

회주철(GC250)의 고속가공을 위한 엔드밀공구의 형상 설계 및 가공성 평가

이상용*, 김전하(부산대원), 강명창, 김정석(부산대 ERC/NSDM), 강호연(성진엔테크(주))

Shape Design and Machinability Evaluation of Flat End mill for High Speed Machining of GC250 Material

S. Y. Lee, J. H. Kim(Graduate School, Pusan Nat'l Univ.),
M. C. Kang, J. S. Kim(ERC/NSDM Pusan Nat'l Univ.), H. Y. Kang(Sung-Jin Co.)

ABSTRACT

In the present investigation, the improvement of processing efficiency in the high speed machining of GC250 is explored. This study is to evaluate the tool performance in difficult-to-material using the new developed tool. Tool performance evaluation are conducted by tool wear, surface roughness, chattering in machined surface. The tool wear of A type was smaller than B type. In type B tool the chatter mark was observed in machined surface. The good surface roughness was obtained in type A tool. Consequently, the tool performance of A type is better than B type.

Keyword : GC250(회주철), High Speed Machining(고속가공), Machinability(가공성), End mill(엔드밀), Tool wear(공구마멸), Surface roughness(표면조도)

1. 서론

산업계의 고정밀 및 고능률 가공에 대한 요구가 급증하고 있고, 특히 자동차 산업과 가전 산업이 발달하고 난삭재의 활용도가 높아짐에 따라 고속가공기 및 가공기술개발에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

공작기계의 고속화에 따른 절삭속도의 증가는 적은 절삭깊이로 난삭재를 가공하므로 소성변형이 쉽게 일어나 절삭이 용이하게 한다. 그래서 최근에는 하나의 공구날에 작용하는 절삭깊이를 감소시킬 수 있는 고속절삭을 통해 난삭재를 보다 효과적으로 가공하기 위한 연구들이 수행되고 있다.

특정한 절삭속도의 범위에서는 절삭속도의 증가와 함께 절삭력이 감소하고, 가공면의 표면조도도 향상되는 특성을 보인다.¹⁻²⁾ 그리고 고속절삭 시에는 칩이 쉽게 흩어지기 때문에 칩의 처리가 용이하게 되고, 절삭열의 대부분이 칩에 의해 전달되기 때문에 공작기계, 공구 및 공작물의 열변형 억제, 절삭속도 증가에 의해 절삭능률이 향상되는 이점은 있으나, 절삭온도의 상승과 가공의 동적 불안정으로 인하여 절삭공구의 수명 단축, 가공물에 남는 잔류응력, 가공변질층 등의 발생이 문제가 된다. 그리고, 절삭저항의 변동이 증가하게 되어 스피들 및 구조물의 설계에 많은 문제점과 공구마멸 혹은 파손 및 채터진동을 유발할 가능성이 크고 가공정밀도를 악화시킬 우려가 있다.³⁻⁴⁾

본 연구에서는 취성재료인 주철의 고속가공시 발생하는 가공상의 동적 불안정을 최소화하기 위하여 기존의 공구형상에서 공구 인선부의 강성을 증대시키는 형상으로 설계·제작함으로써 가공상의 공구마멸로 인한 공구수명의 감소와 떨림현상 및 가공물 조도를 양호하게 하며 절삭성능을 증대하고자 한다.

2. 실험적 배경

2.1 회주철의 특성

주철은 피삭성이 매우 좋아서 낮은 마멸률과 높은 절삭률 그리고 낮은 절삭력과 소요동력을 요구하며 표면조도도 양호하다. Fig. 1은 GC250의 SEM사진으로, 주철에 나타나는 대표적인 형으로 편상의 것이 조직속에서 방향성을 지니지 않고 균등하게 분포된 것으로, 강도는 높고 내마모성은 우수하다. 그리고 흑연이 가공중에 윤활제 역할을 하며 경사면에서의 용착을 억제하는 것으로 예측되거나 확인된 보고는 아직 없다. 그리고, 고속도강이나 초경공구를 사용하면 구성인선이 발생하지만 고속영역에서는 사라진다.^[5] Table 1에서는 GC250 재료의 특성을 나타내고 있다.



Fig. 1 SEM Structure of GC250

Table Properties of the material

Material	KS	GC250
	JIS	FC250
	ASTM	G3500
Tensile strenght(kg/mm ²)	KS	25
	JIS	25
	ASTM	24.5
Typical range(BHN)	KS	187-241
	JIS	187-241
	ASTM	207-255

2.2 엔드밀 공구의 형상

Fig. 2는 본 논문에서 적용한 공구의 개략적인 형상 설계도이다. Fig. 2와 3에서 A공구는 주철의 효과적인 가공을 위하여 형상설계를 한 공구이고, B공구는 기존의 형상이다. 두 공구의 형상의 차이점은 Type A의 공구는 10°의 여유각에 여유면 폭은 50 μ m, 날끝 인선부를 45°의 각도로 챔퍼(Chamfer)를 두어서 코너부 치핑을 방지하고, 인선부의 강성을 증대시키는 이점을 가지고 있다. 두

공구 모두 공구의 저면 가공시 칩 배출로 인한 공구마멸의 감소를 위하여 틸새각(Dish angle) 1° 5"을 주어서 제작하였다.

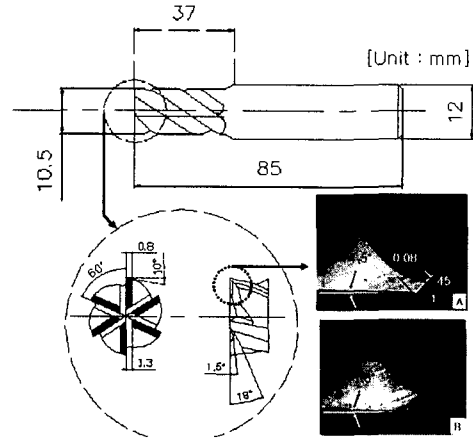
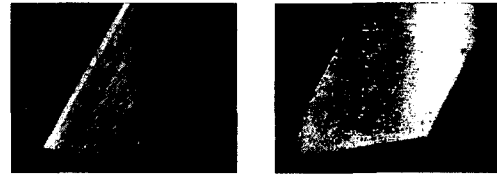


Fig. 2 Shape of end mill



(a) Type A

(b) Type B

Fig. 3 Flank face & edge of endmill tools

Table 2은 공구의 형상특성과 재질을 나타내고 있다.

Table 2 Tool Specification

	Type A	Type B
Diameter [mm]	10.5	10.5
Length [mm]	85	85
Helix angle [deg]	30°	30°
Rake angle [deg]	8°	8°
Relief angle [deg]	10° (50 μ m), 20°	20°
Dish angle [deg]	1° 5"	1° 5"
Chamfering	45° , 80 μ m	0°
Material	Micro Grain Cemented Carbide	

3. 실험장치 및 방법

텅스텐카바이드-코발트(WC-Co)재종의 기존 엔드밀 형상과 개발 형상의 공구로 고속머시닝센터에서 절삭유를 사용하여 하향절삭으로 가공하였다. 절삭속도가 높으면 날끝에서 절삭온도의 상승을 초래하고, 마모의 비정상적인 발달을 촉진하므로, 절삭유의 냉각 작용, 윤활 작용을 이용해 고온에 의한 날끝의 경도 저하를 방지하고, 가공물 혹은 칩과 날끝과의 마찰을 작게 해서 가공면 거칠기를 향상시키고, 날 끝에 대한 용착을 방지하고, 칩의 제거, 배출 등을 쉽게 하기 위하여 절삭유를 사용하였다.^[5] 실험에 사용된 장치도는 Fig. 4와 같다. 공구마멸 시편, 표면조도 및 공구마멸 측정을 위한 CCD를 테이블에 설치하였다. 일정 절삭거리에서 공구의 여유면 마멸, 저면 마멸, 표면조도를 측정하였다. 공구마멸 측정시 주축에서 공구홀더 (Tool Holder)를 분리할 때 발생할 수 있는 런아웃 등의 오차를 방지하고, 위치 정밀도를 유지하기 위하여 CCD카메라를 테이블위에 고정하여 실험하였다. 표면조도는 축침식 표면조도계로 측정하였다. 실험에 사용된 피삭재는 회주철(GC250)다.

Fig. 5는 공작물과 표면조도 가공물형상을 나타내고 있다. 일반적으로 축방향 절삭깊이가 크면 채터링이 생기기 쉽고, 가공면의 기복도 큰 경향이 있다. 그러므로 본 실험에서 공작물의 형태에서 깊이방향으로 29mm와 반경절입방향으로 10mm는 축·반경이 초기부터 가공이 동시에 참여함으로써

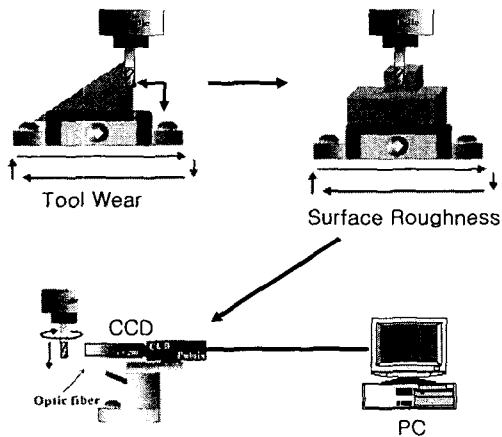


Fig. 4 Experimental setup

이 공구에 발생하는 채터현상을 보기 위함이다. 마멸시편은 축방향과 반경방향의 절입을 동시에 주기 때문에 가공물과의 절삭부하를 일정하게 주기 위하여 45°의 각도를 주어서 제작하였다.

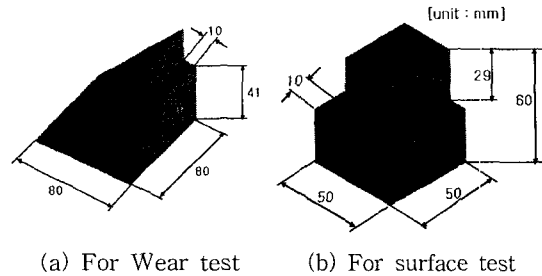


Fig. 5 Test specimen of tool wear and Surface Roughness

이렇게 제작된 마멸시편은 시편당 40m씩 총 6개의 시편을 가공하여 공구당 240m를 가공하였다. 마멸 및 표면조도측정은 일정 절삭거리에서 측정하였다. Fig. 6은 공구의 측면과 저면의 공구마멸 측정방법을 나타내고 있다.

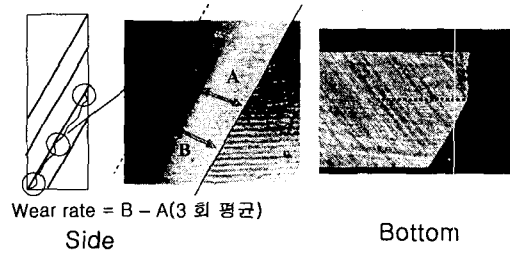


Fig. 6 Measuring method of tool wear

Table 3은 가공성 평가를 위한 장비의 사양이고, Table 4는 절삭조건이다.

Table 3 Instruments & specifications

Machining Center	MAKINO V-55 (Max 20,000 rpm)
CCD Camera	PULNIX(×200)
SEM	Hitach S-4300
Microscope	Max × 500 (Olympus STM-MJS-2)
Surface Tester	Stylus type(Mitutoyo)

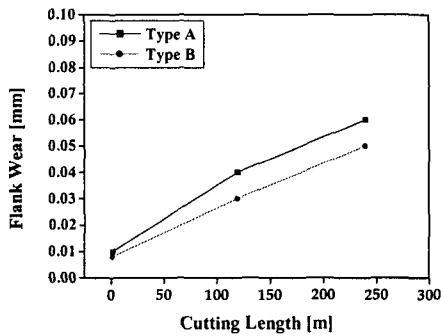
Table 4 Cutting conditions

Spindle Revolution [rpm]	6,000
Feed per rev [mm/rev]	0.3
Radial depth of cut [mm]	0.05
Axial depth of cut [mm]	0.05
Workpiece	GC250
Tools	Uncoated A, B 6날
Cutting Fluid	Cutting Fluid

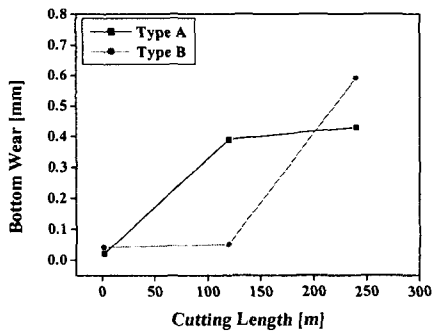
4. 실험결과 및 고찰

4.1 공구마멸

Fig. 7은 측면과 저면의 공구마멸을 경향을 보여주고 있다. Fig. 6에서 Type A 공구의 여유면 마멸이 약 10 μ m정도 크게 나오지만, 저면 마멸을 볼 경우 Type B 공구가 120m 이후부터는 급격한 공구의 마멸을 보인다. 이것은 공구인선부의 강성 저하로 절삭부하의 증가와 칩핑의 발생에 의한 것으로 보인다.



(a) Flank wear



(b) Bottom wear

Fig. 7 The pattern of Tool Wear

Fig. 2에서 공구형상을 보면 Type A의 공구는 공구형상에서 저면부의 형상이 틸새각(Dish angle) 1° 5", 날끝 인선부 45°의 각도로 모따기를 함으로써 날끝 인선부의 강성을 증대시키고, 공작물과 접촉면적을 줄여주므로 절삭부하가 감소하기 때문에 코너부의 내치핑성이 향상되어서 저면의 공구마멸을 감소시킨다.^[5]

Type B의 경우에는 밀날 공구형상 관측시 인선부 끝부분에서 바로 틸새각 1° 5"가 바로 들어가기 때문에 인선부의 강성이 A공구에 비해 떨어지므로 Fig. 8(b)에서 보는 바와 같이 여유면상에 칩핑이 발생하고, 인선부의 마멸이 증대한다.

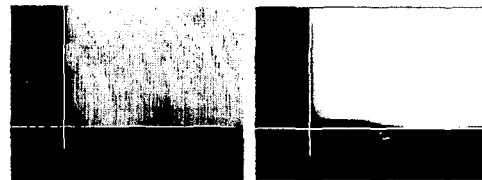
저면부의 공구마멸은 공작물상에서도 관찰할 수 있었다. Fig. 9(b)를 보면 급격한 저면의 공구마멸로 최종형상에서 가공이 제대로 이루어지지 않고 남아있는 것을 볼 수 있다.



(a) Side A

(b) Side B

Fig. 8 The shape of tool wear



(a) Type A

(b) Type B

Fig. 9 Corner zone of the workpiece after machining

4.2 표면조도 및 표면 형상

Fig. 10에서 보는 바와 같이 Type A의 공구는 일정거리 이상부터는 마멸의 안정화에 의한 공구강성의 증대로 표면조도가 양호하나, Type B 공구는 Fig. 11(b)에서 보는 것과 같이 240m가공까지 가공 후 공작물에 떨림현상이 발생함으로써, 표면조도에 악영향을 끼치는 결과를 보였다. 가공물의 떨림발생으로 가공물 형상의 표면이 비틀림형

상이 발생하므로 가공방향과 수직방향으로의 조도도 확인하였는데, Fig. 7에서 보는 바와 같은 경향을 보였다.

고속가공에 본 연구의 공구를 적용하여 산업현장에 활용하고자 한다.

참고문헌

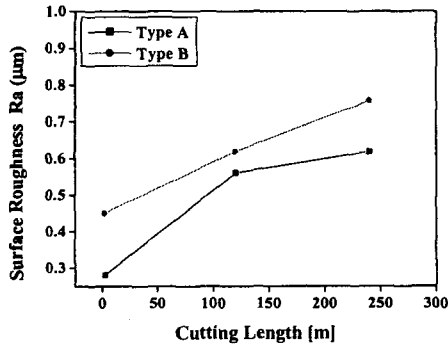


Fig. 10 Surface Roughness of the workpiece



(a) Type A (b) Type B

Fig. 11 Surface shape of workpiece

- [1] Z. Q. Liu, X. Ai, H. Zhang, Z. T. Wang and Y. Wan, "Journal of Materials Processing Technology", Volume 129, Issues 1-3, 11 October 2002, Pages 222-226
- [2] H. Schulz, Toshimichi Moriwaki, "High-Speed-Machining", Annals of the CIRP, Vol 41, 2, pp. 637-643, 1992
- [3] S. W. Kim, D. W. Lee, M. C. Kang and J. S. Kim, "Journal of Materials Processing Technology", Volume 111, Issues 1-3, 25 April 2001, Pages 256-260
- [4] H. Schulz, "Aspects in Cutting Mechanism in High Speed Cutting", Annals of the CIRP, Vol 38, 1, pp. 51-54, 1989
- [5] 이종선, "엔드밀의 모든 것", 성안당, pp. 48-98, 1997

5. 결론

난삭재 가공용인 기존의 공구형상에서 공구의 강성증대와 칩 배출의 원활함을 위하여 공구형상을 설계하여 취성재료 회주철의 공구의 성능을 공구마멸, 가공물형상, 표면조도로 비교 평가하였다.

- (1) 여유각 10° , $50\mu\text{m}$ 와 날끝 인선부의 45° , $80\mu\text{m}$ 모따기에 의한 공구 인선부의 강성증대로 인하여 Type A공구가 측면마멸은 $10\mu\text{m}$ 의 증대를 보였으나, 저면의 공구마멸은 $20\mu\text{m}$ 정도 작고 안정된 마멸 경향을 보였다.
- (2) 측면과 저면의 공구마멸의 안정화, 공구강성증대, 칩배출의 원활함으로 인하여 공작물에 떨림현상이 거의 발생하지 않으므로, Type A공구가 Type B공구에 비해 양호한 표면조도와 가공면을 유지하였다.

이상의 연구결과를 통하여, 회주철 소재부품의