

Ba-Ferrite 자기연마재의 거동이 연마특성에 미치는 영향

김희남*(명지대 기계공학과), 송승기(명지대 물리학과), 윤여권(명지대 대학원 기계공학과)
김희원(명지대 대학원 기계공학과), 김복수(명지대 대학원 물리학과)
안효중(신성 네오택(주)), 심재환(신성 네오택(주))

The Effects of Ba-Ferrite Magnetic Abrasive Behavior on Polishing Characteristics

H.N. Kim(Mech. Eng. Dept., MJU), S.K. Song(Physics Dept., MJU), Y.K. Yun(Mech. Eng. Dept., MJU)
H.W. Kim(Mech. Eng. Dept., MJU), B.S. Kim(Physics Dept., MJU)
H.J. Ahn(Shinsung Neotech Co.,LTD.), J.W. Shim(Shinsung Neotech Co.,LTD.)

ABSTRACT

In this paper we deal with behavior of the magnetic abrasive using Ba-Ferrite on polishing characteristics in a new internal finishing of STS304 pipe applying magnetic abrasive polishing. The magnetic abrasive using Ba-Ferrite grain WA was used to resin bond fabricated at low temperature. And Ba-Ferrite of magnetic abrasive powder was crushed into 200 mesh. The previous research made an experiment in the static and the dynamic state on the movement of magnetic abrasive grain. In this paper, We investigated into the changes of the movement of magnetic abrasive grain. In reference to this result, we have made the experiment which is set under the condition of the magnetic flux density, polishing velocity according to the form of magnetic brush.

Key Words : Magnetic abrasive (자기연마재), behavior (거동), Magnetic flux density (자속밀도)

1. 서론

산업이 고도화됨에 따라 각종 기계·기구에 사용되는 부품의 고정도가 요구되면서 기존에 공구와 가공물이 직접 접촉하면서 전삭하는 가공방법으로는 전삭력에 의한 변형과 마찰열로 인하여 고정도 및 고정정 가공을 실현하는데 많은 어려움이 생기게 되었다. 자기연마법은 스톨형태의 연삭을 비롯한 랩핑, 슈퍼피니싱 등의 직접 가압식 가공법을 벗어나 보다 우수한 표면의 품질을 얻기 위한 가공법중의 하나로 대두되었다. 자기연마법은 자기력에 의해 자기연마재를 끌어당겨 가공물을 연마하는 방법으로 사 가공물 표면의 청정유지와 고정정도를 실현할 수 있다. 이러한 자기연마 기술에서 자기연마재는 가공의 주체로써 가공정밀도와 청정도를 좌우하는 핵심요소이다. 따라서 성공적인 자기연마가공을 위해서는 가공효율이 뛰어난 자기연마재의 개발이 선행되어야 함이 필수적이다.

이러한 필요성에 의해 자기연마장치 및 연마재에

관한 많은 연구^{1)~13)}가 이루어져 왔으며, 이들은 주로 자기력과 자극의 배치 등이 자기연마효율에 미치는 영향과 고정도 재료인 세라믹이나 초경합금 등을 연마하기 위한 다이아몬드, CBN 등을 이용하여 연마재를 제조하거나 산화철과 알루미늄을 화학반응으로 제조하는 방법에 관한 연구이다. 그러나 이들 연마재에 대한 상세한 구성성분 및 제조방법은 외부에 알려지지 않은 상태에서 국내에서 활용하기는 매우 어려운 형편이다. 따라서 국내에서도 고정정과 함께 고정도가 요구되는 산업분야에 자기연마의 활용이 활성화되기 위해서는 자기연마재의 개발이 시급히 필요한 실정에 있다. 이러한 자기연마재는 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 자성재료로 하여 WA를 연마재로 이용한 자기연마재를 개발하였으며, 미사청제 재료인 STS304 파이프 내면에 대한 자기연마

가공 실험을 하였다. 이러한 자기연마 공정에서 자기연마 입자의 거동은 가공효율을 비롯한 파이프의 표면거칠기 등의 연마특성에 중요한 영향을 미친다.

따라서 본 연구에서는 자성연마재에 작용하는 자력과 연마속도에 따라 변화되는 자기연마재의 동적 거동이 연마특성에 미치는 영향을 밝히코자 한다.

2. 자기연마재 제조 및 실험

2.1 자기연마재 제조

본 실험에서 제조한 Ba-Ferrite 자기연마재에서 자성체로 사용된 Ba-Ferrite는 산화철(Fe_2O_3)과 탄산바륨($BaCO_3$)을 기본원료로 하여 1,200°C에서 소결한 후 200 mesh로 진동시킨 것을 사용하였다.

또한 연마입자로 사용된 WA 입자는 좋은 결합성을 지니고 있으며, 합금강, 고속도강 등과 같은 강판 재료의 연마에 적합하다.

자기연마재 제조에 사용된 연마재는 1,000 mesh, 4,000 mesh, 8,000 mesh의 WA 입자를 사용하였다.

결합제로는 우수한 입자 매트릭스(matrix)를 형성할 수 있으며 자온에서도 제조 가능한 지석용 액상수지를 사용하였으며, 결합도와 기공의 적정성을 조절하기 위해 점가미율을 변화시켰다.

자기연마재 조성비율은 Table 1과 같으며, 원료가 되는 각각의 첨가량은 무게비로 정량화 하였다.

Table 1 Compositions of magnetic abrasive

| Magnetic material | Abrasive | Grain mesh | Resin (ml/g) |
|----------------------------------|----------|------------|--------------|
| Ba-Ferrite ($BaFe_{12}O_{19}$) | WA | 1,000 | 0.17 |
| | | 4,000 | 0.23 |
| | | 8,000 | |

2.2 자기연마 실험

Ba-Ferrite 자기연마재의 동적인 거동과 특이 현상을 살펴보기 위해 비자성체인 STS304 파이프를 소재로 하여 Fig. 1과 같은 자기력 발생장치와 자기연마 기구를 제작하여 Table 2와 같은 조건으로 자기연마 실험을 수행하였다. Fig. 1에 나타난 자기력 장치는 자속밀도를 최대 1 Tesla 까지 발생시킬 수 있도록 설계·제작되었다.

본 실험에 사용된 이음매 없는 STS304 파이프의 치수는 내경 20 mm, 두께 0.7 mm 이며, 길이는 200 mm로 절단하여 축 방향으로 자력을 이동하면서 자기연마 가공을 수행하였다.

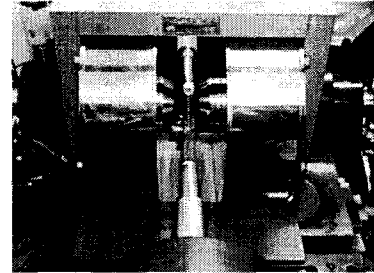


Fig. 1 Photographs of experimental equipments for magnetic abrasive polishing

Table 2 Polishing Conditions

| Abrasive material | Abrasive size (mesh) | Flux density (G) | Polishing speed (m/s) | Polishing time (min) |
|-------------------|----------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| WA | 1,000 | 1,500 | 0.42 | 1 |
| | 4,000 | 3,000 | 0.73 | 2 |
| | 8,000 | 6,000 | 1.46 | 5 |

3. 자기연마재의 거동

3.1 자기연마 기구

Fig. 1과 같은 자기연마기구에 외부에서 전원을 공급하면 자극봉에 감긴 코일에 전원을 인가하여 형성된 자기력은 자기연마재를 끌어당겨 자기브러쉬를 형성하게 된다. Fig. 2에 이러한 연마기구를 그림으로 나타내었다. 연마기구에 자력을 발생시키고 파이프를 회전시키면 자기연마 입자는 y방향과 z방향에 대해서 F_y , F_z 가 각각 작용하며, 식 (1)과 같이 표현 할 수 있다.²⁾

$$F_y = V_z I (\partial H / \partial y) \quad (1)$$

$$F_z = V_z I (\partial H / \partial z)$$

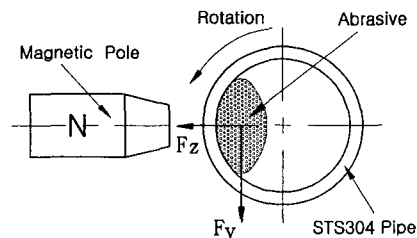


Fig. 2 Schematic for force component of magnetic abrasive on internal face

여기서, V 는 자기연마 입자의 체적이고, χ 는 연마입자의 자화율, H 는 자기장의 세기, $(\partial H/\partial y)$ 와 $(\partial H/\partial z)$ 는 자력선과 등전위선의 방향에서 자기장 세기에 대한 기울기를 나타낸다.

3.2 거동의 특이현상

Fig. 2와 같이 발생된 자기력이 자극에 의해 자기연마재에 작용하는 자기력(F_z)이 연마리의 기초가 되며, 자기연마재 입자의 파이프 내면에 대한 상대운동이 연마특성에 직접 관계되는 인자이다.

이러한 자기연마재의 파이프 내면에 대한 상대운동 거동은 접선력(F_y)에 의해서 변화된다.

자기력과 연마속도에 따라 변화되는 자기연마재의 상대운동에 대한 거동을 고찰하기 위하여 Table 2와 같은 조건으로 자기연마가공을 수행하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 자기력 1,500G에서 각각 0.73m/s, 1.46m/s의 속도로 자기연마가공을 할 때, 파이프 내면에서 자기연마재의 상대운동 거동상태를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 자기브러시를 형성하는 자기연마재는 자기력과 접선연마지향에 의해 파이프 내면의 가공영역을 이동하면서 연마가 끝난 입자를 뒤쪽의 새로운 입자가 자생적으로 대체하는 거동을 볼 수 있었다. 이러한 자반적으로 발생하는 자기연마재의 대체 거동에 의해 가공물 표면이 미세하게 가공되는 연마기구가 형성됨을 알 수 있다.

Fig. 4는 자기력 1,500G에서 1.46m/s의 속도로 자기연마 가공을 할 때의 사진이다. 가공 초기에는 (a)와 같이 상대운동을 하면서 연마기구를 형성하는 듯 하였으나, 가공 후 약 40초 가량 경과하면서부터 (b)와 같이 원심력에 의해 접선력이 증가하여 접선연마지향이 점차 상실되면서 자기연마재가 파이프의 원주방향으로 이동되는 것을 볼 수 있으며, 이후에는 (c)와 같이 자기연마재가 파이프 내면에 대한 상대운동이 상실됨을 알 수 있었다. 이로 인하여 자기연마재는 파이프의 회전방향으로 링(ring)과 같은 형태로 파이프와 함께 회전하는 현상을 나타낸다.

이러한 현상은 자기연마재와 파이프 내면과의 상대운동을 상실시키면서 가공능률의 현저한 저하를 가져온다. 따라서 이와 같은 동적인 거동은 자기연마재가 연마를 수행할 수 있는 상대운동이 자기연마재에 작용하는 자기력의 크기와 파이프의 회전수에 따른 접선력의 크기에 따라 변화됨을 알 수 있다.

또한 Fig. 5와 Fig. 6은 각각 자기력을 3,000G, 6,000G로 하여 속도를 1.46m/s로 자기연마 가공할 때의 동적인 거동상태를 나타낸 것이다. Fig. 5와 Fig. 6에서와 같이 연마속도가 증가함에 따라 원심력이 증가하여도 자기력이 접선력을 지배하므로 자생대체 현상이 활발하게 발생하여 연마기구가 형성되며, Fig. 4와 같은 링(ring)가동현상은 발생하지 않음을

알 수 있었다. 그리고 접선연마지향에 의해 축 방향으로 원과 같은 궤적을 가지고 자기연마재가 브러시를 형성하면서 회전하는 자생대체 거동이 나타남을 볼 수 있었다.

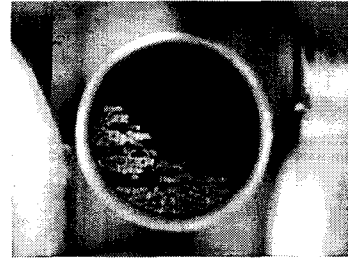


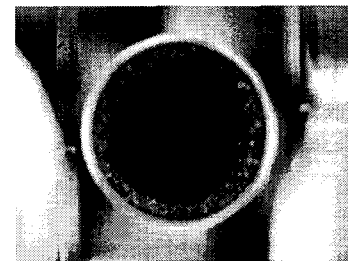
Fig. 3 Photo. of magnetic abrasive inside STS304 pipe (flux density 1,500G, polishing speed 0.73m/s)



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Photo. of magnetic abrasive inside STS304 pipe (flux density 1,500G, polishing speed 1.46m/s)

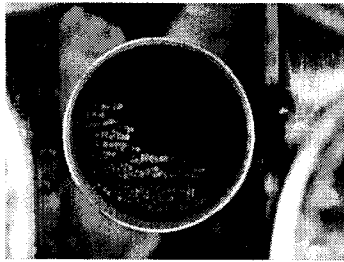


Fig. 5 Photo. of magnetic abrasive inside STS304 pipe (flux density 3,000G, polishing speed 1.46m/s)

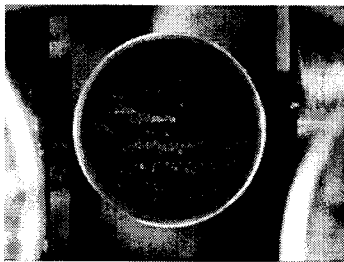


Fig. 6 Photo. of magnetic abrasive inside STS304 pipe (flux density 6,000G, polishing speed 1.46m/s)

4. 결론

이상과 같이 Ba-Ferrite 자기연마제의 거동이 연마 특성에 미치는 영향에 대한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 자속밀도 1,500 G, 연마속도 1.46 m/s에서 자기연마제가 링(ring)과 같은 형태로 파이프와 함께 회전하는 거동을 보인다. 이로 인한 자기연마제의 파이프 내면에 대한 상대운동 소멸과 가공능률의 현저한 저하를 가져온다.
2. 자기연마제의 링(ring)거동은 작은 자기력에서 연마속도가 빠를 때 발생하기 쉽다.
3. 자속밀도 크기에 따른 연마속도의 변화는 자기연마제의 동적거동과 연마특성에 큰 영향을 미친다.
4. 자기연마제가 브러시를 형성하면서 집선연마 저항에 의해 축 방향으로 원 형태의 궤적을 가지고 회전하면서 자생적으로 연마입자가 대체되는 거동을 나타낸다.

후기

감사의 글 : 본 연구는 산업자원부, 한국생산기술연구원 국가청정생산지원센터의 2002년도 청정생산기술사업비의 지원에 의해 수행된 과제로서 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Takeo Shimura 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, 第560号, pp. 293-299, 1993.
2. Takeo Shimura, Yoshitaka Hamato 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, 第620号, pp. 312~318, 1998.
3. 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.
4. Hitomi Yamaguchi and Takeo Shimura, "磁氣研磨法による内面の平滑加工に関する研究(第4報)," 日本機械學會論文集, 第61卷, 第591号, pp. 348-353, 1995.
5. Hitomi Yamaguchi, Takeo Shimura, "内面磁氣研磨法における磁性砥粒の特異な挙動と加工能率向上効果," 機械と工具, pp. 89-93, 1999. 3.
6. Takeo Shimura, Eiju Hatano and Koya Takazawa, "回転磁界を利用した磁氣研磨法とその加工装置の開発," 日本機械學會論文集, 第52卷, 第476号, pp. 1462-1468, 1985.
7. Takeo Shimura, "円筒磁氣研磨法," 機械技術, 第44卷, 第8号, pp. 108-112, 1996.
8. Takeo Shimura, "磁氣研磨法の現状と課題," 機械と工具, 第44卷, 第9号, pp. 16-21, 1996.
9. Kazuhiro Tsuchiya, Yasuo Shimizu, Kazuhiko Sakaki and Mototaro Sato, "磁氣研磨法における研磨機構," 日本金屬學會誌, 第57卷, 第11号, pp. 1333-1338, 1993.
10. Kiyoshi Suzuki, "最近の特種研磨加工技術," 機械と工具, pp. 9-12, 1998.5.
11. 進村武前, 波田野 榮十, "磁氣研磨法の研究 -回転磁界による内面および球面の研削," JSPE-52-08, '86-08-1390, pp. 108-110, 1986.
12. 김희남, 윤여권, 심재환, "STS304 파이프 내면의 초정밀 자기연마," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 947-952, 2001.
13. 김희남, 윤여권, 심재환, "STS304 파이프 내면의 초정밀 자기연마," 한국산업안전·위생학회 공동 학술대회논문집, pp. 179-185, 2001.
14. 김희남, 윤여권, 심재환, "자기연마를 이용한 STS 304 파이프 내면의 초정밀 가공," 한국산업안전·위생학회지, Vol. 17, No. 3, pp. 30-35, 2002.