

Ni-Zn 페라이트의 평면 연삭 특성

김 성 청 · 이 재 우

충북대학교 기계공학부

Study on Surface Grinding Characteristics of Ni-Zn Ferrite

Sung-Chung Kim and Jae-Woo Lee

Chungbuk National University

Key words : Ferrite(페라이트), Surface grinding(평면연삭), Grinding condition(연삭조건), Bending strength(굽힘강도), Surface roughness(표면거칠기)

Abstract

This paper aims to clarify the effects of grinding conditions on the ground surface and bending strength in surface grinding of various ferrites with diamond wheel. The main conclusions obtained were as follows. The surface roughness becomes better at lower wheel speed in the case of $v/V=1 \times 10^{-3}$, and the condition of $v/V=1 \times 10^{-4}$ shows the best performance for the finish grinding. When the relative contact temperature becomes lower at a constant value of v/V , the ground surface exhibits lower roughness. The ground surface shows that the fracture process during grinding becomes more brittle at the higher value of v/V . The damage depth which affect the bending strength is below $10 \mu\text{m}$ in the grinding condition of $S=10 \text{ mm}^3/\text{mm} \cdot \text{s}$ with the diamond tool after dressing & truing, however, the depth increases with increasing removal rate(S). When the strength degradation due to grinding is larger, the removal depth for the recovery of strength requires a larger size.

1. 서 론

우수한 자기(magnetic) 성질을 가지고 있는 페라이트는 모터 및 자기 드럼 등의 핵심 부품으로 널리 사용되고 있으며, 그 용도 개발이 활발히 이루어지고 있다. 페라이트는 소결후에 기계가공이 필수 불가결하게 되는데, 페라이트의 높은 경취성 때문에 가공 방법으로써 연삭등과 같이 다이아몬드숫돌입자를 사용한 지립가공이 주체가 되어 있다. 그러나 다이아몬드숫돌에 의한 페라이트의 연삭가공은 가공 능률이 매우 낮고, 가공시의 표면부 손상에 따른 강도 및 내마멸성 저하

가 큰 문제로 되어 있으며^(1~2), 표면거칠기의 요구 조건도 만족되지 못하는 경우가 많다. .

그러나, 통상의 엔지니어링 세라믹 연삭에 관한 연구는 국내외에서 상당수 보고⁽³⁾되어 왔으나, 엔지니어링 세라믹과는 연삭기구 및 재료의 성질이 매우 상이한, 다결정 페라이트의 연삭에 대한 연구보고가 그다지 없는 관계로, 페라이트 연삭시의 연삭기구 및 강도에 미치는 연삭조건 영향이 분명히 밝혀져 있지 않아, 페라이트 연삭가공의 문제 해결에 큰 어려움이 있었다.

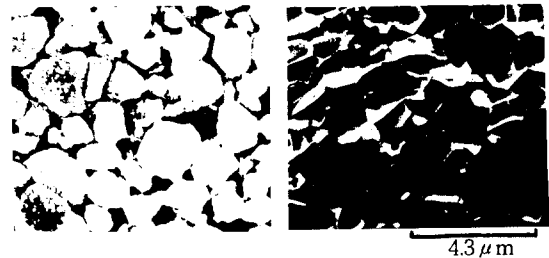
따라서 본 연구에서는 다이아몬드 숫돌을 사용하여, Ni-Zn 페라이트를 평면 연삭하였을 때에

굽힘강도 및 표면거칠기에 미치는 연삭조건의 영향을 검토하였다.

2. 실험 방법

연삭실험에 사용된 피삭재는, 원료 합성으로부터 소결단계까지의 모든 공정에서 결합이 생성되지 않도록 신중한 조건하에서 채취하였다. Table 1에 피삭재인 Ni-Zn 페라이트의 물리적, 기계적성질을 보여 준다. Fig. 1은 Ni-Zn 페라이트의 SEM 파면조직 사진을 나타내며, Fig. 1(a)는 파면의 조직사진, Fig. 1(b)는 폴리싱후 HCl 용액으로 에칭 처리한 조직을 보여주는데, 각 결정 입자가 치밀하게 결합되어 있음을 알 수 있다. 공작물은 압출방향이 시험편의 길이 방향이 되도록 절단하고 절단에 따른 영향을 제거하기 위해 강도에 영향을 미치는 시험편의 4 면에 대해, 다이아몬드숫돌 SD200R100B, 숫돌원주속도 1800 m/min, 연삭깊이 10 μm , 공작물 이송속도 6 m/min에서, 최소 200 μm 깊이를 길이방향으로 연삭·제거한 후에 이전 가공의 영향을 배제하기 위하여 한 면을 래핑 가공으로 200 μm 의 깊이를 제거하여 4.5 \times 5 \times 40 mm 크기로 만든 후, 래핑 가공면층의 두께 0.5 mm를 거친 연삭조건으로 상향 플런지 연삭 하고, 그 후 각종 다듬질 연삭 조건으로 연삭 하였다. 연삭실험은 고강성, 횡축 정밀 연삭기로 행하였고, 연삭조건은 Table 2에 보여주며 거친 연삭조건은 가공후의 공작물강도

가 현저히 저하하는 조건을 선정 하였다. 즉, 연삭방향을 공작물의 길이 방향과 직각으로 되도록 하고, 이러한 거친 연삭조건은 연삭능률이 높다. 다듬질 연삭에서는 연삭 표면층 제거에 의한 강도회복조건을 검토하기 위하여 연삭후의 공작물 강도가 저하되지 않는 조건, 즉 연삭능률이 낮은 조건을 선정 하였다. 또한 만능시험기(INSTRON 4467)를 사용하여 연삭가공후의 굽힘강도를 시험하는 방법은 Table 3에서 보여주는 바와 같으며, 연삭면을 굽힘시험시의 인장축에 두었으며 각 연삭조건당의 시험편은 30개로 하고 평균값을 취하였다. Table 1의 굽힘강도는 입도 #200의 래진본 드다이아몬드숫돌을 사용하여, 숫돌원주속도 1800 m/min, 연삭깊이 5 μm , 공작물 이송속도 9 m/min에서 시험편의 길이방향으로 평면연삭하여 4.1 \times 5 \times 40 mm 크기의 시험편을 30개 만들고, 다이아몬드래핑 머신에서 시험편의 표면을 약 100 μm 제거하여 Table 3에 나타낸 바와 같이 시



(a) Fractured surface (b) Polished & etched

Fig. 1 SEM photographs of fractured surfaces of various ferrites

Table 1 Mechanical and physical properties of Ni-Zn ferrite

Property	Composition	Ni-Zn
Density	g/cm^3	6.2
Hardness	HRA	78
Bending strength (Lapped, 4-point bending)	kg/mm^2	30
Fracture toughness, K_{IC}	$\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$	6.1
Young's modulus	GPa	200
Thermal conductivity	$\text{W/m} \cdot \text{K}$	28
Thermal expansion coefficient	$10^{-6}/\text{K}$	6.3
Sintering		Cold pressed

Table 2 Grinding conditions

Grinding method	Wet surface grinding, Up cut
Grinding wheel	SD800R100B, SD3000R100B, SD160R100B Dimension : $200^D \times 10^T \times 50.8^H$
Peripheral wheel speed, V	600 ~ 2600 m/min
workpiece speed, v	0.006 ~ 26 m/min
Speed ratio, v/V	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-2}$
Wheel depth of cut, t	6 μm
Grinding width, b	5 mm
Grinding fluid	Soluble type KS W2 2% dilution, 8 ℓ/min
Workpiece size for grinding force and wheel wear test	$100^{(\text{length})} \times 5^{(\text{width})} \times 25^{(\text{height})}$
Dressing	Vitrified silicon carbide(#180), Rotary wheel
Truing	#70 diamond truer

Table 3 Conditions for bending test

Test method	4-points bending test
Servo system	Electron hydraulics
Atmosphere	In atmospheric air
Cross head speed	0.1 mm/min
Support	Ø5 mm Round bar (Steel)

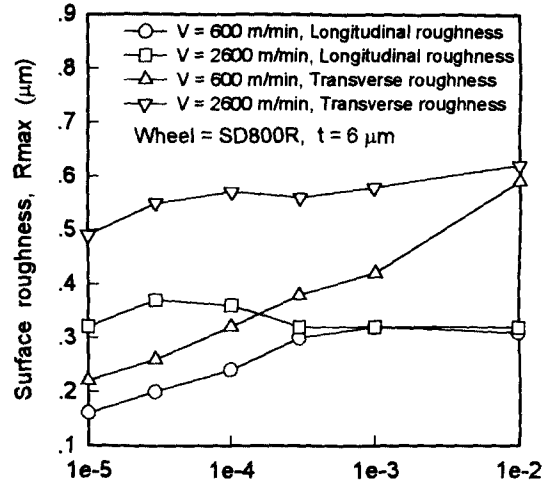
험편의 치수를 4×5×40로 맞추고, 랩핑한 면을 인장 측에 두어 4점 굽힘시험을 행하여 평균값을 구한 것이며, 이하 이 굽힘강도값을 고유굽힘강도(Inherent bending strength)라 한다.

접선연삭분력(F_t)은 연삭동력계 KISTLER 9257A를 사용하였고, 표면거칠기는 접촉식 표면거칠기 시험기인 Form Talsurf Plus를 사용하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 표면거칠기에 미치는 연삭조건도의 영향

Fig. 2는 SD800R의 다이아몬드숫돌을 사용하여 숫돌 원주속도 V 를 600 및 2600 m/min으로 하고, 숫돌과 공작물과의 속도비 v/V 를 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-2}$ 로 광범위하게 변화시켜 연삭한 경우의 연삭방향 및 그 직각 방향의 R_{max} 를 나타낸 것으로, 연삭깊이 t 는 $6 \mu\text{m}$ 이었다. Fig. 2로부터 알 수 있는 바와 같이 V 가 2600 m/min의 경우의 R_{max} 는, V 가 600 m/min의 경우에 비하여 크고, v/V 에 따른 변화는 그다지 나타나지 않지만 V 가 600 m/min의 경우는 v/V 의 값이 1×10^{-5} 이하의 범위에서 v/V 의 값이 감소함에 따라 R_{max} 는 작아지게 되며 숫돌 원주속도가 낮을 때에 연삭면의 거칠기는 양호하게 된다. 또한 연삭방향과 직각 방향의 R_{max} 는 드레싱의 상태에 따른 영향이 크게 나타나고 일반적으로 연삭방향에 비해 크다고 할 수 있다.



Workpiece speed vs. wheel speed, v/V

Fig. 2 Effect of grinding condition on roughness of ground surface

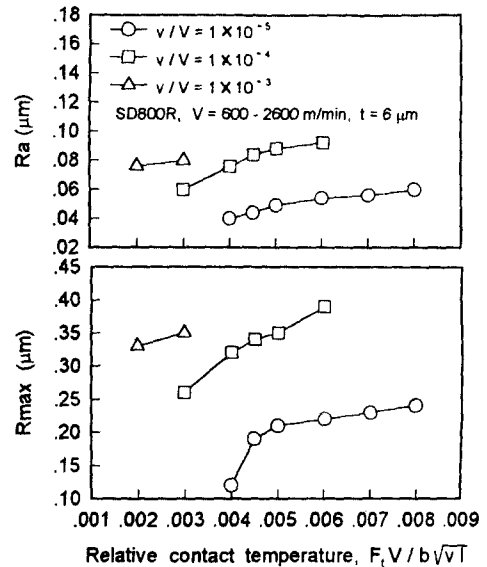


Fig. 3 Effect of relative contact temperature on longitudinal roughness of ground surface

한편 연삭온도의 측정이 곤란하기 때문에 이동 열원에 의한 숫돌과 공작물간의 접촉면 온도의 상대치 $F_t V / b \sqrt{v} \sqrt{l}$ ($l = \sqrt{tD}$: 접촉길이)⁽⁴⁾를 기초로 하여 SD800R 다이아몬드 숫돌을 사용한 경우의 R_{max} 및 Ra 에 미치는 연삭온도의 영향을 나타낸 것이 Fig. 3이다. Fig. 2 및 Fig. 3으로 부터

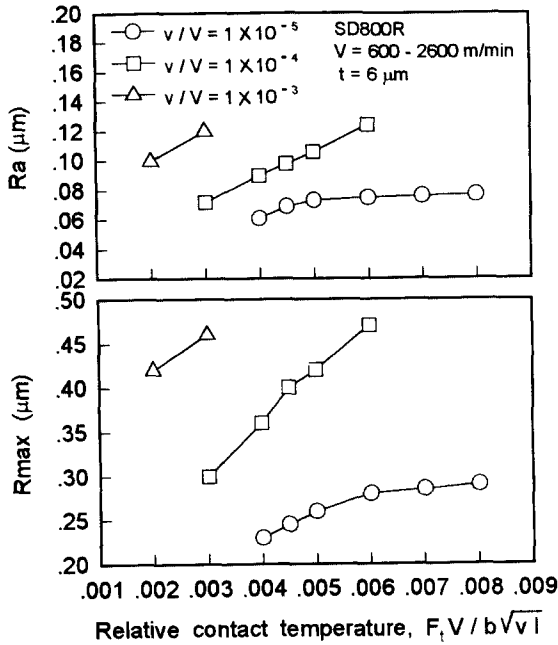


Fig. 4 Effect of relative contact temperature on transverse roughness of ground surface

v/V 의 값이 작고 상대 접촉면 온도가 작게 될수록 연삭면 거칠기가 작아진다는 것이 인정되며, v/V 의 값이 일정한 경우에는 상대 접촉면 온도가 낮아지게 되는 낮은 슷돌 원주속도에서 정밀 연삭면이 얻어진다는 것을 알 수 있다.

따라서 v/V 의 값이 1×10^{-5} 인 경우의 연삭면 거칠기에 미치는 낮은 슷돌원주 속도의 효과를 연삭 다듬질면의 주사 전자현미경 사진인 Fig. 4에서 보여준다. Fig. 4의 사진에서 V 가 2600 m/min의 경우인 Fig. 4(a)의 연삭면이 V 가 600 m/min인 Fig. 4(b)의 연삭면에 비해 요철(凹凸)이 많은 것을 알 수 있으며 양자 모두의 연삭면은 소성유동이 취상파괴 보다 다소 많음을 보여준다. 한편 다른 연삭면의 관찰 결과로부터도 슷돌 원주속도가 작을수록 요철이 적음을 보여 주었다. 또한 v/V 의 값이 클수록 연삭면의 취상파괴 면적율이 증가되며 요철도 증대됨을 보여 주었다.

이상의 결과로부터 동일한 다이아몬드 슷돌로서 정밀 연삭면을 얻기 위해서는 슷돌 원주 속도를 낮게 하고 v/V 의 값을 작게 하는 것이 필요하나 공작물의 이송속도가 현저히 작아지게 되어 능률적인 연삭이 되지 못한다. 따라서 연삭의 능

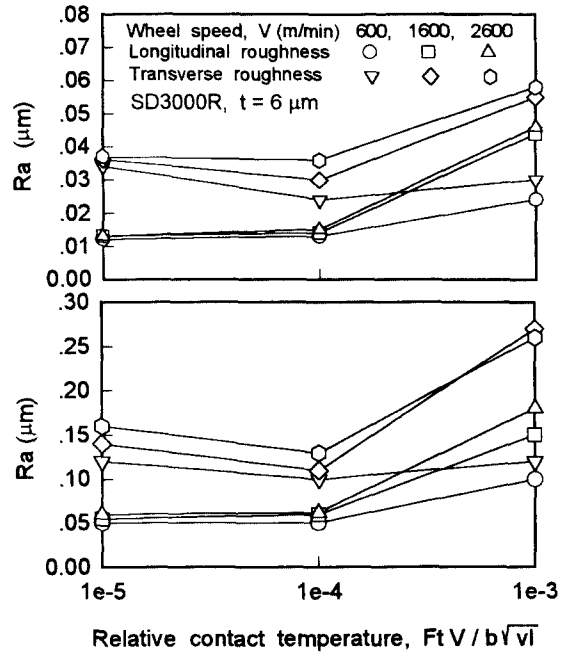


Fig. 5 Effect of grinding condition on ground surface roughness

률화를 위해서는 v/V 를 값을 작게 하는 것과 동일한 효과를 주는 미세 입자의 다이아몬드 슷돌을 사용하는 것에 의해 공작물 이송속도의 저하를 억제할 수 있다. 그러나 미세 입자의 다이아몬드 슷돌은 일반적으로 연삭저항 및 연삭온도가 현저히 증가되기 쉽다. 따라서 SD3000R의 다이아몬드 슷돌을 사용한 경우의 연삭면 거칠기에 미치는 슷돌 원주속도 및 v/V 의 영향을 나타낸 것이 Fig. 5이다. Fig. 5로부터 연삭면 거칠기는 v/V 의 값이 1×10^{-3} 인 경우에는 슷돌 원주속도가 낮은 때가 양호 하지만, v/V 가 1×10^{-4} 이하에서는 슷돌 원주속도의 영향은 인정되지 않고, v/V 의 값이 1×10^{-4} 인 경우가 정밀 다듬질 연삭에 적절한 조건으로 판단된다. 한편 v/V 의 값이 작을수록 또한 슷돌 원주속도가 클수록 슷돌 입자당 연삭깊이가 현저히 감소하므로 높은 가공능률을 기대하기 곤란하다고 생각된다.

3.2 다듬질 연삭을 공작물 길이와 평행 방향으로 행한 경우의 굽힘강도

연삭량이 증가함에 따라 다이아몬드 슷돌의 표면 상태는 변화한다. 이러한 슷돌 표면상태의 변

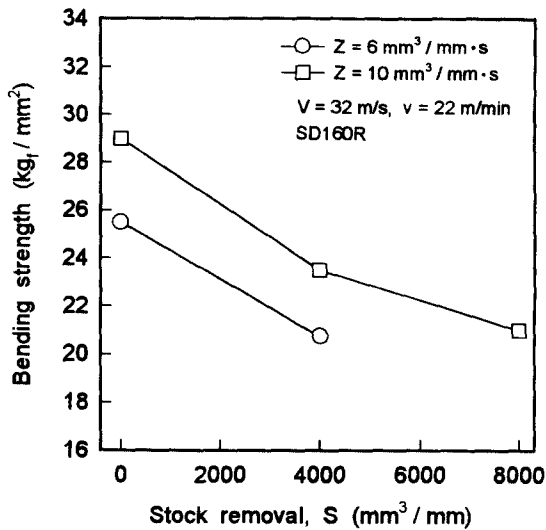


Fig. 6 Effect of stock removal on bending strength in rough grinding

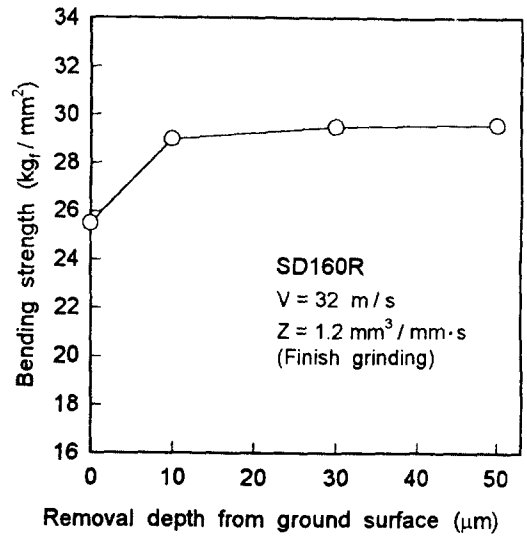


Fig. 7 Recovery of bending strength due to removing surface ground in longitudinal finish grinding with the diamond wheel after dressing & truing

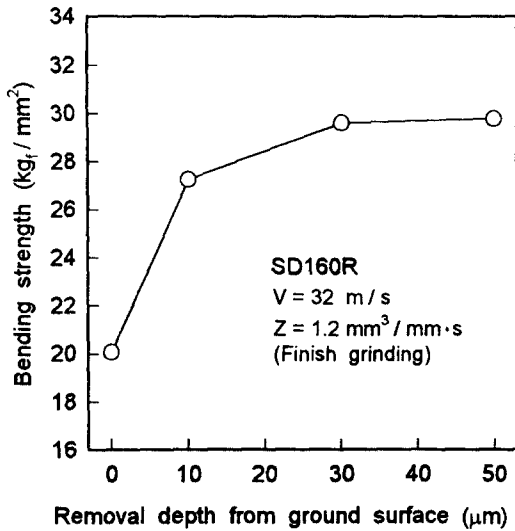


Fig. 8 Recovery of bending strength due to removing surface ground in longitudinal finish grinding with the diamond wheel after grinding of S=4000 mm³/mm

화는 연삭후의 공작물 강도에 영향을 미치는 것으로 생각된다. Fig. 6은 제거속도 $Z=6 \text{ mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$ 및 $10 \text{ mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$ 로 하고 트루잉 및 드레싱 직후의 슛돌 표면상태에서 연삭한 경우와 연삭량 $S=4000 \text{ mm}^3/\text{mm}$, $8000 \text{ mm}^3/\text{mm}$ 연삭한

후의 슛돌표면 상태에서 연삭한 경우의 연삭후의 굽힘강도 결과를 보여준 것이다. 이 Fig. 6으로부터 동일 연삭조건에서 연삭 하더라도 연삭량이 $S=4000 \text{ mm}^3/\text{mm}$, $8000 \text{ mm}^3/\text{mm}$ 로 되면 트루잉 및 드레싱 직후의 다이아몬드 슛돌을 사용한 경우에 비하여 공작물 강도가 상당히 저하되는 것을 알 수 있다. 따라서 강도 회복을 검토하는 조건으로서 트루잉 및 드레싱 직후의 슛돌을 사용한 경우와 연삭량 $S=4000 \text{ mm}^3/\text{mm}$ 연삭후의 슛돌 표면상태에서 연삭한 경우와의 비교를 행하였다.

Fig. 6과 같이 $Z=10 \text{ mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$ 의 거친 연삭 조건에서 강도 저하된 공작물을 제거 속도 $Z=1.2 \text{ mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$ 의 조건에서 공작물 길이 방향에 대하여 평행으로(이하 평행이라 약술한다) 다듬질 연삭하고, 연삭 표면층 제거깊이와 강도회복과의 관계를 조사 하였다. 그 결과를 Fig. 7 및 Fig. 8에 보여준다. Fig. 7에서 트루잉 및 드레싱 직후의 슛돌 표면 상태에서 거친 연삭한 경우, 래핑 가공한 공작물의 고유굽힘강도가 $30 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 임에 비하여 $25 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 로 강도저하가 일어나지만, 제거속도 $Z=1.2 \text{ mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$ 로 다듬질 연삭한 경우

에는 연삭표면층을 10 μm 제거하면 강도는 거의 회복된다. 이것에 비하여 Fig. 8에 나타나는 바와 같이 $S=4000 \text{ mm}^3/\text{mm}$ 연삭후의 스톨 표면 상태에서 다듬질 연삭한 경우에는 공작물 강도가 $40\text{kg}/\text{mm}^2$ 로 저하되고 강도회복에는 약 30 μm 의 연삭표면층 제거를 필요로 한다.

이상의 결과로부터 거친 연삭에 의해 발생하는 강도에 영향을 미치는 연삭 표면층 깊이는 트루잉 및 드레싱 직후의 스톨 표면상태에서 연삭한 경우는 10 μm 이하, 연삭량 $S=4000 \text{ mm}^3/\text{mm}$ 연삭후의 스톨 표면상태에서 거친 연삭한 경우는 20~30 μm 으로 된다고 생각된다.

4. 결 론

- 1) 연삭면 거칠기는 v/V 의 값이 1×10^{-3} 인 경우에는 스톨 원주속도가 낮은 때가 양호 하지만, v/V 가 1×10^{-4} 이하에서는 스톨 원주속도의 영향은 인정되지 않고, v/V 의 값이 1×10^{-4} 정도가 정밀 다듬질 연삭에 적절하다.
- 2) v/V 의 값이 일정한 경우, 상대 접촉면 온도가 낮아지는 낮은 스톨원주속도에서 정밀 연삭면이 얻어진다.
- 3) v/V 의 값이 클수록 연삭면의 취성 파괴 면적율이 증가되며 요철도 증대됨을 보여 주었다.
- 4) $Z=10 \text{ mm}^3/\text{mm} \cdot \text{s}$ 의 거친 연삭에서 강도에 영향을 미치는 연삭 표면층 깊이는 트루잉 및 드레싱 직후의 스톨 표면상태에서 연삭한 경우는 10 μm 이하, 연삭량 $S=4000 \text{ mm}^3/\text{mm}$ 연삭후의 스톨 표면상태에서 거친 연삭한 경우는 20~30 μm 이다.
- 5) 상기의 거친 연삭가공에 의해 강도 저하된 공작물을 다듬질 연삭에 의해 강도 회복시키는 경우, 강도 저하가 크면 많은 다듬질 표면층 제거가 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) S. Chandrasekar, M. C. Show and B.

- Bhushan, 1987, "Comparison of Grinding and Lapping of Ferrite and Metals", Trans, ASME, Ser.B, Vol. 109, May., pp. 76~82.
- (2) S. Chandrasekar, M. C. Show and B. Bhushan, 1987, "Morphology of Ground and Lapped Surfaces of Ferrite and Metal", Trans, ASME, Ser.B, Vol. 109, May., pp. 83~86.
- (3) Li, K. and Liao, W., 1996, "Surface/Subsurface Damage and the Fracture Strength of Ground Ceramics", J. Materials Processing Technology, Vol. 57, pp. 207~220.
- (4) 小野浩二의 3인, 1979, "理論切削工學", 現代工學社, p. 188.