

# 연마재 함유 휠 브러쉬에 의한 볼스크류 연마기술 Surface Finishing of Ballscrew by Abrasive Wheel Brush

이응숙, 김재구, 제태진, 황경현

Eung-Sook Lee, Jae-Gu Kim, Tae-Jin Je, Kyung-Hyun Whang  
한국기계연구원(Korea Institute of Machinery & Materials)

## Abstract

The purpose of this study on the surface finishing is to examine the performance of brushing as a means of reducing the surface roughness of the precision threaded shafts in ball screw assemblies. Ball screws provide superior performance compared to other types of screw feeds in terms of static and dynamic rolling resistance, backlash, and wear characteristics. The reduction of the surface roughness of the lead shaft in ball screw assemblies is essential for precision movement, high speed/low noise travel, and for low wear/long life. To reduce machine dependent errors that would influence the surface roughness compared with other lapping or polishing techniques, experiments will be performed using special wire brushes to polish precision ground shafts.

The best results were obtained using the  $Al_2O_3$  brushes, with the  $Al_2O_3$  #500 grit brush producing a surface finish of approximately  $0.7\mu m$ , and the  $Al_2O_3$  #600 grit producing a surface finish of approximately  $0.8\mu m$ . Both of these results were produced at the highest wheel polishing speed of 3520 rpm. The SiC #500 brush produced a surface roughness of approximately  $1\mu m$  at 3520 rpm.

Keyword : Surface finishing(표면연마), Ball Screw(볼스크류), Wheel Bursh(휠브러쉬)

## 1 서론

볼스크류는 위치결정 장비에 필수적인 부품으로 다른 이송기구에 비해 동적 구름저항, 백래쉬 그리고 마모특성이 우수해 CNC공작기계의 이송시스템, 정밀측정기의 이송시스템등에 널리 사용되고 있다. 또한 공장자동화가 이루어지면서 자동화를 구성하는 장비로서도 그 수요는 날로 증대되고 있다. 이 수요에 발 맞춰 외국제품에 크게 의존 해오던 볼스크류를 국내제품으로 대체하는 것이 필요하며 따라서 국내에서 생산되고 있는 볼스크류에 대한 품질향상이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 볼스크류의 정밀도 향상을 위하여 연마재 함유 휠 브러쉬의 특성을 살피고 이를 사용하여 래핑을 행하여 기존 연삭작업으로 마무리하던 것에 비해 표면조도가 어느정도로 향상되는지를 알아보았다. 볼스크류의 표면조도 향상은 정밀이송, 고속이송/낮은소음 그리고 적은마모/긴수명등에 아주

중요한 인자이다. 또 휠 브러쉬는 기계에 의한 오차를 최소화 할 수 있는 유연한 공구라는 점에서도 래핑의 효과를 기대할 수 있다.

## 2 연마재 함유 나일론 필라멘트 휠 브러쉬의 특성

연마재 함유 나일론 필라멘트 브러쉬 휠은 나일론의 압출시 연마재를 집어넣은 것으로 연마재의 입도에 따라 구분된다. 연마입자에 의한 절삭작용(일종의 grinding tool)으로 표면의 미세제거 작용이 이루어진다. 강도, 내화학적 특성, 내마모성, 내열성, 장수명이 특징이며, 매우 큰 탄성과 유연성으로 잘 끊어지지 않는다. 가공 잔유물이 표면에 잘 달라붙지 않고 일반적인 사용에 트리밍이 필요치 않다. 유연성이 있어 복잡형상의 디버링, 폴리싱에 적용가능하여 새로운 다듬질 공정으로 대두하고 있으며 항공기 및 자동차부품의 디버링, 산화막, 코팅제거등에 적용되고 있다. 특히 패드, 벨트, 휠 등의 공구로는 도달

하기 어려운 부분의 연마에 적합하다<sup>[1]</sup>.

연마특성에 영향을 미치는 주요 인자로서는 브러쉬의 강성, 연마재 입도, 압하량, 브러쉬의 회전속도, 이송속도, 전가공면의 거칠기등을 들 수 있다.

실제로 브러싱 작업은 와이어 필라민트의 끝(Tip)에서 이루어지므로, 높은 압력과 속도가 요구되는 경우는 와이어 직경을 키우거나 트림 길이를 줄이거나 브러쉬형태를 바꾸는 것이 일반적이다. 보통 브러싱 작업에 가장 영향이 큰 것은 휠의 직경, RPM에 관련된 주속이며, 트림 길이, 모재의 직경 혹은 연마재의 입도등이다<sup>[2-4]</sup>. Table 1은 이러한 휠브러쉬의 일반적인 물리적 성질을 나타낸다.

Table 1 Physical Characteristics of wheel brush

Tensile strength	1,120 - 1,260kg/cm <sup>2</sup>
Elongation	25 - 35%
Bending recovery rate	80 - 85%
Specific density	1.26g/cm <sup>3</sup>
Melting point	210℃
Absorption of moisture (23℃)	2.8%

### 3 볼 스크류 래핑 실험

#### 3.1 실험장치 및 방법

휠 브러쉬의 고능률 래핑 조건으로는 브러쉬의 사양(연마재 종류, 입도, 모의 길이, 치수), 연마조건(축경사각, 절입량, 브러쉬 주속, 이송속도, 반복횟수, 이송속도), 피가공면의 조도 및 다듬질 방법등이 주요 변수이다. 이러한 것들의 상호 관계를 파악하기 위해 선반을 개조하여 가공기로 사용하였다. 휠 브러쉬 회전 장치는 공구대에 설치되어 볼 스크류의 리이드 각에 맞춰 임의로 인덱싱 가능하며, 공작물

Table 2 Experimental apparatus

- Test machine : Modified lathe using a carriage mounted brushing wheel set at an angle of 5 degree about the X-axis as shown in Fig. 1
- Abrasive wheel brush
  - Basic condition : SiC #320
  - Test condition : SiC #500, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #500, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #600
- Roughness tester
  - MITSUTOYO 201 Stylus type tester
- Workpiece : SCM22H, HRC 58-62, O.D. φ32.5 cylindrical shaft
- Tachometer

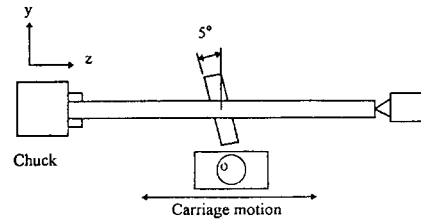


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

의 회전과 더불어 좌우로 왕복 운동한다. 왕복 스트로크와 횡수도 조절 가능하도록 리미트 스위치와 카운트를 부착하여 실제 생산에도 적용할 수 있도록 하였다.

휠 브러쉬의 외경은 150mm, 모(Bristle)의 길이 40mm, 혼입된 지립의 입도는 SiC #320, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #500, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #600이며, 피삭재는 정밀 볼 스크류 재질(SCM22H, HRC 58-62, 고주파 열처리)인 원통형을 사용하였다.

본 실험에 사용된 장비와 재료를 요약하면 다음 Table 2와 같고 그 구성은 Fig. 1과 같다.

실험은 먼저 시편에 똑같은 초기 표면조도를 주기 위해 다른 것에 비해 다소 거친 SiC #320를 공작물 속도 580RPM, 브러쉬속도 3530RPM으로 60sec동안 래핑을 하였고 래핑 후 각각의 실험이 끝난 뒤 구별이 쉽도록 하기 위해 한 쪽 방향에 약 2.5cm정도의 폭으로 얇게 페인팅을 하였다. 실험 조건은 휠 브러쉬속도를 풀리를 이용해 저속, 중속, 고속으로 하고 압하량, 가공시간의 변수도 실험 조건에 포함하였다.

래핑 가공은 시편의 일부분을 일정시간 가공하는 것이 아니고, 시편의 전 길이를 래핑할 수 있도록 트래버스 연마를 한다. 공작물의 회전수는 282rpm, 트래버스 속도는 0.747 mm/sec. 로 전 실험동안 일정하다. 실험에서의 변수는 브러쉬 회전수, 브러싱 시간, 물림깊이(Depth of engagement)등으로 실험의 조건은 Table 3과 같다. 브러쉬의 속도는 공회전시 타코미터로 측정하고, 물림깊이는 브러쉬가 공작물과의 접촉으로 페인팅된 부분이 지워지는 초기위치

Table 3 Experimental condition

Brush Speed	2615, 3024, 3530(RPM)
Depth of Engagement	3, 5(mm)
Brushing Time	30, 60, 180(sec)
Feed Rate	0.159mm/rev. of workpiece
Coolant	Oil type

부터의 Cross-feed 다이얼게이지로 세팅하였다.

물림깊이의 조정후 왕복대의 이송으로 공작물의 미리 정해진 시간만큼 래핑을 하게 된다. 래핑시간의 계산은 식 (1)과 (2)으로 한다. (1)은 임의 지점에서 브러쉬로 연마되는 시간을 나타내고 (2)는 전부분이 일정하게 래핑될 수 있는 총 연마시간을 나타낸다.

$$Time\ at\ anypoint = \frac{(BW)(60\ sec/min)}{(WS)(FR)} \quad (1)$$

$$Total\ Time = \frac{(SR + BW)(60\ sec/min)}{(WS)(FR)} \quad (2)$$

여기서.  $BW$  = Brush Width (mm),  
 $WS$  = Workpiece Speed (rpm)  
 $FR$  = Carriage Feedrate (mm/rev.)  
 $SR$  = Sample Region (mm)

#### 4 실험결과 및 고찰

실험이 끝난 뒤 원통 표면을 MITUTOYO 201을 이용하여, 페인팅 하지 않은 부분에 4군데를 선정하여 평균한 값을 표면조도로 나타내었다. SiC #320으로 전가공을 한 결과 표면 조도는 약 1.5 ~ 1.8 $\mu$ m Rmax정도 이었고 여러 조건으로 래핑실험한 결과는 다음 Fig. 2, 3, 4와 같다.

이 그림 모두 정량적인 해석은 할 수 없으며 다만 그림의 경향으로 보아 휠 브러쉬의 속도가 크고 가공시간이 많고 압하량이 클수록 향호한 표면조도를 얻을 수 있음을 알 수 있다. Fig. 2의 경우 휠 브러쉬속도 2615RPM, 3024RPM에서의 표면조도는 압하량이나 가공시간에 그리 큰 영향을 받지 않고 약 1.2 ~ 1.5 $\mu$ mRmax를 보였고, 휠 브러쉬속도 3530 RPM에서는 다른 조건에 비해 표면조도 1 $\mu$ mRmax 이하로 양호함을 보였다. Fig. 3, Fig. 4는 Fig. 2와 마찬가지로 고속의 휠 브러쉬 속도가 저속, 중속의 속도보다 표면조도가 두드러지게 나타나 0.7 ~ 1.0  $\mu$ mRmax정도의 값을 얻었다. 그러나 이 경우 SiC #500와 마찬가지로 페인팅부분이 깨끗하게 벗겨져 미소하게나마 치수에 변화가 있었던 것으로 생각된다. Fig. 4는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #500 경우보다 전체적인 표면조도값이 낮으나 고속의 경우는 거의 비슷한 값을 보이며 또한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #500에서 보였던 페인팅부분의 제거가 이루어지지 않아 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #600이 다른 휠 브러쉬에 비해 가공물형상에 영향을 주지 않은 상태에서 표면조도를 향상시킬 수 있을 것이라 생각된다.

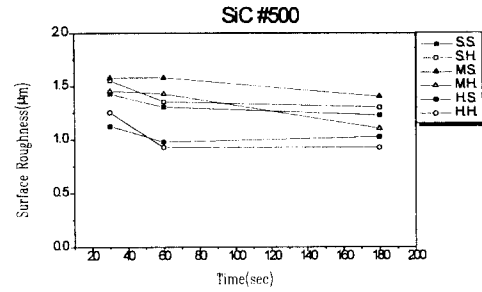


Fig. 2 Result of surface roughness by SiC #500

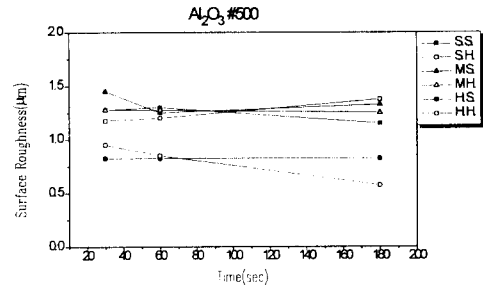


Fig. 3 Result of surface roughness by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #500

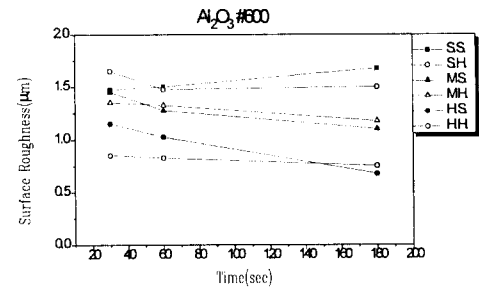
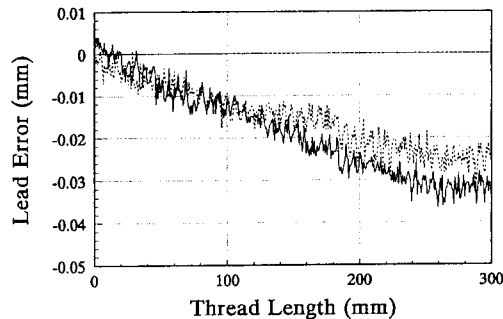


Fig. 4 Result of surface roughness by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #600

(S.S.: Brush speed 2615 RPM, Depth of Engagement 3mm)  
(S.H.: Brush speed 2615 RPM, Depth of Engagement 5mm)  
(M.S.: Brush speed 3024 RPM, Depth of Engagement 3mm)  
(M.H.: Brush speed 3024 RPM, Depth of Engagement 5mm)  
(H.S.: Brush speed 3530 RPM, Depth of Engagement 3mm)  
(H.H.: Brush speed 3530 RPM, Depth of Engagement 5mm)

또 휠 브러쉬의 속도의 변화가 가공시간과 압하량의 변화에 비해서 큰 폭으로 나아짐으로 보아 휠 브러쉬의 속도가 표면조도 향상의 주요 요인으로 생각되며, 연마제에 따른 변화는 그리 크지 않으나 SiC #500, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #600에 비해 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #500이 양호함을 보였다. 그러나 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #500의 경우 패인팅한 부분이 벗겨짐으로 보아 미소하나마 재료의 제거가 일어났을 것으로 생각되며 따라서 원통형 볼스크류를 연마제 함유 휠 브러쉬로 가공할 경우의 최적 조건은 휠 브러쉬속도 3530RPM, 압하량 3mm, 가공시간 180sec, 휠 브러쉬 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #600으로 생각된다.

따라서, 실제 볼스크류에 대하여 위의 가공조건으로 실험한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 래핑후의 여러 값들이 래핑전보다 훨씬 양호함을 보였다.



	Before(——)	After(.....)
Target	0.0362	0.0277
Lead Error	0.0162	0.0077
Sway	0.0073	0.0051

Fig. 5 Result of surface finishing by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #600 during 60sec.

## 5 결론

볼스크류의 정밀 다듬질 기술개발을 위하여 연마제 함유 나일론 브러쉬에 의한 연마를 적용하며, 이의 가공실험을 위해 실험 장치를 설계 제작하였다. 볼 스크류의 연마에 적용하기 위한 실용화의 문제점 등을 밝히기 위해 전조 볼 나사와 연삭 볼 나사를 대상으로 실험을 수행하였고 구체적인 실험 결과는 다음과 같다.

- 1) 볼스크류 동일 소재 원통형상 시편을 이용하여 가공한 결과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> #600의 경우 표면에 다른 변화 없이 Sub-micron의 표면 조도를 달성하였다

- 2) 위의 조건으로 볼 나사 연마 전후의 리이드 오차를 측정 비교한 결과 볼 나사 정밀도의 커다란 손상이 없이 표면거칠기를 개선할 수 있었으며, 이에 따라 볼스크류 1회전 변동오차, 진동 및 소음, 토오크 변동등의 감소를 기대할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] R.J.Stango, S.M.Heinrich, C.Y.Shia, "Analysis of constrained Filament Deformation and Stiffness Properties of Brushes", *Transaction of the ASME, Journal of Engineering for Industry*, Vol.111, pp238-243, August 1989
- [2] R.J.Stango, V.Cariapa, A.Prasad, S.K.Liang, "Measurement and Analysis of Brushing Tool Performance Characteristics, Part 1: Stiffness Response", *Transaction of the ASME, Journal of Engineering for Industry*, Vol.113, pp283-289, August 1991
- [3] V.Cariapa, R.J.Stango, S.K. Liang, A.Prasad, "Measurement and Analysis of Brushing Tool Performance Characteristics, Part 2: Contact Zone Geometry", *Transaction of the ASME, Journal of Engineering for Industry*, Vol.113, pp290-296, August 1989
- [4] 長野哲之, 鈴木伸雄, 北嶋弘一, 鈴木清, "砥粒混入ブラシによるヘリカルスキャン研磨の研究", 1994年度精密工學會春季大會學術講演會論文集, pp527-528