

Sr 페라이트의 총형연삭특성

김성청*, 이재우**

Form Grinding Characteristics of Sr Ferrite

Sung-Chung Kim*, Jae-Woo Lee**

ABSTRACT

This paper aims to clarify the effects of grinding conditions in form grinding of Sr-ferrite with the electro-plated diamond wheel. The main conclusions obtained were as follows. (1) The flexural strength and surface roughness of ferrite became the best at the peripheral wheel speed of 1700 m/min. (2) In the case of the depth of cut larger than 0.4mm, crack layers is induced in the ground surface, and the fracture type of chips exhibits slight ductile mode in the depth of cut smaller than 0.2mm. (3) When the depth of cut exceeds 0.6mm, the wheel life becomes extremely severe due to the large chipping and brackage in the diamond grains. However, at the depth of cut ≤ 0.05 mm, the diamond grain shows abrasive wear. (4) The decrease of flexural strength and the increase of surface roughness is in proportion to the increase of the feed rate. (5) Most effective nozzle setting angles with various delivery conditions of the grinding fluid, such as nozzle position θ , flow rate Q, etc., were made clear.

Key Words : Sr ferrite(페라이트), Form grinding(총형연삭), grinding condition(연삭조건), Wheel life(숫돌수명), Grinding fluid(연삭유)

1. 서론

우수한 자기 성질을 가지고 있는 Sr 페라이트는 모터 및 자기 드럼 등의 핵심 부품으로써 널리 사용되고 있으며, 그 용도 개발이 활발히 이루어지고 있다. 페라이트는 성형, 소결에 의해 제조되는데, 소결시는 수축이 동반되며, 성형시의 밀도를 균일하게 하는 것이 곤란하므로, 특히 형상이 복잡한 경우, 소결만에 의해, 제품의 형상·치

수를 충족시키는 것은 일반적으로 가능하지 않다.

따라서, 소결후 기계가공이 필수 불가결하게 되는데, Sr 페라이트의 높은 경취성 때문에, 가공 방법으로써 연삭과 같은 지립가공이 주체가 되나, 연삭가공시 가공 능률이 매우 낮고, 가공시의 표면부 손상에 따른 강도 및 내마모성 저하가 큰 문제로 되어 있다. 특히, 모터용의 부품으로써 사용하는 경우, 가공면이 곡면이므로 다이아몬드 숫돌에 의한 총형연삭이 행해지고 있으나, 연삭가공시에

* 충북대학교 정밀기계공학과

** 두원공업전문대학 기계과

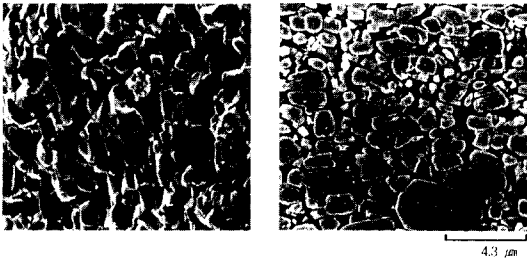
파손 및 크랙 생성이 현저히 발생하여, 불량율이 상당히 높아지게 된다.

그러나, 통상의 엔지니어링 세라믹의 연삭에 관한 연구는 상당수 보고되어 왔으나, 연삭기구 및 재료의 성질이 매우 상이한, 페라이트의 연삭에 대한 연구보고가 그다지 없는⁽¹⁻⁴⁾ 관계로, 페라이트 연삭시의 연삭기구 및 결합 발생 원인이 분명히 밝혀져 있지 않아, 연삭가공의 문제 해결에 큰 어려움이 있었다. 그래서, 본 연구에서는 전착 다이아몬드 스톨을 사용한 Sr 페라이트의 총형 연삭에서 원주속도, 연삭깊이, 이송속도 및 연삭유 분사조건을 영향을 검토하였다.

2. 실험방법

실험에 사용한 피삭재는 $SrO \cdot 6Fe_2O_3$ 조성의 Sr 페라이트로서 0.45 wt%의 CaO 와 0.36 wt%의 SiO_2 를 함유하고 있으며, 피삭재의 물리적 성질은 밀도 3.8 g/cm^3 , 항절강도 650 MPa, 경도 80 HRA, 영율 300 GPa, 열팽창률 $7.9 \times 10^{-6} \text{ cm/}^\circ\text{C}$, 열전도율 $0.05 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ 이다.

Fig. 1은 Sr 페라이트의 SEM 사진을 보여주고, Fig. 1(a)는 파면의 조직사진, Fig. 1(b)는 폴리싱후 HCl 용액으로 에칭 처리한 조직 사진을 보여 주는데, 각 결정 입자가 치밀하게 결합되어 있음을 알 수 있다.



(a) fractured surface (b) Polished and etched surface

Fig. 1 Microstructures of Sr-Ferrite

연삭실험은, 고강성, 횡축 정밀 연삭기에 의해 상향 연삭을 행하였다. 또한, Fig. 2는 피삭재의 형상과 항절시험 방식을 보여준다. 연삭실험에 사용된 시편은, 원료 합성으로부터 소결단계 까지의 모든 공정에서 결합이 생성되지 않도록 신중한 조건하에서 채취하였으며, 항절시험은 각 조건 당 84개의 시편에 대해 파괴시의 하중을 취하고, 최저치 4개를 제외한 80개의 시험 결과로부터 평균값을 구하였다.

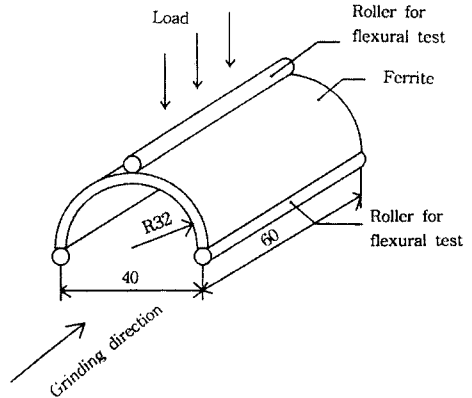


Fig. 2 Schematic view of ferrite for the grinding and flexural test [unit : mm]

Table 1은 사용 스톨 및 연삭조건을 보여준다. 다이아몬드 스톨의 원주 속도, 연삭깊이 및 이송속도의 영향을 조사하기 위하여, 각 조건을 변화시켜 연삭 하였다.

Table 1 Grinding conditions

Grinding method	Form grinding, Up-cut
Grinding wheel	Electroplated SD 80-P
Peripheral wheel speed, V	1100~2200 m/min
Wheel depth of cut, D	0.05~0.6 mm
Feed rate, F	0.2~1.0 m/min
Grinding fluid	Water
Flow rate, Q	8, 15, 22 l/min
Nozzle orifice crosssection	Diameter = 10 mm
Nozzle setting angle, θ_n	0° , horizontal, 90°
Nozzle position, ϕ	20° , 40° , 60°

또한, 연삭유 분사를 위한 노즐의 설치각도(θ_n)를 Fig. 3에서 보여주는 바와 같이 3종류로 변화시켰다. 즉, (1) 노즐을 스톨 외주면에서 직각으로 향하게 한다($\theta_n = 90^\circ$), (2) 노즐을 수평으로 설치한다, (3) 노즐을 쇠기부를 향하게 한다($\theta_n = 0^\circ$).

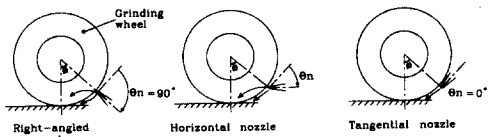


Fig. 3 Setting form of fluid nozzle

이후, 이것들을 각각 직각 노즐, 수평 노즐, 접선 노즐이라 부르기로 하며, 또한 각각의 노즐설치각도에서 노즐설치위치(θ°)를 20° , 40° 및 60° 로 변화시켰다. 노즐설치조건을 조사하기 위한 모든 실험에서는 원주속도, 연삭깊이 및 이송속도를 각각, $V = 1700$ m/min, $D = 0.2$ mm, $F = 0.4$ m/min로 일정하게 유지하였다. 한편, 노즐 설치 조건의 영향을 조사한 실험 이외에는, 접선 노즐($\theta_n = 0^\circ$), 노즐설치위치 $\theta = 20^\circ$ 및 유량 22 l/min로서 연삭유에 대한 조건을 균일하게 하였다.

다이아몬드 스톨은 입도 #80의 전착다이아몬드 스톨로서, 일정 시간 연삭후, 2단 레프리카법을 사용하여, 다이아몬드 입자의 마모 상태를 SEM 으로 관찰하였다. 또한, 연삭면의 표면거칠기는 촉침식 표면거칠기 측정 장치를 사용하여 연삭방향과 직각으로 측정하였다. 또한, 연삭칩의 생성 기구를 검토하기 위하여 연삭시 생성된 연삭칩을 이중 테이프에 붙여 SEM 으로 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 원주속도의 영향

Fig. 4는 원주속도를 변화시킨 경우의 항절강도 및 표면거칠기를 보여준다.

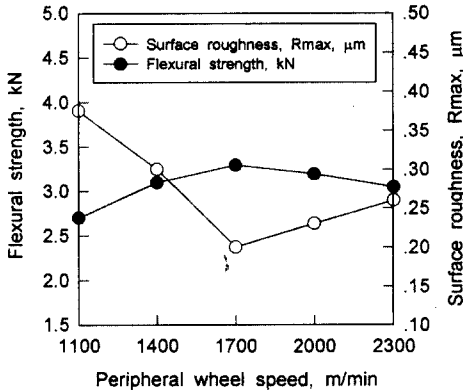


Fig. 4 Effect of peripheral wheel speed on flexural strength and surface roughness

$F = 0.4$ m/min, $D = 0.2$ mm, $Q = 22$ l/min, Tangential nozzle($\theta_n = 0^\circ$) $\theta = 20^\circ$

원주속도 1700 m/min에서 항절강도가 약 3.3 kN 으로서, 최고치를 보여주고 있으며, 원주속도가 낮아지면 항절강도가 저하하고 있으며, 또한, 원주속도가 높아짐에 따라 다시 항절강도가 저하함을 보여준다.

한편, 표면거칠기는, 원주속도 1700 m/min에서, $R_{max} = 0.2 \mu\text{m}$ 으로서 최저치를 보여주며, 원주속도가 낮을 수록 표면거칠기가 커지며, 원주속도가 1700 m/min 보다 큰 경우는 1700 m/min의 경우에 비해 표면거칠기가 다소 나빠지게 됨을 알 수 있다. 따라서, 원주속도는 1700 m/min가 가장 적합하다고 할 수 있다.

Fig. 5는 원주속도를 변화시킨 경우의 연삭면의 대표적인 SEM 사진을 보여준다.

Fig. 5(a)는 원주속도 1000 m/min인 경우의 연삭면, Fig. 5(b)는 1700 m/min에서의 연삭면을 보여준다.

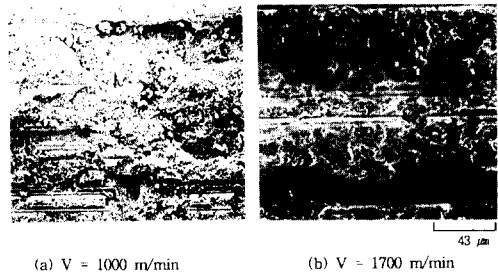


Fig. 5 SEM photographs of ground surface obtained at different peripheral wheel speed

$F = 0.4$ m/min, $D = 0.2$ mm, $Q = 22$ l/min, Tangential nozzle($\theta_n = 0^\circ$), $\theta = 20^\circ$

1300 m/min의 경우는 1000 m/min의 경우와 거의 유사한 경향을 보여 주었으며, 2000 m/min의 경우는 1700 m/min의 연삭면과 거의 유사하였다. 1000 m/min 및 1400 m/min의 원주속도에서는 연삭시 스톨 입자의 절입에 의해 주로 취성파괴에 의해 연삭면이 생성되었음을 보여주며, 1700 m/min 이상에서는 소성유동이 다소 이루어졌음을 보여준다.

3.2 연삭깊이의 영향

Fig. 6은 연삭깊이를 변화시킨 경우의 항절강도 및 표면 거칠기를 보여준다.

연삭깊이가 0.05 mm인 경우, 항절강도가 4 kN 으로서 가장 높으며, 연삭깊이가 0.6 mm로 커짐에 따라 항절강도가 현저히 저하하고 있다.

또한, 연삭깊이 0.05 mm인 경우, 표면거칠기가 $0.11 \mu\text{m}$ 으로서 최소치를 나타내었으며, 연삭깊이가 0.6 mm으로 커짐에 따라 표면거칠기가 약 5배로 증가함으로써, 표면거칠기는 연삭깊이의 영향을 크게 받음을 알 수 있다. 이것은 연삭깊이가 커짐에 따라 연삭시에 피삭재의

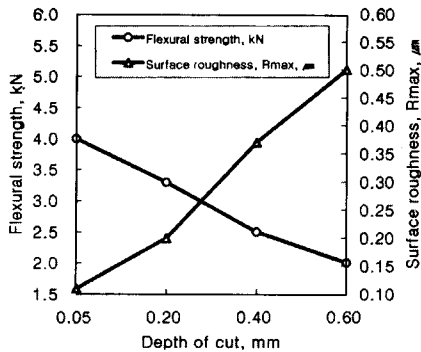


Fig. 6 Effects of the grinding depth of cut on flexural strength and surface roughness
 $V = 1700 \text{ m/min}$, $F = 0.4 \text{ m/min}$, $Q = 22 \text{ l/min}$, Tangential nozzle($\theta_n = 0^\circ$), $\phi = 20^\circ$

파괴 규모가 커지기 때문이라 할 수 있다.

Fig. 7은 연삭깊이를 변화시킨 경우의 대표적인 SEM 사진을 보여준다. 연삭깊이가 0.05 mm 인 경우, 연삭흔이 미세하게 되어 있는 매우 평활한 면을 보여주고 있으며, 연삭시에 슷돌 입자의 절입이 행해질 때, 취성파괴 보다도 소성유동이 많이 일어나고 있음을 알 수 있다.

연삭깊이가 0.2 mm 에서는 연삭시 취성파괴의 흔적이 많이 나타나 있으며, 부분적으로 소성유동의 흔적이 보이고, 연삭깊이 0.4 mm에서는 연삭면에 크랙이 일부 생성

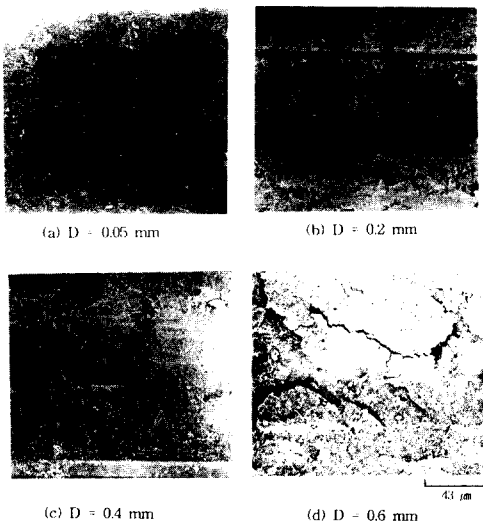


Fig. 7 SEM photographs of ground surface obtained at different grinding depth
 $V = 1700 \text{ m/min}$, $F = 0.4 \text{ m/min}$, $Q = 22 \text{ l/min}$, Tangential nozzle($\theta_n = 0^\circ$), $\phi = 20^\circ$

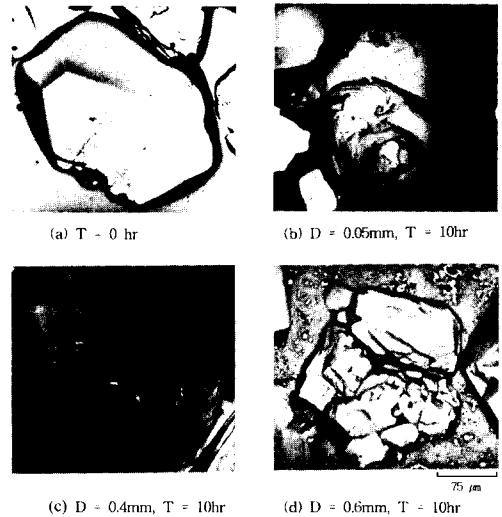


Fig. 8 SEM photographs of diamond grains after grinding in different grinding depth
 $V = 1700 \text{ m/min}$, $F = 0.4 \text{ m/min}$, $Q = 22 \text{ l/min}$, Tangential nozzle($\theta_n = 0^\circ$), $\phi = 20^\circ$

되어 있으며, 연삭깊이 0.6 mm 이상에서는 크랙이 다량 발생되었음을 보여 주었다.

따라서 적절한 연삭깊이는 0.2 mm 이하가 됨을 알 수 있다. 이러한 결과로부터, Fig. 6에서 연삭깊이 0.4 mm 이상의 경우, 항절강도가 급격히 낮아지는 원인은 이러한 연삭면의 크랙생성이 주 원인인 것으로 생각된다.

Fig. 8은 연삭깊이를 변화시킨 경우의 10시간 연삭후의 다이아몬드 슷돌의 마모 상태를 보여주는 SEM 사진이며, 비교를 위해 사용 전의 다이아몬드 슷돌을 Fig. 8(a)에 보여준다.

Fig. 8(a)의 사용전 다이아몬드 슷돌에서는 예리한 절삭날이 명확히 나타나 있다.

Fig. 8(b)는 연삭깊이 0.05 mm인 때의 슷돌 입자를 보여주며, 어브레시브마모가 주 마모 기구인 것으로 보여진다. 한편, 연삭깊이 0.4 mm에서는 Fig. 8(c)와 같이 슷돌 입자의 표면부에서 미세한 칩핑이 일어나고, 일부는 어브레시브 마모로 된다. 또한 연삭깊이 0.6 mm 에서는 Fig. 8(d)에서 보여주는 바와 같이, 파손 및 칩핑 현상이 현저히 일어나고 있음을 알 수 있다. 따라서 연삭깊이 0.6 mm 이상에서는 연삭스틀의 수명이 극단적으로 낮아지게 된다.

3.3 이송속도의 영향

Fig. 9는 이송속도를 변화시킨 경우의 항절강도 및 표

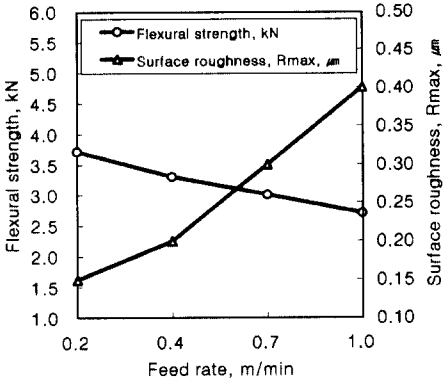


Fig. 9 Effect of feed rate on flexural strength and surface roughness

V = 1700 m/min, D = 0.2 mm, Q = 22 l/min, Tangential nozzle($\theta_n=0^\circ$), $\phi = 20^\circ$

면거칠기를 보여준다.

이송속도가 0.2 m/min인 경우, 항절강도가 3.72 kN 이었으며, 이송속도가 커질수록 항절강도가 급격히 낮아지고 있다. 또한, 이송속도가 0.2 m/min인 경우, 표면거칠기가 0.16 μm 이었으며, 이송속도가 증가함에 따라, 표면거칠기가 비례적으로 급격히 높아짐을 보여 준다.

Fig. 10은 이송속도를 변화시킨 경우의 연삭칩의 SEM 사진을 보여준다. Fig. 10(a)에서 보여주는 바와 같이, 이송속도 0.2 m/min에서는 미세한 연삭칩이 대부

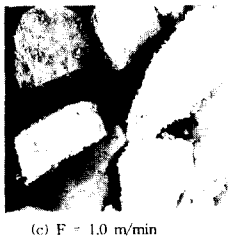
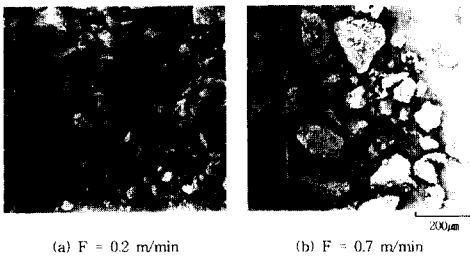


Fig. 10 SEM photographs of chips formed at different feed rate

V = 1700 m/min, D = 0.2 mm, Q = 22 l/min, Tangential nozzle($\theta_n=0^\circ$), $\phi = 20^\circ$

분을 차지하는데 비해, Fig. 10(b), (c)에 보여주는 바와 같이, 이송속도가 커질 수록 연삭칩의 크기가 커지고 있으며, 특히 이송속도 1 m/min에서는 상당히 큰 괴상의 연삭칩이 많아지게 된다.

따라서, Fig. 9에서 이송속도가 증가함에 따라 표면거칠기가 커진 것은, 이송속도가 커짐에 따라 슛들 입자 당의 연삭깊이가 커져서, 파괴 규모가 크게 된 것이 원인의 하나로 생각되어 진다.

또한, 이송속도의 증대에 따른 항절강도의 저하는, 이송속도의 증대에 따라 파괴 규모가 커지므로, 연삭시에 생성되는 표면부 결함량이 많아지게 되는 것이 주 원인으로 생각되어 진다.

3.4 연삭유 노즐 설치 조건의 영향

Fig. 11에는, 직각 노즐($\theta_n=90^\circ$)에 대하여, ϕ 및 Q를 변화시킨 경우의 항절강도의 변화를 보여준다. Sr 페라이트의 연삭에서는 유량 및 노즐의 설치 각도에 따른 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있으며, 동일한 노즐설정위치(ϕ°)에서 유량 8 l/min에 비해 22 l/min의 경우가 항절강도가 약 400 N 높아지게 된다. 또한 동일 유량에서는 노즐설정위치(ϕ°)가 작을 수록 항절강도가 높아지게 된다.

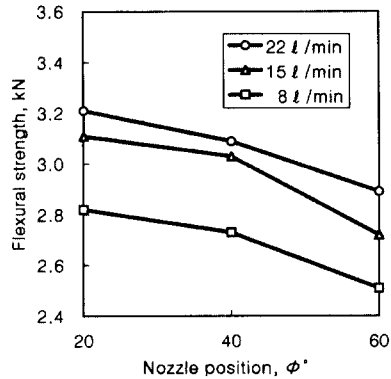


Fig. 11 Relation between flexural strength and ϕ with the right-angled nozzle

V = 1700 m/min, D = 0.2 mm, F = 0.4 m/min, Q = 22, 15, 8 l/min

Fig. 12는 접선 노즐에 대하여, ϕ 및 Q를 변화시킨 경우의 항절강도의 변화를 보여준다.

유량이 적은 경우에 비해 유량이 많은 때가 노즐설정위치(ϕ°)의 변화에 따른 영향이 큼을 알 수 있다. 또한 노즐설정위치(ϕ°)가 작은 경우가 큰 경우에 비해, 유량의

영향을 현저히 크게 받음을 알 수 있다. Fig. 13은 수평 노즐에 대하여, ϕ 및 Q를 변화시킨 경우의 항절강도의 변화를 보여준다. 이 경우에는 모든 노즐설정위치(ϕ°)에

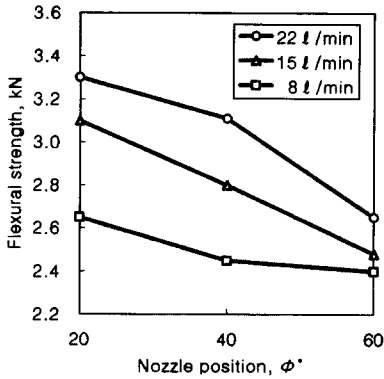


Fig. 12 Relation between flexural strength and ϕ with the tangential nozzle
 V = 1700 m/min, D = 0.2 mm, F = 0.4 m/min, Q = 22, 15, 8 l/min

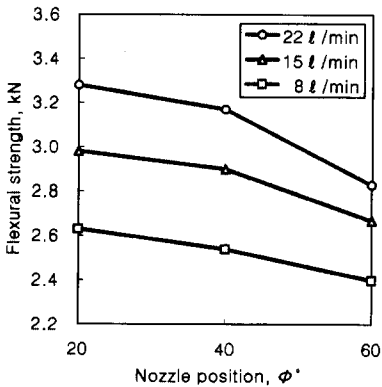


Fig. 13 Relationship between flexural strength and ϕ with the horizontal nozzle
 V = 1700 m/min, D = 0.2 mm, F = 0.4 m/min, Q = 22, 15, 8 l/min

서 유량의 영향이 유사한 정도로 작용하고 있다

Fig. 11~13의 결과를 종합해 볼 때, 다음과 같은 사실을 알 수 있다. 즉, 연삭가공에 따른 항절강도의 저하를 최소화하기 위하여는, 공급 유량 Q를 많게 하고, 노즐설정위치(ϕ°)를 가능한 한 작게 하고, 노즐설치각도(θ_n)는 0° 로 하는 것이 이상적인 것이다. 그러나 현실적으로는, 대단히 좁은 노즐 설치 공간, 펌프의 용량부족등의 원인에 의해, ϕ 및 Q에는 어느 정도의 제약 조건이 생기는 경우가 많다고 생각 되어진다. 그와 같은 경우, 예를 들면

ϕ 를 작게 하는데는 문제가 있으나 Q의 용량에 비교적 여유가 있는 경우에는, 노즐 설치각도(θ_n)는 ϕ 의 증대에 따라 $0^\circ \rightarrow$ 수평 $\rightarrow 90^\circ$ 로 증대시키는 것이 바람직하게 된다. 한편, Q의 용량도 부족한 그런 조건하에서는, ϕ 의 대소에 관계없이 노즐 설치각도 $\theta_n = 90^\circ$, 즉 노즐을 슷돌 외주면에 직각으로 향하여 공급하는 것이 바람직하다.

4. 결론

전착다이아몬드 슷돌을 사용한 Sr 페라이트의 총형 연삭에서 연삭조건 영향의 검토한 결과 다음과 같은 결론이 얻어졌다.

1) 슷돌의 원주속도 1700 m/min에서 연삭한 경우의 피삭재가 가장 높은 항절강도를 나타내었으며, 이 경우 연삭면의 표면거칠기도 가장 낮게 된다.

2) 연삭깊이가 0.4 mm 이상인 경우, 연삭면에 현저한 크랙이 생성되며, 연삭깊이 0.2 mm 이하에서는, 연삭깊이가 작을 수록 연삭면의 생성은 연성 거동이 커지게 된다.

3) 연삭깊이가 0.05 mm 이하인 경우의 다이아몬드 슷돌 입자는 어브레시브 마모를 보여주며, 연삭깊이 0.6 mm 이상의 경우는 다이아몬드 입자가 대규모 칩핑, 파손을 일으켜 슷돌의 수명이 급격히 짧아지게 된다.

4) 이송속도가 커짐에 따른 항절강도의 저하 및 표면거칠기의 증가는 비례적인 경향을 보여주게 된다.

5) 연삭에 따른 항절강도의 저하를 최소화하기 위해서는, 공급 유량 Q를 많게 하고, 노즐설정위치(ϕ°)를 가능한 한 작게 하고, 노즐설치각도(θ_n)는 0° 로 하는 것이 바람직하다.

6) 노즐설정위치 ϕ 를 작게 하는 것이 곤란한 상태에서, 연삭유량 Q에 비교적 여유가 있는 경우에는, 노즐 설치각도(θ_n)은 ϕ 의 증대에 따라 $0^\circ \rightarrow$ 수평 $\rightarrow 90^\circ$ 로 증대시키는 것이 바람직하다. 한편, Q의 용량도 부족한 조건하에서는, ϕ 의 대소에 관계없이 $\theta_n = 90^\circ$ 로 공급하는 것이 바람직하다.

참고 문헌

1. Y. Ohbuchi and T. Matsuo, "Chipping in High-Precision Slot Grinding of Mn-Zn Ferrite", Annals of the CIRP, Vol. 44, No. 1, pp. 273-277, 1995.

2. S. Chandrasekar, M. C. Show and B. Bhushan, "Comparison of Grinding and Lapping of Ferrite and Metals", Trans. ASME, Ser.B, Vol. 109, pp. 83-88, 1987.
3. S. Miyake, J. Watanabe, Y. Ueno and K. Tsuruta, "Ferrites Precision Grinding (1st Report)", Journal of JSPE, Vol. 43, No. 12, pp. 1415-1420, 1977.
4. M. Makino, K. Nakata and T. Omura, "Precision Machining in the manufacture of Magnetic Heads", Proc. of 6th ICPE, 323-328, 1987.