자기연마재의 입도 변화가 STS 304 튜브 내면 연마에 미치는 영향

김희남 · 최희성* · 김상백*
명지대학교 · *명지대학교 대학원

1. 서 론

최근 산업추세가 고 정밀도화와 청정화를 요구하고 있다. 기존에 가공방법은 가공물 표면에 미세한 가공흔적이 남게 되어 가공물 표면의 청정도가 떨어지는 문제점이 발생하며, 또한 연삭숫돌을 이용한 가공방법의 경우에는 연삭시 발생되는 칩배출, 눈메움, 눈의 마멸, glazing을 최소화하기 위해서 연삭유를 사용한다. 이러한 연삭유는 환경에 크게 영향을 미치므로 고청정을 요구하는 분야에는 적용이 어렵다. 이런 요구에 맞춰서 여러 가지 가공방법이 개발되고 적용되고 있지만 전해연마, 화학연마등 청정파이프 제조에 사용되는 폐전해액 처리에 환경적인 문제가 대두되고 있다. 이러한 산업적인 요구사항인 고 정밀도화와 청정화에 사용이 될 수 있는 자기연마법[1~12]은 자기력에 의해 자성 연마제를 끌어당겨 가공물을 연마하는 가공방법이다. 이런 자기연마 기술에서 자기연마재는 가공의 주체로서 가공물의 정밀도와 청정도를 좌우하는 핵심이다. 사용 후 폐기물이 발생되지 않는 효과가 있고, 산업안전용 연마재로서 산업안전 사고대책 비용이 들지 않는 장점이 있다. 사용 후 연마재는 다시 성형연삭 숫돌과 미디아, 블라스팅용으로 추가적인 사용이 가능하기 때문에 환경오염 방지 및 폐기물 처리 비용 절감에 경제적인 효과를 기대할 수 있다. 자기연마 가공의 핵심 요소인 자기연마재의 개발은 기존에는 다이아몬드, CBN 등을 이용하여 연마재를 제조하거나 산화철과 알루미나를 화학반응으로 제조하는 방법[13]이 전부였다. 그러나 이런 방법은 제조상에 어려움과 가격에 문제점을 가지고 있다. 자기 연마 가공의 효율을 향상시키기 위하여 Sr-ferrite를 자성재료로 하여 WA 연마입자를 이용한 자기 연마재를 연구하는데 목적이 있다. 따라서 본 연구에서는 자기연마재의 입도 변화가 STS 304 튜브 내면 연마에 미치는 자기연마 특성을 평가함에 목적이 있다.

2. 자기연마장치 및 실험

2.1 자기연마 실험

자성물질인 Sr-ferrite를 함유한 자기연마재를 Table 1과 같이 제작하여 비자성체인 STS 304 튜브를 연마 소재로 하여 Fig. 1과 같이 자기연마 기구를 제작하였다. Table 2와 같은 연마조건으로 자기연마를 실험하였다. 본 실험에 사용된 시편은 내경 25 mm, 두께 0.7 mm 이며, 길이는 150mm로 절단하여, 자극과 시험편 사이의 에어갭을 2mm로 설

정한 후 가공물의 튜브는 회전하면서, 축 방향으로 자극을 이동하면서 자기연마 가공을 수행하였다.

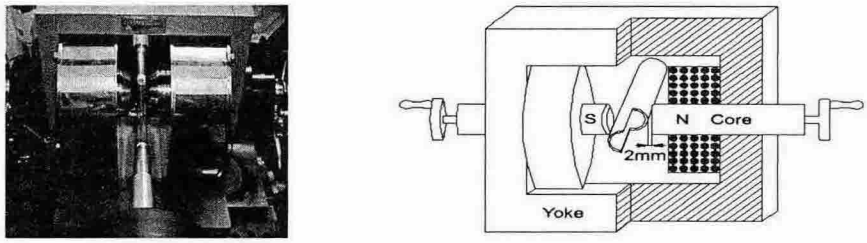


Fig. 1 Photographs of experimental equipments for magnetic polishing

Table 1. Composition of the mixture rate

Magnetic material	Abrasive material	Abrasive mesh(#)	Composion	Resin (ml/g)	Synthesis temperature(℃)	Synthesis time(min)
Sr-ferrite ($SrFe_2O_4$)	WA	60 120 180 220 320	Sr-ferrite : WA = 1 : 1	0.15	185	120

Table 2. Polishing conditions

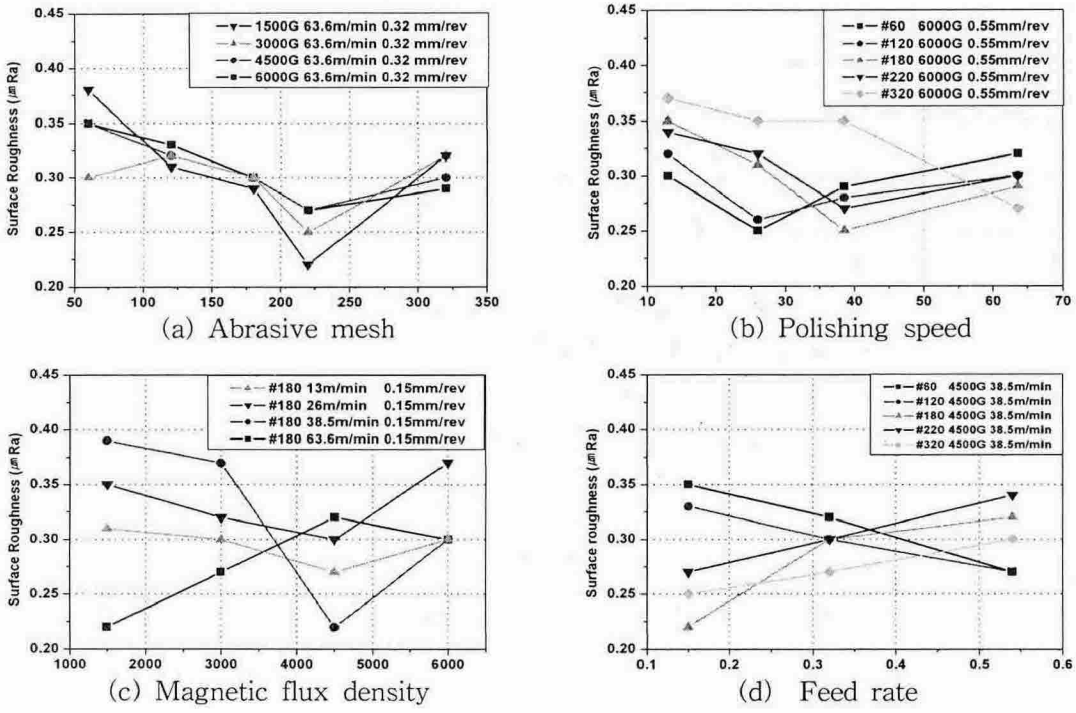
Magnetic material	Abrasive size (mm)	Magnetic flux density (G)	Grinding speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Pass number
Sr-ferrite ($SrFe_2O_4$)	1~2	1,500 3,000 4,500 6,000	13 26 38.5 63.6	0.15 0.32 0.55	1

3. 자기연마재 연마 조건의 변화가 튜브 내면에 미치는 영향

3.1 자기연마재의 입도 변화가 튜브 내표면거칠기에 미치는 영향

자기연마재의 입도 변화가 튜브 내표면거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 자기연마재의 입도를 #60, #120, #180, #220, #320으로 변화를 주고, 연마속도를 63.6m/min , 자기연마재의 이송속도는 0.32mm/rev, 자속밀도를 1500, 3000, 4500, 6000G로 연마한 가공결과는 Fig. 2(a)와 같다. 연마재의 입도 변화에 따른 표면거칠기는 연마재 입도가 #220에서 자속밀도 1500G일때는 0.22㎛Ra, 3000G에서는 0.25㎛Ra, 4500G와 6000G에서는 0.27㎛Ra로 가공전 튜브 내표면거칠기 값은 0.45~0.55㎛Ra에 비해서 향상됨을 알 수 있었다. Fig. 3(a), (b), (c), (d)에서 볼 수 있듯이 연마재의 입도가 #220보다 작아지면 사진 상에 보이는 단위면적당 연마재 개수는 적어지고, 연마재 입도의 크기는 커져

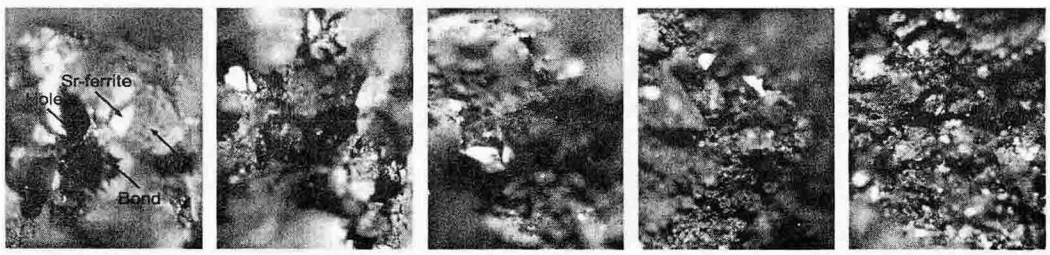
서 튜브 내표면을 거칠게 연마를 하여 표면거칠기 값은 연마재의 입도 #220에 비해서 악화됨을 발견할 수 있었다. 연마재 입도가 #220에서는 #180에 비해서 연마재 입도의 크기는 작아지고, 연마재의 집중도는 높아져서 튜브의 내표면을 평활하게 연마량은 최대가되서 자속밀도 1500G에서는 0.22㎛Ra을 얻을 수 있었다. 그리고 Fig. 3(d), (e)에서 볼 수 있듯이 연마재의 입도 #320에서 #220를 비교해 보면 연마재 입도의 크기는 작아지고, 연마재의 집중도는 높아지나 자성연마재 연마량이 감소하여 연마재의 입도 #220에 비해서 표면거칠기 값은 향상이 악화되었다고 판단된다. Fig 3.(a)에서 보듯이 Sr-ferrite와 입도 간에 bond를 통한 강한 결합이 이루어졌음을 알 수 있었다. 그러므로 외부의 어느 정도의 충격에 의해 Sr-ferrite의 이탈이 없으리라 사려되어 자성을 갖는 연마재로서의 미세 구조를 갖고 있음을 알 수 있었다.



(a) Abrasive mesh (b) Polishing speed

(c) Magnetic flux density (d) Feed rate

Fig 2. Surface roughness according to variations polishing condition



(a) #60 (b) #120 (c) #180 (d) #220 (e) #320

Fig 3. Photograph of magnetic abrasive particle by Microscope (Wa : Sr-ferrite = 1: 1)

3.2 연마속도의 변화가 튜브 내표면거칠기에 미치는 영향

연마속도의 변화가 STS304 튜브 내표면거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 자기연마 속도는 13, 26, 38.5, 63.6m/min로 변화를 주고, 자속밀도는 6000G, 자기연마재의 이송속도는 0.55mm/rev으로, 연마하여 가공결과는 Fig. 2(b)와 같다. 연마재의 입도 #60은 연마속도 26m/min에서 0.25㎛Ra의 표면거칠기 값을 얻을 수 있었고, 연마재의 입도 #120은 26m/min에서 0.26㎛Ra, 연마재의 입도 #180은 연마속도 38.5m/min에서 0.25㎛Ra, 연마재의 입도 #220은 38.5m/min에서 0.27㎛Ra, 연마재의 입도 #320은 63.6m/min에서 0.27㎛Ra값을 얻을 수 있었는데, 자기연마에서는 입도가 작으면, Fig 3(a), (b)에서 볼 수 있듯이 연마재 입도의 크기가 커서 거칠게 연마하기 때문에 연마속도 26m/min일때가 표면을 연마하기에 충분한 연마력이 생성됐다고 판단되고, Fig. 3(c), (d)에서 볼 수 있듯이 연마재의 입도가 #180, #220에서는 #60, #120에서보다 연마재 입도의 크기가 작아져서 연마속도가 38.5m/min가 좋은 표면거칠기 값을 얻을 수 있었다고 판단이 된다. 또 Fig. 3(e)에서 볼 수 있듯이 연마재 입도가 #320이면 #220에서보다 연마재 입도의 크기가 작아져서 연마속도 63.6m/min일때가 표면을 연마하기에 충분한 연마력이 생성되어 표면거칠기 값은 향상되었다고 판단된다.

3.3 자속밀도의 변화가 튜브 내표면거칠기에 미치는 영향

자속밀도의 변화에 따른 튜브 내표면거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 자속밀도는 1500, 3000, 4500, 6000G로 변화를 주고, 연마속도는 13, 26, 38.5, 63.6m/min, 연마재의 이송속도는 0.15mm/rev로 연마하여 자기연마재의 입도를 #60, #120, #180, #220, #320으로 변화를 주고 연마하여 가공결과는 Fig. 2(c)와 같다. 자속밀도 4500G일때는, 연마속도 13m/min에서 표면거칠기는 0.27㎛Ra, 연마속도 26m/min에서는 0.3㎛Ra, 연마속도 38.5m/min에서는 0.22㎛Ra를 얻을 수 있었다. 그러나 연마속도가 13, 26, 38.5m/min에서 자속밀도 6000G는 4500G보다 큰 자속밀도로 인해서 오히려 표면거칠기 값이 나빠졌다고 판단된다. 연마속도가 63.6m/min에서는 자속밀도가 1500G일때 내표면거칠기 값은 0.22㎛Ra의 값을 얻을 수 있었고, 3000G~4500G의 자속밀도에서는 튜브 내표면거칠기 값은 0.27, 0.32㎛Ra로 나빠지고, 6000G에서는 0.3㎛Ra로 좋아지는 경향은 튜브 내표면을 거칠게 가공을 했지만 그 가공깊이가 STS304 튜브 내면의 골까지 가공이 되서 표면거칠기 값이 4500G보다 좋아졌다고 사려된다. 연마속도 63.6m/min는 자속밀도 1500G에서 0.22㎛Ra 표면거칠기 값을 얻을 수 있었던 것은 연마재의 교반현상이 연마속도 38.5m/min일때보다 활발하게 일어나기 때문에, 평탄하게 연마를 하려면 낮은 자속밀도가 좋은 내표면거칠기 값을 얻을 수 있었다고 사려된다.

3.4 이송속도의 변화가 튜브 내표면거칠기에 미치는 영향

이송속도의 변화가 튜브 내표면거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 자기연마재의 이송속도는 0.15, 0.32, 0.55mm/rev로 변화를 주고, 연마속도는 38.5m/min, 자속밀도는 4500G로 연마하여 가공결과는 Fig. 2(d)이다. 연마재의 입도가 #60, #120은 이송속도

0.55mm/rev에서 내표면거칠기 값은 0.27㎛Ra값을 얻을 수 있었고, 연마재의 입도가 #180에서는 이송속도 0.15mm/rev일때 0.22㎛Ra, 연마재의 입도가 #220에서는 이송속도 0.15mm/rev에서 0.27㎛Ra, 연마재의 입도가 #320에서는 이송속도 0.15mm/rev에서 0.25 ㎛Ra을 얻을 수 있었다. 연마재의 입도가 #120전후 그래프 모습이 다른 것은 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 연마재의 입자크기에 원인이 있다고 판단이 된다. 연마재의 입도가 #60, #120은 이송을 0.55mm/rev으로 빠르게 해서 적게 연마하는 것이 0.15mm/rev으로 많이 연마하는 것보다 표면을 평탄하게 연마한다고 생각된다. 연마재의 입도가 #180, #220, #320은 입자자체가 작아서 이송속도를 0.15mm/rev으로 느리게 연마하는것이 표면을 평탄하게 했다고 판단이 된다.

4. 결 론

Sr-Ferrite를 함유한 자기연마재를 사용하여 STS 304 튜브 내면의 자기연마에 있어서 연마조건이 튜브 내표면거칠기에 미치는 영향을 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자성연마재의 입도 변화시 #220일때 0.22㎛Ra로 좋은 표면거칠기 값을 얻을 수 있었다.
2. 연마속도는 연마재의 입도가 #180에서 38.5m/min일때 0.25㎛Ra로 표면거칠기 값을 얻을 수 있었다.
3. 자속밀도는 연마속도가 38.5m/min에서 4500G일때 표면거칠기 값은 0.22㎛Ra를 얻을 수 있었고, 연마속도 63.6m/min일때는 1500G에서 표면거칠기 값은 0.22㎛Ra로 양호한 표면거칠기 값을 얻을 수 있었다.
4. 이송속도의 변화는 연마재 입도가 #180에서 0.15mm/rev일때에 0.22㎛Ra로 양호한 표면거칠기 값을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1) H. Yamaguchi, T. Shinmura, T. Kaneko, "Development of a New Internal Finishing Process Applying Magnetic Abrasive Finishing by Use of Pole Rotation System", Int. Journal of JSPE, Vol. 30, No. 4, pp.317-322, 1966.
2) M. Anzai, T. 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) T. Shinmura, H. Yamaguchi, "磁氣研磨法による內面の平滑加工に關する研究", 日本機械學會論文集 第59卷 560号, pp.293-299, 1993.
4) T. Shinmura, Y. Hamano, H. Yamaguchi, "磁氣研磨法による內面の精密バリ取りに關する研究(第1報)", 日本機械學會論文集 第64卷 620号, pp.312- 318, 1998.

5) T. Shinmura and T. Aizawa, "磁氣硏磨法による非磁性圓管內面の平滑加工に關する硏究", JPSE-54-04-767, 1987
6) T. Shinmura, "磁氣硏磨法による円管內面のバリ處理技術", 機械技術, 第44卷,第2号, pp.24-28, 1996.
7) H. Yamaguchi, T. Shinmura, "內面磁氣硏法における磁性砥粒の特異な擧動と加工能率向上効果", 機械と工具, pp.89-93, 1999.
8) H.N. Kim, Y.K. Yun, J.W. Shim, "Ultra Finishing by Magnet-Abrasive Grinding for Internal-face of STS304 Pipe", Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, pp.947-952, 2001.10.
9) H.N. Kim, Y.K. Yun, J.W. Shim, "Super Precision Finishing of Internal-face in STS304 Pipe Using The Magnetic Abrasive Polishing", Journal of the Korea Institute of Industrial Safety, Vol. 17, No. 3. pp.30-35, 2002.
10) H.N. Kim, S.K. Song, Y.J. Chung, Y.K. Yun, H.W. Kim, S.W. Cho, J.W. Shim, "Development of The Magnetic Abrasive Using Ba-Ferrite", Journal of the Korea Institute of Industrial Safety, Vol. 18, No. 2. pp.46-49, 2003.
11) H.N. Kim, S.K. Song, Y.K. Yun, H.W. Kim, S.B. Kim, H.J. Ahn, J.W. Shim, "The Effects of Ba-Ferrite Magnetic Abrasive Behavior on Polishing Characteristics", Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, pp.565-568, 2003.6.
12) H.N. Kim, D.W. Soh, Y.K. Yun, S.B. Kim, H.S. Choi, "Magnet-Abrasive Polishing for Internal-face of Seamless Stainless Steel Tube Using Sludge-abrasive Grain", Proceeding of the Korean Society of Automotive Engineers Conference, pp.867-872, 2003.11.
13) M. Anzai, T. Sudo and T. Nakagawa, "磁氣硏磨用砥粒の新製造技術とその硏磨特性", 生産硏究 第43卷 第11号, pp.13-22, 1991.