

자기연마법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마특성(II)

박원규*, 노태우(금오공대 대학원), 서영일((주)공간코리아),
최 환, 이종찬, 정선환(금오공대 기계공학부), 채석(금오공대 전자공학부)

The Internal Finishing Characteristics of Non-ferromagnetic Pipe Polished by Magnetic Abrasive Machining (II)

W. K. Park, T. W. Rho(Dept. of Eng. Sci. & Mech., KNU), Y. I. Seo(KongkanKorea),
H. Choi, J. C. Lee, S. H. Cheong(Dept. of Mech. Eng., KNU), S. Chae (Dept. of Electronic. Eng., KNU)

ABSTRACT

An internal finishing process by the application of magnetic abrasive machining has been developed as a new technology to obtain a fine inner surface of pipe. In this paper, another method of magnetic abrasive machining in which the N and S magnetic poles are vibrated and a workpiece is rotated only is tried in a non-ferromagnetic pipe(SUS304), and its finishing characteristics is experimently investigated by various effective factors such as vibrating frequency and amplitude. From the experimental results, it is found that the vibration effects of magnetic poles on the finishing characteristics are large in internal finishing.

Key Words : Magnetic abrasive machining(자기연마), Internal finishing(내면연마), Vibratory magnetic pole(진동 자극), Non-ferromagnetic pipe(비자성 파이프), Magnetic abrasives(자성입자)

1. 서론

최근에 산업기술의 발달로 반도체나 정밀기기 등과 같은 첨단산업 및 바이오 산업에서의 초정정설비(Ultra clean Equipment)의 중요성이 급진하고 있다. 이러한 초정정설비의 중요 요소 중의 하나는 크린 파이프의 제조기술이다. 보통 청정설비에 사용되는 파이프는 고순도의 가스나 초순수 물질을 이송하기 때문에 이송시 오염을 극소로 하기 위해서는 파이프 내면의 표면정도가 나노미터 스케일을 가져야만 한다.

현재 이러한 크린파이프의 내면연마는 보통 전해연마법에 의해 수행되고 있으나 전해연마의 경우는 화학적 가공방법이기 때문에 가공전에 행하여지는 기계연마의 가공정도에 따라 가공효율이 크게 달라진다. 따라서 최근에는 초정정파이프의 내면정도를 더욱 향상시키기 위하여 파이프와 같이 긴 원통내면을 보다 쉽게 연마할 수 있는 자기연마법에 대한 연구들이 시도되고 있다.^{1) 2)}

본 논문은 초정정산업에 폭넓게 사용되고 있는 스테인레스 파이프의 내면정도를 향상하는데 매우 효율적인 자기연마법에 대해서 전편³⁾에 이어 연구한 결과이다. 본 논문에서는 자기연마법을 이용하여 스테인레스 파이프의 내면을 연마하는데 있어 자성입

자의 연마효율을 향상시키고자 자극에 진동을 부여하는 방법을 시도하였다. 실험은 진동수 및 가진 폭을 변화시켜가며 수행하였으며, 이러한 실험결과로부터 자극진동이 연마특성에 미치는 영향을 살펴보고 있다.

2. 자극진동방식의 가공 메카니즘

본 가공 방식의 가공 메카니즘은 Fig. 1에서처럼 N-S 자극으로 구성된 자장 발생 장치를 파이프에 대하여 180° 방향으로 대향 설치하면 이때 발생하는 불균일 집중자장에 따라 파이프 내부에 충전한 자성 입자에 자력이 작용하여 이 자력에 의해 자성입자군은 연마압력(P)을 발생시킨다. 또한, 자성입자는 입자 상호의 자기흡인력 때문에 자성입자군은 자력선 방향을 따라 브리지(Bridge)를 이루며 정렬하여 공작물 회전으로 인해 입자가 비산하려는 것을 방지하게 된다. 파이프가 회전하게 되면 파이프 내면과의 상대운동에 의한 마찰력이 작용한다. 이때 자력에 마찰력보다 크면 상대운동이 일어나 자력에 의한 파이프 내면의 표면 연마가 가능하게 된다. 이에 N-S 자극에 진동 장치를 작동시켜 가진 시키게 되면 자성입자의 거동은 자성입자가 가진력에 의해 자극의

좌우 진동운동에 추종해서 움직이게 되어 파이프의 회전운동과 자극의 진동운동이 서로 중첩되기 때문에 효율적인 연마효과를 기대할 수 있다 Fig. 1은 자극진동 방식의 가공 메카니즘에 대한 개략도이다.

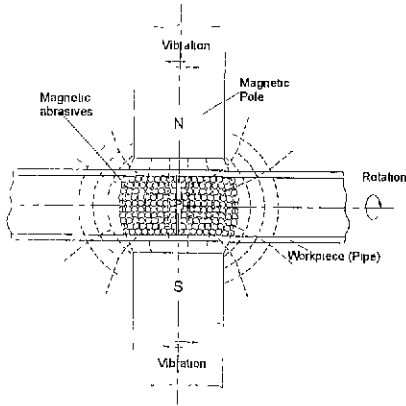


Fig. 1 Schematic view of internal magnetic abrasive finishing with vibration

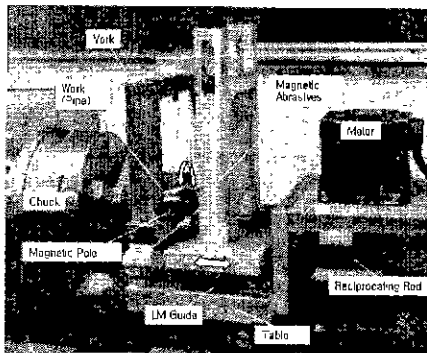


Fig. 2 Experimental set-up

3. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 내면 자기연마장치로서는 소형선반(1.1kW)을 이용하였으며, 선반왕복대에 영구자석으로 구성된 자장발생요크(Yoke)를 Fig. 2와 같이 설치하여 파이프의 내면 연마실험을 하였다 자극으로는 자극의 누축을 최소화하고, 장치의 소형 경량화 및 자극의 극성교환 등을 고려하여 Fe-Nd-B계의 사각 영구자석을 사용하였다

자극에 진동을 주기 위한 방법으로는 Fig. 2에서와 같이 선반의 왕복대 위에 소형 가진장치를 구성하였다. 가진장치는 자장발생요크 유닛 하단부에 LM가이드를 부착하고 후면에 소형모터와 캠장치를 연결하여 모터회전수와 캠의 편심량 변화에 따라 진동수 및 가진폭을 변화시킬 수 있도록 하였다.

Table 1 Experimental condition

Machine	Lathe 1.1kW
Workpiece	SUS 304 stainless steel pipe D: ϕ 23 L:100 t: 1
Mixed Type magnetic abrasives	Iron particles 80 wt% (mean dia. : $510\mu\text{m}$) WA magnetic abrasives 20 wt% (mean dia.: $80\mu\text{m}$)
Magnetic pole	Fe-Nd-B permanent magnetic $18 \times 18 \times 20$ mm
Machining fluid	Straight oil type 5 wt%
Magnetic flux density	N-S . 0.45T
Finishing speed	1.7 m/s
Pole arrangement	N-S 180°
Finishing time	1 ~ 9 min.
Finishing Gap	1 mm
Frequency	3, 10 Hz
Amplitude	4, 10 mm

실험방법은 먼저 파이프를 선반척에 고정하고, 파이프 내면에 철분과 자성입자를 일정 비율로 혼합한 자성입자를 투입하여 파이프를 회전시키면서 N-S 자극을 가진장치에 의해 진동수 및 가진폭을 변화시켜 가며 연마 실험을 행하였다. Fig. 2에 본 실험의 실험장치를, Table 1에 본 실험의 실험조건을 각각 나타내었다.

4. 실험결과 및 검토

4.1 진동효과

자기연마법(Magnetic abrasive machining)을 이용하여 비자성체 파이프의 내면을 연마하는 방법은 Fig. 1에서 살펴보았듯이 자성입자와 철분을 혼합한 연마제를 파이프 내면에 충전하고, 파이프 외벽에 자극(N-S)을 두어 연마제에 자극을 부여하여 파이프 내부에 연마압력을 발생시킴과 동시에 파이프 회전을 통해 상대 운동을 시킴으로써 연마가 이루어지게 하는 가공 메카니즘으로 파이프 내부에 충전해 있는 연마제의 운동상태를 어떻게 활발하게 시킬 것인가가 무엇보다도 중요하다.

따라서 본 논문에서는 파이프의 내면과 연마제의 상대운동을 보다 촉진시키기 위한 목적으로 자극에 일정한 진동을 주었다. 그리고 이렇게 진동을 주어

자극을 진동하면서 가공하였을 때 연마효과가 어느 정도 발생하는가를 실험적으로 검토하였다.

Fig. 3은 자극에 진동을 주는 경우와 주지 않았을 경우의 연마 후 표면 상태를 공구현미경을 통하여 살펴 본 그림이다 Fig. 3에서 연마된 파이프의 표면을 서로 살펴보면 진동을 주지 않은 경우는 연마제의 긁힘흔적(Scratch)이 주로 파이프의 원주방향으로 나타남에 비해 진동을 주어 가공한 연마표면의 긁힘흔적은 마치 빗살무늬처럼 나타남을 알 수 있다. 이러한 결과는 자극에 진동을 줌으로써 파이프의 내면에 충전된 연마제가 주지 않은 경우에 비해 훨씬 활발히 움직인다는 것을 의미하며, 그로 인하여 표면 상태가 보다 우수해 진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 자극에 진동을 주었을 때 주지 않은 경우에 비해 어느정도 연마효과가 나타나는가를 정량적으로 살펴보기 위하여 가공시간에 따른 표면거칠기 및 가공량을 측정하여 서로 비교한 결과이다. Fig. 4에서 자극에 진동을 주게되면 주지않은 경우에 비해 가공량이 훨씬 많게 되고, 표면거칠기 또한 우수해 진다는 것을 알 수 있다.

그러므로 이러한 결과들로 볼 때 자극에 진동을

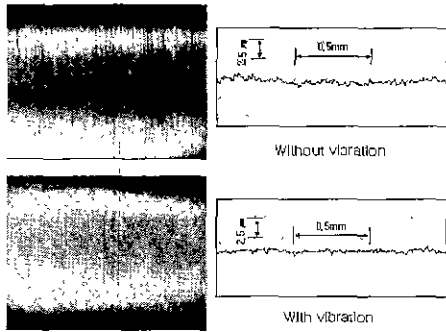


Fig. 3 Surface roughness profiles and photographs of finished surface observed by metalurgical microscope (frequency:3Hz, Amplitude:4mm)

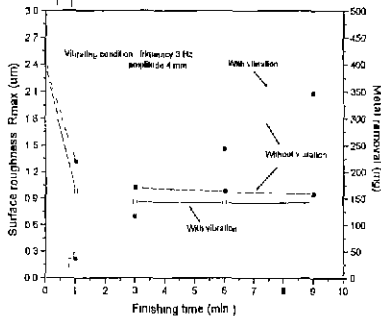


Fig. 4 Comparison of the finishing effect between vibration and non-vibration of magnetic poles

주어 가공하게 되면 연마성능이 훨씬 우수해 진다는 결론을 얻을 수 있다

4.2 진동수 변화

Fig. 5와 Fig 6은 자극에 진동수를 $f=3\text{Hz}$ 와 $f=10\text{Hz}$ 로 변화시켰을 때 연마효과가 어떤가를 살펴본 결과로 Fig. 5는 가공시간에 따른 공작물의 연마량을 살펴 본 결과이며, Fig 6은 이때 가공면의 표면 거칠기(R_{max})를 살펴 본 결과이다 실험은 스테인레스 파이프 내경 $\phi 23\text{mm}$ 를 1400rpm 으로 회전시키면서 요크부에 진폭을 4mm 로 고정 한 후 연마하였다.

Fig. 5에서 공작물의 연마량은 가공시간이 지날 수록 크게 증가하였으며, 진동수가 3Hz 인 경우가 10Hz 보다 훨씬 크게 나타났다. 또한, Fig. 6에서 표면거칠기는 가공시간이 약 3min 까지는 급격히 감소하다가 3min 후에는 그 변화가 거의 일정하였으며, 진동수가 3Hz 나 10Hz 의 경우가 서로 차이가 없음을 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때 자극에 진동을 너무 크게 주면(10Hz) 가진이 너무 빠르기 때문에 자극의 운동에 대한 연마제의 추종성이 오히려 떨어지게 되고 그러므로 인하여 연마성능 또한 저하되는 것으로 보여지며, 따라서 연마효과를 높이기 위해서는 자극에 적정 진동수를 부여하여야만 한다는 것을 알 수 있다.

4.3 진폭변화

Fig. 7과 Fig. 8은 진동수를 3Hz 로 고정하고 진폭을 $A=4\text{mm}$ 와 $A=10\text{mm}$ 로 변화시켰을 때 가공시간에 따른 공작물의 연마량과 가공면의 표면 거칠기(R_{max})를 살펴본 결과이다. Fig. 7과 Fig 8의 결과에서 진폭변화에 따른 연마량을 살펴보면 진폭을 3mm 로 한 경우가 진폭을 10mm 로 한 경우에 비해 연마량이 거의 2배 가까이 크게 나타났으며, 표면 거칠기 또한 매우 우수하게 나타났다 이것은 가진폭이 너무 크게되면연마제의 운동량이 상대적으로 커지게 되므로 연마제의 연마압력의 저하로 인하여 연마효율이 저하되는 것으로 판단된다.

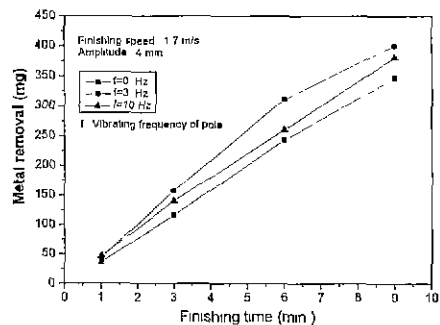


Fig. 5 Metal removal versus finishing time according to vibrating frequency

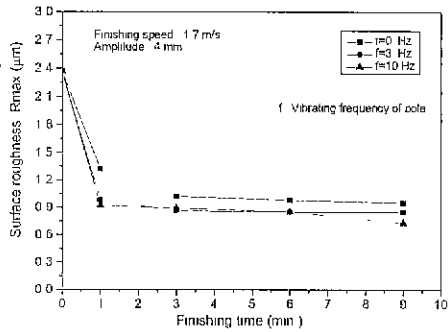


Fig. 6 Surface roughness versus finishing time according to vibrating frequency

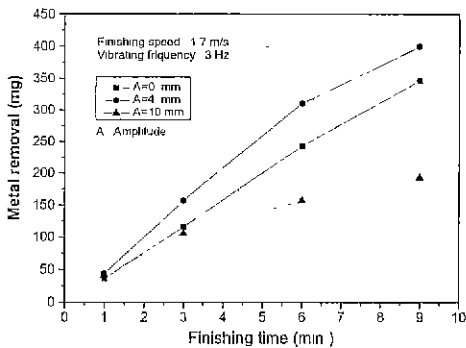


Fig. 7 Metal removal versus finishing time according to amplitude

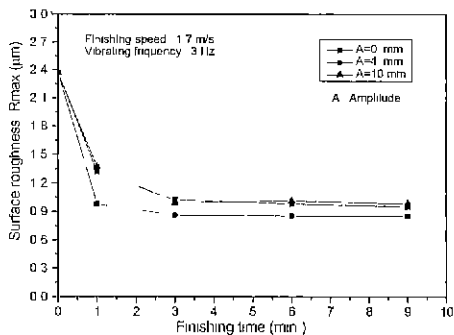
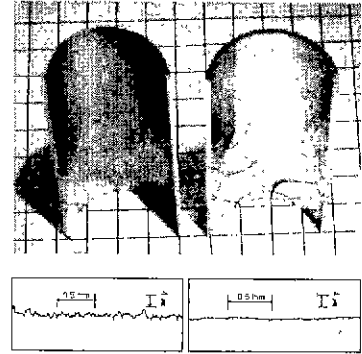


Fig. 8 Surface roughness versus finishing time according to amplitude

따라서 이러한 결과로 볼 때 자극에 적절한 진폭을 주어야만 연마성능을 높일 수 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 본 논문의 자극진동방식에 의한 SUS304 파이프의 자기연마 성능을 살펴 보기 위하여 내경 23 mm, 길이 50 mm의 스테인레스 파이프를 진동수 3Hz, 진폭 4mm로 하여 약 6분간 가공한 후 가공전과 가공후의 표면사진을 나타낸 것이다. Fig. 9에서 가



$R_{max}=2.5\mu m, R_t=0.4\mu m$ $R_{max}=0.8\mu m, R_t=0.1\mu m$

Fig. 9 Finishing effect of magnetic abrasive machining with vibration

공후 파이프 내면의 표면거칠기는 $R_a 0.1\mu m, R_{max} 0.8\mu m$ 로 가공전의 표면거칠기인 $R_a 0.4\mu m, R_{max} 2.5\mu m$ 에 비해 매우 낮은 값을 나타냈으며, 가공면 또한 매우 우수한 결과를 얻었다.

5. 결론

본 연구에서는 비자성 파이프 내면연마를 위해 자극진동방식의 자기연마법을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 자극에 진동을 주어 가공하게 되면 진동을 주지 않은 경우에 비해 연마성능이 훨씬 우수하다는 것을 알았다.

2) 연마효율을 높이기 위해서는 자극에 적정 진동수와 진폭을 가해야만 한다는 것을 알았으며, 본 논문의 실험범위에서는 진동수는 3Hz, 진폭은 4mm의 경우가 효율적인 최적가공조건이었다.

본 연구는 경상북도, 중소기업청에서 지원하는 8차(2000)년도 금오공과대학교 산학연 공동기술개발 컨소시엄과제로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 進村武南, 渡辺將人, 朴源主, "超を超えた超の世界", 機械技術, Vol. 4, 1998. pp. 72 ~ 75.
- 2) T. Shimmura, H. Yamaguchi, "Study on a New Internal Finishing Process by the Application of magnetic Abrasive Machining", JSME, Vol. 38, No.4, 1995 pp.798~804"
- 3) 박원규외5, "자기연마법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마특성(I)", 2000년 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp.779~782