공기를 보여주고 있다.

주축 스핀들은 BLDC모터에 의해 회전되며, 300~3000 RPM으로 운전 가능하다. 그리고 스테이지는 스텝 모터에 의해 이동되며, 최대 30 X 30 mm로 이송가능하다. 미세 가공의 가장 중요한



Fig. 8 The developed precision machine for fabricating micro device

부분인 스테이지의 이송 정밀도는 0.025um이며, 각각 X, Z축 방향으로 스테이지는 0.2~20mm/min의 속도로 이동 가능하다. 또한 진공척을 사용하여 진공흡인력에 의해 공작물이 고정되도록 함으로써 공작물의 외면에 손상을 주지 않으며 고정 가능하도록 개발하였다. 이는 과도한 조임이 없으므로 렌즈나 프리즘과 같은 연질의 재료도 가공이 가능하다.

개발된 미세가공기의 최적의 절삭 조건을 찾기 위하여 실험계획법을 사용하였으며, 표면거칠기에 영향을 주는 인자는 주축의 회전수(RPM), 공구의 이송속도(Feed), 재료의 절삭깊이(Cutting depth)를 인자로 하여 실험하였다. 그리고 이러한 최적 절삭조건은 다음과 같다.

1. 소형 2축 미세가공의 절삭특성에서 표면 거칠기값에 영향을 미치는 주효과는 주축 회전수에 의한 영향이 가장 크게 나타나며, 이송속도, 절삭 깊이의 순서로 영향을 미치고 있는 것을 확인하였다.

2. 소형 2축 미세가공기의 최적절삭조건은 주축의 회전수 900 rpm 영역, 이송속도 2 mm/min ~ 5mm/min 영역, 절삭 깊이는 미소한 영향을 미치지만 2μm ~ 6 μm 영역에서 표면 거칠기값 Ra 21 nm로 가장 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 투과전자현미경에 사용되는 측정 스테이지의 미세 부품을 개발하였다. 개발을 위해서 우선 3D 모델링을 하였으며, 개발 부품으로는 스테이지의 주요 부품인 시료집과 Rotation belt이다. 그리고 미세부품을 개발하기 위한 전용 가공기를 개발하였다. 그리고 실험계획법을 활용하여 미세 가공기의 최적 절삭 조건을 DB화 했으며 향후 미세정밀 부품 가공에 적합함을 검증하였다.

후기

본 연구는 "정밀시편이동 요소기술 개발"지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. G. Lucas, R. Phillips and P. W. Teare, "A precision goniometer stage for the electron microscope", J. SCI. INSTRUM, VOL.40 1963
2. J.N. Truner, D. P. Barnard, G. Matuszek and C. W. See, "High-precision tilt stage for the high-voltage electron microscope", Ultramicroscope, 26, 337-344, 1988
3. U. Valdre, "Electron microscope stage design and applications", Journal of microscopy, Vol. 117, 55-75, September 1979