

# CBN 공구를 이용한 고속 정면밀링시의 공구마멸 Tool Wear in High Speed Face Milling Using CBN Tool

최종순\*, 구자홍, 박동삼 ( 인천대학교 기계공학과 )

### Abstract

The high speed machining is now one of the most effective manufacturing methods to achive higher productivity. However, due to the increased cutting temperatures caused by increased cutting speed, tool wear become larger. Especially in high speed face milling, cutting tools are exposed not only to high cutting temperatures, but also to mechanical and thermal shock stresses. It is essential, therefore, to know the wear characteristics of tool materials in high speed machining.

This study presents an experimental investigation of the cutting performance of CBN tools in high speed face milling of gray cast iron FC25. The effect of cutting conditions and cutting length on flank wear of CBN tools and roughness of machined surfaces is investigated.

The cutting parameters involved were ; cutting speeds in the range of 600 to 1800 m/min, feed of 0.1mm/tooth, and depth of cut of 0.3mm.

### 1. 서 론

기계가공의 소재제거율(material removal rate)을 향상시킴으로써 생산비용 및 생산시간을 단축하고, 고정밀 절삭을 가능하게 하는 가공방법으로 최근 고속절삭이 크게 주목을 받고 있다. 종래에는 알루미늄과 같은 연질금속의 다듬질 가공을 중심으로 고속 고정밀 가공이 주로 사용되었지만 최근에는 주철이나 철계의 재료의 가공, 금형용 그라파이트 및 섬유강화 플라스틱(FRP)의 가공 및 항공기용

내열합금 등의 가공에도 고속화 경향이 나타나고 있다.

선진국에서는 오래 전부터 고속절삭에 대한 연구를 바탕으로 고속가공용 공작기계, 공구 및 주변기기를 개발하는 등 이에 많은 노력을 기울여 왔는데 머시닝센터들을 보면 주축회전수가 20000 rpm 이 넘는 것이 과반수 이상을 차지하며 특히 주축회전수 70000rpm 이상, 이송속도 100m/min 이상의 공작기계도 생산되고 있다. 우리나라의 경우 최근에야 고속가공의 중요성을 절감하고 고속 공작기계에 대한 연구 및 개발을 서두르고 있으나 현재 주축회전수 약 20000rpm, 이송속도 30-50m/min 가 최고의 수준으로 고속가공기술과 공작기계에 대한 집중적인 연구가 절실히 요청되고 있다.

고속가공은 1931년 독일의 Salomon이 절삭속도가 증가함에 따라 절삭온도는 초기에는 계속 증가하다가 특정영역을 지나면 절삭속도가 증가함에 따라 절삭온도는 오히려 감소한다는 가설을 제시 하면서부터 주목을 받기 시작하여 이후 고속가공에 관한 많은 연구들<sup>(1)-(5)</sup> 이 발표되고 있다.

한편, 고속절삭시 가장 문제가 되는 것은 공구마모로, 절삭속도가 빨라짐에 따라 절삭온도도 증가하여 결국은 공구마모가 크게 증가하게 된다. 특히, 정면밀링과 같이 단속절삭의 경우 고온뿐만 아니라 기계적 충격과 열적 충격의 영향으로 이와 같은 현상은 더욱 심하게 나타난다. 따라서, 고속 절삭을 위하여 공구재료의 개발과 적절한 선정이 중요한 문제로 대두되었다.

고속절삭용으로 널리 사용되고 있는 공구재질은 CBN공구로 세라믹을 능가하는 고경도와 철계 금속과의 반응성이 낮은 점 때문에 경화강, 주철, 소결합금 및 내열합금 등의 고속절삭에 사용되고 있다. CBN공구를 이용한 절삭시 공구의 마모나 파손 및 피삭재의 절삭특성에 대한 연구들<sup>(6)-(12)</sup>이 발표되고 있지만 고속가공시의 특성에 관한 연구는 아주 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 주철(FC25)의 고속정면 밀링시 CBN공구의 마모특성과 가공면의 표면 거칠기 특성을 실험적으로 규명하여 최적의 절삭 조건 선정에 기여하고자 한다. CBN공구는 일본의 스미토모 전기공업사에서 개발된 스미보론 BN600 소재를 이용하여 밀링용 인서트팁으로 특수 제작하여 실험하였다

## 2. 고속절삭과 공구재질

### 2.1 고속절삭

고속절삭은 공작기계의 제한에 따른 실제 절삭 속도가 공작물의 재질, 절삭의 방식 및 사용되는 공구재질 등에 따라 달라지기 때문에 일반적으로 정의하기가 어렵다. 따라서, 고속 혹은 초고속 절삭의 정의는 그 당대에 가능한 여러가지 기술에 따라서 변하게 된다. 고속 밀링절삭시 공작물의 재질별 절삭속도의 범위를 Fig. 1에 나타내었다.

절삭속도의 고속화에 따라 가장 큰 문제가 되는 것은 절삭온도의 증가로, salomon은 절삭속도의 증가에 따라 초기에는 절삭온도가 증가하다가 어느 한계 속도 이후 절삭온도가 감소한다고 주장하여 이는 결국 공구마모도 감소한다는 것을 의미하였으나 많은 실험결과는 salomon의 주장과 상반되게 나타나고 있다.

절삭력은 절삭속도가 증가함에 따라 공작물 재질의 연화현상에 따라 감소하나 어떤 경우는 특정 속도를 지나면서 절삭력이 증가하는 경향이 나타나기도 한다.

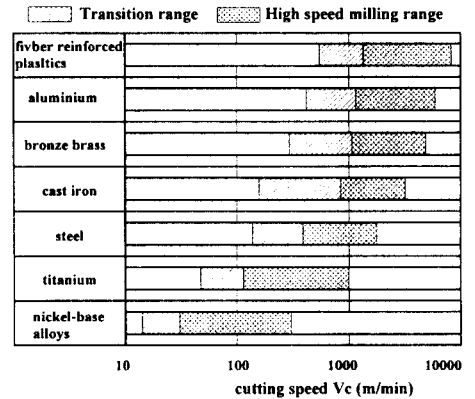


Fig. 1 Cutting speeds for high speed milling

한편, 고속절삭의 장점은 생산성의 향상 외에도 가공정밀도의 향상, 표면거칠기 향상 및 표면층의 결손 감소, 버(burr) 형성 억제 및 칩 배출성 양호 등을 들 수 있다.

고속절삭의 제한 요소는 공구수명으로 대부분의 알루미늄합금 가공시에는 최대절삭속도가 공구수명에 제한을 받지 않지만 초합금, 티타늄 합금, 경화합금강 등의 난삭재 가공시에 공구수명은 큰 제약 요소가 된다. 또 하나의 제한요소는 모멘텀에너지로 고속절삭으로 인하여 공작물의 전단과 칩의 배출을 위하여 부가적인 에너지가 필요하게 된다. 이러한 모멘텀에너지는 절삭에너지가 절삭속도에 비례하여 증가하는데 비하여 절삭속도의 3승에 비례하여 나타나게 된다.

### 2.2 공구재질

절삭속도의 고속화에 따라 공구의 마모, 특히 확산마모(diffusion wear)가 가장 큰 문제가 되는데 고속 고정밀 가공을 위해서는 최적의 공구재질과 공구형상을 선정하지 않으면 안된다.

Fig. 2는 공작물의 재질별 공구의 절삭속도 범위를 나타낸 그림으로, 고속절삭시 연성재질인 알루미늄합금의 경우에는 다이아몬드 공구를 사용하나 나머지 대부분의 경우 CBN공구가 탁월한 절삭속도 성능을 보여주고 있다.



### 3-3. 시편

실험에 사용된 피삭재는 자동차의 엔진블록이나 프레스형에 널리 사용되고 있는 FC25를 선정하였으며 각 재료마다 시험편을 제작할 때는 60×80×35mm의 치수가 되도록 밀링으로 가공한 후 다시 연삭하여 Fig. 5와 같은 치수로 완성 가공하였다.

Table 3은 각각 재료의 화학적 조성 성분비와 기계적 성질을 표시하고 있다.

Table 3 Mechanical properties and chemical compositions of test workpiece

Mechanical Properties	Precipitation	Organization	Tensile strength	Hardness
	Graphite flake	perlite	25(kgf/m <sup>2</sup> )	H <sub>R</sub> B210MAX
Chemical Composition(%)	C	Si	Mn	P
	3.0×3.6	2.4×2.8	0.4×1.7	0.1MAX

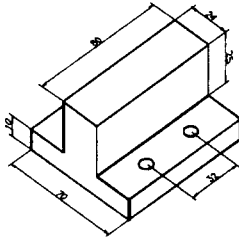


Fig. 5 The test workpiece

### 3-4. 실험방법

밀링의 방식은 1개의 인서트 팁만을 사용하는 플라이커팅(fly cutting) 방식을 사용하였다. 이때, 밀링커터의 편심으로 인한 진동방지를 위하여 CBN인서트 팁과 동일한 무게의 초경 인서트팁을 CBN인서트 팁의 정반대 위치에 고정하였다.

절삭거리에 따른 공구의 플랭크 마모를 측정하기 위하여 절삭거리가 2.4km, 4.8km, 7.4km, 9.7km, 12km 및 17km에 도달할 때 마다 공구현미경을 이용하여 마모량을 측정함과 아울러 마모형상도 관찰하였다.

절삭속도에 따른 표면거칠기의 변화는 Table 4와 같은 절삭조건으로 3회에 걸쳐 실험하였으며 절삭조건을 변화시킬 때는 항상 새로운 공구를 사용하였다

특히, 모든 실험에서 표면거칠기는 cut off값을 0.8mm로 설정하여 가공표면의 중심선 평균거칠기 R<sub>a</sub>를 측정하였다. 이때 정확한 데이터를 얻기 위하여 6회 측정 후 얻은 값 중에서 최대와 최소의 값을 제외한 4가지 데이터의 평균값을 사용하였다.

Table 4 Experimental cutting condition

Rotation speed	rpm	1910	2876	3822	4777	5730
Cutting speed	m/min	600	900	1200	1500	1800
Feed	mm/min	191	287	382	478	573
Feed/one tip	mm	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Depth of cut	mm	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Cutting oil	dry cutting					

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4-1. 절삭거리와 CBN공구의 플랭크마모 및 공작물의 표면거칠기

CBN공구의 마모는 기계적, 열적, 화학적 작용 등 여러 가지 복합적인 작용에 의해 발생하게 되는데 Fig. 6은 FC25를 CBN공구를 사용하여 주축회전수 5730rpm, 절삭속도1800m/min, 이송속도 573mm/min, 절삭깊이 0.3mm로 절삭할 때의 절삭길이에 따른 플랭크 마모와 절삭면의 표면거칠기의 관계를 나타내는 그림이다. 공구의 플랭크 마모의 변화는 2단계 영역으로 구분될 수 있다는 것을 알 수 있는데, 절삭시작 후 7.4km까지는 절삭거리의 증가와 함께 플랭크 마모가 선형적으로 증가하는 영역이다. 이는 절삭초기에 예리한 절삭날이 공작물과의 마찰로 인하여 마모가 급등하는 구역으로 creep 특성 곡선의 초기 단계의 특성을 보인다.

2단계는 7.4km에서 17km까지의 절삭거리에서

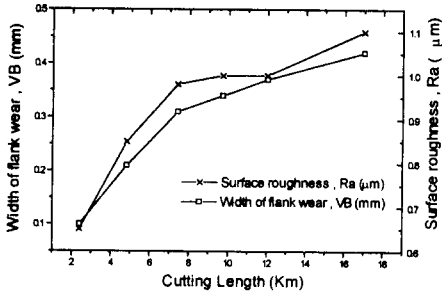


Fig. 6 The effect of cutting length on flank wear and surface roughness

공구마모가 일정한 비율로 증가되나 완만한 기울기를 가지는 구역으로 creep 특성곡선의 중간 단계의 특성을 보인다. 이는 초기에 마모된 인선이 새로운 인선으로 작용하여 공구의 마모가 서서히 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 절삭거리에 따른 공작물의 표면거칠기 변화를 보면 절삭 초기단계에서 즉 4.8km 까지의 가공시에는 표면거칠기가 급격히 악화되나 그 이후는 어느 정도 안정된 상태를 보이다 절삭거리가 12km 를 넘어서면서부터 표면거칠기가 다시 나빠지고 있다. 이러한 변화 양상은 공구마모의 변화 양상과 큰 상관성을 갖고 있다는 것을 의미하는데 특히 절삭초기에 표면거칠기가 급격히 나빠지는 것은 Fig. 7(b)에서 볼 수 있듯이 절삭날의 초기 미세칩핑(chipping)과 같은 마모특성에 기인한다고 판단된다.

Fig. 7은 절삭거리에 따른 CBN공구의 절삭날끝 마모형태를 나타낸 그림으로 플랭크 마모 진행 상태를 보면 절삭거리 2.4km에서 절삭날끝에서 미세한 칩핑이 발생한 것을 알 수 있는데 이후 칩핑현상은 없어지나 플랭크 마모가 점진적으로 증가하고 있다.

#### 4.2 절삭조건과 표면거칠기

Fig. 8은 절삭날의 1회전당 이송이 0.1mm로 일정하게 유지되는 Table 4와 같은 절삭조건으로

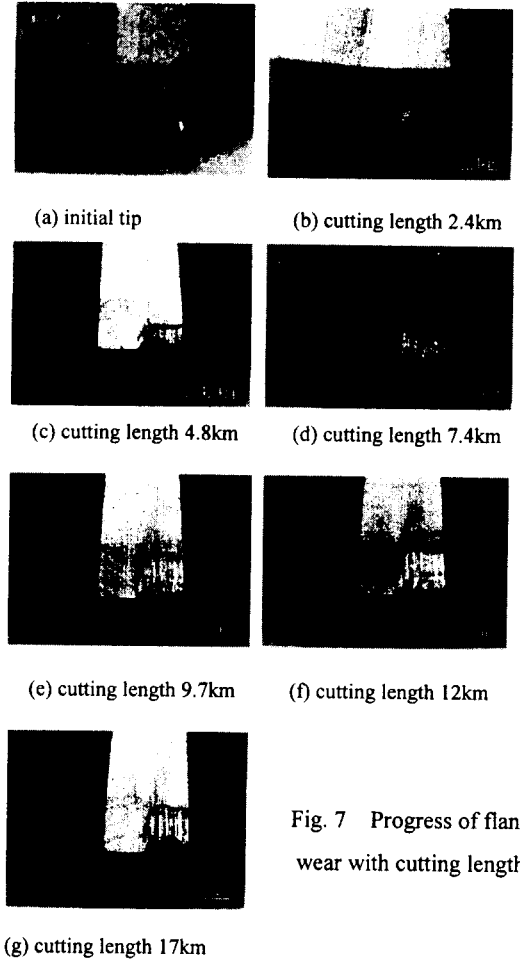


Fig. 7 Progress of flank wear with cutting length

가공할 때 절삭속도와 표면거칠기 Ra와의 관계를 나타내는 그림이다. 표면거칠기의 변화를 보면 절삭속도가 증가할수록 표면거칠기가 좋아지다가 절삭속도가 1800m/min를 넘어서면서 다시 표면거칠기가 나빠지는 경향이 나타난다는 것을 알 수 있는데 특히, 절삭속도 1500m/min에서 표면거칠기가 가장 좋은 것으로 나타났다. 절삭속도가 1800m/min을 넘어서면서 표면거칠기가 나빠지는 것은 절삭속도의 증가에 따른 절삭온도의 증가에 기인하여 공구마모가 급속히 진행되기 때문인 것으로 판단된다.

따라서, 본 실험과 같은 절삭조건 범위에서는 절삭속도 1500m/min에서 절삭하는 것이 가장 양

호한 절삭면을 얻을 수 있는 최적 절삭속도라고 볼 수 있다.

CBN을 사용하여 고속절삭하는 경우 가공면의 거칠기가 왜 좋아지는지는 아직 뚜렷이 해명되지 않았지만, 이 현상은 주철의 절삭만이 아니라 다른 피삭재에서도 일반적으로 나타나는 현상으로 날끝에서의 용착의 관계, 피삭재와 공구재질의 관계, 칩 생성의 관계 등에 기인한다고 판단된다.

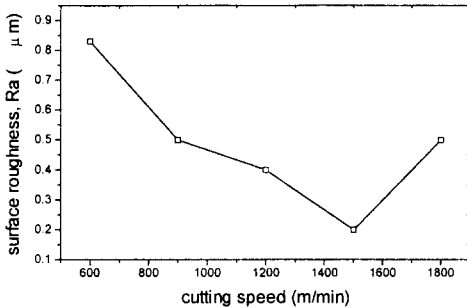


Fig. 8 Effect of cutting speed on surface roughness

## 5. 결론

FC25의 고속 정면밀링 가공시 CBN공구의 마모 특성과 가공면의 표면거칠기에 대한 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

절삭속도 1800m/min, 이송속도 573mm/min, 절삭 깊이 0.3mm의 절삭조건으로 절삭시 17km까지의 절삭거리별로 나타나는 공구마모와 표면 거칠기는 다음과 같은 특성을 보였다.

- 1) 절삭거리 7.4km까지는 플랭크 마모량이 거의 일정한 비율로 증가하나 그 이후에는 마모의 증가 경향이 완만하게 나타난다. 특히, 초기 절삭시 절삭날 끝에 미세 칩핑이 발생한다.
- 2) 표면거칠기는 절삭거리 4.8km까지는 급격히 나빠지나 그 이후 어느 정도 안정된 상태를 보인다 17km부터는 다시 나빠진다.

3) 공구마모와 표면거칠기의 변화는 거의 비슷한 경향을 보이며 절삭거리 7.4km에서 플랭크 마모량은 약 0.3mm, 표면거칠기는 약 1.0μm이다.

4) 표면거칠기가 절삭초기에 급격히 나빠지는 것은 절삭날의 초기 미세 칩핑에 기인한다.

한편, 절삭날의 1회전당 이송 0.1mm, 절삭속도 600m/min에서 1800m/min 범위에서의 절삭시 표면 거칠기 변화는 다음과 같았다.

- 5) 절삭속도가 1500m/min까지는 절삭속도의 증가에 따라 표면거칠기가 좋아지나 그 이후 표면거칠기는 오히려 악화된다.
- 6) CBN 공구를 사용한 주철의 정면 밀링가공시 표면거칠기를 기준으로 하는 최적절삭속도는 1500m/min가 된다

## 참고 문헌

- (1) H. Schulz, T. Mororaki, "High-Speed Machining," Annals of the CIRP, Vol. 41/2/1992, pp 637~643
- (2) J.Tlusty, "High-Speed Machining," Annals of the CIRP, Vol. 42/2/1993, pp 733~738
- (3) M.A.Elbestawi, L.Chen, C.E.Becze, T.I.El-Wardany, "High-Speed Milling of Dies and Molds in Their Hardened State," Annals of the CIRP, Vol. 46/1/1997, pp 57~62
- (4) N.Narutaki, Y. Yamane, K. Hayashi, "Cutting Performance and Wear Characteristics of an Alumina-Zirconia Ceramic Tool in High-Speed Facd Milling," Annals of the CIRP, Vol. 40/1/1991, pp49~52
- (5) H.Schulz, St. Hock, "High-Speed Milling of Dies and Moulds Cutting Conditions and Technoloty," Annals of the CIRP Vol. 44/1/1995, pp 35~38
- (6) S. Enomoto, M. Kato, "Cutting Characteristics of CBN Cutting Tools in Turning Chromium-Molybdenum Steel of Various Hardness," JSPE-55-

06, '89-06-1079

- (7) T. Hodgson, P.H.H. Trendler, "Turning Hardened Tool Steels with Cubic Boron Nitride Inserts," *Annals of the CIRP*, Vol. 30/1. 1081, pp. 63~66
- (8) N. Narutaki, Y. Yamene, "Tool Wear Cutting Temperature of CBN Tools in Machining of Hardened Steel," *Annals of the CIRP*, Vol 28/1, 1979, pp. 23~28
- (9) M.A. Elbestawi, L Chen, "Critical Assessment of carbide and PCBN tool performance in High Speed Milling of Dies and Molds," *Transaction of NAMRI/ME Vol. XXVI/1998*, pp 183~188
- (10) 심상인, 선삭가공에서 cermet 및 CBN 공구를 이용한 SCM430 재의 최적절삭조건에 관한 연구, 숭실대학교 산업대학원 기계공학과 석사학위논문, 1993
- (11) 조성실, 고경도재의 정면 밀링가공시 CBN 공구의 절삭특성에 관한 연구, 전북대학교대학원 정밀기계공학과 석사학위논문, 1996
- (12) 황동환, 세라믹과 CBN 공구를 이용한 고경도강의 절삭특성, 연세대학교 대학원 기계공학과 석사학위논문, 1994
- (13) 양민양, 절삭가공, 청문각, 1997