

대체냉각 기술을 이용한 환경친화 연삭가공 기술

†. * . * . **

A Study on the Grinding Characteristics According to Cooling Methods

S.W. Lee, H. Z. Choi, N. H. Heo, J. H. Lee

Key Words: Compressed Cold Air (압축냉각공기), Oil Mist(오일 미스트), Cooling Method(냉각 방법), Surface Integrity(표면품질), Roundness(진원도), Surface Roughness(표면거칠기), Residual Stress(잔류응력)

Abstract

Recently, environmental pollution has become a serious problem in industry, and many researches have been done in order to preserve the environment. The coolant, which promotes lubrication, cooling and penetration, contains chlorine, sulfur and phosphorus to improve the machining efficiency. These additives, which move around into the air during machining, pollute working. Therefore, many researches on how to reduce the amount of coolant during machining have been carried out. However, to reduce even small amount of coolant causes high temperature of a workpiece and it brings thermal defects.

In this study, the experiments of wet & dry grinding using cooling methods (using coolant only, mist and compressed cold air only) are performed to solve the problem of environmental contamination and to get a better surface integrity of a workpiece by comparing surface roughness, roundness and residual stress.

1.

최근에는 공작기계의 대형화로 연삭유 사용량이 대용량화함에 따라서 환경오염이 증가하고 기계가공 비용 면에서도 커다란 비중을 차지하고 있다. 연삭유는 윤활성, 냉각성, 침투성의 특성을 갖고 있는데 가공 점에서 연삭숫돌과 가공물간의 윤활작용을 향상시키기 위해서 염소(Cl), 유황(S),

인(P)등을 함유하고 있지만 이러한 첨가물들은 연삭 가공 중에 미세하게 날려 작업환경을 악화시키고 작업자에 나쁜 영향을 미친다. 그래서 최근에는 연삭유를 사용하지 않거나 적게 사용하기 위한 연구를 하고 있으나 연삭유의 사용량이 적은 경우에는 가공물의 열적 변형으로 기계적 성질 및 표면 품질에 나쁜 결과를 초래한다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ 이와 같이 가공 중에 발생하는 연삭 열에 의한 문제점들을 분석하고 해결하기 위해서 가공 시 발생하는 연삭 열이 가공물에 전달되는 양을 이론적으로 해석하는 연구도 진행되고 있다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

압축냉각공기만을 이용하는 건식 연삭실험에서 압축냉각공기의 온도를 -25℃이하로 낮게 하고, 충분한 유량을 가공 점에 공급해주면 숫돌과 가공물 사이에 냉각효과가 좋아져서 연삭후 가공물

† 한국생산기술연구원 나노가공팀

E-mail : swlee@kitech.re.kr

TEL : (041)589-8424 FAX : (041)589-8260

* 한국생산기술연구원 나노가공팀

** 한국산업기술대학교 기계공학과

의 표면품질이 향상되는 것을 볼 수 있었다.⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾

하지만, 압축냉각공기만을 이용한 건식연삭 가공 경우에는 슷들과 가공물사이의 가공 점에서 윤활 효과를 얻기 위한 매체가 존재하지 않기 때문에 연삭스�들과 가공물사이의 마찰이 커져 연삭열이 많이 발생하고 표면품질이 나빠지게 되며 압축냉각공기에 의한 냉각은 고체와 기체간의 열교환에 의한 것이기 때문에 냉각효율도 떨어진다. 따라서 냉각효과와 윤활 효과 두 가지 모두를 만족시킬 수 있는 방법으로 극미량 공급 장치나 미스트를 이용한 대체 냉각가공기술이 연구되고 있는데 이러한 가공방법은 가공물의 냉각효과 및 윤활효과를 향상 시키면서 연삭유 사용을 최소화하여 환경오염을 줄일 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 연삭유를 줄일 수 있는 대체 냉각 방법으로 압축냉각공기와 오일미스트(oil mist)를 이용하는 방법을 제안하여 압축냉각공기와 오일 미스트의 공급방법과 오일 미스트만을 이용하는 경우에 분사노즐의 개수와 오일 미스트의 공급 압력 등에 따른 연삭실험을 하여 표면 거칠기, 잔류응력, 진원도 등을 비교분석 함으로써 본 논문에서 제안한 대체 냉각방법이 연삭유를 대체할 수 있는 냉각방법임을 보이고자 한다.

2.

2.1

본 실험에서는 Jones & Shipman사의 CNC 원통연삭기와 EBARA사의 오일 미스트 장치를 이용하였으며, WA(White Alumina)스�들을 이용하여 스피들용 재질인 SCM21종을 가공하였다.

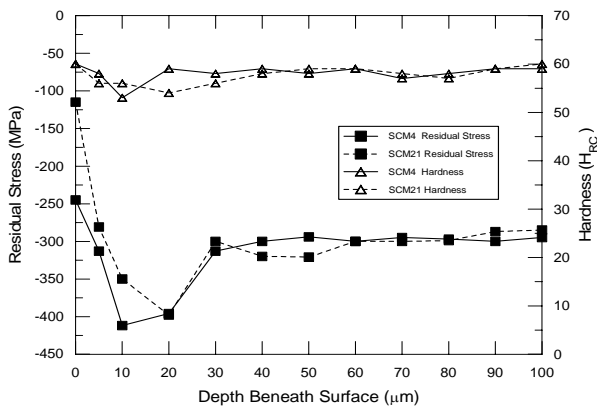


Fig. 1 Hardness and Residual Stress as a Function of Depth below Surface after Heat Treatment

SCM21종은 침탄법으로 열처리를 하였으며, 열처리 후 깊이에 따른 경도와 잔류응력을 그림 1에 나타내었다. 표면깊이에 따른 경도 값은 58~60 (H_{RC})을 보이고 있으며, 잔류응력값은 5~20 μm일 때 -270~430MPa이며 그 이상의 깊이에서는 -300 MPa 정도를 보이고 있다.

그림 2는 압축냉각공기와 오일 미스트를 이용한 연삭특성 실험을 위한 실험 장치를 나타낸 그림이다. 실험에 사용하기 위한 -25℃의 압축 냉각공기를 얻기 위하여 직접 열 교환 방식의 압축냉각공기발생장치를 제작하였다. 제작된 압축 냉각 공기 발생장치는 일반 공장에 공급되는 압축공기를 이용하여 약 7~8분 만에 -35℃까지의 냉각된 공기를 최대 400l/min정도를 얻을 수 있으며, 2pass 증발기를 설치하여 압축공기를 냉각하면서 냉각판에 발생하는 성에를 제거하면서 연속적으로 압축냉각공기를 얻을 수 있도록 하였다.



Fig. 2 Experimental Equipment for Cylindrical Grinding

2.2

압축냉각공기와 오일 미스트를 이용한 외경 연삭 시, 오일 미스트의 압력변화와 압축냉각공기와 오일 미스트의 공급 노즐의 위치 변화에 따른 실험과 오일 미스트의 분사 압력을 변화 하면서 실험을 실시하여, 가공조건에 따라 표면품질(표면 거칠기, 잔류응력, 진원도)등을 비교하였다. 외경 연삭 시 압축냉각공기와 오일 미스트의 공급방법에 따른 가공물의 표면품위를 비교·분석함으로써 실험 조건들이 가공물의 표면품위에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 그림 3의(a)는 본 실험에 사용된 오일 미스트 공급용 노즐로서 직경

이 1.0 mm인 구멍이 10개가 있다. 그림 3의 (b)는 압축냉각공기용 노즐로서 외경 연삭에 적합한 형태를 선정하였다.



(a) Oil Mist Nozzle (b) Cold Air Nozzle
Fig. 3 Photographs of Spray Type Nozzle

그림 4는 압축냉각공기와 오일 미스트 공급 위치에 따른 연삭특성을 분석하기 위한 압축냉각공기와 오일 미스트의 공급방법을 나타낸 그림이다. 그림 4의 (1)는 압축냉각공기와 오일 미스트가 가공 점에 분사하는 경우이며, 그림 4의 (2)와 (3)은 압축냉각공기는 가공 점에 공급되며 오일 미스트는 각각 가공물 아래에 분사되는 경우와 슷돌 표면에 분사되는 경우이며 그림 4의 (4)는 오일 미스트는 가공 점에 위에서 공급이 되고 압축냉각공기는 가공물 아래에서 위로 분사되는 조건이다. 표 1에는 대체 냉각기술의 연삭특성을 위한 실험 조건을 나타내었다.

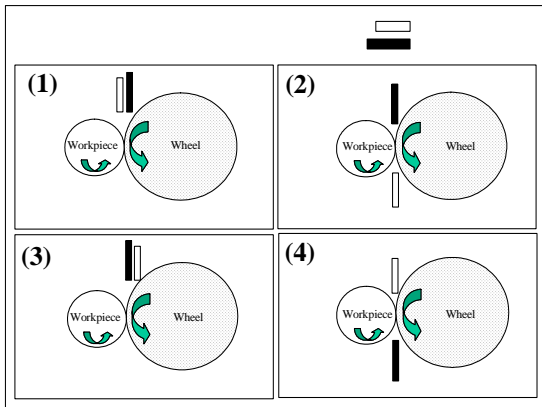


Fig. 4 Experimental Methods according to Oil Mist and Compressed Cold Air Supply Position

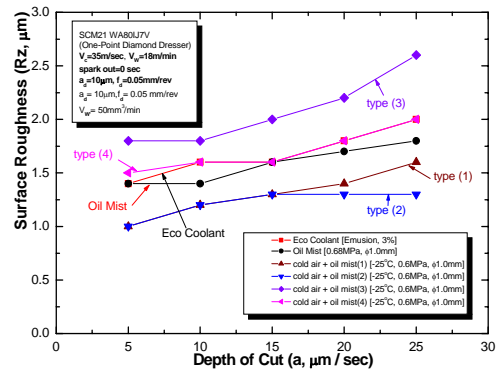
2.3

2.3.1

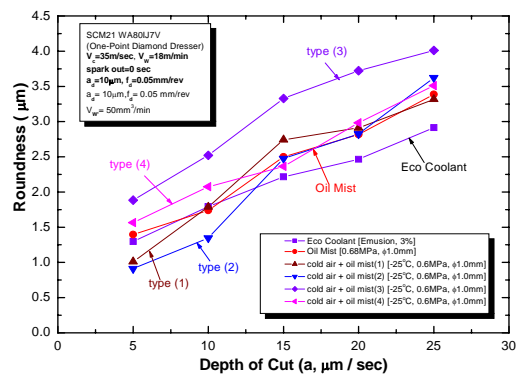
그림 5는 환경친화 연삭유와 오일 미스트 및 압축냉각공기와 오일 미스트의 조합에 따른 가공물의 표면 거칠기와 진원도를 나타낸 그림이다.

Table 1. Experimental Conditions

Grinding Machine		CNC cylindrical grinding machine	
Grinding Wheel		WA80I/J7V 305×25×127	
Workpiece		SCM21	Carburizing and quenching (HRC 58 ~ 60)
Cooling Methods	Compressed Cold Air	Pressure (P, kgf/cm ²)	4, 8
		Amount (Q, l/min)	400
	Oil Mist	Temperature (T, ℃)	-25
		Amount (Q, l/min)	4
		Pressure (P, MPa)	0.4, 0.5 0.6, 0.7
Dressing Conditions		Dresser	single point diamond dresser
		Depth of Cut(a _d , μm)	10
		Feedrate (v _{ft} , mm/rev)	0.05
Working Conditions		Depth of Cut(a, μm ec)	5, 10, 15 20, 30
		Wheel Speed (v _c , m/min)	35
		Wo가 Speed (v _w , m/min)	18



(a) Surface Roughness



(b) Roundness

Fig. 5 Influence of Supply Position on Surface Roughness and Roundness

그림 4의 (1)과 (2)의 실험 조건에서는 연삭유만을 사용하는 경우보다 좋은 표면 거칠기와 진원도를 얻을 수 있었으나 그림 4의 (3)과 (4)와 같은 공급방법은 오히려 표면 거칠기와 진원도가 나빠짐을 알 수 있었다.

이와 같은 결과에서 본 논문에서 제안한 대체 냉각방법인 압축냉각공기와 오일 미스트를 공급 위치의 공급위치를 적절히 조합하여 사용하면 연삭유와 오일 미스트만을 사용하는 경우보다 좋은 표면 품질을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

2.3.2

그림 6은 두개의 노즐을 이용하여 오일미스트를 공급할 경우에 오일 미스트의 공급 방법에 따른 가공물의 표면 품질을 나타낸 그림이다.

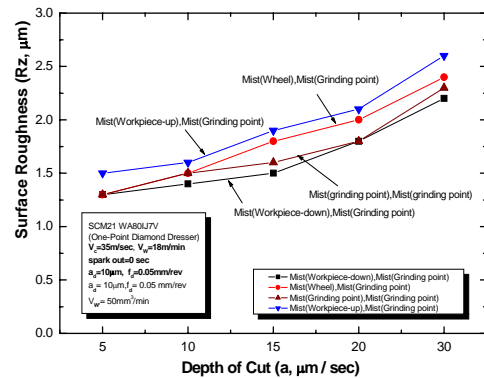
그림 5는 압축냉각공기와 오일 미스트의 조합에 따른 연삭 특성을 비교하였으나 그림 6에서는 오일 미스트만을 공급할 경우 공급 노즐의 위치 즉, 오일 미스트의 공급 방법에 따른 가공물의 표면품질을 비교하였다.

그림을 보면 오일 미스트를 가공 점과 가공물 아래에서 가공물 표면에 분사 시키는 경우가 가장 좋은 표면 품질을 얻을 수 있었다. 이와 같은 경우는 가공물이 회전에 의해 가공물의 표면에 공급된 오일 미스트가 가공 점으로 원활히 공급이 되어 가공 점에서의 운할 효과와 냉각효과가 가장 좋아지기 때문이다. 또한, 오일 미스트를 가공 점과 가공이 끝난 가공물의 표면에 분사시키는 경우가 가장 나쁘게 나타났는데 이는 가공이 끝난 후에 오일 미스트의 가공물 표면에 공급하여도 이미 가공 시 발생한 가공 열에 의해 가공물 표면이 열응력을 받은 후이기 때문에 가공 점에 가공물의 표면에 오일 미스트를 공급하는 경우보다 가공물의 표면품질이 나빠지게 된다.

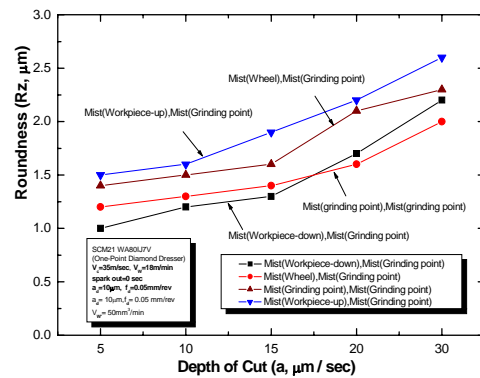
또한, 2개의 오일 미스트 분사 노즐을 동시에 가공 점에 공급하는 경우와 오일 미스트를 가공 점과 스톱 표면에 공급하는 경우도 오일 미스트를 가공 점과 가공후의 가공물 표면에 공급하는 경우보다는 표면 품질이 좋게 나타났다.

2.3.3

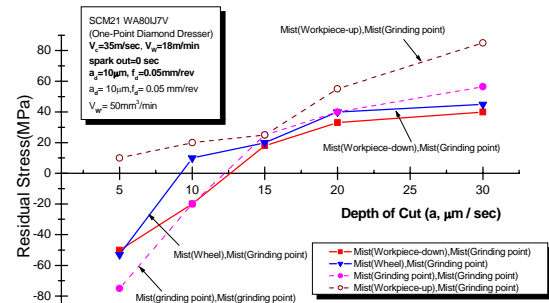
그림 7은 압축 냉각공기와 오일 미스트를 가공 점에 같이 공급할 경우 오일 미스트의 분사 압력에 따른 가공물의 표면품질을 나타낸 그림이다.



(a) Surface Roughness

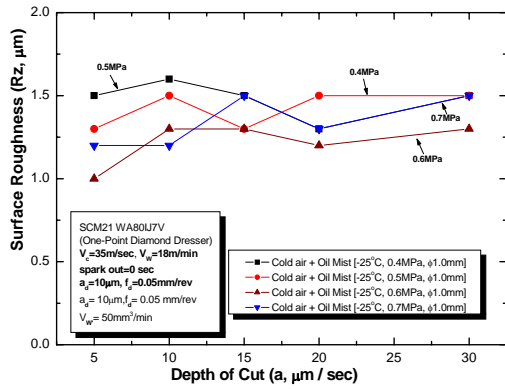


(b) Roundness

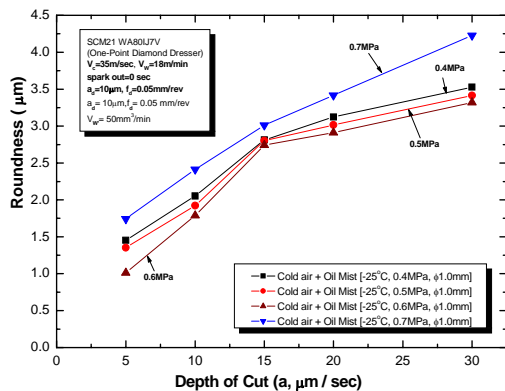


(c) Residual Stress

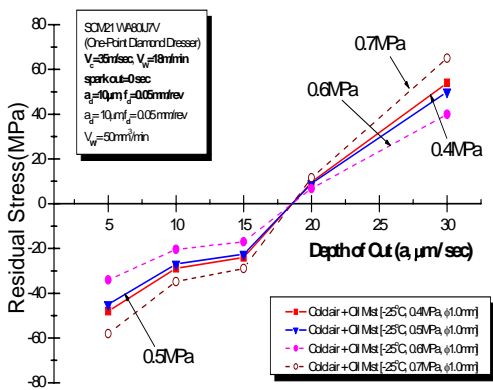
Fig. 6 Influence of Supply Position on Surface Roughness, Roundness and Residual Stress



(a) Surface Roughness



(b) Roundness



(c) Residual Stress

Fig. 7 Influence of Supply Pressure on Surface Roughness, Roundness and Residual Stress

실험 결과를 보면 오일 미스트의 공급 압력이 가공물의 표면 품질에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 일반적으로 오일 미스트 분사 압력이 낮은 경우에는 슛들의 회전력의 영향을 받아 가공 점에 공급되는 오일 미스트의 양이 적어지기 때문에 가공 열이 많이 발생하여 가공물의 표면품질이 나빠질 것으로 예상하였는데 본 실험에서는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

이러한 현상은 본 실험에 사용한 오일 미스트의 양이 4cc/h로 공급량이 극히 소량이어서 오일 미스트의 압력 변화에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타난 것으로 보이나 이는 향후 실험을 통하여 정확히 규명하고자 한다.

4.

본 논문에서 대체 냉각기술로 제안한 압축냉각공기와 오일 미스트의 공급방법과 공급 압력 등을 변화하면서 연삭실험을 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 압축냉각공기와 오일 미스트를 조합하여 사용하는 경우에는 압축냉각공기를 가공 점에 오일 미스트는 가공되기 전의 가공물의 표면에 공급하는 경우의 표면 품질이 가장 좋게 나타났다.
2. 두개의 노즐로 오일 미스트만을 공급하는 경우에도 오일 미스트 공급방법에 따른 가공물의 표면품위를 비교한 결과 압축냉각공기와 오일 미스트를 사용하는 경우와 동일한 공급방법의 경우가 가장 좋은 표면품위를 얻을 수 있었다.
3. 상기의 결과는 가공되기 전의 가공물 표면에 오일 미스트를 공급하여 가공 점에서의 윤활 효과를 극대화 하였으며, 압축냉각공기와 오일 미스트를 가공 점에 공급함으로써 냉각효과도 극대화 시켰기 때문이다.
4. 오일 미스트의 공급압력이 가공물의 표면 품질에 미치는 영향은 적었으나 이는 가공 시 공급하는 오일 미스트의 양이 4cc/h로 극미량이기 때문으로 판단된다.
5. 이상의 실험에서 압축냉각공기오일 미스트를 적절히 조합하여 사용하면 연삭유를 대체할 수 있음을 알 수 있었다.

본 연구는 선도기술개발 사업인 첨단생산시스템개발사업과 청정생산기술 이전확산사업의 연구비에 의하여 지원되어졌으며, 이에 감사드립니다.

- (1) 本間宏之, 1996, “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.
- (2) 横川和彦, 奥村成史, 清水茂夫, 横川宗彦, 1998, “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.
- (3) 奥村成史, 横川和彦, 清水茂夫, 横川宗彦, 1998, “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.
- (4) H. Z. Choi, S. W. Lee, J. S. Ahn, 1999, "A comparison of the cooling effects of the compressed cold air and coolant for the cylindrical grinding", International euspen conference, pp. 416 ~ 419.
- (5) H. Z. Choi, S. W. Lee, J. S. Ahn, 1998, "A study on the surface integrity for the cylindrical grinding with compressed cold air", ISAAT, pp. 187 ~ 192.
- (6) 김남경, 이동호, 성낙창, 송지복, 1998, "냉각 공기장치에 의한 환경친화 연삭 연구", 한국정밀 공학회지, No. 15 Vol. 9, pp. 145~151.
- (7) Takashi Ueda, Masahiko Sato, Kazuo Nakayama, 1996, "Cooling characteristics of cutting grain in grinding", Annals of the CIRP vol. 45.1.
- (8) T. Kato, H. Fujii, 1999, "Energy Partition in Conventional Surface Grinding", ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, pp. 393-398.
- (9) C. Guo, Y. Wu, V. Varghese, S. Malkin, 1999 "Temperature and Energy Partition for Grinding with Vitrified CBN Wheels", Annals of the CIRP Vol. 48/1.