

본 연구과제는 96년도 산학연 지역 컨소시엄 과제의 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

구면 전용 Infeed 연삭기의 개발과 성능평가 Development of Infeed Grinding Machine and Its Effects on Spherical Surface Grinding

이 상 직(부산대 대학원)*, 정 해 도(부산대 기계공학부), 최 현 중(한국생산기술연구원)
Sang-jik Lee (Graduate School, PNU), Hae-do Jeong(PNU), Hon-zong Choi(KITECH)

Abstract

This paper describes the manufacture of spherical and aspherical surface on glass, superalloy and ceramic components. The rotationally symmetrical lenses, and the ceramic or superalloy molds with spherical shapes are mainly generated by cutting processes on CNC lathe machine or 4, 5 axis CNC machining centers. Recently, spherical shape parts require more precise and efficient machining technologies for wide material range such as optical lens of the lithography device in semiconductor manufacturing processes or the high precision mold machining of anti-chemical, anti-wear materials. In this paper, we introduce a newly developed infeed grinding machine with metal bonded cup type wheel and its effects on spherical surface grinding.

Key Words : Spherical surface(구면), Infeed grinding(Infeed 연삭), Cup type wheel(컵형 스톨), PC control(컴퓨터 제어), Form accuracy(형상 정밀도)

1. 서 론

최근 Excimer Laser와 같은 자외선이나 X선 등의 sub-micron 급의 단파장 광을 응용한 초정밀 가공 기술이 급속히 발달함에 따라 이러한 광을 처리하는 광학소자의 성능도 비약적으로 향상되지 않으면 안 된다. 특히 이러한 광을 전송하거나 집광하기 위해서는 형상정밀도 0.01 μ m, 표면거칠기 nm급 이하의 고정밀도를 갖는 광학소자의 가공기술 개발이 필수적이다. 또한 이러한 광학 소자뿐만 아니라 고에너지 분위기나 화학적 분위기와 같은 열악한 환경에 사용되는 내열, 내식성, 내마모성의 초(超)난삭재의 초정밀 구면가공에 대한 기술적 요구도 증대되고 있다[1].

이제까지의 구면·비구면 형상의 가공은 CNC 선반이나 4축 이상의 CNC 머시닝센터에 의한 초정밀 절삭가공에 의해 이루어졌다. 초정밀 절삭가공이 비록 고정밀, 고능률 가공법이지만은 하지만 첼이나 유리와 같이 다이아몬드와의 친화성, 강한 취성이 문제가 되는 재료에 대해서는 그다지 효과적인 절삭이 이루어지지 않으므로 초정밀 연삭가공을 통한 구면·비구면 가공이 불가결하게 되었고 그에 대한 연

구도 활발히 진행되고 있다[2]. 본 연구에서는 Infeed 연삭을 응용한 고정밀 구면전용 연삭기에 대한 가공원리와 장치구성 등을 소개하고 실질적인 가공기로서의 성능을 평가하였다.

2. 구면 형상 가공 원리

취성이 강한 광학유리나 분말성형소결된 초경 등의 소재를 일정 반경을 갖는 돌출구면(convex)으로

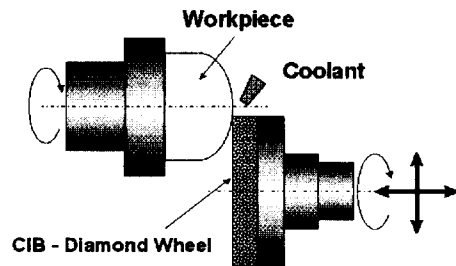


Fig. 1 Spherical Surface Generation

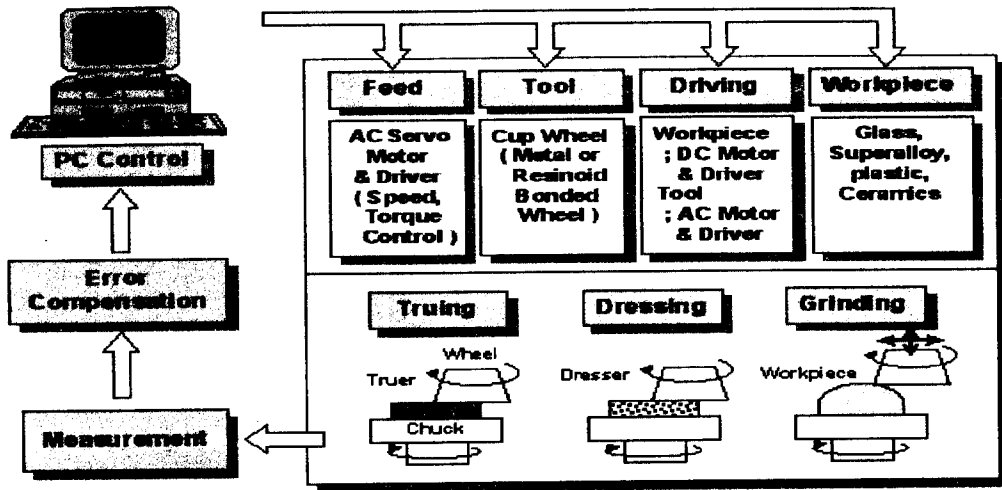


Fig. 2 Concept of Manufacturing System for Spherical Surface

정밀하게 가공하기 위해 Fig. 1과 같은 가공기구를 설정하였다. 가공 목적에 부합하는 구면형상을 창성하기 위해 기존의 Infeed 연삭 가공방식에서 연삭숫돌 스피ن들을 XY 테이블에 장착하여 2자유도 이송을 가능하게 함으로써 1½축 가공 및 2축 동시제어 가공이 가능하게 된다. XY 테이블은 컴퓨터 제어에 의한 AC 서보모터에 의해 구동되므로 가공하고자 하는 형상의 contour 함수 대해 공구의 이송궤적을 컴퓨터 상에서 프로그램할 수 있다. 본 실험에서 구면 형상 가공 프로그램의 기본적인 공구 궤적 생성 방식은 서보모터의 미소 직선 이송운동의 조합에 의한 1½축 가공방식이다.

3. 장치의 구성 및 특징

3.1. 초정밀 구면 연삭기의 구비조건

Sub-micron의 연삭정도를 갖는 초정밀 구면을 가공하기 위해서는 다음과 같은 기계적 요건들을 갖추는 것이 필수적이다.

- ① 회전축의 회전 정도가 높을 것,
- ② XY 테이블을 비롯한 이송계의 직선운동정도가 뛰어날 것,
- ③ 숫돌의 미소절입이 원활할 수 있는 절입기구를 가질 것,
- ④ 정·동적 강성이 클 것,
- ⑤ 진동의 제어가 가능할 것,
- ⑥ 열변위의 제어가 가능할 것.
- ⑦ 주변기기의 대응성이 좋을 것 등 [3].

이러한 조건들을 만족시키기 위해서 본 기계에서는 다음과 같은 특징을 갖도록 하였다. Fig. 2에 전체적인 가공기의 구성과 가공 메카니즘을 개념적으로 나타내었다.

3.2 장치의 구성과 특징

(1). 숫돌축

숫돌축의 스피ن들은 고정도의 경하중 고속연삭을 목적으로 제작되었다. 5개의 앵글러 콘택트 볼베어링(angular contact ball bearing)을 사용하며 뒤쪽의 베어링은 스프링 예압방식을 채택하여 사용중에 발생하는 열팽창의 영향에 대해 자동적으로 예압이 보정되도록 되어 있다. 공구는 컵형(cup type)의 메탈 및 레진본드 숫돌을 사용하였다.

(2) 직선운동 안내

구면형상의 가공을 위한 공구 궤적이 서보 모터를 이용한 미소 직선 이송의 조합을 통해 생성되므로 공구의 직선이송 정도와 이송계의 강성이 가공물 형상에 지대한 영향을 미친다. 본 기계에서는 이송계의 고정도와 고강성을 위해 정밀 불나사와 LM 가이드로 XY 테이블을 구성하여 고강성과 고정밀도를 추구하였다. 이송 분해능은 0.5 μ m 이며 운동정도는 1 μ m/300mm 이하로 나타났다..

(3) 숫돌축 및 가공물축 구동기구

베어링의 회전정도 향상을 위해서도 구동계의 발생진동을 억제하면서 회전력만을 가공기구에 전달하

는 것이 무엇보다도 중요하다. 일반적으로 구동력을 전달하기 위해서 축 일체형의 Built-in 모터나 플렉시블 커플링 또는 비접촉 커플링에 의한 모터와의 결합, 벨트에 의한 모터구동 등의 방법이 널리 사용되고 있다. 본 기계에서는 장치의 구성상 슷들축과 가공물축 모두 벨트구동을 하고 있다. 슷들축은 타이밍 벨트를 이용하여 구동력의 확실성을 확보하였으며 XY 테이블의 서보모터와 불나사는 헬리컬 타입의 플렉시블 커플링을 이용하여 백래쉬와 연결축 간의 편심에 의한 오차발생을 제거하였다.

(4) 절입기구

절입기구는 가공물과 슷들의 상대위치를 결정하므로 확실한 미소이송 동작과 충분한 강성을 필요로 한다. 특히 경면가공이나 구면·비구면 가공과 같이 초정밀을 요하는 가공에서는 강성이 높고 확실한 미소절입이 이루어지지 않으면 채터(chatter) 진동이나 가공물의 치핑(chipping) 현상, 예지(edge)부의 탈락, 가공물의 형상 오차 등을 발생시킨다. 그래서 본 기계의 경우에는 다음과 같은 방법으로 절입정도의 향상을 도모하고 있다.

- ① 절입축에 불나사를 사용해 위치결정 정도 향상
- ② LM 가이드와 가이드 블록을 사용하여 고강성과 고정밀도 확보
- ③ AC 서보모터를 통한 미소절입구동의 확실성.

(5) 주변장치

가공열의 영향을 억제하기 위해 고압의 연삭액을 공급하는 연삭액 공급장치와 구동계의 진동을 최소화하기 위해 방진패드의 설치와 진동감쇠성이 우수한 화강암 정반을 사용하였다. 또한 에어 댐퍼를 설치하여 외부 진동의 영향을 제거하였다.

(1)~(5)에서 열거한 유니트를 갖는 개발 연삭기의 가공부(Fig. 3)와 외관(Fig. 4)을 각각 나타낸다.

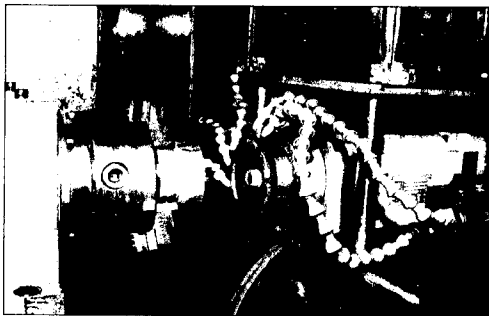


Fig. 3 Machining Part of Grinding Machine

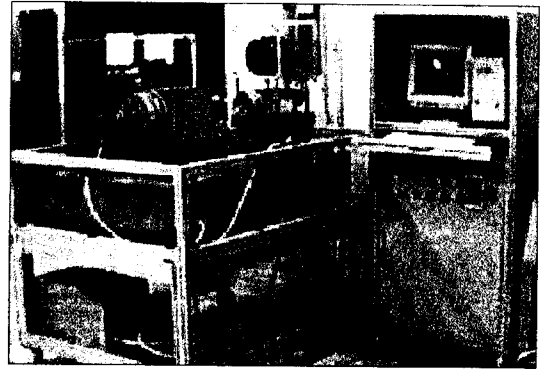
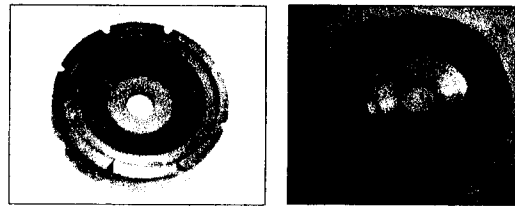


Fig. 4 Infeed Grinding Machine for Spherical surface Manufacturing

4. 가공 실험 및 성능 평가

시험 제작한 구면전용 Infeed 연삭기의 성능을 평가하기 위하여 표면거칠기, 평탄도 및 구면 형상 오차를 각각 측정하였다. 연삭가공에 사용된 슷들은 주철본드 다이아몬드 슷들(#400, #2000)로서 Fig. 5 (a)의 세그먼트(segment) 타입의 슷들은 실험실 차원에서 자체 개발된 것이다.



(a) # 400

(b) # 2000

Fig. 5 CIB - Diamond Wheel

4.1 경면 연삭 실험

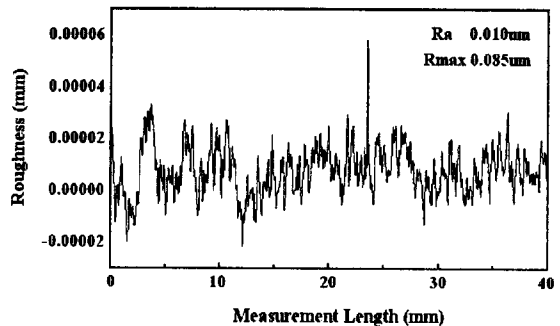


Fig. 6 Roughness of Mirror Surface

φ65 × 8t, H_RC 60의 초경 시편을 Table 1과 같은 가공조건으로 가공하였다. 연삭가공 후 표면조도를 측정된 결과 0.085μm Rmax의 표면을 얻을 수 있었다.(Fig. 6)

Table 1 Experiment Conditions for Mirror Surface

연삭장치	구면 전용 Infeed 연삭기
연삭숫돌	주철본드 다이아몬드 숫돌 (#400)
피삭재	Tungsten Carbide (WC)
숫돌축	1000 RPM
공작물축	300 RPM
절입속도	1 μm / min
기타	연삭액 : Soluble Type W-100S(Sam Yuk Co.) 1:30 dilution 측정기 : 표면조도 및 형상측정기 (Form Talysurf Series)

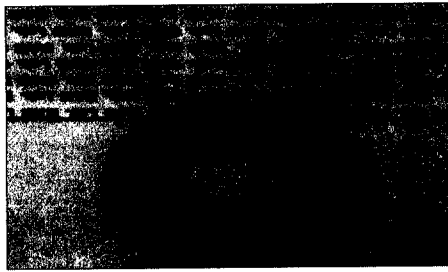


Fig. 7 Mirror Surface Grinding

4.2 평탄도

φ60 × 8t, Hv 1500의 알루미늄 시편을 Table 2와 같은 가공조건으로 가공하였다. 평탄도 측정은 시편의 중심에서 수평방향과 수직방향으로 가로질러 측정하였다. 측정결과 수평축 2.27μm, 수직축 1.95μm의 평탄도를 얻을 수 있었다. 평탄도는 기계의 가공정도를 평가하는 중요한 요소 중의 하나이다. 알루미늄 시편에 대한 평면가공 결과, 약 2μm/φ60mm 정도의 평탄도를 얻을 수 있었다(Fig. 8). 특히 시편의 중심부가 들출되고 가장자리가 많이 제거되게 되는데, 이는 Infeed 연삭시 평면재료(disk type)에서 전형적으로 발생하는 현상이다. 그러나 가공의 효율성을 고려할 때 다른 가공법보다 우수하다는 이유로 널리 적용되고 있다. 그러나 이것은 가공기의 정밀도와는 무관하며, 가공원리상 시편내의 상대속도의 차이에서 발생하는 것으로 사료되며, 결국 X축의 Infeed에만 의존한 가공결과이므로 Y축의 오실레이

션(oscillation)에 의해 평탄도는 상당히 향상될 것으로 예상된다.

Table 2 Experiment Conditions for Flatness Evaluation

연삭숫돌	주철본드 다이아몬드 숫돌 (#400)
피삭재	Alumina (Al ₂ O ₃)
숫돌축	1000 RPM
공작물축	300 RPM
절입속도	1 μm / min

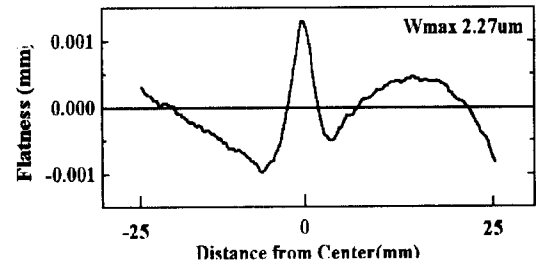
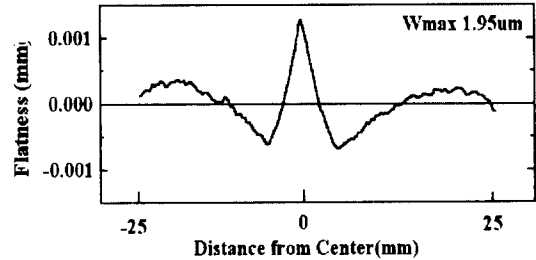


Fig. 8 Measurement of Flatness

4.3 구면형상

φ90, 곡률 반경 76mm의 형상을 갖는 유리(BK-7)를 Table 3의 가공조건에서 가공하였다. 표면거칠기 보다는 형상정도에 초점을 맞추어 측정하였으며 시편의 중심에서 수평방향과 수직방향으로 가로질러 측정하였다. 개발된 Infeed 연삭기에 의해 가공된 유리의 형상 profile을 Fig. 9에 나타낸다. 가공된 형상

Table 3 Experiment Conditions for Mirror Surface

연삭숫돌	주철본드 다이아몬드 숫돌 (#2000)
피삭재	Glass (BK-7)
숫돌축	1500 RPM
공작물축	300 RPM
절입속도	1 μm / min

5. 결론

본 연구에서 개발한 초정밀 연삭가공에 의한 구면 가공법은 소정의 연삭평가 실험을 통해 종전의 절삭에 의한 가공법에 비해 가공물의 재중에 대한 대응성이 뛰어날 뿐만 아니라, 컴퓨터를 이용한 구면·비구면 형상에 대한 공구궤적의 생성이 용이하고 가공시간 또한 크게 단축될 수 있는 등의 특징을 확인하였다. 차후 가공 감시 시스템과 기상 측정장비 등의 도입과 가공정도 향상을 위한 제어 프로그램, 가공 데이터의 전산화에 기초한 새로운 가공기술 개발 등의 연구가 적절히 조합된다면 초정밀급의 구면 가공기술은 보다 광범위한 영역에 적용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] V.C. Venkatesh, "Manufacture of Spherical and Aspheric Surfaces on Plastics, Glass, and Ceramics", Transactions of NAMRI/SME Vol. 23,1996
- [2] "초정밀 비구면 가공기 기술개발에 관한 연구" 3차년도 보고서, 통산부·과기처, 1995
- [3] 佐野 高志 外, 先端研削技術,大河出版, 1985
- [4] 高橋 一郎 外, "硬脆材料の高効率研削加工", 1989年度日本精密工學會春季大會學術講演會論文集, p355
- [5] 大森 整 外, "鑄鐵ファイバポンド砥石によるガラス係材料の鏡面研削", 1988年度精密工學會秋季大會學術講演會論文集, p251

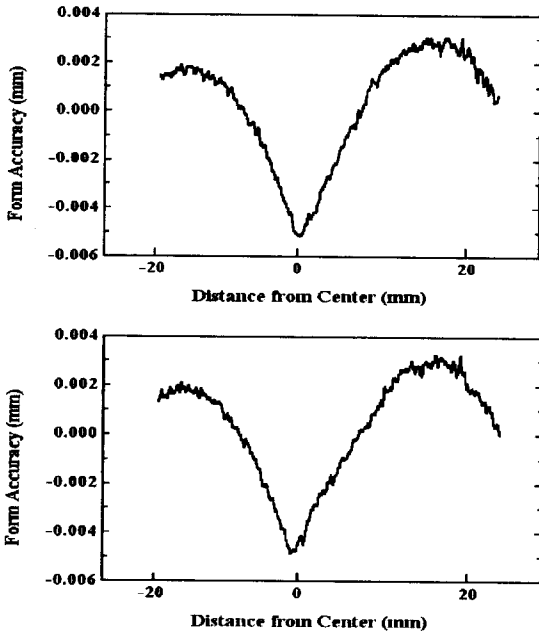


Fig.9 Profile of Ground Spherical Surface

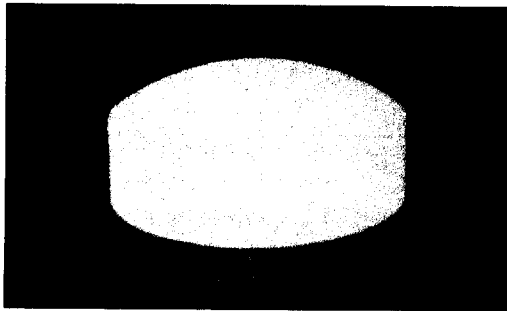


Fig. 10 Spherical Surface
Ground by Infeed Grinding Machine

은 구면 중심부에서 오목하게 가공되어 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 구면가공에서 전형적으로 나타나는 형상 profile로서 연삭숫돌이 중심부에 가까워질수록 평탄면에 가까워지고, 결국 연삭숫돌과의 접촉면적 및 빈도가 커지는데서 기인하는 현상이라고 추측된다. 따라서 숫돌축의 절입속도를 제어하여 중심부가 오목하게 되는 경향을 보상하여야 할 것이다. 본 실험에서 가공된 전체적인 형상오차는 약 $10\mu\text{m}$ 정도로 이것은 형상오차 보정에 의한 2차가공을 하지 않은 것이므로 오차에 대한 적절한 보상을 가하여 재가공 한다면 충분히 만족스러운 결과를 얻을 수 있으리라고 사료된다