

금형강의 고속가공시 공구상태의 감시

Monitoring of tool conditions

in high-speed machining of die material

허 현, 이기용(부산대 원), 정용호, 이득우, 김정석(부산대 ERC/NSDM), 황경현(KIMM)
Hyun Hur, Ki-Young Lee(Graduate School, Pusan Univ.), Yung-Ho Jeong, Deug-Woo Lee,
Jeong-Suk Kim(ERC/NSDM, Pusan Univ.), Kyung-Hyun Hwang(KIMM)

Abstract

The high efficiency and accuracy in machining the die material can be obtained in high speed machining, so it is necessary to analyze the mechanism of high speed cutting process : cutting force, flank wear. The tool dynamometer with high natural frequency is newly developed. With this device, the mechanism of high speed cutting process is investigated according to spindle speed and feedrate.

Key Words : High-Speed Machining (고속가공), Flat End Mill (플랫 엔드밀), Cutting Force (절삭력), Flank Wear (여유면 마멸), Piezo-type Force Sensor (압전형 힘센서), Tool Dynamometer (공구동력계)

1. 서 론

최근 가공의 고능률화를 위해서 고속가공에 관한 연구가 요구되고, 공작기계의 주축회전수 및 강성의 증가에 따라 고속가공에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 현재의 고속가공은 알루미늄등의 경합금의 경우 주축회전수가 100,000rpm 이상의 절삭속도에서 가공이 행하여지고 있고, 금형강등의 고경도의 고속가공은 아직 연구가 미진한 상태이다. 그리고, 고속 단속절삭을 대상으로 한 절삭현상의 메카니즘도 아직 명확히 규명되지 않았다. 이러한 문제점에도 불구하고 고능률, 고정도의 가공을 실현한다는 측면에서 그 효용가치가 매우 높으며 현재 가장 연구가 활발히 진행되고 있는 가공기술 중의 하나이다.^(1~3) 또한, 고속가공시에는 공구에 과도한 절삭상태가 가해지므로써, 공구의 마멸이나 칩핑, 파손등이 발생하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 고속가공시 고주파의 단속 절삭력의 측정을 위해 고응답성을 가진 3축 공구동력계를 제작하고, 고속의 회전수에서 이를 평가한다. 그리고, 고속가공시 절삭력의 신호획득에 이를 이용하여 금형강의 고속가공시 회전수 및 이송량의 증가에 따른 절삭력 특성을 조사하고, 또한, 회전수와 이송량의 증가에 따른 공구마멸 메카니즘의 분석과 절삭력에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하고자 한다.

2. 고속가공용 공구동력계의 제작과 절삭력의 측정

2.1 공구동력계의 제작

Fig. 1은 제작된 공구동력계의 개략도이다. 구조는 피삭재(STD11, 15HRc), 힘센서(Kistler사, type : 9251A), 베이스(SS400)이고 특히, 공구동력계의 고유진동수를 높이기 위해 피삭재는 가능한 질량을 감소시켰으며 힘센서는 수정의 압전효과를 이용한 압전식 3분력 변환기를 사용하여 가해진 힘은 전하중폭기를 통해 전압으로 변환한 뒤 A/D 보드에서 변환한 뒤 PC에서 데이터를 획득하였다.

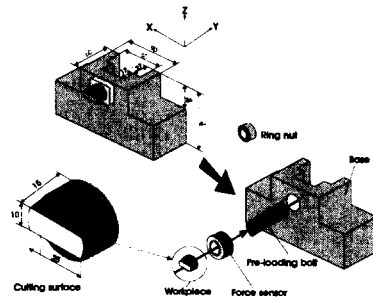


Fig. 1 Schematic diagram of tool dynamometer

2.2 고속가공용 공구동력계의 성능평가

2.2.1 공구 동력계의 고유 주파수 측정

개발된 공구동력계의 주파수 특성을 알아보기 위하여 Fig. 2와 같이 실험하였다.

Fig. 2에서 강구를 이용하여 단진자를 제작하여 충격힘을 주었고, 그 길이는 200mm이다. 충격힘은 동력계 신호를 전하증폭기를 통하여 전압으로 변환한 뒤 FFT analyzer (B&K 2034)를 통해 분석하여 비디오 프린터로 그 결과를 출력하였다.

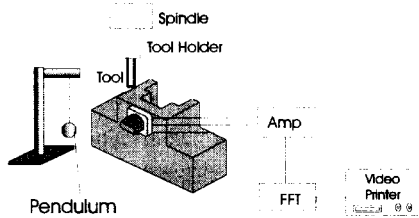


Fig 2 Experimental set up for FFT analysis

충격 하중하에서 공구동력계의 고유진동수를 측정 한 결과는 X축 방향 9.12kHz, Y축 방향 15.6kHz, Z축 방향 9.2kHz이다. 4날 플랫엔드밀로 20,000rpm가 공시 절삭주파수는 1.3kHz($20,000 \times 4/60 = 1.333\text{kHz}$)이므로 공구동력계는 6.8~12배의 고유주파수를 갖게 되어 높은 주축회전수에서 고응답의 절삭력 신호를 획득하는 것이 가능하리라고 기대된다.

2.2.2 절삭력의 측정실험

새로이 제작된 공구동력계를 이용하여 S20C의 피삭재를 이용하여 절삭력 측정 실험을 하였다. Table 1는 절삭조건을 나타낸다. 측면으로 건식하향 절삭을 하고, 공구는 $\phi 10$ 의 초경 솔리드 엔드밀을 사용하였다.

Table 1 Experimental Cutting Conditions

| Edge | RPM | Feed (mm/min) | Feed/tooth (mm/tooth) | Axial depth | Radial depth |
|------|--------|---------------|-----------------------|-------------|--------------|
| 4 | 2,000 | 200 | 0.05 | 10mm | 0.1mm |
| | 10,000 | 2000 | | | |
| | 16,000 | 3200 | | | |
| | 18,000 | 3600 | | | |

측정한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. (a), (b)는 2,000rpm에서의 절삭력 파형이다. 새 공구를 사용하여 절삭력을 측정하였는데 런아웃의 영향을 반영하고, 4개의 날의 단속적인 절삭력 파형을 측정하는데 무리가 없으며, 절삭상태가 절삭력파형을 볼 때 안정됨을 알 수 있다. (c), (d)는 18,000rpm에서의 파형인데, 고속에서의 절삭시 과도한 상태가 되므로써, 절삭력 파형이 다소 흔들리게 되는데, 이러한 절삭상의 상태나, 공구의 인선에 따른 영향을 반영하는 절삭력을 고응답으로 측정할 수 있다.

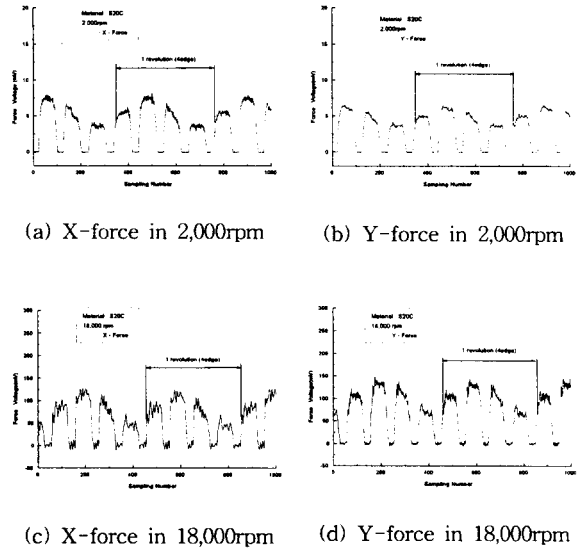


Fig. 3 Force characteristics in cutting of S20C

3. 절삭속도 및 이송량이 절삭력에 미치는 영향

3.1 실험 방법 및 조건

절삭속도 및 이송량의 증가에 따른 절삭력 특성을 파악하기 위하여 Fig. 4와 같이 실험장치를 구성하였다. 시편은 S20C와 STD11를 사용하여 측면에서 건식하향 절삭을 행하였고, 공구는 $\phi 10$ 의 초경솔리드 엔드밀을 사용하였다.

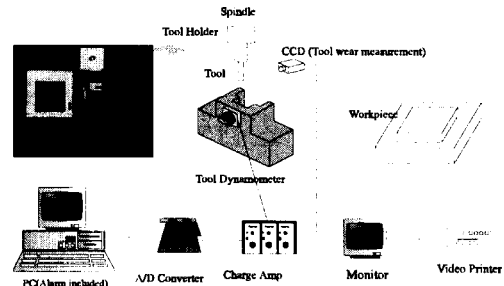


Fig. 4 Experimental set-up

실험 조건은 반경방향은 0.01mm, 축방향은 10mm로 일정하게 하였고, 절삭속도에 대한 절삭력특성을 위한 실험에서는 저속에서부터 고속으로 하였는데, 저속에서 먼저 1,000rpm을 실험하고, 그후, 2,000rpm에서부터 18,000rpm까지 2,000rpm을 단위로 실험을 하였다. 날당 이송량은 0.05mm/tooth로 일정하게 두었다. 그리고, 이송량에 따른 절삭력 특성평가 실험은 10,000rpm, 16,000rpm의 두 절삭속도에서 각각

0.01 ~ 0.15mm/tooth까지 0.02mm/tooth단위로 증가하여 실험을 하였다.

3.2 실험 결과

3.2.1 회전수에 따른 절삭력의 특성

고속가공에서 회전수의 증가에 따른 결과를 Fig. 5에 나타내었다. STD11에서는 X방향 힘이 점진적으로 감소하며 Y방향 힘은 증가하는 경향을 보인다. 두 힘의 크기는 4,000~5,000rpm사이에서 반전되어 Y방향 힘이 X방향 힘보다 커지고, 그 간격은 속도의 증가에 따라 커지는 경향을 보인다. S20C의 가공시에도 STD11과 비슷한 경향을 보이나, 두 힘의 차이가 미소하고 거의 같은 값을 가진다. 그리고, 저속에서는 X방향 힘이 더 크게 작용하나, 10,000rpm의 고속에서는 두힘이 같아지며 그 이후로 Y방향 힘이 약간 크게 작용한다.

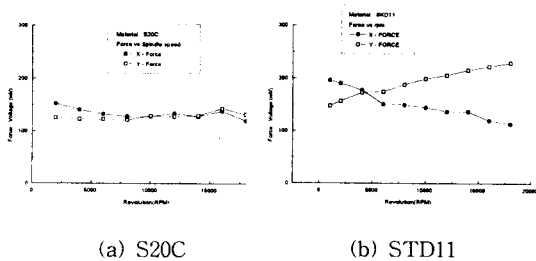


Fig. 5 Cutting force variation according to spindle speed

고속 가공에서 X, Y방향 힘의 크기가 바뀌는 것은 절삭속도가 증가함에 따라 법선방향의 비절삭저항이 증가하고, 반대로 접선방향의 비절삭저항은 감소하기 때문인 것으로 생각된다. 배분력의 증가는 직접적으로 가공면의 파형도(Waviness)에 영향을 주게 되고, 런아웃도 관계되므로, 고속가공에서 공구의 설계나 절삭조건의 선정시 배분력의 조정이 중요한 요소가 될 것으로 여겨진다.

3.2.2 이송량에 따른 절삭력의 특성

절삭력의 결과를 Fig. 6에 나타내었다. S20C의 가공시 절삭력은 X, Y 두 방향 힘 모두 증가하고, 10,000rpm, 16,000rpm에서 두 힘이 비슷한 값을 유지한다. Fig. 5(a)에서 절삭속도에 따른 절삭력의 경향에서와 비슷한 경향을 보인다. STD11의 가공시 이송량의 증가에 따라 힘이 모두 증가하는 경향을 보이고 있다. 두 힘의 간격은 거의 일정하며 10,000rpm에서 점차 좁아지는 경향을 보인다.

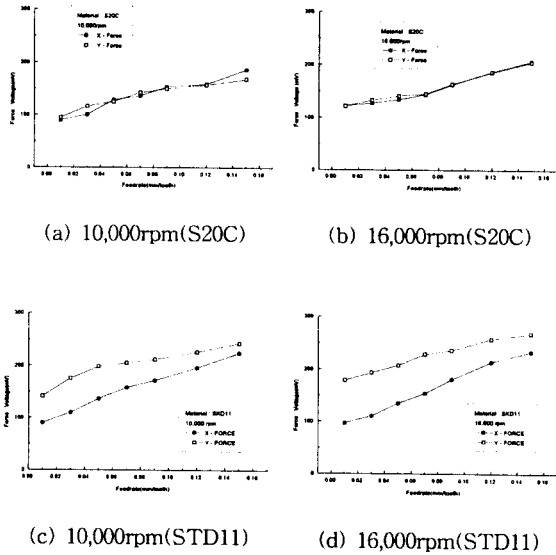


Fig. 6 Cutting force variation according to Feed

4. 절삭 조건이 공구마멸과 절삭력에 미치는 영향

4.1 실험 방법 및 조건

공구마멸 실험을 위해 마멸용 시편(120×100×80)을 준비하여 공구동력계와 함께 고속가공기의 테이블에 장착하였다. 공구마멸을 측정할 때 공구의 칩탈시 발생하는 런아웃을 제거하기 위해 이동식 CCD 카메라를 이용하여 직접 테이블 위에서 값을 측정하고 그 형상을 비디오 프린터로 출력하였다. Fig 4는 실험 장치를 보여준다. 실험방법은 초기의 새 공구의 절삭력을 획득하고, 그 뒤 일정만큼 마멸을 시킨 뒤에 비디오 카메라로 마멸을 측정하고, 절삭력을 획득하였다. 이러한 것을 반복하여 실험하였다. 절삭력을 획득하는 양은 고성능의 A/D 보드를 사용하여 한 날당 100개의 샘플링을 하여 30000개의 데이터를 획득하여 중간지점의 절삭력을 사용하였다. Table 2, 3은 실험조건이다.

Table 2 Variation of spindle speed in cutting condition

| RPM | Feed (mm/min) | Feed/tooth (mm/tooth) | Axial Depth | Radial Depth |
|--------|---------------|-----------------------|-------------|--------------|
| 10,000 | 2000 | 0.05 | 10 mm | 0.1 mm |
| 14,000 | 2800 | | | |
| 16,000 | 3200 | | | |

Table 3 Variation of feed in cutting condition

| RPM | Feed | Feed/tooth mm/tooth | Axial depth | Radial depth |
|--------|------|------------------------|----------------|-----------------|
| 10,000 | 2000 | 0.05 | 10mm | 0.01mm |
| | 2800 | 0.07 | | |
| | 3600 | 0.09 | | |

4.2 실험 결과

4.2.1 회전수에 따른 공구마멸과 절삭력의 특성

Fig. 7 (a)에서 회전수의 증가에 따른 마멸의 진전을 나타낸다. 회전수가 증가할 수록 마멸곡선의 경사가 커지고 진전이 빨라짐을 알 수 있다.

(b), (c), (d)는 가공길이당 절삭력을 보여준다. 마멸이 진전됨에 따라 절삭력도 증가하게 된다. 초기의 공구는 제작시에 표면이 불균일하고, 런아웃에 의해 절삭력과형도 균일하지 않았으나, 마멸이 진전될 때 플랭크면 마멸이 균일하게 생겨 셋팅시의 런아웃이 감소하고 절삭력도 균일해 지는 경향을 보였다.

그리고, 마멸이 약 0.2mm정도 될 때 마멸시편을 가공할 때 불꽃이 튀게 되어 가공면에 탄흔적이 남기도 하였다. 이러한 열의 영향을 최소화하기 위해 1pass간격사이의 시간을 급속이송의 5%로 두고 가공을 행하였다. 그리고, 여기에서 고속가공시에 열적인 영향이 아주 중요한 요소임을 알 수 있었다.

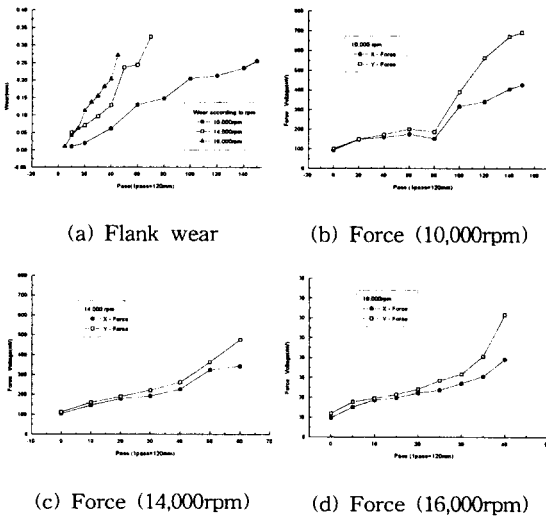


Fig. 7 The characteristics of Wear and Force according to spindle speed

4.2.2 이송량에 따른 공구마멸과 절삭력의 특성

Fig. 8(a)는 이송량에 따른 마멸을 그렸다. 그림에서 이송량에 따라 미소한 차이를 보였으며, 0.05 mm/tooth가 0.07mm/tooth보다 마멸이 더 크게 발생

하고 있다. 따라서, 이송량을 공구마멸의 측면에서 향상시킬 수 있다.

(b), (c), (d)는 절삭거리당 절삭력의 경향을 보여준다. 절삭거리가 커질수록 힘은 커지고, 역시 Y방향 힘이 X방향 힘보다 크게 나타나며 0.09mm/tooth에서는 두 힘의 차이가 더 큰 경향이 나타난다.

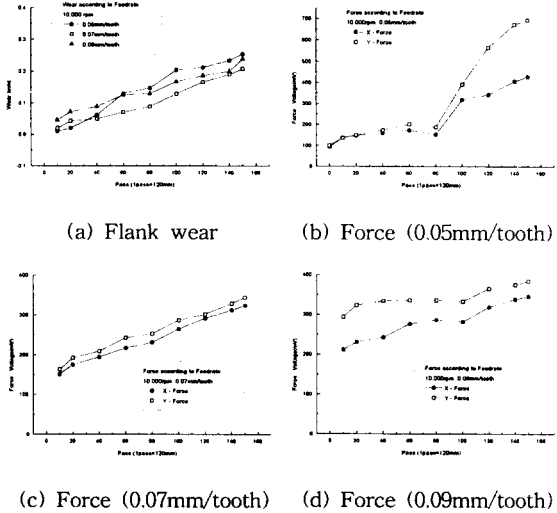


Fig. 8 The characteristics of Wear and Force according to feedrate

5. 결론

- 1) 고응답의 3축 공구동력계를 제작하였다. 이 장치는 4날 엔드밀 가공시 18,000rpm에서 단속절삭력을 획득할 수 있다.
- 2) 회전수의 증가에 따라 X방향 힘은 감소하고, Y방향 힘은 증가하는 경향을 보인다. 고속에서 배분력의 힘이 접선분력보다 커지게 된다.
- 3) 이송량에 따라 절삭력은 증가하고, 마멸을 기준으로 보았을 때 이송량을 0.07mm/tooth까지 고속화 할 수 있다.
- 4) 회전수 및 이송량의 증가는 공구마멸을 촉진시키고, 절삭력은 마멸의 진전에 따라 증가한다.

참고 문헌

- 1) T. Moriwaki, "High-Speed Machining", CIRP, Vol.41, 1992
- 2) H. Schut, "High-Speed milling of Dies and Moulds-Cutting Conditions and Technology", CIRP, Vol.44, 1995
- 3) T. Ikeda, "고속·高精度切削을 위한 工作機械と 加工技術", 形技術セミナー, 1995