

WA 슷돌을 이용한 원통 연삭 시 압축냉각공기와 연삭유의 냉각효과에 관한 연구

이석우*, 최헌종**, 정해도***

A Comparison of the Cooling Effects for the Compressed Cold Air and Coolant on the Cylindrical Grinding with WA Wheel

Seok Woo Lee*, Hon Zong Choi**, Hae Do Jeong***

ABSTRACT

Recently, environmental pollution has become a big problem in industry and many researches have been done in order to preserve the environment. In the grinding process, the coolant has great influence on environment. It contains several chemicals (sulfur, phosphorus and chlorine) to improve the grinding efficiency. If these additives go into the workplace atmosphere, it is harmful for workers. It can also cause the environment pollution. Because of these reasons many studies have been done to minimize the amount of coolant. However the small amount of coolant can cause the thermal defect on the ground surface layer.

This study forced the effects of the compressed cold air when the spindle shaft materials (SCM4 & SCM21) were cylindrical ground with WA wheel. The compressed cold air was used as the coolant and grinding performance was compared with that of the conventional grinding fluids (emulsion). Many experiments were carried out with these two cooling materials. The surface roughness, residual stress, and roundness were measured for the cylindrical grinding. The test results showed that the compressed cold air was very useful as the cooling materials for grinding process. It was also efficient to minimize the thermal defects of workpiece and could also play a role in solving environmental pollution.

Key Words : coolant(연삭유), compressed cold air(압축냉각공기), vortex tube(볼텍스관), residual stress(잔류응력), surface integrity(표면품질), roundness(진원도), cylindrical grinding(원통연삭)

1. 서론

최근 산업분야에서는 환경 문제가 큰 관심거리로 대두되고 있으며, 환경 오염을 줄이기 위한 여러 연구들이 진행되고 있다. 연삭 가공 중 환경에 가장 큰 영향을 미치는 것은 연삭유이다. 연삭유에는 윤활성, 냉각성, 세척성 등의 성질을 갖게 하기 위해서 염소(Cl), 유황(S), 인(P) 등의 물질을 함유하고 있다. 이러한 첨가물들은 연삭 가공 중에 공기 증으로 미세하게 날려 작업환경을 악화시

키고 작업자에 나쁜 영향을 미치며, 환경오염도 유발한다. 그러므로 최근에는 연삭유를 적게 사용하여 연삭할 수 있는 많은 연구가 이루어지고 있으나^{(1),(2),(3)}, 연삭유를 적게 사용할 경우 공작물의 열적 변형으로 기계적 성질 및 표면품질이 나빠진다.^{(4),(5),(6)}

본 연구에서는 연삭깊이(a), 슷돌 주속도(v_c), 공작물 주속도(v_w) 등을 실험변수로 하여 연삭유를 이용한 습식 연삭과 압축냉각공기를 이용한 건식 연삭 가공을 한다. 실험조건에 따른 표면 거칠

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과
 ** 한국생산기술연구원
 *** 부산대학교 기계공학부

기, 잔류응력 및 진원도 등을 서로 비교·분석함으로써 압축냉각공기를 이용한 건식 연삭이 연삭유를 이용한 습식 연삭과 비슷한 표면품위를 얻을 수 있음을 보임으로써 압축냉각공기를 이용한 건식 연삭이 연삭유에 의한 환경오염 문제를 해결할 수 있는 가공법임을 보이고자 한다.

2. 실험장치 및 실험조건

2.1 볼텍스관(vortex tube)의 원리

볼텍스관은 압축공기의 공급만으로 냉·온풍을 얻을 수 있는 장비이다. 두 개의 출구가 있어서 한 방향으로는 냉풍(cold air)이 그리고 다른 방향으로는 온풍(hot air)이 배출된다⁽⁷⁾. 볼텍스관은 운반이 편리하고 탈착이 용이하여 어느 작업장에서든 쉽게 사용할 수 있다. 공급되는 공기의 압력이 5~7bar 일 때 3~5bar의 냉·온풍을 얻을 수 있으며, 냉풍공기의 최소 온도는 약 -40℃, 온풍공기의 최대 온도는 약 190℃까지 얻을 수 있다.

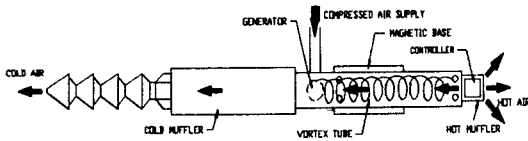


Fig. 1 Schematic of vortex tube

볼텍스관의 냉각원리는 Fig. 1 과 같다. 공급되어진 압축공기가 발전기(generator)에 의해 접선방향으로 와류의 형태로 고속 회전하면서 발전기에서 컨트롤러(controller) 방향으로 이동한다. 이때 발생한 와류는 원심력의 작용으로 압력과 밀도가 급상승함으로써 저항이 증가하여 온도가 상승한다. 이러한 와류 바깥쪽의 속도는 빠르고 온도 또한 높게 되어 와류 중심부와 큰 압력 차가 발생한다. 와류의 중심부 공기는 컨트롤러에 의해서 반대방향으로 흐르면서 팽창과 감속을 진행하여 바깥쪽에 열을 빼앗김으로써 냉풍 공기로 배출되고, 열량을 얻은 바깥쪽 공기는 온풍 공기로 배출된다.

2.2 실험조건

본 실험에서는 CNC 원통 연삭기에서 입자크기가 250 μm인 알루미늄아 슛돌(WA wheel, #80)을 이용하여 스펀들 용 재질인 SCM4와 SCM21을 가

공하였다. SCM4는 고주파 열처리, SCM21 종은 칩탄 열처리를 하였으며, 열처리 후 깊이에 따른 경도와 잔류응력을 Fig. 2에 나타내었다. 열처리 후 깊이에 따른 경도는 H_{RC} 56~60으로 나타났으며, 잔류 응력값은 표면으로부터 10 μm까지는 압축응력이 증가하였으나 10~30 μm 사이에서는 감소하였다. 그리고 30 μm 이상의 깊이에서는 압축응력이 조금씩 줄어드는 것을 알 수 있다.

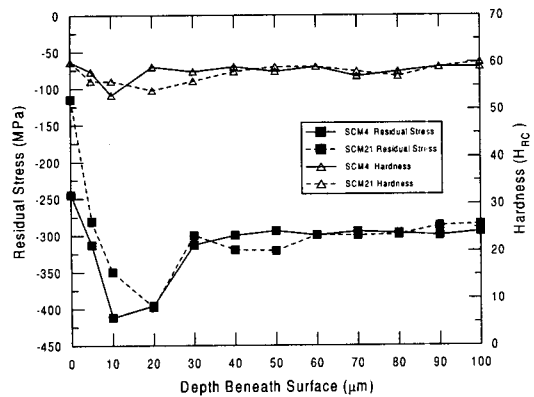


Fig. 2 Hardness and residual stress as a function of depth below surface after heat treatment

실험조건은 표 1에 나타내었다. 연삭유는 수용성인 W2종 1호(SC-36P)를 4%의 농도로 희석하여 사용하였다. 압축냉각공기의 온도는 항온조의 온도를 조정함으로써 -30℃까지 냉각된 공기를 얻을 수 있었으며, 실험 중에 항상 일정한 온도의 유지가 가능하였다. 실험에 사용된 압축냉각공기의 압력은 약 4bar이었으며, 압축냉각공기의 온도는 노즐 출구에서 약 20mm 정도 떨어진 위치에서 측정하여 사용하였다. 이는 가공 점이 노즐 끝단에서 약 20mm 정도 떨어진 곳에 위치하기 때문이다. 본 실험에서는 연삭 깊이, 슛돌 주속도, 공작물 주속도 등을 실험 변수로 하여 습식과 건식 연삭가공 결과들을 비교·분석하였으며, 압축냉각공기의 온도에 따른 가공물의 표면품위도 관찰하였다.

2.3 실험 장치

본 실험에서는 외경 연삭 시 압축냉각공기의 냉각 효과를 알아보기 위하여 볼텍스관을 CNC 원

Table 1 Experimental conditions

Grinding machine		CNC cylindrical grinding machine	
Grinding wheel		WA wheel (WA80LJ7V, $\varnothing 305 \times 25 \times \varnothing 127$)	
Workpiece		SCM4	Induction hardening, $H_{RC} 56 \sim 60$
		SCM21	Carburizing and quenching, $H_{RC} 56 \sim 60$
Grinding fluids	Coolant	Emulsion (4%)	
	Compressed cold air	Pressure (kg/cm^2)	4
		Velocity (m/sec)	40
		Nozzle diameter (mm)	9.3
Temperature ($^{\circ}C$)	-4, -15, -25		
Dressing condition		Dresser	Multi point diamond dresser
		Depth of cut ($a_d, \mu m$)	5
		Feed rate (mm/rev)	0.05
Working condition	Plunge grinding	Depth of cut ($a, \mu m/sec$)	3, 5, 10, 20, 30
		Wheel speed ($v_c, m/sec$)	20, 25, 30, 35, 40
		Workpiece speed ($v_w, m/min$)	10, 15, 18, 20, 25
	Traverse grinding	Depth of cut ($a, \mu m$)	5
		Wheel speed ($v_c, m/sec$)	30
		Workpiece speed ($v_w, m/min$)	18
		Feed rate ($v_f, mm/sec$)	10

통 연삭기에 부착하여 사용하였는데 실험장치의 구성도는 Fig. 3 에 나타내었다. 압축냉각공기의 온도를 조절하기 위해서 항온조에서 압축공기를 1, 2 차 냉각했으며, 냉각 과정에서 발생된 압축냉각공기 중의 수분을 제거하기 위해서 필터(water filter)를 설치하였다. 그리고 모든 배관은 단열재를 이용하여 단열 시킴으로써, 냉각되어진 압축공기가 온도를 외부에 빼앗기지 않도록 하였다. 또한 항온습실에서 가공 실험을 함으로써 주변 온도가 가공 점에 공급되는 압축냉각공기의 온도에 미치는 영향을 최소화 하였다. 또한 슛돌 아래에 집진기를 설치하여 건식 연삭 시 발생하는 분진들을 제거하였다.

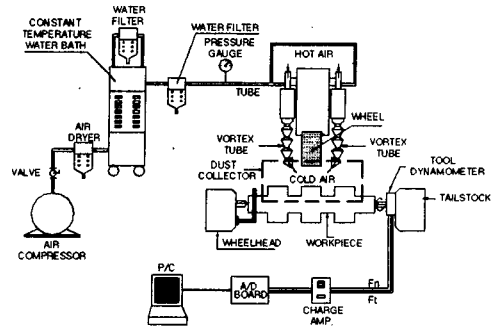


Fig. 3 Schematic of experimental equipment

3. 실험 결과 및 고찰

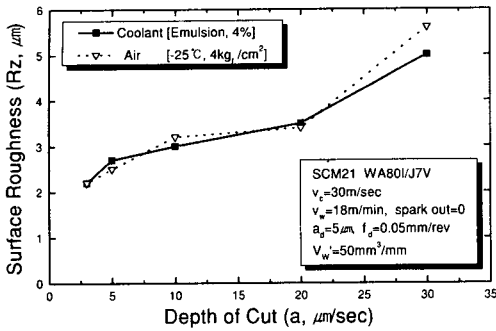
연삭유를 이용한 습식 연삭과 압축냉각공기를 이용한 건식 연삭을 비교· 분석하기 위하여 실험 변수들을 변화하면서 플런지 연삭(plunge grinding)과 트래버스 연삭(traverse grinding)을 하였다. 변수에 따른 가공물의 표면 품질을 파악하기 위하여 Federal사의 Surfalyzer™ 4000 과 Formscan 3200, 그리고 PROTO사의 LXR stress analyzer 를 이용하여 표면 거칠기, 진원도 및 잔류응력 등을 측정하였다.

3.1 플런지 연삭(plunge grinding)

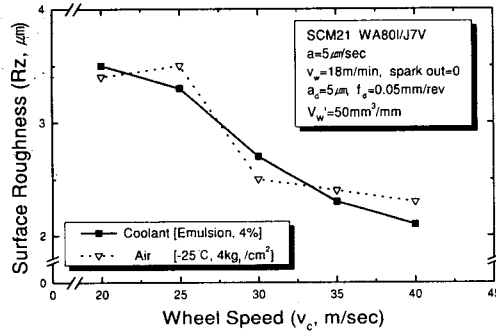
외경 연삭시 연삭유와 압축냉각공기(-25 $^{\circ}C$)의 냉각효과를 비교하기 위하여 실험 변수들을 변화하면서 실험을 하였다. Fig. 4 와 5 는 연삭 깊이와 슛돌 주속도 및 공작물 주속도에 따른 표면 거칠기와 잔류 응력을 나타낸 그림이다.

Fig. 4 는 실험조건에 따른 표면 거칠기의 변화를 나타낸 그림으로서 연삭 깊이와 공작물 주속도가 증가함에 따라 표면 거칠기 값이 증가하나, 슛돌 주속도의 증가에 따라서는 감소함을 알 수 있다. 연삭유를 이용한 습식 연삭과 압축냉각공기를 이용한 건식 연삭의 표면 거칠기 값의 차이는 거의 없었으며 실험변수의 변화에 따른 경향도 비슷하였다.

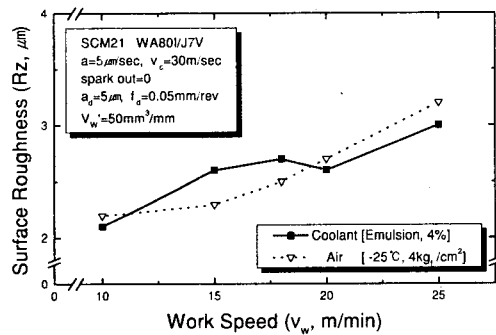
Fig. 5 는 실험조건에 따른 잔류응력의 변화를 나타낸 그림으로서 압축냉각공기를 이용한 건식 연삭이 연삭유를 사용한 습식 연삭보다 인장 응력이 큰 것을 알 수 있다. 이것은 인장응력이 가공



(a) Surface roughness for different depth of cut



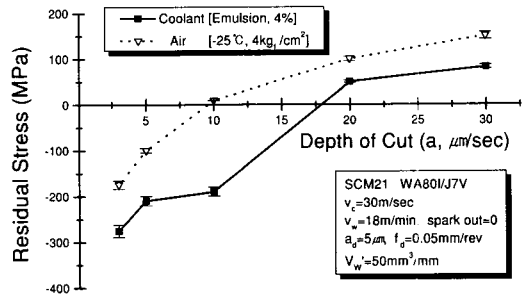
(b) Surface roughness for different wheel speed



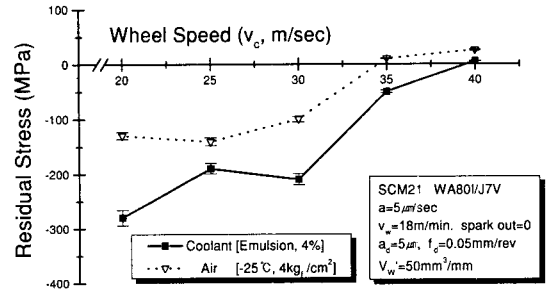
(c) Surface roughness for different work speed

Fig. 4 Influence of a , v_c and v_w on surface roughness (R_z)

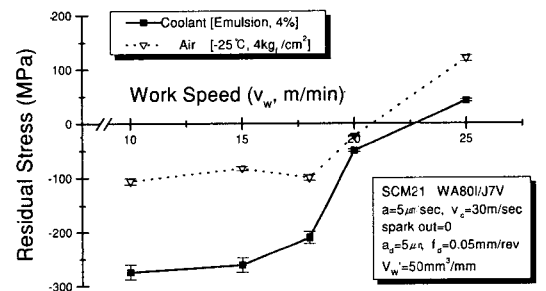
중의 열에 의해 발생 한 것임을 고려할 때 압축냉각공기가 연삭유보다는 냉각 효과가 다소 떨어지기 때문이다. 그러나 실험조건에 따른 잔류응력값의 변화는 동일한 양상을 보이고 있었다.



(a) Residual stress for different depth of cut



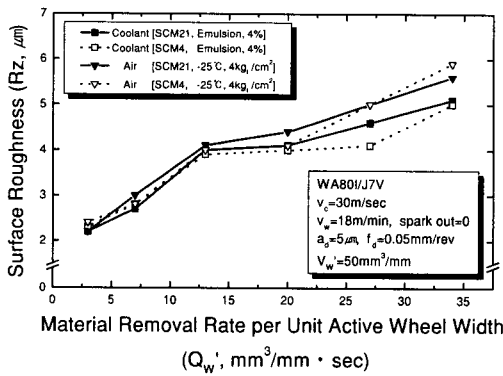
(b) Residual stress for different wheel speed



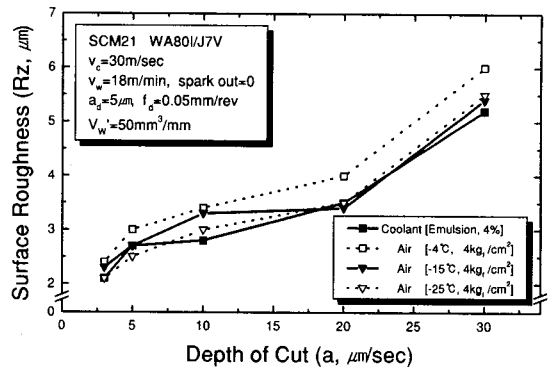
(c) Residual stress for different work speed

Fig. 5 Influence of a , v_c and v_w on residual stress

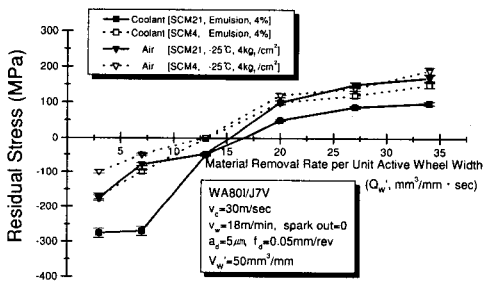
실험결과, 압축냉각공기를 이용한 경우에 연삭 깊이는 10 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 이하, 스톨 주속도는 35m/sec 이하, 공작물 주속도는 20m/min 이하에서 압축응력을 갖는 것을 알 수 있었다. 압축냉각공기의 냉각



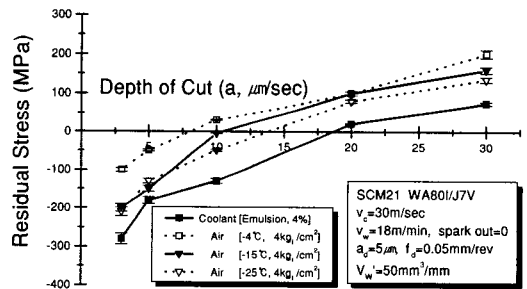
(a) Surface roughness for different materials



(a) Surface roughness for different cold temperature



(b) Residual stress for different materials



(b) Residual stress for different cold temperature

Fig. 6 Influence of Q_w' on surface roughness and residual stress for different materials

Fig. 7 Surface roughness and residual stress for different cold air

효과는 온도를 더 낮추고 유량과 유속을 크게 하면 향상될 것으로 생각된다.

Fig. 6 은 공작기계용 스펀들 재질인 SCM4(고주파 열처리)와 SCM21(침탄 열처리)의 외경 연삭 시 스펀들의 단위 시간 당 제거량(Q_w')에 따른 표면 거칠기와 잔류 응력을 비교한 것이다. 스펀들의 단위 시간 당 제거량(Q_w')의 증가에 따라 표면 거칠기와 잔류 응력 값은 증가하였으나, 가공물의 재질과 열처리 방법에 따른 영향은 거의 없었고, 잔류 응력은 SCM4가 SCM21 보다 인장 응력이 크게 나타났다. 또한 냉각 방법에 따른 측정 값의 차이는 크지 않았다.

Fig. 7 은 압축냉각공기의 온도에 따른 표면 거칠기와 잔류응력의 변화를 나타낸 그림이다. 압축냉각공기의 온도가 낮을수록 압축응력이 큰 것을

알 수 있는데 이는 압축냉각공기의 온도가 낮을수록 가공 점에서의 냉각효과가 크기 때문이다. 압축냉각공기의 온도가 -15°C 이하인 경우의 표면 거칠기 값은 연삭유를 이용하는 경우와 비슷함을 알 수 있었다. 그러나 잔류 응력값은 전체적으로 연삭유를 이용하는 것 보다 압축냉각공기를 이용하는 것이 인장 응력값이 약간 큰 것을 알 수 있는데 이는 압축냉각공기의 유량과 유속을 조절함으로써 냉각효과를 늘려 인장응력을 줄일 수 있다고 생각된다.

3.2 트래버스 연삭(traverse grinding)

트래버스 연삭은 직경이 40mm, 길이가 250mm 인 스펀들용 재질인 SCM21을 폭이 25mm 인 알루미늄 스펀들을 이용하여 연삭 깊이를 변화하면서

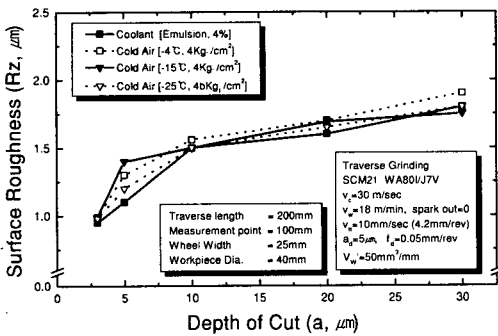
길이 방향으로 200mm 연삭 가공을 하여 가공 시작점에서 100mm 인 지점에서 표면거칠기와 진원도를 측정하였다. 이때 트래버스 가공 속도는 10mm/sec 로서 공작물 1회전당 4.2mm의 이송이 되도록 하였다. 이것은 슷들의 폭을 고려하여 동일한 지점을 슷들이 약 5회 정도 지나가도록 한 가공 조건이다.

가공을 하지만 트래버스 연삭의 경우에는 슷들이 가공물 길이 방향으로 이송을 하면서 가공을 하기 때문이다. 즉, 가공 1회당 가공물의 동일한 지점을 슷들이 5회 이상 가공하기 때문에 나타나는 현상이다. 진원도도 연삭 깊이가 증가함에 따라 나빠지지만 표면 거칠기와 마찬가지로 냉각 방법이나 압축냉각공기의 온도에 따른 값의 차이는 거의 없음을 알 수 있었다.

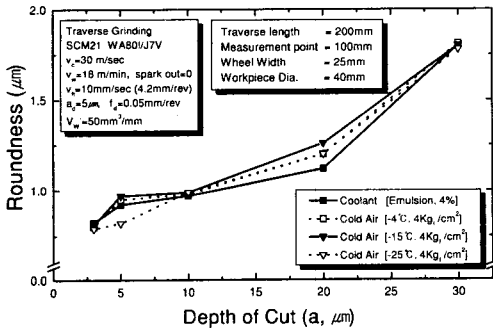
4. 결론

중래의 연삭유를 이용한 습식연삭과 압축냉각공기를 이용한 건식연삭 방법을 이용하여 스피들용 재질인 SCM4와 SCM21을 플런지 연삭과 트래버스 연삭을 하여 가공조건에 따른 가공물의 표면 품질을 비교·분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 연삭유를 이용한 습식 연삭과 압축냉각공기를 이용한 건식 연삭 실험 결과, 가공면의 표면 거칠기는 비슷한 경향을 나타내었다.
2. 압축냉각공기를 이용한 경우가 연삭유를 이용한 경우보다 가공물의 인장 응력이 약간 큰 것을 알 수 있었는데, 이것은 압축냉각공기의 압력이나 양을 증가하면 감소되리라고 기대된다.
3. 잔류 응력값은 연삭 깊이가 커질수록, 슷들 주속도나 공작물 주속도가 빠를수록 압축응력에서 인장응력으로 변화하였는데 이는 가공 점에서 발생하는 열 응력이 증가하기 때문이다.
4. 압축냉각공기를 이용한 경우에 연삭 깊이는 10 μm/sec 이하, 슷들 주속도는 35m/sec 이하, 공작물 주속도는 20m/min 이하에서 압축응력이 나타났다.
5. 압축냉각공기의 온도가 낮을수록 냉각효과가 좋아서 압축 잔류 응력 값이 크게 나타났으며, 표면 거칠기도 향상되었다.
6. 트래버스 연삭은 플런지 연삭과 표면 거칠기와 잔류응력의 경향이 비슷하였으나, 플런지 연삭보다 좋은 표면 거칠기 값을 얻을 수 있었는데, 이것은 동일한 지점을 슷들의 다른 부분이 약 5회 정도 가공을 하기 때문이다.
7. 이상의 결과로 압축냉각공기를 이용한 건식 연삭은 연삭유를 사용하지 않음으로써 연삭유에 의한 환경오염을 줄일 수 있는 유용한 가공법중의



(a) Surface roughness for different cold temperature



(b) Roundness for different cold temperature

Fig. 8 Surface roughness and roundness for different cold air

Fig. 8은 연삭 깊이에 따른 표면 거칠기와 진원도를 나타낸 그림이다. 표면 거칠기 값은 플런지 연삭의 경우와 같이 연삭 깊이가 증가할수록 커짐을 알 수 있으나, 전체적으로 플런지 연삭보다 표면 거칠기가 좋았으며 연삭 깊이에 따른 변화량도 적음을 알 수 있다. 이는 플런지 연삭은 슷들이 가공물의 반경 방향으로만 이송을 하면서

하나임을 알았다.

후 기

본 논문은 선도기술 개발사업 중 첨단생산시스템개발의 연구비에 의하여 지원되어졌으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 本間宏之, "公害防止のための研削油劑の用いない CBN 冷風研削技術の研究," 精密工學會誌, 1996.
2. 横川和彦, 奥村成史, 清水茂夫, 横川宗彦, "公害防止のための冷風研削加工," 砥粒加工學會學術講演會講演論文集, pp. 90~91, 1998.
3. 奥村成史, 横川和彦, 清水茂夫, 横川宗彦, "公害防止のための研削油劑の用いないレジノイド砥石による冷風研削の研究," 砥粒加工學會學術講演會講演論文集, pp. 92~97, 1998.
4. Kawamura, "Grinding and abrasive machining," kyouritsu publishing company, (in japanese), 1990.
5. Tönshoff H. K., Brinksmeier E., Choi H. Z., "Abrasive and their influence on force, temperatures and surface," International grinding conference, SME Technical paper MR86-626, June 1986.
6. Krar S. F., Ratterman E., Superabrasive, 1989.
7. Thomas J. Bruno, "Application of the vortex tube in chemical analysis," Process control and quality, 1992.