

극미량 절삭유 분무 및 압축냉각공기를 이용한 마이크로 연삭가공의 열전달 특성에 관한 연구

Thermal Characteristics of Micro Grinding Process Using Minimum Quantity Lubrication and Compress Chilly Air

*이필호¹, Chengjun Li², #이상원²

*P. H. Lee¹, C. Li², #S. W. Lee(sangwonl@skku.edu)²

¹성균관대학교 기계공학과 대학원, ²성균관대학교 기계공학부

Key words : Minimum Quantity Lubrication, Micro Grinding, Compressed Cold Air, Grinding Energy

1. 서론

최근 자동차 부품, 전자부품, 반도체, 정보통신 산업 등의 다양한 첨단 산업 분야에서 고품위 제품의 생산에 대한 요구가 증가하고 있으며 이러한 부품의 생산을 위한 다양한 기계가공법에 관한 연구가 진행되고 있다. 그 중 연삭가공은 부품의 품질을 결정짓는 최종가공 프로세스로 알려져 있다.

이러한 연삭가공은 수많은 연삭숫돌의 절삭을 이용하여 공작물을 가공하는 공정으로 가공 시 마찰이 크게 발생하기 때문에 밀링 및 터닝 등의 일반적인 공작기계 비하여 단위체적당 유입열량이 크다. 따라서 연삭가공 시 고 에너지의 소비, 시편의 열 변형, 표면조도 저하 및 공구수명의 감소 등의 다양한 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 일반적으로 연삭가공 공정에는 절삭유(Metal Working Fluids, MWF)가 적용되고 있으며 연삭가공 시 윤활 및 냉각을 돕는 역할을 하고 있다. 그러나 절삭유의 사용은 환경 및 작업자의 건강과 환경에 좋지 않은 영향을 미치고 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 문제점들을 해결하고자 건식, MQL, 압축냉각공기 가공기술 등이 등장하였으며 이를 연삭가공에 적용한 다양한 연구가 진행되고 있다.

Bin Shen 등은 MQL 을 이용한 대형 연삭가공 프로세스에 관한 연구를 수행하였으며 이론 해석 및 실험을 통해 MQL 및 습식 연삭가공의 열적거동 예측 및 분석을 수행하였다.¹ Sridharan 과 Malkin 은 실험 및 전산해석을 이용하여 CNT 및 MoS₂ 등의 나노입자를 이용한 MQL, 건식 및 습식 가공의 열적 특성을 확인하였으며 각각의 대류 열전달 계수를 예측하였다.²

현재 대부분의 연삭가공의 열적 거동에 관한 연구는 대형 연삭가공 프로세스에 관한 연구가 주를 이루어지고 있으며 친환경 가공 프로세스에 관한 비교연구 및 1mm 이하의 직경의 공구를 이용하는 마이크로 연삭 프로세스의 열적 특성에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 건식, 습식, 압축 냉각공기 및 MQL 냉각을 적용한 마이크로 연삭가공 프로세스의 열적 거동에 관한 예측을 시뮬레이션을 통하여 수행 및 분석하였다.

2. 유한차분 해석

2.1 해석 조건 및 유한차분 모델 정의

연삭가공 시 시편내부의 온도변화를 예측하기 위하여 Matlab 프로그램을 이용한 유한차분 모델을 구성하였다. 해석 대상은 Alloy 2024-T6 알루미늄 합금이며 가로 10mm, 세로 5mm 크기의 2 차원 모델로 구성되었다. 시편의 Mesh size 는 0.1mm, 열량 유입길이는 0.2mm, 유입열량 Q 는 7.8W/mm 으로

설정하였다. 공구 이송속도는 180mm/min 으로 설정 하였으며 0.0001 초 단위로 해석을 수행하였다.

건식, 습식, MQL 및 압축냉각 공기를 적용한 열전달 해석을 다음 Table 1 과 같이 설정하였다.

Table 1 Comparison of measured roughness data

Cooling Condition	Temperature [oC]	Convection Coefficient [w/mK]
Dry	25	100
Flood	25	4.2*10 ⁵
MQL	25	2.4*10 ⁴
Cold Air	-25	250

2.2 해석 결과

Fig. 1 은 습식, MQL 및 압축냉각의 냉각 조건에서 시편의 동일한 지점의 열적 거동에 대한 유한차분 해석결과를 보여준다.

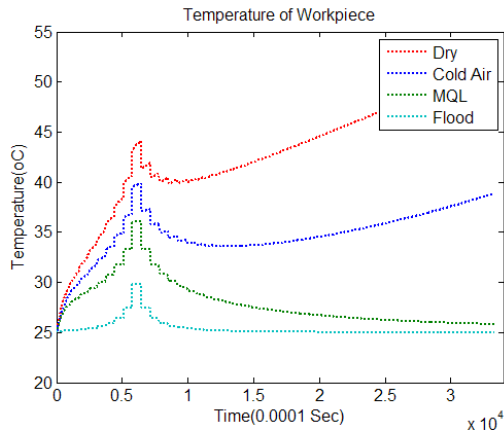


Fig. 1 Temperature of workpiece

Fig. 1 에서 알 수 있듯이 가공지점의 최고 온도는 습식, MQL, 압축 냉각공기 및 건식 가공순서로 작게 나타나고 있다. 습식 및 MQL 가공조건 에서는 시편의 온도가 해당 면의 가공 후 감소하는 반면 건식 및 압축냉각공기 가공에서는 가공 후 시편의 온도가 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 이는 공기에 의한 대류 조건에서 시편에 유입되는 열량은

유출되는 열량보다 크기 때문인 것으로 분석할 수 있다. 압축냉각공기 적용 시 주변 공기의 온도가 매우 낮기 때문에 열전달이 건식 가공에 비하여 활발히 이루어 질 수 있지만 대류 열전달 계수가 습식 및 MQL 에 비하여 몹시 작기 때문에 시편의 온도감소가 비교적 활발히 이루어지지 않은 것으로 보인다. 따라서 가공 시 대류 열전달 계수가 시편의 냉각에 지배적인 영향을 미치며 대류 열전달이 가장 활발히 이루어지는 습식 및 MQL 가공 조건에서 가공 표면의 열 변형 방지 및 공구수명의 감소 효과 등을 기대할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 건식, 습식, 압축냉각공기, MQL, 을 적용한 마이크로 연삭가공의 열적 거동에 관한 예측을 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 습식 가공 및 MQL 가공 시 충분한 대류 열전달 효과를 통해 가공 표면의 온도가 작아지는 것을 확인하였으며 압축냉각 공기의 적용 시 주변 공기와의 열전달이 건식가공에 비하여 상대적으로 활발히 이루어져 가공면의 온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 건식 및 압축 냉각 공기 모두 공기의 대류 열전달 계수가 MQL 및 MWF 유체에 비하여 몹시 작기 때문에 충분한 열전달이 이루어지지 않은 것으로 추정된다.

후기

이 논문은 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 일반연구자 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0076115).

참고문헌

1. Shen, B. and Shih, A. J., Minimum Quantity Lubrication (MQL) Grinding Using CBN Wheels, Transactions of NAMRI/SME, 37, 129-136, 2009.
2. Sridharan, U. and Malkin, S., Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) with Nano-fluid on grinding behavior and thermal distortion, Transactions of NAMRI/SME, 37, 629-636, 2009.