

STS 304 파이프 내면의 자기연마법에 있어서 WA-BF-Fe 자성입자가 표면거칠기에 미치는 영향

김용수 · 정윤중* · 김희남** · 김순채**† · 배재만*

서울산업대학교 안전공학과 · *명지대학교 세라믹화학공학과 · **명지대학교 기계공학과
(2001. 7. 28. 접수 / 2001. 9. 13. 채택)

Study on Surface Roughness due to WA-BF-Fe Grain for Internal Magnet-abrasive Finishing Apparatus of STS 304 Pipe

Yong-Su Kim · Yun-Joong Chung* · Hee-Nam Kim** · Soon-Chae Kim**† · Jae-Mahn Bae*

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology

*Department of Inorganic Material Engineering, Myong Ji University

**Department of Mechanical Engineering, Myong Ji University

(Received July 28, 2001 / Accepted September 13, 2001)

Abstract : An internal finishing process applying Magnetic Abrasive Finishing (MAF) was proposed to produce smooth inner surfaces of tubes at a high rate. Since this process uses the tube rotation system, it has been considered applicable only to tubes which are rotatable at high speeds. Here development of the stainless tube(STS 304) rotation system to extend the scope of the application of the internal finishing process applying MAF was made. By the stainless tube(STS 304) rotation system, the abrasive magnetically attracted by the poles is rotated along the inner surface of the tube by magnetic force together with fixed poles, finishing the inner surface of the tube. The main results obtained are as follows : 1) The magnet abrasive finishing minimized influence due to external force because non-contact finishing, 2) The profile of surface roughness decreased very good in 11.4m/min range because abrasive size and speed, 3) The profile of surface roughness by flux density decreased in finishing speed 28m/min, 4) The profile of surface roughness by feed rate decreased in 0.16mm/rev and 0.18mm/rev.

Key Word : Magnetic Abrasive Finishing(MAF), internal finishing, surface roughness

1. 서 론

산업의 발달로 인하여 인간을 위한 환경은 날로 발달하여 최근에는 식품, 의료, 반도체 등의 산업에 전반에 걸쳐서 고 청정을 지향하는 기술이 점점 확산되고 있는 추세이다. 이로 인하여 자기연마는 청정기술을 위한 하나의 장치로서 각광을 받고 있다. 따라서 본 실험에서 사용한 시험편은 자동화 장치에 사용되는 공압기기에 사용되는 실린더 내면을 자기연마장치를 제작하여 연마를 하였다. 실린더 내면은 직선왕복운동을 무수히 반복하므로 기밀을 유

지하는 O링의 마모가 빈번하여 공기의 누수현상이 발생한다.

현재까지 파이프 내면의 자기연마는 자기입자와 전해입자를 사용하여 자기연마 방법을 연구하였으며,¹⁾ 철분과 WA입자를 혼합한 연마입자를 사용하고 자기연마장치는 회전시키는 새로운 방법을 제안하여 내면의 자기연마를 하였다.²⁾ 청정파이프 내면의 표면 거칠기가 보통 $0.2\mu\text{mRa}$ 이하의 고정도 표면이 요구되어 이러한 내면을 간단한 장치와 방법에 의해 고안된 새로운 가공기술의 개발이 진행되고 있다.

또한, 자기연마는 자력선의 원리를 이용하므로 물체를 투과하는 X선과 같은 장점이 있으며 자력선에 따른 불 균일한 상태를 제어하여 원하는 자기연

†To whom correspondence should be addressed.
sck22@unitel.co.kr

마조건을 유지할 수도 있고, 자기 브러쉬 형성을 자극의 배치에 따라 다양하게 응용할 수도 있다³⁾. 자기 연마법은 또한, 직선이 아닌 파이프 내면이나 불규칙한 형상을 가지는 공작물도 일반 기계장치에 의해서 표면 거칠기가 향상이 어려운 영역도 응용이 가능하다⁴⁾.

자기 연마법에 사용하는 연마입자는 지금까지는 산화철과 알루미늄을 화학반응으로 제조한 자성입자가 사용되어 왔으나, 본 논문에서는 파이프 내면의 자기연마 효율을 향상시키고 생산성을 높이기 위해 새로운 연마입자인 WA-BF-Fe를 개발하였다.

따라서 본 실험은 자동화 시스템에 사용되고 있는 공압기기는 가늘고 긴 파이프 내면에 자기연마를 하고자 자기장치를 제작하였다. 실험조건은 자기연마속도, 자속밀도, 이송속도의 변화에 따라 WA-BF-Fe의 연마입자를 100, 140 μ m인 두 종류를 사용하여 실린더 파이프 내면의 표면 거칠기 관계를 실험하였다.

2. 자기이론의 메카니즘

Fig. 1은 양쪽에 자극봉을 설치하고 중앙에는 실린더 파이프를 고정하여 전자석을 이용한 연마장치의 2차원 메카니즘을 보여준다. 자기연마장치는 외부에서 전압이 공급되어 자극봉에 자력선이 발생하여 파이프 내면을 자기연마를 하는 방법으로 파이프 내면을 연마하게 된다. 자기력은 자기연마입자가 x방향과 y방향에 대해서 F_x, F_y (F =합성력)가 각각 작용한다. F_x, F_y 의 성분은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다²⁾.

$$\begin{aligned} F_x &= V\chi H(\partial H/\partial x) \\ F_y &= V\chi H(\partial H/\partial y) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 V 는 자기연마입자의 체적이고, x 는 연마입자의 자화율, H 는 자기장의 세기,

그리고 $(\partial H/\partial x), (\partial H/\partial y)$ 는 자력선과 등전위선의 방향에서 자기장 세기에 대한 기울기를 나타낸다. Fig. 1에서 시핀은 자력선이 형성된 자극봉 주위를 빠른 속도로 회전함에 따라 전자석을 만든다. 따라서 연마력은 자력선에 의해서 자장을 끌어당기는 힘으로 실린더 파이프 내면에 투입한 연마입자가 파이프 내면에 밀착하여 자기 브러쉬를 형성하고 끌어당기는 자력과 마찰력으로 자기연마를 진행한다

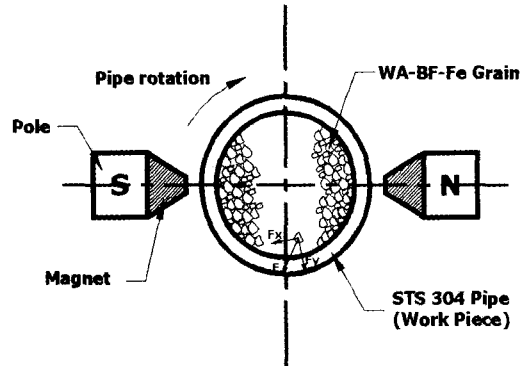


Fig. 1. Two-dimensional schematic for magnet abrasive finishing of cylinder pipe(STS 304) internal face

다. 즉, 연마재는 외부에서 발생하는 자기력에 의해서 실린더 파이프 내면에 연마력을 형성하여 내부 표면에 미소한 압력을 가하면서 자기연마를 진행한다.

Fig. 2는 전자력과 연마입자에 작용하는 힘의 상관관계를 나타낸다. 자기연마의 수직 연마력 F_r 은 수직 자기력의 합성력으로 평가된다. 연마입자의 회전운동에 따라 집중력과 중력이 발생하며 식(2)로 표현된다.

$$F_r = F \cos \theta + m r \omega^2 + m g \cos \alpha \quad (2)$$

여기서 m 은 자기연마입자의 질량이고, r 은 연마입자에 대한 튜브 중심으로부터의 거리, ω 는 각 속도, g 는 중력 가속도, α, θ 는 Fig. 2에서 정의한 각도이다. 연마력 비는 λ 로 나타내고 접선 연마력 f_t 는 식(3)으로 주어진다.

$$f_t = \lambda F r \quad (3)$$

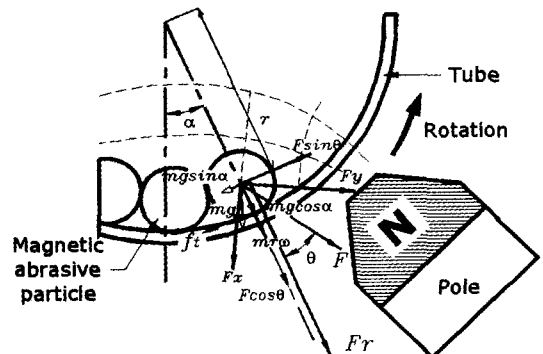


Fig. 2. Component of forces acting on magnetic abrasive particle

수직자기력에서 수직중력으로부터 뺀 값은 식(4)로 표현되며 접선 연마력보다는 크다.

$$f_t < F \sin \theta - m g \sin \alpha \quad (4)$$

따라서 연마입자는 실린더 파이프의 내면에 밀착하여 회전하며 자기력에 의해서 발생한 연마력으로 그 표면을 연마할 것이다. 연마특성은 자기연마의 회전운동에 의해서 영향을 받는다. 그러므로 식(4)로 주어진 중심 사이의 관계가 고려되어 연마특성에 영향을 준다. 2차원 자기연마 메카니즘에서 보여준 것처럼 무한히 긴 실린더 파이프도 위에서 언급한 메카니즘의 조건을 만족하는 연마장치를 개발하여 향상된 자기연마를 할 수가 있을 것으로 기대한다.

3. 실험장치와 자기연마기구

STS 304 크린 파이프 내면의 자기연마법에 있어서 WA-BF-Fe 자성입자가 표면거칠기에 미치는 영향을 실험하기 위해 산업에서 활용할 수 있는 방법으로 검토를 하기 위해 기존의 공작기계를 개조하여 다음과 같은 장치를 제작하여 실험을 행하였다.

3.1. 자기연마장치

자기연마를 능률적으로 실험하기 위해서 Fig. 3과 같이 구성을 하였다. 공작기계는 화천기계(주)에서 제작한 Model WHL-380L을 사용하였다. Fig. 3은 자기연마시 사용된 실험장치이다. 산업에서 범용공작기계로 사용하는 선반의 공구대를 분리한 후에 자기연마기구를 설치하여 N극과 S극이 서로 반대편에 배치하고 자극봉과 공작물 사이의 에어갭을 자유롭게 조정하기 위해서 기초판 위에 공작물 중심

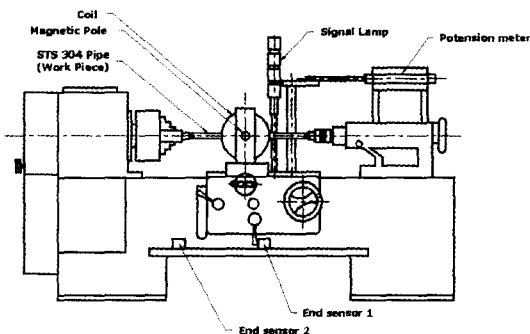


Fig. 3. Lay out of magnet abrasive system

으로 직선운동을 하도록 하였다.

실험 중에 시험편의 조건을 정확하게 설정하기 위해 위치센서를 설치하여 구간별 절삭조건을 구별하도록 하였다. 시험편은 STS 304 파이프이기 때문에 양 센터 작업을 위해서 시험편에 적절한 고정장치를 제작하였다. 또한, 실험조건에 적용한 절삭속도와 이송속도는 선반에서 적용되는 조건을 그대로 사용하였다.

3.2. 자기연마기구

자기연마기구는 자속밀도와 자기력을 향상시키기 위해서 다양한 방법으로 검토를 한 후에 결정을 하였다. 자극봉의 재질은 SM45C재를 사용하고 자극봉 끝단은 자극의 세기를 강하게 하기 위해 여러 형태로 실험을 한 후에 원추형 형태가 가장 이상적인 형태로 고려되었다.

코일은 $\phi 1mm$ 우레탄 피복동선을 사용하여 자기연마시에 발생할 수 있는 저항열에 충분히 견딜 수 있도록 선정하였으며 자극의 세기와 자석밀도를 높이기 위해서 8500번 정도 자극봉 표면을 절연을 한 다음 일정하게 감았다.

3.3. 연마지립

연마지립은 WA : B-F : Fe 비율을 1 : 0.5 : 0.5로 소결하여 사용하였다. 입자의 크기는 다소 차이가 있겠지만, 평균입경으로 $100\mu m$ 와 $140\mu m$ 의 두 종류를 사용하여 실험조건을 다양하게 하여 자기연마를 실험하였다. 또한, 실험 데이터에 대한 신뢰성을 주기 위해서 연마입자의 투입량은 전자저울을 사용하여 실린더 파이프 내면에 투입하였다.

3.4. 시험편

시험편 재질은 산업현장에서 자동화 시스템을 위해 많이 사용하는 공압기기 부품인 실린더 파이프를 사용하였다. 시험편의 화학적 성분은 Table 1에 표시한다. 시험 전 시험편의 조건은 표면거칠기 값이 $4.5\mu mRa$ 를 유지하고 있다.

시험편은 동일한 표면거칠기를 가지고 여러 조건

Table 1. Chemical composition of STS 304 pipe

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
STS304	0.08 이하	1.00 이하	2.00 이하	0.045 이하	0.03 이하	8.00~10.05	18.0~20.0

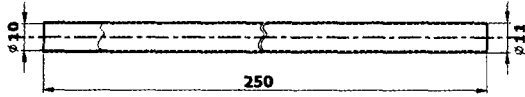


Fig. 4. STS 304 stainless pipe dimension

으로 효율적인 실험 데이터를 얻기 위하여 길이를 250mm로 절단한 후 양 끝에 Burr가 발생하지 않도록 하기 위해서 특수 제작한 숫돌과 장치를 사용하여 절단을 하여 구간을 8등분으로 구분하여 실험을 하였다.

시편의 형상과 치수는 Fig. 4와 같다

3.5. 데이터분석

자기연마장치를 이용하여 연마조건에 따른 실린더 파이프 내면의 표면거칠기를 측정하기 위해 Surfrest-402(Mitutoyo)를 사용하여 시편을 V블록 위에 고정된 다음 등 간격으로 나는 측정점을 기준으로 12mm의 범위내에서 자기연마 전·후의 표면거칠기를 측정하였다. 측정값은 중심선 평균거칠기($\mu\text{m Ra}$)를 적용하였다.

또한, 자속밀도를 측정하기 위하여 Model SG-6115 Digital Gauss Meter를 사용하여 실험조건에 따른 자기장의 세기가 표면거칠기에 미치는 영향을 관찰하였다. 홀 소자의 감지 위치는 공작물과 1mm의 틈새를 유지하도록 고정장치를 제작하여 설치하였다.

5. 실험결과 및 고찰

5.1. 실험결과 및 고찰

5.1.1. 자기연마속도가 파이프 내면의 표면거칠기에 미치는 영향

자기연마 속도가 파이프 내면의 표면거칠기에 미치는 영향을 비교하기 위하여 자기연마 속도는 4, 9.6, 11.4, 17, 28, 48m/min, 이송속도는 0.18mm/rev, 입자크기는 100 μm , 140 μm 를 사용하고 자기력은 직류 전원을 인가하여 자장의 세기를 1500G, 1600G로 변화시켜 실험을 하였다.

Fig. 5, 6에서 알 수 있는 바와 같이 STS304의 실린더 파이프를 비교하면 Fig. 5는 자속밀도가 1500G, 1600G, 이송속도가 0.18mm/rev, 입자크기가 100 μm 일 때 표면거칠기를 고찰하면 자속밀도가 1500G인 경우에는 연마속도에 따라 증가하다가 연마속도가 28 m/min 이상에서는 감소되었으며, 자속밀도가 1600G인

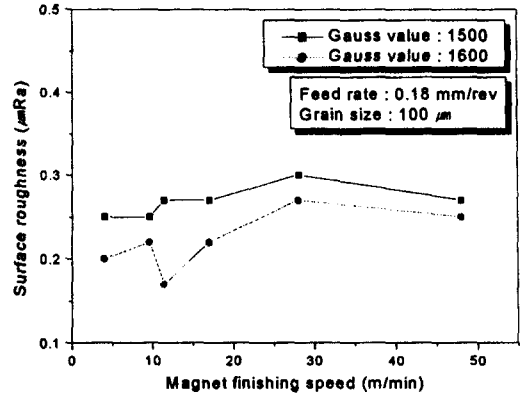


Fig. 5. Relation of surface roughness due to magnet finishing speed by finishing grain(WA:B-F:Fe)

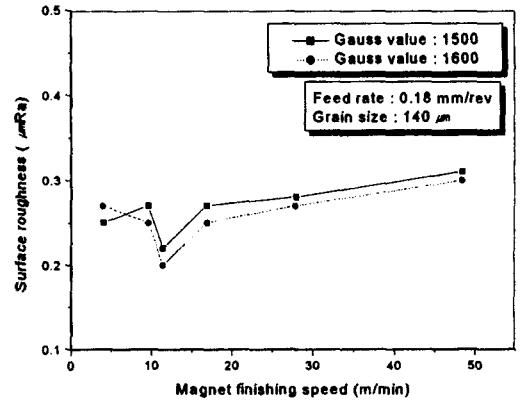


Fig. 6. Relation of surface roughness due to magnet finishing speed by finishing grain(WA:B-F:Fe)

경우에는 1500G와 같은 경향을 보였으나 연마속도가 11.4m/min에서는 표면거칠기값이 현저하게 감소를 하였다. 그래프에서 알 수 있듯이 자기연마는 산업에서 사용하는 범용공작기계의 절삭경향과는 상이한 현상이 나타났다. 이것은 자기연마가 비접촉에 의해서 미소한 자기연마를 수행하므로 전자력에 의한 자기브러쉬의 형성 여하에 따라서 파이프 내면의 표면거칠기에 영향을 주는 것으로 판단된다. Fig. 6은 입자크기가 140 μm 인 경우를 검토하면 연마속도가 증가에 따라서 Fig. 5와 비슷한 경향을 보이고 있으나 연마속도가 11.4m/min인 경우에는 표면거칠기가 현저하게 감소되었다. 또한, 실린더 파이프 내면의 자기연마시 연마입자의 크기에 따라서도 거칠기에 많은 차이를 보이는 것으로 판단된다. 즉, 절삭속도가 48m/min에서는 입자크기가 140 μm 보다는 100 μm 가 표면거칠기가 감소가 되었다.

5.2. 자속밀도가 파이프 내면의 표면거칠기에 미치는 영향

자속밀도가 파이프 내면의 표면거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 자속밀도를 1300, 1360, 1420, 1480, 1520, 1580G의 6가지 방법으로 연마속도를 17m/min과 28m/min, 이송속도를 0.16mm/rev와 0.18mm/rev로 선정하여 자속밀도가 표면거칠기에 미치는 영향을 비교하였다.

Fig. 7은 이송속도가 0.16mm/rev와 0.18mm/rev, 절삭속도가 17m/min, 입자크기가 100 μ m일 때의 자속밀도에 증가에 따른 표면거칠기 변화를 살펴보면 자속밀도에 증가에 따라서 자장의 세기는 크나 표면거칠기에는 미소한 영향을 주는 것으로 판단이 된다. 하지만 자속밀도가 1480, 1520G일 때가 표면거칠기값의 감소가 뚜렷하였다.

즉, 자속밀도의 영향에 따라서 표면거칠기에 영향을 주는 것으로 사료되며 연마조건을 선정시에 자속밀도, 이송량, 입자크기, 연마속도의 결정이 중요하리라고 판단된다.

Fig. 8은 이송속도가 0.16mm/rev와 0.18mm/rev, 절삭속도가 28m/min, 입자크기가 100 μ m일 때의 자속밀도에 증가에 따른 표면거칠기를 비교하면 Fig. 7과는 다른 이송속도의 변화에 따라 표면거칠기 값이 뚜렷하게 구분되었다. 또한, Fig. 7보다는 이송속도가 0.18일 경우에는 표면거칠기 값이 현저하게 감소되었으며 자속밀도가 1360G인 경우에 가장 좋았다. 따라서 자속밀도가 파이프 내면의 표면거칠기에 미치는 영향을 비교한 결과 연마속도가 17m/min보다는 28m/min 경우에 표면거칠기 값이 감소되었다. 이것은 반드시 이송속도가 늦다고 표면거칠기

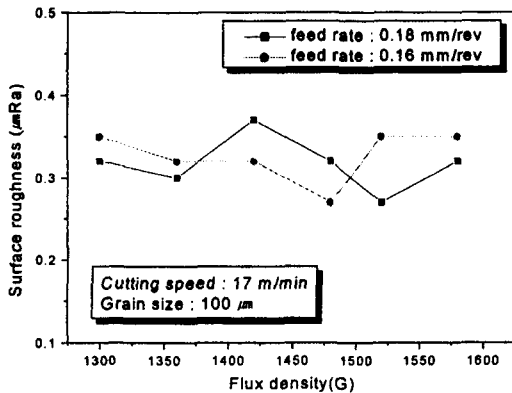


Fig. 7. Relation of surface roughness due to flux density by finishing grain(WA:B-F:Fe)

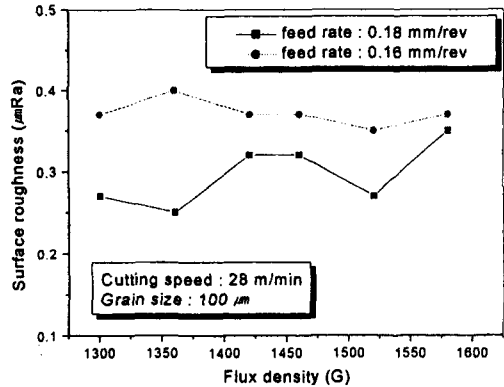


Fig. 8. Relation of surface roughness due to flux density by finishing grain(WA:B-F:Fe)

향상을 주는 것이 아님을 알 수가 있었다.

5.3. 이송속도가 파이프 내면의 표면거칠기에 미치는 영향

이송속도가 파이프 내면의 표면거칠기에 미치는 영향을 비교하기 위하여 이송속도를 0.10, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18mm/rev, 자기연마 속도는 17m/min과 28m/min, 자속밀도를 1500, 1600G로 그리고 입자크기를 140 μ m를 사용하여 실험을 하였다. Fig. 9는 연마속도가 28m/min일 때의 자속밀도를 비교한 것으로 이송속도가 커질수록 표면거칠기는 증가하였다. 즉, 자기연마는 파이프 내면의 자기브러쉬 형성에 따라 표면거칠기에 영향을 주며 시편의 고속회전에 따라 연마입자의 순간적인 위치 변화가 많은 영향을 주는 것으로 사료된다. Fig. 10은 이송속도가 증가함에 따라 표면거칠기는 선형적인 변화를 보이다가 이송

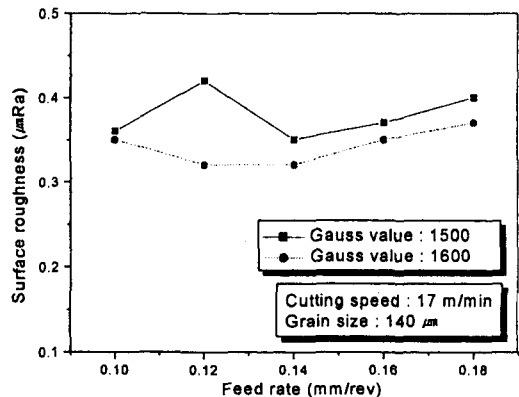


Fig. 9. Relation of surface roughness due to feed rate by finishing grain(WA:B-F:Fe)

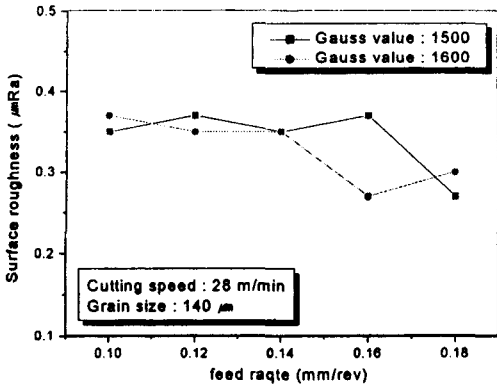


Fig. 10. Relation of surface roughness due to feed rate by finishing grain(WA:B-F:Fe)

속도가 0.18mm/rev인 경우에 표면거칠기 값이 현저하게 감소를 보였다. 따라서 Fig. 9와 Fig. 10을 비교하면 연마속도가 28m/min인 경우가 표면거칠기에 영향이 큰 것으로 사료된다.

6. 결론

STS 304 파이프의 내면의 자기연마법에 있어서 WA-BF-Fe 자성지립이 표면거칠기에 미치는 영향을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 자기연마장치를 제작하여 파이프 내면을 자기연마시 시험편이 비접촉에 의해서 연마를 하므로 공작물에 외적인 힘에 의한 변형을 최소화 할 수가 있다.

2) 표면거칠기 값의 감소가 가장 큰 연마속도는 11.4m/min이며 연마입자와 이송속도에 따라 영향을 받는다.

3) 자속밀도에 따른 표면거칠기 값은 연마속도가 28m/min일 때가 감소를 보였으며 자속밀도의 증가에 따른 변화는 작았다.

4) 이송속도에 따른 변화는 대부분 유사하게 나타났으나 연마속도가 28m/min에서 자속밀도가 1500G인 경우 0.18mm/rev에서 1600G인 경우에는 0.16mm/rev일 때 표면거칠기가 감소되었다.

참고문헌

- 1) 山口ひとみ, 進村 武南, “内面磁氣研磨法における 性砥粒の特異な舉動と加工能率向上効果”, 機械と工具, pp. 89~93, 1999.
- 2) H. Yamaguchi, T. Shinmura and T. Kaneko, “Development of a New Internal Finishing Process Applying Magnetic Abrasive Finishing by Use of Pole Rotation System”, Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol. 30, No. 4, pp. 317~322.
- 3) 進村 武南, “磁氣研磨法とその應用”, 機械と工具, pp. 13~93, 1999.
- 4) 進村 武南, “磁氣研磨法の現状と課題”, 機械と工具, pp. 16~21, 1996.
- 5) 山口ひとみ, 進村 武南, “磁氣研磨法による内面の平滑加工に関する研究(第4報研磨特性に及ぼす磁性砥粒の粒徑の影響)”, 日本機械學會論文集(C編), 61卷 591号(1995-11), pp. 348~353, 1999.