

고경도 금형강(SKD61)의 고속가공에서 절삭조건 변화에 따른 가공성 평가

김득현*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 강명창, 이득우,
김정석(부산대 기계공학부), 김광호(부산대 무기재료공학과)

Evaluation of machining characteristics according to cutting condition of hardened steel in high speed machining

D. H. Kim(Graduate School, PNU), M. C. Kang, D. W. Lee,
J. S. Kim(Mech. Eng. Dept., PNU), K. H. Kim(Inorganic Materials Egn. Dept., PNU)

ABSTRACT

Recently high speed machining is being studied actively to reduce machining time and to improve machining precision. To perform efficient high speed machining, evaluation of high speed machinability must be studied preferentially and it can be identified by investigation of cutting force, tool wear and surface roughness. In this study, the cutting force and tool wear and surface roughness are investigated in case of various cutting conditions for hardened die steel.

Key Words : High speed machining (고속가공), Machinability (가공성), Cutting force (절삭력), Tool wear (공구마멸), Surface roughness (표면조도), Cutting condition (절삭조건)

1. 서론

최근에 기계, 전자, 반도체를 비롯한 항공 우주산업 등의 급속한 발달로 그 구성 부품들의 고정도 가공의 필요성이 증대되고 있다. 그러나 이러한 부품들은 보통 난삭성을 띠는 것이 특징이며, 이에 효과적인 가공기술은 아직 미흡한 실정이다. 가공의 고능률화를 위해서 고속가공에 관한 연구가 요구되고 있으며, 공작기계의 주축회전수 및 강성의 증가에 따라 고속가공에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재의 고속가공은 알루미늄 등의 경합금의 경우 주축회전수가 100,000rpm 이상의 절삭속도에서 가공이 행하여지고 있고, 금형강 등의 고정도 소재에 관한 고속가공은 아직 연구가 미진한 상태이다. 또한 고속 단속절삭의 메커니즘도 아직 명확히 규명되지는 않았다.^[1,2] 이러한 문제점에도 불구하고 고능률, 고정도의 가공을 실현한다는 측면에서 그 효용 가치가 매우 높으며 현재 가장 연구가 활발히 진행되고 있는 가공기술 중의 하나이다. 그러나 고속가

공은 높은 절삭속도로 가공을 행함으로 절삭온도의 상승, 극심한 공구마멸의 발생 등 여러 가지 문제가 발생할 수 있다.^[3,4] 특히 금형강일 경우 공구마멸의 크기 및 진전속도가 일반강을 가공할 때에 비해 매우 커서 공구수명의 단축으로 인한 생산성의 저하를 야기시키는 중요한 원인이 된다.^[5,6]

따라서, 본 연구에서는 금형강의 고속가공시 고주파수 응답 특성을 가진 압전형 공구동력계를 이용하여 회전수와 날당이송에 대한 절삭력의 특성을 조사하였으며, 이를 통해 공구마멸과 표면조도와의 상관관계를 조사하여 가공트러블에 대한 가공성을 평가한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에서는 최대 주축회전수가 20,000rpm인 수직형 머시닝센터(MAKINO V-55)를 이용하였다. 가공성을 평가하는 인자로서 절삭력, 공구마멸, 표면

조도를 측정해 비교하였다. 절삭력을 측정하는 공구동력계는 수정의 압전효과를 이용한 압전형 힘센서(Kistler사, type : 9251A)를 사용해 제작된 고속가공용 공구동력계이다. 특히 고유진동수를 높이기 위해 공작물은 가능한 질량을 감소시켰다. 공구마멸은 공구의 런아웃을 줄이기 위하여 장착된 상태에서 CCD 카메라를 이용하여 측정하였다. 표면조도는 분해능이 10nm인 스타일러스식 표면조도 측정기를 사용하였다. 공구는 한국OSG사의 4날 초경 엔드밀(MG-EMS 4F)을 사용하였으며, 공작물은 열간 단조용 금형강(SKD61, HRC 52)에 대해 가공성을 평가하였다. Fig 1.은 본 실험에 사용된 실험장치도의 모습이다.

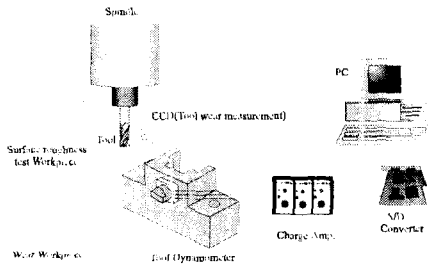
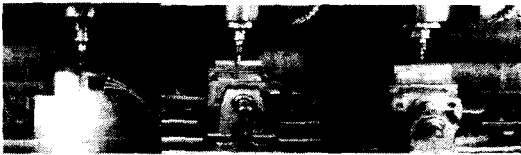


Fig. 1 Experimental set-up

2.2 실험방법

실험방법은 Fig. 2에 나타난 바와 같이, 절삭력, 공구마멸 및 표면조도와와의 상관관계를 조사하기 위하여 고속가공기 테이블 위에 절삭력 측정용, 공구마멸 측정용 그리고 표면조도 측정용의 공작물을 설치하여 각각의 절삭조건에서 하향절삭을 행하였다.



(a)Cutting force (b) Tool wear (c)Surface roughness

Fig. 2 Machining method for each workpiece

그 때 사용한 조건은 Table 1과 같다. 절삭속도의 변화에 대한 절삭력의 특성을 알아보기 위하여 날당 이송을 고정하고 주축회전수가 6000rpm에서 6000rpm까지 2000rpm간격으로 실험하였으며, 날당 이송(mm/tooth)은 0.04에서 0.14까지 0.02간격으로

행하였다. 또한 절삭력의 신호 특성으로부터 공구마멸과 표면조도와와의 관계를 알아보기 위하여 의미 있는 절삭조건 영역에서 실험을 행하였다.

공구마멸측정은 공구의 선단부분, 중간부분, 경계부분으로 나누어 각각 측정하였으나 선단부분은 밀면의 절삭이 이루어져 마멸측정값이 신뢰하기 어려워 중간부분의 마멸을 측정하고 4날에 대해 최대의 마멸 값을 측정하였다.

Table 1 Cutting conditions

Cond. Test	Spindle revolution (rpm)	Feed per tooth (mm/tooth)	Axial depth (mm)	Radial depth (mm)
Cutting Force	6,000 ~ 16,000	0.05	10	0.1
	10,000	0.04~0.14	"	"
Machinability	8,000 ~ 10,000	0.06	"	"

3. 실험결과 및 고찰

3.1 절삭조건에 따른 절삭력

3.1.1 회전수에 따른 절삭력 특성

절삭력 파형을 평가하기 위해 Fig. 3과 같이 절삭과정의 2회전에 대한 절삭력신호의 최대값과 최대값을 평균한 평균 절삭력으로 분석하였다.

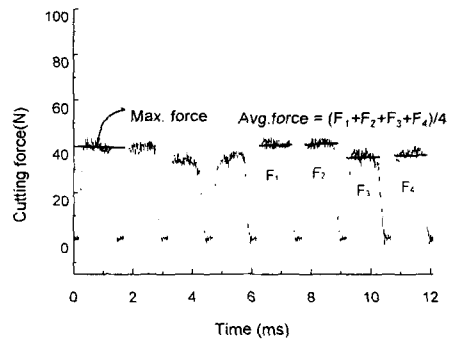


Fig. 3 Definition of average and maximum value for analysis of cutting force signal

회전수 증가에 따른 절삭력의 특성을 Fig. 4에 나타내었다. 날당 이송이 0.05mm/tooth로 일정할 때 이송방향의 절삭력은 거의 변화가 없는 반면에

반경방향의 절삭력은 회전수가 증가함에 따라 점진적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 절삭속도의 증가에 따라 법선 방향의 비절삭저항이 증가와 공구 처짐이 증가하여 절삭력이 증가하는 것으로 보여진다. 이러한 반경방향 절삭력의 증가는 공구변형을 증대시켜 가공면에 직접적인 영향을 미치므로 고속가공에서 공구의 설계나 절삭조건 선정시 중요한 요인으로 사료된다.

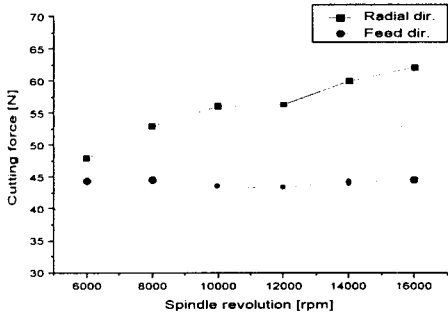


Fig. 4 Characteristics of cutting forces according to spindle revolution

3.1.2 날당이송에 따른 절삭력 특성

날당이송에 따른 절삭력의 특성을 Fig. 5에 나타내었다. 날당이송이 증가함에 따라 이송방향, 반경방향의 절삭력이 증가하는데, 이는 날당이송의 증가가 각 날들의 절삭량을 증가시키기 때문이다. 절삭력의 크기를 생각해볼 때 날당이송이 0.08 mm/tooth 이상일 때는 절삭을 시작했을 때 상대적으로 큰 절삭력이 작용하여 공구마멸이 초기에 발생할 것으로 예상된다.

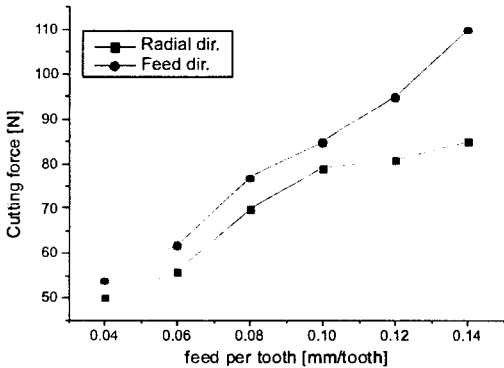


Fig. 5 Characteristics of cutting forces according to feed per tooth

3.2 절삭길이에 따른 가공성 평가

3.2.1 절삭력 특성

Fig 6은 8000rpm과 10,000rpm에서 절삭길이에 따른 절삭력의 값들을 나타내었다. 절삭길이가 증가함에 따라 반경방향의 절삭력들은 크게 증가하는 반면 상대적으로 이송방향의 절삭력들의 값은 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 8000rpm 보다는 10,000rpm에서 더 큰 절삭력의 값들을 나타내는데 이는 고속영역에서 공구의 마멸이 더 급격할 때문이다. 이런 경향으로 볼 때 고속가공에서 공구수명을 고려한 적절한 절삭속도의 선정이 필요하겠다.

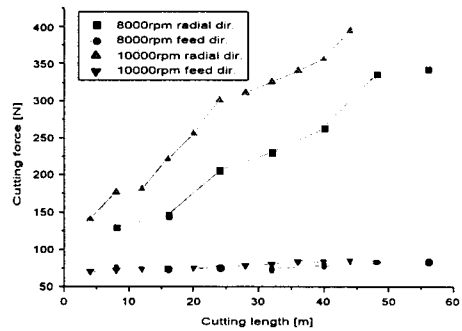
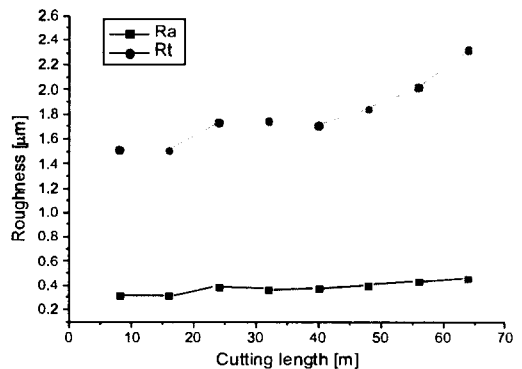


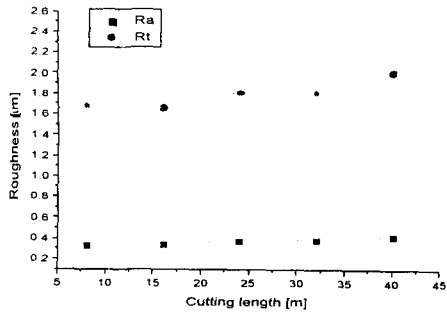
Fig. 6 Characteristics of cutting forces according to cutting length

3.2.2 표면조도 특성

Fig. 7에 절삭길이에 따른 표면조도를 나타내었다. 절삭길이가 증가함에 따라 Ra, Rt값들 모두가 증가하는데 이는 공구마멸의 영향으로 볼 수 있다. 공구가 마모되면 더 큰 절삭력이 작용하고 또 이는 표면형상에 그대로 나타나게 되어 앞서 절삭력이 급격히 증가하는, 절삭길이 15m 부근에서 표면거칠기 역시 급격히 나빠지는 경향을 볼 수 있다.



(a) 8000rpm



(b) 10,000rpm

Fig. 7 Characteristics of roughness according to cutting length

3.2.3 공구마멸 특성

절삭길이에 따른 공구의 마멸량을 Fig. 8에 나타내었다. 절삭속도가 빠를수록 공구마멸이 많은 것을 확인할 수 있으며 8000rpm과 10000rpm 모두에서 공구마모가 진행될수록 더욱 급격하게 마멸이 진행되는 경향을 나타낸다. 공구마모가 0.08mm 정도 진행되었을 때 절삭길이는 8000rpm 일 때가 약 20m정도 더 가공이 이루어짐을 알 수 있다. Fig. 9에 공구의 마멸사진을 보였다.

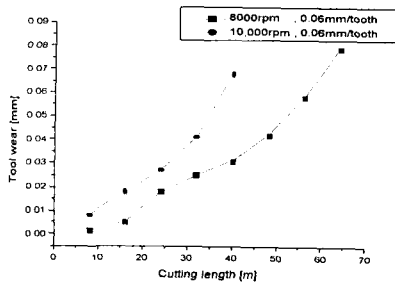
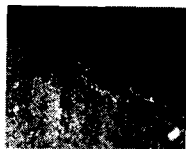


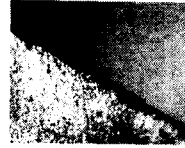
Fig. 8 Characteristics of tool wear according to cutting length



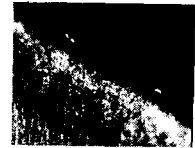
(a) 8000rpm 56m



(b) 8000rpm 64m



(c) 10000rpm 32m



(d) 10000rpm 40m

Fig. 9 Photo of flank wear according to cutting length

4. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 주축회전수와 날당 이송의 증가에 따라 평균 절삭력은 증가하는 경향 보인다.
- (2) 절삭길이가 길어짐에 따라 반경방향의 절삭력은 크게 증가하나, 이송방향의 절삭력은 큰 변화는 없다.
- (3) 절삭길이가 증가함에 따라 공구마멸은 더욱 급격하게 이루어지고, 이것으로 인하여 절삭력도 크게 증가하며, 표면거칠기도 급속히 악화된다.

후기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 : 1999-2-301-013-3)지원으로 수행되었음.

참고문헌

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. 有本, "工具から見た高速切削の現状と課題", JSPE, 第 210回講習會, 1994
4. S. E. Oraby, D. R. Hayburst, "Development of models for tool wear monitoring in NC metal cutting", Int. J. Mech. Sci 33(2), pp.125-138, 1991
5. M. Y. Yang, H. D. Park, "The Prediction of Cutting Force in Ball End Milling", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol.118, pp.95-103, 1996
6. M. C. Kang, D. W. Lee, J. S. Kim, "A study on The High Speed Interrupted Machining of High Hardened Material using Newly Developed Tool Dynamometer", ICPE 97, pp262-268, 1997