

연삭 가공시 Mist 의 냉각효과에 관한 연구

이석우*, 최헌중, 김대중(한국생산기술연구원)

A Study on the Cooling Effects of Mist in the Grinding

S. W. Lee*, H. Z. Choi, D. J. Kim (Korea Institute of Industrial Technology)

ABSTRACT

In grinding process, the heat of 1200°C~1500°C on the grinding area between grinding wheel and workpiece is generated. It decreases the surface integrity of workpiece and causes the thermal damages such as the deformed layer, residual stress and grinding burn. Generally coolant is widely used for preventing the heat generation on the grinding area, but it deteriorates the working condition by polluting the atmosphere of workplace and in the end pollutes the environment. The grinding methods using the compressed cold air and mist are the cooling methods to substitute conventional coolant. They can decrease the environmental pollution through not using coolant any more or minimizing it.

In this study, the cooling effects of grinding methods using the compressed cold air and mist have been investigated. The grinding system equipped with the water bath and mist spray nozzle was developed. The energy partition to workpiece through measuring the temperature on the workpiece surface was calculated. The surface integrity of workpiece and thermal damage like the deformed layer were analyzed.

Key Words : Mist(미스트), Compressed Cold Air(압축냉각공기), Cooling Effect(냉각효과), Thermal Damage(열손상) Deformed Layer(가공변질층), Residual Stress(잔류응력), Surface Integrity(표면품질)

1. 서론

연삭 가공 시 스톨과 공작물 사이의 가공점에서 1200°C~1500°C의 높은 열이 발생하며, 이것은 공작물의 형상 및 가공정도를 저하시키고 공작물 표면에 가공 변질층과 연삭 버닝현상과 같은 열 손상을 일으켜 내마모성, 내식성을 떨어뜨리는 주요한 원인이 된다. 따라서 스톨과 공작물 사이의 가공점에서 발생하는 열을 냉각시키기 위해 다량의 연삭유가 사용되고 있다. 그러나 최근 들어 연삭유로 인한 환경문제가 심각하게 대두되면서 연삭유가 가지는 우수한 성능에도 불구하고 연삭유에 의한 환경오염을 줄이려는 많은 노력과 연구가 진행되고 있으며, 그 예로 기존의 연삭유 대신에 연삭압축냉각공기, MQL, Mist 및 환경 친화적 식물성 연삭유를 이용한 연삭 가공기술을 들 수 있다^{[1][9][14]}.

냉풍공기에 의한 건식연삭은 本間宏과 横川和珍에 의해 처음 발표되었으며 실제로 -25°C이하의 압축냉각공기를 가공점에 충분히 공급함으로써 스톨

들과 공작물 사이의 접촉영역에서 냉각효과가 좋아져 공작물의 표면품질이 향상되는 것을 볼 수 있었다. 그러나 압축냉각공기만을 이용한 건식연삭은 스톨과 공작물사이에 윤활을 위한 매체가 전혀 없기 때문에 스톨과 공작물에 마찰에 의해 열이 증가하여 이를 냉각시키는데는 한계가 있다. 따라서 연삭유를 Mist화하여 압축냉각공기와 함께 가공점에 공급함으로써 냉각 및 윤활효과 모두를 만족시킬 수 있는 연삭방법이 연구되고 있다^{[1][2]}.

본 연구에서는 압축냉각공기와 Mist화 연삭유를 이용한 연삭 가공기술의 냉각효과를 분석하기 위해서 가공점에서의 연삭온도와 연삭열을 측정하여 공작물로의 에너지 유입비율을 계산하였고, 연삭 가공 후 공작물의 표면질을 분석했으며, 공작물 단면을 SEM 촬영하여 공작물 표면에서의 가공변질층 발생정도를 분석하였다^{[6][7]}.

2. 본론

2.1 대체 냉각기술

대체 냉각기술은 연삭유 사용으로 인한 환경 오염을 줄이기 위해 기존의 연삭유 대신에 압축냉각공기, MQL(Minimum Quantity Lubrication), Mist 또는 환경 친화적인 식물성 연삭유를 사용한 연삭 가공기술이다. 대체 냉각기술을 실현하기 위해서는 스톨과 공작물 사이의 가공점에서 연삭 열에 의한 열 응력을 최소화하여야 한다. 가공점에서 발생하는 열을 냉각시키기 위한 냉풍발생장치인 항온조는 직접냉각방식에 의해 항온조내의 열 교환기를 통과하는 공기를 -40°C 까지 냉각시켜주며, 항온조 내부의 결빙으로 인한 냉각성능 및 내구성 저하를 막기위해 주기적으로 항온조를 통과하는 공기가 외부로 Drain되도록 제작되었다. 최소한의 연삭유 사용으로 환경문제에 대처하고 스톨 입자와 공작물 사이에 발생하는 마찰을 줄이기 위해서는 MQL장치나 Mist 분사노즐 등을 사용한다. 사용 압력은 최대 8 bar이며 유량은 압력변화에 따라 0.6~2000cc/min까지 변화한다.

2.2 열손상

연삭 가공 시 스톨과 공작물 사이의 접촉영역에서는 1200°C ~ 1500°C 의 높은 열이 발생하고 공작물 표면에 가공 변질층, 인장잔류응력 및 연삭 버닝 등과 같은 열손상을 일으킨다. 가공 변질층은 금속재료 가공 시 발생하는 가공면의 부근에 발생하는 변형층으로 결정입자의 미세화, 결정입자의 가공방향으로의 유동 등의 특징을 가지고 있다. 잔류응력은 표면에 가해지는 외부의 힘이나 모멘트가 제거되었을 때 공작물에 존재하는 응력으로 기계적인 발생에 의해서는 압축잔류응력이 열적인 발생에서는 인장잔류응력이 작용한다. 그리고 연삭 버닝은 연삭 시 스톨과 공작물 사이의 접촉영역에서 발생하는 연삭 열에 의해서 가공면이 순간적으로 산화하여 산화막이 생기는 것으로 막 두께에 따라 여러 가지로 착색되어 보인다. 이러한 열손상은 내식성 및 내마모성을 떨어뜨리고 이로 인한 피로수명이 감소하게 된다.

2.3 실험조건

Table 1은 대체냉각기술의 냉각효과를 분석하기 위해서 압축냉각공기와 Mist화 연삭유를 이용한 연삭 가공방법의 실험조건을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 스톨은 알루미늄 스톨과 CBN스톨이며, 시편재질은 SM45C와 SCM21 등 2종류이다. 압축냉각공기는 -40°C , Mist화 연삭유량은 $100\text{ml}/\text{min}$ 로 고정시켰고 연삭깊이를 5, 10, 15, 20, $30\mu\text{m}/\text{sec}$ 까지 변화시키면서 연삭 실험을 수행했다.

Table 1 Experimental conditions

Grinding Machine	Surface grinder Cylindrical grinding machine		
Grinding Wheel	WA80 IJTV $\phi 305 \times 251 \times \phi 127$ CBN(B80H150V3) $\phi 305 \times 10t \times \phi 127$		
Workpiece	SM45C	Heat treatment, $H_{RC} 18 \sim 24$	
	SCM21	Carburizing and quenching, $H_{RC} 56 \sim 60$	
Grinding Fluids	Coolant	Emulsion 4 %	
	Mist	Amount (ml/min)	100
		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	-40
Dressing	WA Wheel	One point diamond dresser	
	CBN Wheel	Rotary dresser	
Conditions	Depth of cut (a_p , μm)		10
	Feed rate (f_d , mm/rev)		0.05
Working Conditions	Depth of cut (a_p , $\mu\text{m}/\text{sec}$)		5, 10, 15, 20, 30
	Wheel speed (v_c , m/sec)		35, 30
Conditions	Workpiece speed (v_w , m/min)		18, 6

2.4 실험장치

Fig.1은 압축냉각공기 및 Mist의 발생과 이를 이용한 실험장치를 나타내고 있다. 에어 컴프레서로부터 공급되어진 압축공기는 에어 필터와 에어 드라이어를 통과하면서 압축공기 내에 포함된 미기가 스져 제거되고, 항온조를 통해 미리 트정된 온도까지 압축공기가 냉각된다. Mist의 경우는 압축공기의 유속에 의한 공기 압력압에 의해 노즐에서 분사되는 유량이 결정되는 사이축 방식의 노즐을 사용하였으며 Mist화된 연삭유의 결빙을 막기위해 공기와 연삭유가 냉각된 Line을 이용하였다. 항온수조를 통해 발생된 압축냉각공기의 유량은 $220\sim 240\text{l}/\text{min}$ 로 $2\mu\text{m}$ 의 노즐을 통해 연삭점에 직접 분사되며, Mist 분사노즐은 사용압력이 $8\text{kg}/\text{cm}^2$, 유량이 $0.6\sim 2000\text{ml}/\text{min}$ 으로 공급된 압축공기의 압력에 따라 공급유량의 과위가 변하게 된다.

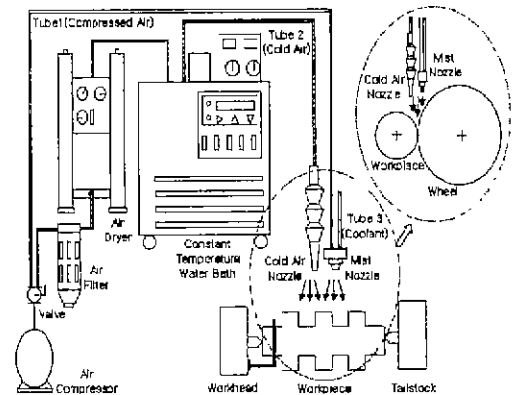


Fig.1 Schematic of experimental equipment

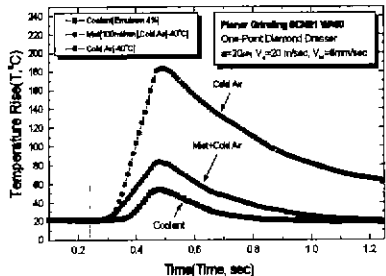
2.5 실험방법

실험은 압축냉각공기와 Mist의 냉각효과를 분석하기 위해서 가공점에서 발생하는 연삭온도 및 연삭력을 측정하여 공작물로의 에너지 유입비율을 계산하였고, 연삭 가공 후 공작물의 표면품질 해석하기 위해서 표면거단기, 진원도, 잔류응력순만 아게라 열손상 정도를 분석하기 위해서 공작물 단면을 SEM 사진촬영하여 연삭력에 의해 발생하는 가공변질층을 분석하였다. 가공점에서의 연삭결과 연삭력의 측정은 사용온도과워가 $-126^{\circ}\text{C}\sim 1260^{\circ}\text{C}$ 인 열전대(철ty(ϵ))를 시편내부에 부착시키고 공구동력계 위에 트치하여 측정하였으며, 이때 절입깊이는 $20\mu\text{m}$ 로 하였다.

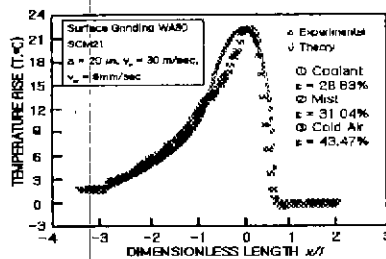
2.6 실험결과

2.6.1 연삭온도 및 열유입비율

Fig.2는 냉각방법에 따른 연삭온도 및 공작물에 유입된 에너지 비율을 나타u 다. 류기온도 22°C 에서 시작하여 연삭유는 54.23°C , Mist화 연삭유는 83.3°C , 압축냉각공기는 183.4°C 로 측정되었고, 연삭력은 연삭유가 20.34N , Mist는 22.7N , 압축냉각공기는 3°N 이었다. 연삭지점에서 측정 한 연삭온도와 연삭동력을 이용하여 공작물에 유입된 열유입비율을 계산해 보면 연삭유는 28.83y , Mist는 31.04y 그리고 압축냉각공기는 43.4by 를 나타r 다.



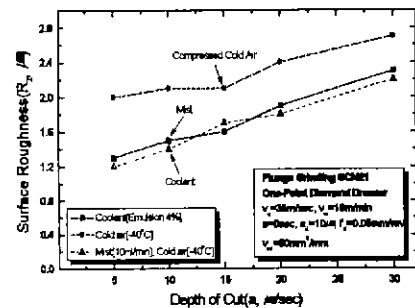
(a) Grinding temperature



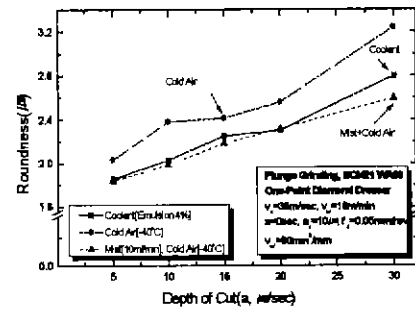
(b) Heat ratio conducted into workpiece
Fig.2 Grinding temperature and heat ratio

2.6.2 공작물의 표면품질

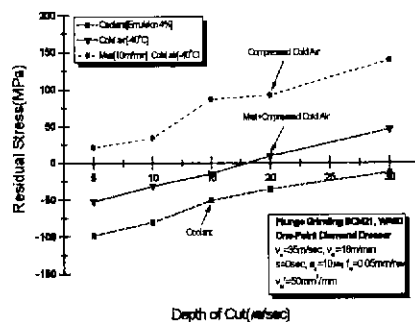
Fig.3의 (a), (b), (c)는 냉각방법에 따른 연삭 가공 후 공작물의 표면 거단기, 진원도 그리고 잔류응력을 나타낸 것이다. Fig.3(a)의 표면거단기 결과를 보면 압축냉각공기보다 연삭유나 Mist를 이용하는 경우가 면 좋은 결과를 보이고 있는데 이는 연삭유나 Mist는 슷들과 공작물 사이에 발생하는 마찰을 줄일 수 있는 윤활매체가 존재하기 때문이다.



(a) Surface roughness



(b) Roundness



(c) Residual stress

Fig.3 Surface integrity according to cooling method

진원도의 경우는 표면 거칠기와 비슷한 경향을 보이고 있지만 Mist의 경우가 연삭유보다 진원가 좋게 나타났다. 이것은 Mist의 경우 연삭유보다 연삭숫돌과 공작물의 가공점에서 연삭유에 의한 압력증가가 작아지기 때문이다. 잔류응력의 경우는 연삭유를 사용하는 경우에 발생하는 열이 적기 때문에 인장잔류응력이 나타났지만 압축냉각공기는 발생의 증가로 인장잔류응력을 보였다.

2.6.3 가공 변질층

Fig.4는 압축냉각공기를 이용한 연삭 가공 후 공작물 단면을 15,000배 확대해서 촬영한 사진이다. 그림을 보면 공작물 표면의 입자가 내부보다 미세하고 가공방향으로 유동된 모습을 볼 수 있는데 이 부분이 연삭 열에 의해 발생하는 가공 변질층이다. 압축냉각공기를 이용한 경우 가공 변질층의 두께는 2~3 μm 였으며 연삭유와 Mist의 가공 변질층의 두께는 1~2 μm 이었다.



Fig.5 SEM photograph

3. 결론

압축냉각공기와 Mist를 이용한 연삭 가공기술의 냉각효과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 연삭유를 사용한 연삭 가공 시 연삭유의 순환과 냉각효과로 가공점에서의 연삭온도와 연삭력이 가장 작았으며, 공작물로의 에너지 유입비율도 가장 작았다.
2. 냉각방법에 따른 가공면의 표면품질 결과는 연삭유와 Mist를 사용한 연삭방법이 압축냉각공기를 사용한 냉각방법보다 좋았다.
3. 특히, 진원도의 경우는 Mist가 연삭유보다 연삭숫돌과 공작물의 가공점에서 연삭유에 의한 압력증가가 작아지기 때문에 연삭유보다 진원도가

좋았다.

4. 연삭 가공 후 열발생으로 인한 공작물의 가공 변질층을 분석한 결과 압축냉각공기를 이용한 경우가 연삭점에서의 발생 열이 제일 크기 때문에 가공변질층이 크게 나타났다.

참고문헌

- [1] H. Z. Choi, S. W. Lee, J. S. Ahn, "A comparison of the cooling effects of the compressed cold air and coolant for the cylindrical grinding", International euspen conference, pp. 416-419, 1999
- [2] H. Z. Choi, S. W. Lee, J. S. Ahn, "A study on the surface integrity for the cylindrical grinding with compressed cold air", ISAAT, pp. 187-192, 1998
- [3] 김남경, 이동호, 성낙창, 송지복, "냉각 공기 장치에 의한 환경친화 연삭 연구", 한국정밀 공학회지, No. 15 Vol. 9, pp. 145-151, 1998
- [4] 박영우, "가공변질층의 깊이의 수학적 모델링", 춘계정밀공학회 학술대회, pp. 247-250, 1997
- [5] Takashi Ueda, Masahiko Sato, Kazuo Nakayama, "Cooling characteristics of cutting grain in grinding", Annals of the CIRP vol. 45/1/1996
- [6] T. Kato, H. Fujii, "Energy Partition in Conventional Surface Grinding", ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, pp. 393-398, 1999.
- [7] C. Guo, Y. Wu, V. Varghese, S. Malkin, "Temperature and Energy Partition for Grinding with Vitrified CBN Wheels", Annals of the CIRP Vol. 48/1, 1999