

〈메소 스케일 3차원 형상측정기술〉

Probe를 이용한 미세부품의 형상·치수 측정기술

글 _ Jun GODA and Kimiyuki MITSUI

1. 서론

현재의 정밀가공에서는 고정도화, 미세화가 요구되어 가공기술과 계측기술의 시스템화가 매우 중요해졌다. 미세가공의 발전을 지탱하는 중요한 기술의 하나로 미소부품의 형상·치수 평가기술을 들 수 있다. 가공기술과 밀접하게 관계있는 계측기술의 진전이 없이는 미세가공의 고도화는 바랄 수 없으므로 마이크로화에 대응할 수 있는 새로운 계측기술의 개발이 요청되고 있다.

그러나 통상 사이즈의 일반적인 기계가공 부품에 대하여 이루어지고 있는 치수정도(精度)의 측정이나 진직도, 진원도, 직각도와 같은 형상정도의 측정은 미세가공분야에서는 이후의 과제라고 할 수 있다. 일반적인 3차원 좌표측정기와 같이 많은 기능을 갖는 범용적인 마이크로 형상·치수계측 수법은 실현되어 있지 않다. 그래서 저자 등은 미세한 프로브와 측정대상과의 접근을 터널 현상을 이용하여 검출하는 비접촉식 마이크로 형상 측정장치의 개발을 시도하여 이미 보고하였다. 또, 이 측정법에서 사용하는 미세 Probe를 마이크로형과기 방전가공에 의하여 제작하는 수법에 대하여도 보고하였다.

이들의 미세가공 분야에서 형상·치수 측정의 니즈로는 각종 마이크로 구멍 가공에 관련된 미세구멍 내부의 형상측정, 표면 거칠기에 영향을 미치는 공구의

미소한 마모흔적의 측정, 마이크로 절삭공구의 인선형상, 미세부품이나 미세부위의 표면 거칠기 측정 등이 있지만, 이후 이들에 대한 중요성은 한층 높아질 것으로 생각된다.

현상의 측정수법에는 광학방식의 내경측정법으로서 30 μm 정도의 구멍직경 측정이 가능한 장치가 시판되고 있는 외에 광 커넥터용 페룰의 내경측정방법에 대하여 보고되어 있다. 접촉식의 구멍내부 형상측정법으로는 진동 Probe의 전기적 접촉을 이용하는 방법에 대하여 연구가 보고되어 있다. 또, 주사형 전자 현미경에 의한 측정방법, 공초점주사형 레이저현미경을 베이스로 하여 구성된 3차원 치수계측시스템, 미소원통의 직경·진원도 측정장치 개발에 대한 보고 등이 있다.

한편, 마이크로 형상, 미세구멍의 계측에는 미소한 Probe의 개발이 불가결하다고 하는 관점에서 레이저 트래핑 원리에 의한 Probe, 접촉식 공압 Probe, 광 화이버의 선단에 미소 유리구를 접촉한 광학식 접촉 Probe, 공진상태에 있는 내다지보가 측정대상에 접촉할 때에 생기는 진동 상태의 변화를 압전소자에 의하여 검출하는 원리의 Probe 등의 개발 예가 보고되어 있다.

에너지 절약, 자원절약의 관점에서 추진되고 있는 Micro Factory 기술 중에서도 미소부품의 형상·치수정도(精度) 평가기술의 확립은 중요한 과제이다. Micro Factory 기술이 널리 보급되기 위해서는 입수 가능한

표준부품이 종류별로 공급되는 것이 필요불가결하다. 이를 위해서는 양산되는 부품의 정도 보증을 하기 위한 계측평가 기술이 필요하다. 여기에서는 저자 등이 연구를 하고 있는 미세한 Probe를 사용하여 마이크로 부품의 측정을 하는 측정수법의 개요에 대하여 기술함과 동시에 이 측정 장치를 이용하여 측정한 2. 3의 측정결과를 나타낸다.

2. 측정 장치의 구성

본 측정 장치의 원리는 이미 보고하고 있는 것과 같이 Probe와 도전체 시료와의 사이에 전압을 걸어놓고, 양자가 접근하였을 때에 흐르는 터널전류를 검출함으로써 Probe와 시료와의 접근을 감지하는 것이다.

그림1에 측정 장치의 사진에 장치의 구성을 나타낸다. 문(門)형의 그라나이트 제 지지부에 Z 서보모터 스테이지(분해능 : $0.125\mu\text{m}$, 가동범위 : 25mm)를 탑재하고 있다. 이 Z 서보모터 스테이지에는 Probe를 붙이고, Probe 후퇴장치(후술함)와 측정대상의 위치결정용 현미경을 탑재하고 있다. 또, Probe 후퇴장치는 Z 피에조 스테이지(분해능 : 10nm , 가동범위 : $500\mu\text{m}$)를 통하여 Z축용 서보모터 스테이지에 탑재되어 있다.

또 정반 위에는 수동 X Stage를 배치하고, 그 위에 X-Y 리니어 모터 Stage(분해능 : $0.1\mu\text{m}$, 가동범위 : 25mm), 회전 Stage, X-Y 피에조 Stage(분해능 : 10nm , 가동범위 : $500\mu\text{m}$)를 순서대로 탑재하여, 측정대상 부품은 X-Y 피에조 Stage 위에 설치한 지그에 고정한다.

Z 피에조 Stage 위에는 Probe 후퇴기구와 터널전류 증폭회로를 설치하고 있다. 제어는 컴퓨터의 PCI 버스 위에 설치한 디지털 IO를 통하여 PZT 드라이버에 디지털 신호를 송신, 드라이버 내에서 디지털 신호로부터 전압 값으로 변환하여, 그것에 의하여 Stage 안의 압전소자를 구동함으로써 이루어진다.

피에조 미동 Stage의 가동범위는 각 축 모두 $500\mu\text{m}$ 이지만, X-Y 리니어모터 Stage와 Z 서보 모터 Stage

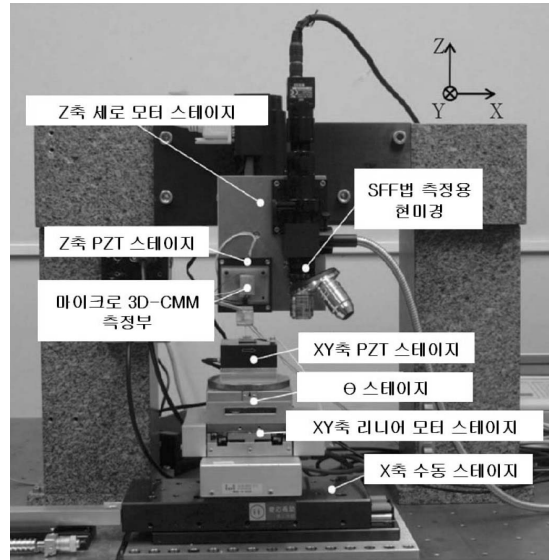


그림1 측정 장치의 구성

를 병용함으로써 이것을 넘는 범위의 측정을 할 수가 있다.

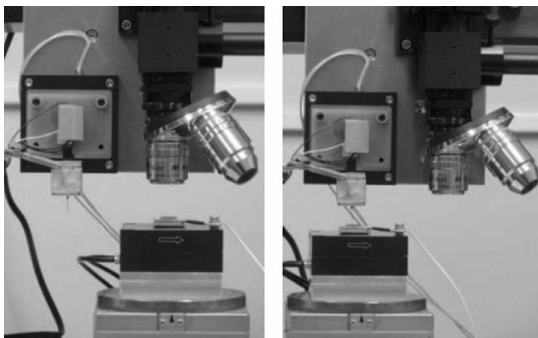
그림2(a)는 측정대상부품을 현미경으로 관찰하는 위치에 세트한 상태를 또 그림2(b)는 측정대상부품을 Probe로 측정하는 위치에 세트한 상태를 나타내고 있다. 양자의 절환은 수동의 X Stage에서 한다.

미세부품의 측정에 있어서는 광학현미경 등의 시각 보조 장치의 사용이 필요불가결하다. 예를 들면, 작은 구멍에 Probe를 삽입하여 가는 작업에는 현미경이 필요하고, 측정하려고 하는 개소에 Probe를 유도하는데도 현미경을 사용하는 것이 필요하다. 이를 위하여 그림2(a)에 나타내는 것과 같이 CCD 카메라를 장착한 광학현미경을 Z축 미동 Stage에 탑재하였다. 또, 현미경 화상 그대로는 초점 심도가 부족하여 측정대상과 대물렌즈의 간격을 변화시켜 10 여장의 화상을 촬영하고, 장초점심도 현미경 화상을 합성하고 있다. 이 장초점심도 현미경 화상합성에 의하여 깊이 방향의 형

상정정보가 얻어진다. 이것에 의하여 현미경에 의한 관찰범위의 개략적인 형상의 파악이 가능해져서, Probe를 측정위치에 유도하는 것이 가능해진다.

Probe를 측정 대상의 표면에 접근시킬 때에 Probe가 시료에 접촉하는 것을 회피하기 위하여 Probe 후퇴 기구를 설치하고 있다. 범용적인 3차원 측정을 가능하게 하기 위해서는 여러 방향에서 Probe를 시료에 접근시킬 필요가 있고, 그 경우에 Probe의 접촉을 회피하기 위하여 Probe후퇴기구의 동작은 X, Y, Z축 방향 각각에 독립적으로 작동할 필요가 있다. Probe의 필요 후퇴량은 약 $1\mu\text{m}$ 확보하면 되므로 변위량이 적은 소형의 압전소자를 사용하여 그림3에 나타내는 것과 같이 소형·경량의 Probe 후퇴 기구를 구성하였다.

Probe와 터널전류 검출회로를 연결하는 신호선에 중첩되는 노이즈를 삭감하기 위하여 Probe 후퇴기구 선단에 Probe와 증폭회로를 일체화 한 것을 설치함으로써 Probe와 증폭회로 사이의 신호선을 없애고 있다. 이것을 실현하기 위하여 회로는 가능한 한 소형이고 경량일 필요가 있다. 한편, 외부로부터의 노이즈 대책으로서 회로를 실드 케이스로 씌울 필요가 있고, 회로의 설계는 실드를 포함하여 간소화와 노이즈 대책의 밸런스가 적절하게 되도록 하였다.



(a) 현미경에서의 측정위치 (b) Probe에서의 측정위치

그림2 측정 장치 확대

본 장치에서 사용하는 미세 Probe는 마이크로 방전 가공에 의하여 제작하였다. 여기에서는 선단이 뾰족한 스트레이트 형 Probe만을 사용하고 있지만, 구멍 내부의 형상 측정에 사용하는 L자형 Probe 등의 제작 수법에 대해서는 이미 보고하였다.

3. 마이크로 부품의 형상측정결과

그림4(a)는 마이크로 방전가공에 의하여 제작한 직경 약 $60\mu\text{m}$ 의 가는 선과 위치참조용의 강구(직경 0.8mm)의 배치를 나타내는 현미경 사진이다. 이와 같이 배치한 참조용 강구와 측정대상에 대하여 현미경을 이용하여 강구의 중심좌표와 강구와 측정대상의 위치관계를 구한다. 다음에 수동 X Stage를 이동하여 그림2(b)와 같이 Probe 측정위치에 측정 대상을 이동하게 되는데 Probe를 정확하게 측정위치에 유도하는 것은 쉽지 않다. 그래서 Probe에서 강구의 정점 부근과 X, Y 각 방향에 $250\mu\text{m}$ 비껴서 4점의 포함하여 총 5점을 측정하여 강구의 중심좌표를 구한다. 미리 화상 계측에

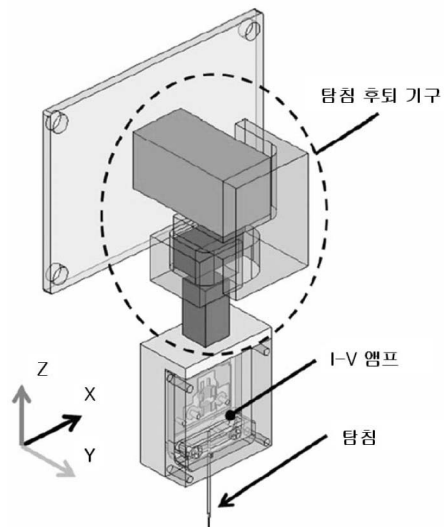
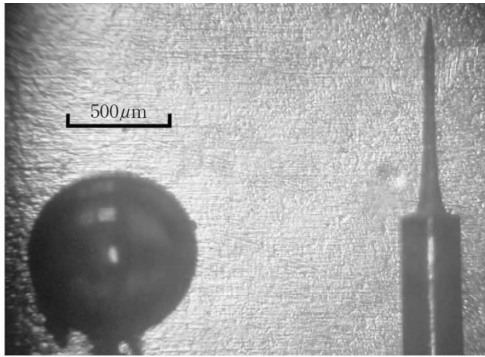
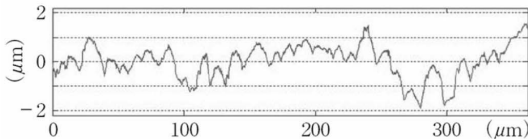
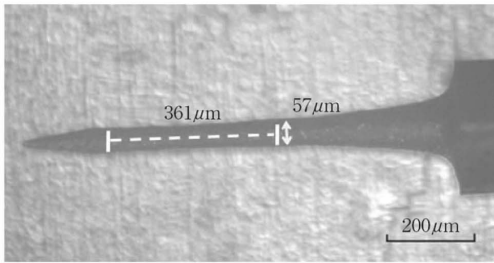


그림3 Probe 후퇴기구와 I-V 앰프



(a) 측정대상과 점조용 강구



(b) 표면형상 측정부위와 측정결과

그림2 측정 장치 확대

의하여 구해놓은 강구중심과 측정대상의 위치관계를 이용하여, 강구중심을 기준으로 하여 Probe를 측정위치에 유도한다.

그림4(b)는 이러한 순서에 의하여 구하고 그림 안에 나타낸 라인을 따라 측정된 세선(細線)표면의 형상을 나타낸 것이다. Probe의 재료는 티탄이다. 이 측정은 X 방향에 0.2μm 간격으로 좌표를 구한 것으로 정적으로는 표면의 단면곡선이라고는 할 수 없지만 실질적으로는 표면 거칠기의 평가에 이용할 수 있다. 또

이러한 부위의 표면형상 측정은 촉침식(触針式) 표면 거칠기계에서는 곤란하다.

다음에 그림5에 나타내는 것과 같이 마이크로 방전 가공에 의하여 세선의 단면가공을 할 때에 생긴 공구 전극의 소모흔(消耗痕)의 측정을 하였다. 그림6(a)는 마이크로 방전가공에 있어서 전극소모흔의 개략적인 형상을 장초점심도현미경 화상합성에 의하여 구한 것이다. 방전가공은 그림5 중의 화살표 방향으로 직경 350μm의 피삭재를 보내어 하고, 길이 0.5mm 가공할 때에 생긴 공구전극판(Ag-W)의 소모흔을 나타내고 있다. 그림6(a)에서는 정확한 소모흔의 형상을 구하는 것은 불가능하지만, 개략의 형상을 구한 후에 Probe로 상세한 형상을 측정하고 있다. 그림6(b)는 Probe에 의한 측정결과를 3차원 표시한 것이다. 또 그림6(c)는 그림6(b)에 대하여 전극소모흔을 중심을 지나는 X-Y, Y-Z 단면 형상을 나타내는 것이다. 소모흔의 형상은 직경 370μm, 아랫부분의 직경 230μm이고, 깊이는 10μm로 아랫부분의 중앙이 약간 올라온 형상인 것을 알 수 있다.

저자 등이 연구를 진행하고 있는 진동부가방전가공 연구에 필요한 공구전극의 소모량을 평가할 때에 지

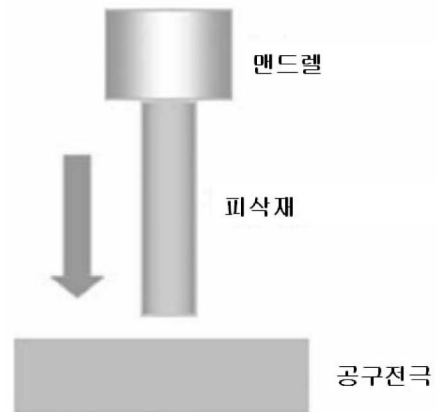
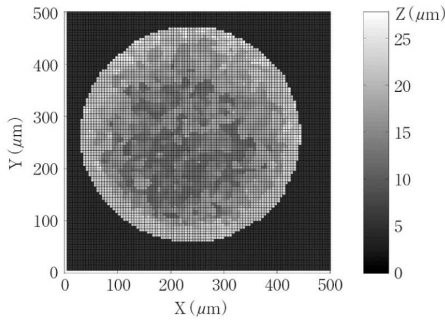
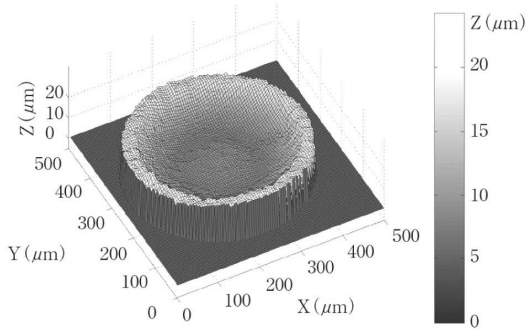


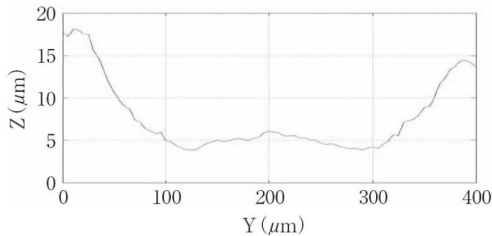
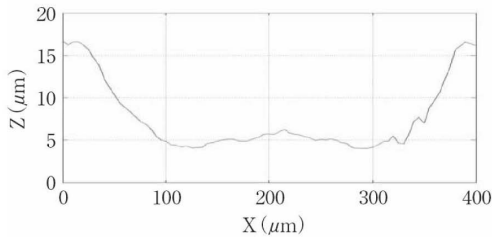
그림5 마이크로 방전가공에 의한 피삭재 단면가공



(a) 장초점심도현미경화상으로부터 얻은 소모흔



(b) 소모흔의 측정결과(3D 표시)



(c) 소모흔 단면의 측정 결과

그림6 공구전극 소모흔의 측정 예

금까지는 표면거칠기계를 사용하고 있었지만, 소모흔이 작기 때문에 그 중심부를 거칠기계의 스타일러스가 통과하도록 하는 것이 아주 어렵고, 중심으로부터 약간 벗어난 라인 위를 트레이스 하면 소모흔의 단면 폭이 실제보다 좁게 측정되어 그것에 의하여 소모량이 적게 구해지는 문제가 있었다. 그러나 본 측정 장치에 의하여 소모흔의 중심을 정확하게 통과하는 단면 형상을 구하는 것이 가능하여 소모량의 측정정도(精度)가 향상되었다.

4. 결론

현재에는 저자 등이 하고 있는 연구에 본 측정 장치를 이용하고 있다. 마이크로 선반에 의하여 선삭한 미세축의 표면형상측정이나 방전가공면의 미소한 부분의 표면형상측정 등에 유효하게 이용하고 있다. 이후에는 더욱 측정정도와 측정속도의 향상을 도모하고, 여러 가지 마이크로 가공에의 적용을 추진할 것을 고려하고 있다. 또, Probe의 소재로서 현재는 티탄을 이용하여 좋은 결과를 얻고 있지만, 2개월 정도 사용하지 않으면 약간 전기전도성이 열화하는 것을 경험하고 있으므로, 산화피막의 효과적인 제거방법이나 산화피막이 생기기 어려운 Probe 재료의 선정을 할 필요가 있다. 또한 이후에는 비도전체의 측정대상에도 대응할 수 있는 Probe의 개발을 할 예정이다.



<<일본정밀공학회지, Vol.74, No.3, 2008>>

본 기사는 건국대학교의 이성수 편집이사가 “일본정밀공학회지” 2008년 3월호 pp.226-229를 번역한 것으로 일본정밀공학회의 연락처는 다음과 같다.

- 주소 : ㉠ 102-0073 東京都千代田區 九段 北 1-5-9(九段誠和 Building 2F)
- 전화 : +81-3-5226-5191 / FAX : +81-3-5226-5192
- URL : <http://www.jspe.or.jp/>