

마멸이론을 이용한 초음파연삭 시스템의 개발

Development of Ultrasonic Grinding System based on Wear Theory

*이광석¹, 김지윤¹, 정태도¹, 최영재², 이석우², 최현종²

*C. S. Lee¹, J. Y. Kim¹, H. D. Jeong(hdjeong@pusan.ac.kr)¹, Y. J. Choi², S. W. Lee², H. J. Choi²

¹부산대학교 대학원 기계공학부

²한국생산기술연구원

Key words : Wear Theory, Ultrasonic Grinding, Kinematic Motion, Abrasive Wear

1. 서론

초음파 가공의 특징은 공구의 진동에 의한 금속 및 비금속의 드릴링, 절단, 표면가공 등을 할 수 있기 때문에 고정밀도 뿐만 아니라 균일한 표면 거칠기를 얻을 수 있는 장점이 있다¹. 본 논문은 마멸이론(Wear theory)을 이용하여 초음파연삭 시스템의 설계에 대한 연구를 진행하였다. 마멸율(Wear rate)을 정의하는 변수를 이용하여 알루미늄(Aluminium), 지르코니아(Zirconia), 유리(Glass)의 초음파연삭 뿐만 아니라 강(Steel)의 초음파연삭의 적용 가능성에 대해 알아보려 한다.

2. 마멸이론

마멸(wear)이란 물체 표면의 재료가 점진적으로 손실 또는 제거되는 현상을 말한다. 공구와 재료의 미끄럼에 의해 발생하는 마멸율(wear rate)은 재료 제거율이 되며 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{V} = k \frac{L v}{p} \quad (1)$$

여기서 k 는 마멸계수, L 은 하중의 크기, v 는 이동속도, p 는 피삭재의 경도를 나타낸다. 본 논문에서는 식 (1)의 마멸율에 관계하는 변수들을 이용하여 낮은 연삭력으로 높은 연삭효율과 재료의 고품위 표면을 얻기 위한 초음파연삭 시스템의 설계에 대한 이론적인 접근을 수행하였다.

3. 초음파연삭 특성

3.1. 초음파의 진동방향 v

초음파연삭은 초음파의 진동방향과 공구의 진행방향에 따라 Fig. 1처럼 인피드연삭 및 평면연삭의 두 종류 운동방식으로 분류할 수 있다.

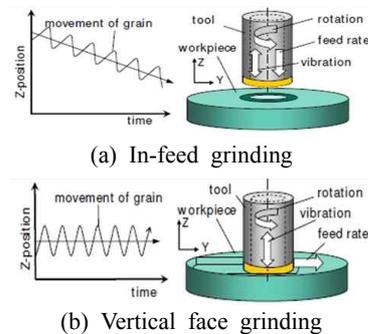


Fig. 1 Kinematic motion in ultrasonic grinding

(a)는 초음파의 진동방향과 공구의 진행방향이 일치하는 운동방식으로 드릴링에 적합하다. 이 경우는 초음파의 진동과 공구의 연삭력이 중첩되어 높은 연삭효율을 나타내지만 재료의 표면에는 스크래치 등의 표면결함이 생길 가능성이 큰 운동방식이다. (b)는 초음파의 진동방향과 공구의 진행방향이 서로 수직한 운동방식으로 평면연삭에 적합하며, 연삭효율은 인피드방식에 비해 낮은 대신 우수한 재료 표면을 얻을 수 있는 장점이 있다.

3.2. 초음파의 특성 L, v

초음파의 진동은 공구에 빠른 운동력을 부여하여 기존의 연삭가공에 비해 낮은 연삭력으로 높은 연삭효율을 가능하게 한다³. Fig. 2는 유리(N-BK7)에 대한 초음파 발생의 유무에 따른 연삭력 및 재료제거율을 나타낸 그래프이다. 초음파를 사용하지 않는 경우, 높은 연삭력에도 불구하고 가장 낮은 재료제거율을 가짐을 확인할 수 있다. 또한, 진폭이 서로 다른 초음파를 사용한 경우, 진폭의 크기와 재료제거율은 비례관계에 있는 것을 알 수 있다.

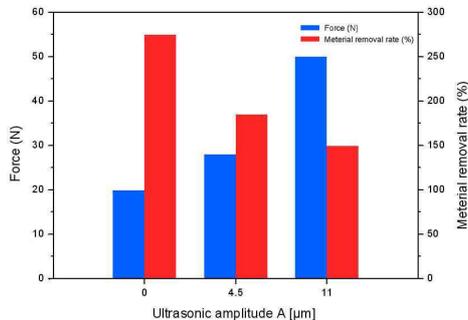


Fig. 2 Force and material removal rate due to ultrasonic amplitude

마멸율을 나타내는 식 (1)에서 하중의 크기 L 은 초음파의 진폭, 이동속도 v , 진동수의 크기에 밀접한 영향이 있는 변수로서 저진폭-저진동수, 저진폭-고진동수, 고진폭-저진동수, 고진폭-고진동수의 4가지 경우로 나눌 수 있다. 저진폭보다는 고진폭의 경우 공구가 재료에 미치는 하중이 크기 때문에 높은 재료제거율을 나타낸다. 그리고 저진동수보다는 고진동수의 경우 공구의 가공속도가 빠르기 때문에 재료제거율이 높게 나타난다. 결과적으로, 초음파의 진폭과 진동수의 관계에서 고진폭-고진동수를 사용하면 가장 높은 연삭효율을 얻을 수 있다.

3.3. 피삭재의 경도 p 와 마멸계수 k

경도(Hardness) p 는 재료의 기계적 성질 중에서 무르고 단단한 정도를 나타내는 수치이다. 연삭은 경도가 높은 공구를 이용하여 재료의 표면을 제거하는 가공이기 때문에 재료와 공구간의 마멸계수 k 역시 중요하다. Table 1은 연삭가공에서 일반적으로 사용되는 재료와 강의 경도를 나타낸 표이다.

Table 1 Hardness of materials in grinding process

| Materials | Hardness | Materials | Hardness |
|-----------|----------|-----------|----------|
| Aluminum | 2.0-2.9 | Copper | 2.5-3.0 |
| Glass | 4.5-6.5 | Zirconia | 7.5 |
| Iron | 4.0-5.0 | Steel | 5.0-8.5 |

초음파연삭에 대한 선행연구는 피삭재가 알루미늄, 유리 및 지르코니아 등의 취성이 강한 재료로 제한적이다. 현재의 연삭숫돌 입자는 알루미나계(Alumina)계와 탄화규소(SiC)계를 많이 사용하고 있지만 높은 연삭효율 및 고품위 표면조도를 얻기 위해서는 입자의 변화가 필요하다고 생각한다. 기

존의 연삭숫돌을 사용하여 경도 및 내마모성이 높은 재료를 연삭할 경우 숫돌의 마모가 급격히 빨라지며 연삭열에 의해 재료의 표면에 인장응력이 발생하여 크랙(Crack) 및 버닝(Burning) 등의 표면결함을 발생시킨다. CBN(Cubic Boron Nitride)은 다이아몬드 다음으로 단단한 물질로 열적 안정성뿐만 아니라 날카로운 입자를 유지하여 마멸계수 k 를 극대화시키며, 연삭열을 최소화하기 때문에 피삭재의 고품위 표면을 얻을 수 있다.⁴

4. 결론

본 논문은 마멸이론을 이용하여 초음파 연삭의 궁극적 목표인 낮은 연삭력으로 피삭재의 고품위 표면과 높은 연삭가공 효율을 얻기 위하여 운동방식, 초음파의 특성, 피삭재의 경도의 최적 조건을 알아보았다.

- 1) 초음파의 진동방향과 공구의 이동방향이 서로 수직인 평면연삭인 경우, 인피드연삭에 비해 피삭재 표면의 결함을 최소화할 수 있다.
- 2) 초음파의 진폭 L 과 진동수 v 는 공구의 가공속도에 밀접한 영향을 주는 인자이다. 높은 연삭효율을 얻기 위해서는 고진폭-고진동수의 초음파를 사용하여 L , v 를 향상시킨다.
- 3) CBN 숫돌을 사용하면 전통적인 연삭숫돌에 비해 높은 마멸계수 k 를 얻으며, 열적 안정성 및 재료의 고품위 표면을 구현할 수 있다.

후기

본 논문은 2011년도 2단계 두뇌한국(BK)사업 및 2011년도 차세대 하이브리드 연삭시스템 개발 사업의 연구비에 의하여 지원되었으며 이에 감사합니다.

참고문헌

1. 문홍현, 박병규, 이찬호, 김성청, "초음파 폴리싱 가공에 따른 세라믹재료의 표면거칠기에 관한 연구," 한국기계가공학회지, pp. 15-21, 2003.
2. R. Gregg Bruce, Mileta M. Tomovic, John E. Neely, Richard R. Kibbe, "Modern Materials and Manufacturing Processes 2nd," pp. 409, 2003.
3. 이석우, 정해도, 최현중, "CBN 연삭숫돌의 초음파 인피드프로세스 드레싱 기법," 한국정밀공학회지, pp. 43-50, 2000.