

자화율의 변화가 STS 304 파이프 내면 연삭에 미치는 영향

김희남 · 최희성* · 김상백*

명지대학교 · *명지대학교 대학원

1. 서론

각종 기계·기구에 사용되는 부품의 높은 정밀도가 요구되면서 기존의 공구와 가공물이 직접 접촉하면서 절삭하는 가공방법으로는 절삭력에 의한 변형과 마찰열로 인하여 고정도 및 고정정 가공을 실현하는데 많은 어려움이 생기게 되었다. 자기연삭법은 슷돌형태의 연삭을 비롯한 랩핑, 슈퍼피니싱 등의 직접 가압식 가공법을 벗어나 보다 우수한 표면의 품위를 얻기 위한 가공법 중의 하나로 대두되었다. 자기연삭법은 자기력에 의해 자기연삭재를 끌어당겨 가공물을 연삭하는 방법으로서 가공물 표면의 청정유지와 고정밀도를 실현할 수 있다. 이러한 자기연삭 기술에서 자기연삭재는 가공의 주체로써, 성공적인 자기연삭가공을 위해서는 가공효율이 뛰어난 자기연삭재와 자기연삭기구의 개발이 선행되어야 함이 필수적이다.

이러한 필요성에 의해 자기연삭장치 및 연삭재에 관한 많은 연구^{1)~12)}가 이루어져 왔다. 이들은 주로 자기력과 자극의 배치 등이 자기연삭효율에 미치는 영향과 고정도 재료인 세라믹이나 초경합금 등을 연삭하기 위한 다이아몬드, CBN 등을 이용하여 연삭재를 제조하거나 산화철과 알루미늄을 화학반응으로 제조하는 방법에 관한 연구이다. 그러나 이들 연삭재에 대한 상세한 구성성분 및 제조방법은 외부에 알려지지 않은 실정으로서 국내에서 활용하기에는 매우 어려운 형편이다. 따라서 국내에서도 자기연삭의 활용이 활성화되기 위해서는 자기연삭재와 자기연삭기구의 개발이 시급히 필요한 실정이다. 이러한 자기연삭재는 국내·외에서 사용되는 반도체용 튜브, 식품 위생기기, 의료기기, 고순도 가스용기 등의 청정 산업분야 및 공압용 튜브 등의 제조분야에도 활용이 광범위하게 확대될 것으로 예상된다.

본 연구에서는 Ba-Ferrite를 함유함으로써 자화율을 변화시킨 자기연삭재를 개발하여, 비자성체 재료인 STS 304 파이프 내면에 자기연삭가공 실험을 하였다. 이러한 자기연삭재의 자화율 변화와 연삭입자의 거동은 가공효율을 비롯한 파이프 내면의 표면거칠기에 영향을 미친다.

따라서 본 연구에서는 자기연삭재의 자화율의 변화와 연삭속도에 따라 변화되는 자기연삭재의 동적 거동이 연삭특성에 미치는 영향을 밝히고자 한다.

2. 자기연삭장치 및 실험

2.1 자기연삭 실험

Ba-Ferrite를 함유한 자기연삭재 자화율의 변화가 자기연삭에 미치는 영향을 알아보기 위해 비자성체인 STS 304 파이프를 소재로 하여 Fig. 1과 같이 자기연삭기구를 제작하여 Table 1과 같은 연삭조건으로 자기연삭 실험을 수행하였다. Fig. 1에 나타난 자기력 장치는 자속밀도를 최대 1.5Tesla 까지 발생시킬 수 있도록 설계·제작되었다. 본 실험에 사용된 이음매 없는 STS 304 파이프의 치수는 내경 25mm, 두께 0.7mm 이며, 길이는 150mm로 절단하여 축 방향으로 자극을 이동하면서 자기연삭 가공을 수행하였다.

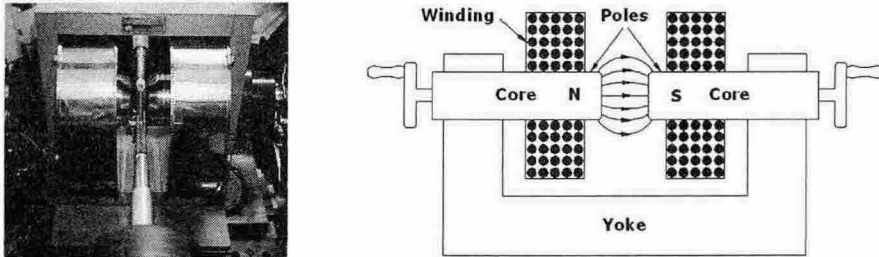


Fig. 1 Photographs of experimental equipments for magnetic abrasive grinding

Table 1 Grinding conditions

Magnetic material	Abrasive material	Abrasive size (mm)	$x = \frac{M}{H}$ emu/cm ³ Oe				Magnetic flux density (G)	Grinding speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Pass number
			Type	H _c	M _s	M _r				
Ba-Ferrite (BaFe ₁₂ O ₁₉)	GC	0.5	A	4,394	55.89	40.4	2,000	54.9	0.55	2 4
			B	3,852	43.96	28.5	4,500			
			C	2,338	41.57	25.3	7,000			

3. 자기연삭재의 거동

3.1 자기연삭 기구

Fig. 1과 같은 자기연삭기구에 외부에서 전원을 공급하면 자극봉에 감겨진 코일에 전원을 인가하여 형성된 자기력은 자기연삭재를 끌어당겨 자기브러쉬를 형성하게 된다. Fig. 2에 이러한 연삭기구를 그림으로 나타내었다. 연삭기구에 자력을 발생시키고 파이프를 회전시키면 자기연삭 입자는 y방향과 x방향에 대해서 F_y, F_x가 각각 작용하며, 식 (1)과 같이 표현 할 수 있다.³⁾ 여기서, *v*는 자기연삭 입자의 체적이고, *x*는 연삭입자의 자화율, *H*는 자기장의 세기, (∂*H*/∂*y*)와 (∂*H*/∂*x*)는 자력선과 등전위선의 방향에서 자기장 세기에 대한 기울기를 나타낸다.

$$\left. \begin{aligned} F_y &= VxH(\partial H/\partial y) \\ F_x &= VxH(\partial H/\partial x) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

Fig.2에서 STS 304 Pipe는 자기력이 형성된 자극봉 주위를 빠른 속도로 회전함에 따라 전자석을 만든다. 연삭력은 자기력에 의해서 자장을 끌어당기는 힘으로 실린더 파이프 내면에 투입한 연삭입자가 파이프 내면에 밀착하여 자기 브러시를 형성하고 끌어당기는 자기력과 마찰력으로 자기연삭을 진행한다. 즉, 연삭재는 외부에서 발생하는 자기력에 의해서 실린더 파이프 내면에 연삭력을 형성하여 내부 표면에 미소한 압력을 가하면서 자기연삭을 진행한다.

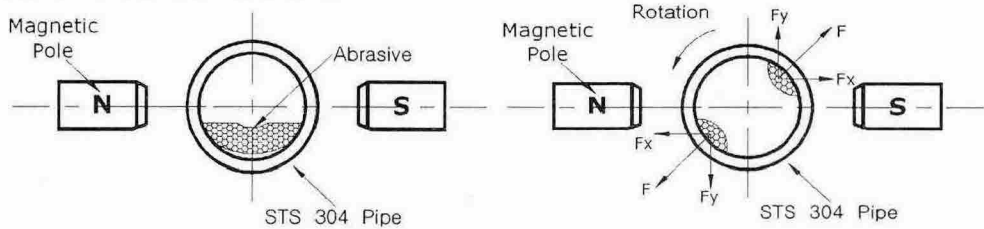


Fig. 2 Schematic for force component of magnetic abrasive on internal face

3.2 자화곡선

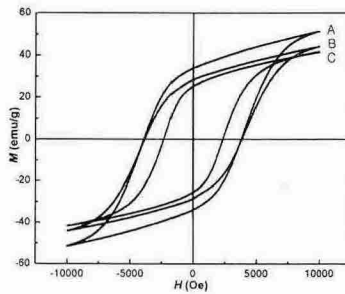


Fig 3. Hysteresis curve

Fig. 3은 본 실험에 사용된 A, B, C 자기연삭재의 자화율의 변화에 따른 자기이력곡선을 도시한 것이다. 이들 곡선은 자화율의 변화에 따라 각각 자기력이 다르기 때문에 자기연삭 시 유용한 연삭과 자기연삭기구 설계에 많은 영향을 줄 것이다. Ba-Ferrite의 자기적 성질 M의 크기와 부호만이 아니라 M이 H에 따라 변화하는 방법에 의해서도 특징지어진다. 이들 두 양의 비율을 자화율(susceptibility) χ 로 불리며, χ 는 $\chi = \frac{M}{H}$ emu/cm³Oe⁵이다.

4. 자화율이 표면거칠기에 미치는 영향

4.1 자화율의 변화와 표면거칠기의 관계

자화율의 변화가 파이프 내면의 표면거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 자속밀도를 2000, 4500, 7000G로 변화를 주고 연삭속도를 54.9m/min건식으로 연삭하여 자화율 변화가 파이프 내표면거칠기에 미치는 영향을 비교하였다. Fig.4, Fig.5는 자화율과 자속

밀도의 증가와 가공횟수에 따른 표면거칠기를 비교한 것이다. Fig.5에서 연삭횟수가 4회 일 때 표면거칠기는 향상되는 것을 알 수 있었다. 한 편, 각각의 연삭횟수의 변화에 대해서는 두드러진 표면거칠기의 변화를 볼 수 없었다. 그러나 Fig.5에서 볼 수 있는 바와 같이 4500G 에서는 현저히 표면거칠기가 향상되었음을 알 수 있었다.

이것은 자화율이 증가하면 수직연삭력 F_x 가 커지고, 연삭속도가 증가하면 접선연삭력 F_y 와 접촉면이 커지므로 표면거칠기 값이 향상하는 것으로 판단된다.

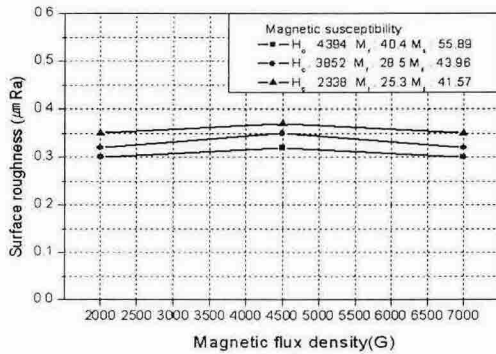


Fig.4 Surface roughness VS. magnetic flux density at Grinding speed 54.9m/min, Feed rate 0.55mm/rev, number of grinding 2

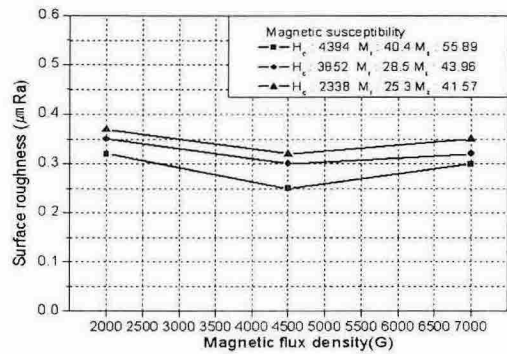


Fig.5 Surface roughness VS. magnetic flux density at Grinding speed 54.9m/min, Feed rate 0.55mm/rev, number of grinding 4

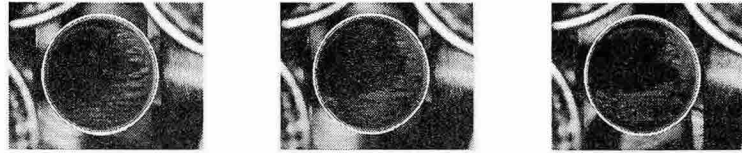
4.2 자속밀도의 변화에 따른 자기브러쉬 동적 거동

자극봉에서 발생한 자기력이 파이프 내면에 연삭입자를 끌어당기는 자기력이 파이프 내면에 연삭입자를 끌어당기는 자기력이 약하기 때문에 자기브러쉬의 길이가 길어지며 또한, 파이프 내면에 연삭입자의 접촉면적을 감소시키므로 수직연삭력 F_x 는 감소하게 된다. 따라서 연삭입자의 연결 길이가 길면 자기브러쉬의 운동이 둔하며 수직연삭력도 감소하게 된다. 이런 자기력 관계를 높이기 위하여 자화율을 변화시켜 연삭할 때 자화율이 크면 클수록 높은 자기연삭 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

Fig.6은 자속밀도가 2000, 4500, 7000G일 때의 자기브러쉬의 동적 거동상태를 나타낸 것이다. 동적 거동에서는 7000G일 때 자극을 중심으로 약간 아래쪽과 위쪽으로 자기브러쉬를 형성한다. 그림에서와 같이 자속밀도가 2000G일 때보다 자속밀도가 7000G일 때 자속밀도가 증가함에 따라 자기브러쉬 형성이 적게 분포함을 알 수 있었다.

즉 연삭속도가 일정하고 자화율과 자속밀도를 증가시키면 자기브러쉬의 동적거동은 길이가 짧아지면서 자기력에 따른 연삭입자는 자기브러쉬를 조밀하게 하고 파이프내면에 접촉하는 연삭입자의 인선은 증가하게 된다. 또한, 자속밀도가 크면 자극봉에서 끌어 당기는 자기력이 증가하여 자기브러쉬의 탈락과 결합이 빈번하게 이루어져 자기연삭을 촉진시킨다.

Type A



Type B



Type C



Magnetic
flux
density

Fig.6 Behavior of magnetic abrasives inside the pipe

4.3 연삭횟수가 표면거칠기에 미치는 영향

연삭횟수는 파이프 내면의 표면거칠기 변화를 비교하기 위하여 연삭횟수를 2회, 4회, 연삭속도를 54.9m/min, 자속밀도는 2000, 4500, 7000G로 변화시켜 실험을 하였다. Fig.5와 같이 연삭속도를 54.9m/min으로 4회 가공할 경우 자속밀도 4500G일 때 0.25 μ mRa의 양호한 표면을 얻을 수 있었다.

자기연삭 속도의 변화에 따라 표면거칠기가 크게 변화되는 이유는 금속의 연삭속도를 증가시키면 변형저항이 많아지지만 자기연삭의 경우는 자기력에 따른 연삭재의 자기브러쉬 형성으로 연삭을 하기 때문에 가공저항에 따른 가공면에 미치는 영향은 작을 것이다.

5. 결론

Ba-Ferrite를 함유한 자기연삭재를 사용한 STS 304 파이프내면의 자기연삭에 있어서 가공조건이 표면거칠기에 미치는 영향을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 자화율과 자속밀도가 증가함에 따라 표면거칠기는 향상되며, 특히 자속밀도가 4500G에 4회 가공시 표면거칠기가 향상됨을 알 수 있었다.
2. 자기브러쉬 동적 거동은 자속밀도가 증가함에 따라 자기브러쉬가 짧아지고, 조밀해져서 연삭입자의 인선이 증가하며, 이는 표면거칠기 향상에 기여한다.
3. 자기연삭에서 표면거칠기 향상을 위한 가공조건 중 연삭횟수가 4회일 때 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있었다.
4. 자기연삭재의 자화율을 높이므로 자기연삭기구를 소형으로 줄일 수 있으므로 자기연

삭 공구로서의 역할을 할 수 있으리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 산학협동재단의 2003년도 학술연구비 지원에 의하여 수행된 과제로서 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- 1) 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.
- 2) Masahiro ANZAI and Takeo NAKAGAWA, "磁氣研磨加工の高效率化", 生産研究 第45卷 12号, pp.816-820, 1993.
- 3) Takeo SHINMURA and Hitomi YAMAGUCHI, "磁氣研磨法による内面の平滑加工に関する研究", 日本機械學會論文集 第59卷 560号, pp.293-299, 1993.
- 4) Takeo SHINMURA, Yoshitaka HAMANO and Hitomi YAMAGUCHI, "磁氣研磨法による内面の精密バリ取りに関する研究(第1報)", 日本機械學會論文集 第64卷 620号, pp.312- 318, 1998.
- 5) Cullity저, "자성재료학", 피어슨 에듀케이션 코리아, P. 21
- 6) Takeo SHINMURA and Toshio AIZAWA, "磁氣研磨法による非磁性圓管内面の平滑加工に関する研究", JPSE-54-04-767.
- 7) Takeo Shinmura, "磁氣研磨法による円管内面のバリ處理技術", 機械技術, 第44卷,第2号, pp.24-28, 1996.
- 8) Masahiro ANZAI, Toru SUDO and Takeo NAKAGAWA, "磁氣研磨用砥粒の新製造技術とその研磨特性", 生産研究 第43卷 第11号, pp.13-22, 1991.
- 9) Hitomi Yamaguchi, Takeo Shinmura, "内面磁氣研法における磁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.
- 10) 김희남, 윤여권, 심재환, "STS304 파이프 내면의 초정밀 자기연마", 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp.947~952, 2001.
- 11) 김희남, 윤여권, 심재환, "자기연마를 이용한 STS304 파이프 내면의 초정밀 가공", 한국산업안전학회지, Vol. 17, No. 3. pp.30~pp.35, 2002.
- 12) 김희남, 송승기, 정윤중, 윤여권, 김희원, 조상원, 심재환, "Ba-Ferrite를 이용한 자기 연마재 개발", 한국산업안전 학회지, Vol. 18, No. 2. pp.46~pp.49, 2003.