

## 금형용 고경도재의 고속정면밀링 가공시 CBN 공구의 성능에 관한 연구

A Study on the Performance of CBN Tools in the Machining of Hardened Die-Materials by High-Speed Face Milling

조 성 실(전북대 대학원), 임 근 영(전북대 대학원), 김 태 영(전북대 공대)

Song-sil Cho(Graduate School, Chonbuk National Univ.), Keun-young Lim(Graduate School, Chonbuk National Univ.),  
Tae-young Kim(Chonbuk National Univ.)

### ABSTRACT

This paper presents the performance of CBN tools in the machining of hardened die-materials, SKD11 and SKD61 steel with HRC 50, by high-speed face milling. Generally, grinding or EDM is being used in machining of hardened materials but the cost is very high. If those can be replaced by cutting, it will be a greatly economical advantage. CBN tool has been recognized as an effective tool in turning, but it has not been in milling. So wear and surface roughness mode of CBN tool for hardened SKD11 and SKD61 steel were investigated by high-speed face milling in this study. Also the relation between cutting force and wear mode of CBN tools was investigated.

\* Key words : hardened die-material(금형용 고경도재), flank wear(여유면 마모),  
CBN tool(입방정질화붕소 절삭공구), cutting force(절삭력)

### 1. 서 론

최근 들어 생산공정의 능률화, 자동화에 대한 요구와 기대가 높아지면서 대부분의 제조업에서는 제품 생산 가격의 대폭적인 삭감을 위한 설계 및 생산방법 등의 재검토가 이루어지고 있고, 이에 따라 제품 생산의 기초가 되는 금형제작에 있어서도 상당수의 금형용재가 고경도화 하는 추세에 있다.

종래에는 고경도재의 가공에 있어 방전가공이나 연삭가공이 그 주류를 이루고 있으나 최근 공작기계 및 공구의 성능이 크게 향상되고 있으므로 절삭가공을 통하여 이러한 가공들을 대체할 수 있다면 경제적인 측면에서나 능률적인 측면에서 상당한 발전을 기대할 수 있을 것이다. 고경도재를 절삭 가공함에 있어 공구의 선택은 충분한 경도와 내마모성 및 내열성을 가진 공구가 필요하다. 이러한 관점에서 비교적 최근에 ceramic 공구에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만,

밀링공정에서와 같은 단속절삭시에는 공구가 충격에 의한 파손을 일으킬 수 있으므로 충분한 인성 또한 필요하게 되는데 ceramic 공구는 그 특성상 아직 그 한계를 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 고경도재의 단속절삭시 나타나는 공구의 불규칙한 파손이나 마모에 기인하여 아직까지 그 연구가 미진한 상태로 있는 정면밀링에서의 고경도재의 절삭을 CBN 공구를 이용하여 수행하였고, 이때 나타나는 CBN 공구의 절삭특성을 조사하였다. 연구 내용으로는 CBN 공구의 수명평가, 조성성분이 다른 두 공작물에 대한 마모거동, CBN공구들간의 마모에 따른 표면거칠기 생성양상 그리고 마모 및 파손 발생시의 절삭력과 관계 등을 연구 검토하였다.

### 2. 실험장치 및 실험방법

실험에 이용된 정면 밀링머신은 주축회전수와 이송

속도를 9×12단으로 변환할 수 있는 만능밀링머신을 사용하였고, 절삭조건은 예비실험을 통하여 표면거칠기를 가장 양호하게 생성시키는 조건인 RPM 990, Feed rate 22mm/min, 절삭깊이 0.2mm를 선정하였다.

Face milling cutter는 대한중석 M415SN04R/L-12를 장착하였으며 피삭재는 금형 강으로 널리 사용되고 있는 SKD11과 SKD61강을 HRC 50으로 열처리하여 단속절삭의 효과를 충분히 나타낼 수 있도록 150×85×1(ℓ)의 규격으로 가공하였다.

CBN 공구의 절삭특성 및 마모 거동 등을 타 공구들과 비교 평가하기 위하여 초경, CERMET, CERAMIC 공구들을 CBN 공구와 같은 형상인 SNGN120412으로 주문 제작하여 실험에 사용하였고, CBN 공구로는 90%의 CBN 입자를 포함하는 BZN6000과 65%의 CBN 입자를 포함하는 BZN8100 두 가지를 사용하였다.

Table 1은 실험에 사용되는 피삭재의 화학적 조성과 경도를 나타낸다.

Table 2는 실험에 사용되는 공구와 cutter의 형상 및 절삭조건등을 나타낸다.

절삭가공중에 발생하는 절삭력의 측정을 위해 공구동력계 (KISTLER type 9257B)를 사용하였고, 공구동력계로부터 나온 절삭력 신호를 증폭하기 위하여 charge amplifier (KISTLER 5017A)를 사용하였다. 증폭된 신호는 Analog-Digital Converter (NANOTECH LAB-V)를 거쳐 IBM-PC로 저장, 분석되어졌다.

Fig. 1은 이러한 실험장치의 개략도를 나타낸다.

절삭 조건에 따라 절삭 실험을 수행한 후 가공물의 표면거칠기를 측정하기 위해 표면조도계 (Mitutoyo Surf-test 301)를 고정 프레임에 장착하여 밀링머신 테이블 위에 설치한후 cut off 값을 0.8mm을 주어 가공 표면의 중심선 평균거칠기(Ra)와 최대높이표면거칠기(Rmax)를 측정하였다. 이때 정확한 데이터를 얻기 위하여 6회 측정 후 얻은 데이터중에서 가장 큰 값과 작은 값을 버리고 나머지의 평균값을 사용하였다.

공구마모의 거동을 분석하고 마모량을 측정하기 위해 공구현미경을 사용하였고, 플랭크마모를 그 기준으로 채택하였다. 매회의 절삭이 끝난후 공구의 규칙적인 마모 양상이나 갑작스런 파괴가 보일때는 실제현미경과 그 상단에 부착된 카메라를 통해 상을 사진으로 보

존하였다.

공구의 수명판정은 ISO 규격에 따라 VB=0.3mm로 정하여 공구수명에 도달할 때까지 절삭을 수행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 CBN 공구의 수명

고경도재를 가공할 때 생기는 공구의 조기 인선마모를 막기위해 인선부분을 negative로 가공하였음에도 불구하고 초경, cermet, ceramic(ST100, SN26)등의 공구는 고속가공에서 빠른 마모진전 및 파손의 형태를 보이고 있다. Fig. 2는 실험에 사용된 모든 공구들의 수명을 막대그래프로 표시한 것이다. 그림에서 볼수 있듯이 고속절삭에서의 CBN 공구들의 수명은 다른 공구들에 비해 대략 20배 이상의 값을 가지고 있다. 이러한 수명차이는 고경도재의 가공에 있어서 밀링공정에서는 CBN 공구가 능률적일 뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 가장 타당한 공구임을 보여주는 것이다.

#### 3.2 조성성분이 다른 두 피삭재에 대한 마모거동

대표적인 금형강의 일종인 SKD11과 SKD61 강을 열처리를 통해 그 경도를 HRC 50으로 경화시킨후 BZN6000 CBN 공구를 사용하여 절삭을 수행하였다.

Fig. 3은 CBN 공구들의 마모거동을 나타내는 그림이다. BZN6000 CBN 공구에 의한 SKD11강의 가공시에 SKD61에 비해 마모의 정도가 느리게 나타나다, VB=0.2mm 이후에 갑자기 증가하는 것을 볼수 있다.

Photo 1은 CBN 공구들이 최종수명에 도달했을 때의 사진인데, 사진(b)의 SKD11강을 가공한 공구는 파손이 발생했음을 볼 수 있다. 이에 비해 SKD61을 가공한 공구의 사진(a)는 점진적인 마모의 결과를 보여주고 있다. 그럼에도 불구하고 공구의 수명은 두 재료에서 거의 같은 값을 가지고 있었다. 사진(c)는 BZN8100 CBN 공구로 경화된 SKD61강을 절삭했을 때 최종적인 수명에 도달한 후 찍은 사진으로 마모영역의 중앙부분이 움푹 패어진 것을 볼수 있고, 부분적으로 파손이 일어났음을 알 수 있다. 특이한 점은 종류가 다른 CBN 공

구로 동일한 재료를 가공한 경우의 마모양상이 거의 유사하다는 점이다. 이것은 CBN 공구의 마모가 일차적으로 피삭재의 성질에 가장 큰 영향을 받는다는 것을 나타내는 것이라 생각된다.

### 3.3 CBN 공구의 마모에 따른 표면거칠기 생성거동

Fig. 4는 Fig. 3의 공구들이 나타내는 마모의 양상에 따라서 표면거칠기가 변화하는 모습을 보여주는 그림이다.

동일한 재료에서 BZN6000과 BZN8100의 표면거칠기 생성거동은 두 공구의 마모양상이 거의 유사했던 것에 비해 현저한 차이를 보였다. BZN6000 공구는 SKD61과 SKD11에서 그 마모거동이 상당한 차이를 보였던 반면 표면거칠기 생성양상은 거의 유사하였다. 표면거칠기 생성 거동에 있어서는 전반적으로 BZN6000 쪽이 안정적인 값을 가짐을 알 수 있다.

### 3.4 CBN 공구의 마모 및 파손과 절삭력과의 관계

Fig. 5는 BZN6000 CBN 공구로 SKD11과 SKD61강을 절삭할 때 공구의 마모거동과 절삭력과의 관계를 보여주는 그림이다. 먼저 SKD61강을 절삭하는 동안에 마모는 안정적으로 증가하고 있고, 그에 대응되는 절삭력 또한 거의 선형적으로 증가하고 있는 것을 볼 수 있었다. 그에 비하여 SKD11강을 절삭할때의 마모거동은 훨씬 낮은 값을 가지며 안정적으로 증가하다가 후반부에 갑자기 증가하여 파손에 이르는 마모거동을 보였고, 이때의 절삭력은 파손이 일어나는 지점에서 급격히 감소하는 것을 볼 수 있었다.

## 4. 결 론

금형용 고경도재의 고속정면밀링가공시 CBN 공구의 성능을 평가하기위한 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

① CBN 공구는 고경도재의 고속 정면밀링가공시 비교적 안정적인 표면거칠기를(0.15~0.25 $\mu$ m, Ra) 장시간

(> 4 hour) 요하는 가공에 적합한 공구이다.

② 고경도재를 CBN 공구로 고속 정면밀링 가공할 때 공구의 마모거동은 다음과 같이 크게 두 가지로 분류할 수 있다.

첫째, 초기 인선마모를 제외한 전구간에서 안정적인 마모양상을 보인다.

둘째, 초기 인선마모역을 지나 안정적인 마모양상을 보이다가, VB=0.2mm 이상의 임계점부터 갑작스런 마모의 증가를 보이다 파손을 일으킨다. 이때 표면거칠기의 급격한 악화를 초래하게 된다.

③ 고속정면밀링 가공시 CBN 공구의 마모거동은 절삭력의 변화와 매우 밀접한 관계를 가지며, 갑작스런 공구의 파손이 있게되면 절삭력은 급격하게 감소한다.

### 참고문헌

- [1] High-Speed Machining of Inconel 718 with Ceramic Tools; N. Narutaki, Y. Yamane, K. Hayashi, T. Kitagawa, Annals of the CIRP Vol. 42/1/1993
- [2] On-Line Monitoring of Tool and Cutting Conditions in Milling; J.H. Tarn, M. Tomizuka ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 111, Aug. 1989, pp. 206-212.
- [3] Experimental Investigation on the Wear Mechanism of CBN Cutting Tools; O-chul Kwon, Jong-chan Lee, Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 11. No 6. December 1994, pp. 86-97
- [4] Face Milling of Hardened Steels by TiC Added Alumina Ceramic Tool (1st Report); Yasuo Yamane, Tetsuhiko Okano and Norihiko Narutaki, JSPE-56-03 '90-03-539
- [5] Cutting Characteristics of CBN Cutting Tools in Turning Chromium-Molybdenum Steels of Various Hardnesses; Shinzo Enomoto and Masamichi Kato, JSPE-55-06 '89-06-1079
- [6] 金屬切削理論 - 東明社, 徐南燮 著

Table 1. Chemical composition and hardness of work materials

	Chemical composition ( % )								Hardness (HRC)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	
SKD11	1.4 ~1.6	0.4	0.6	0.03	0.03	11 ~13	0.8 ~1.2	0.2 ~0.5	50
SKD61	0.32 ~0.42	0.8 ~1.2	0.5	0.03	0.03	4.5 ~5.5	1 ~1.5	0.8 ~1.2	50

Table 2. Experimental apparatus

Milling Cutter	M415SN04R-12(KT $\phi$ 100 mm) <ul style="list-style-type: none"> <li>• lead angle : 15°</li> <li>• axial rake angle : -7°</li> <li>• radial rake angle : -5°</li> </ul>
Milling Inserts	W · C (SNGN120412) Cermet (SNGN120412) SN26 ceramic (Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ) ST100 ceramic (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiC) BZN8100 ( 65 % CBN ) BZN6000 ( 90 % CBN )
Cutting Condition	Cutting speed : 311 m/min Feed speed : 22 mm/min Depth of cut : 0.2 mm

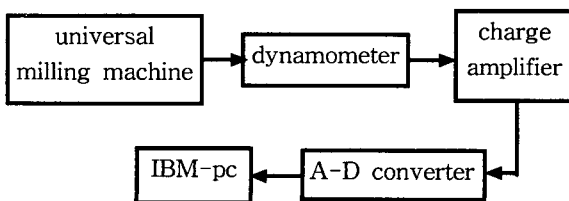


Fig. 1 Block Diagram of Experimental setup

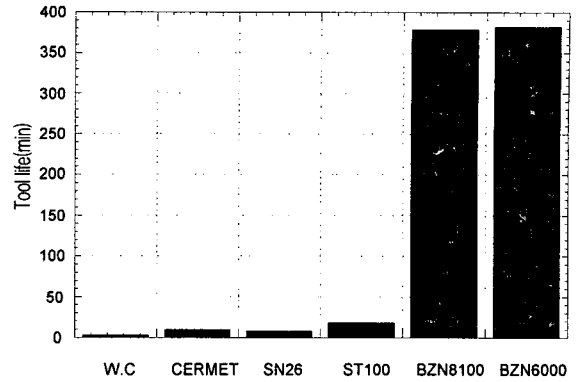


Fig. 2. Tool lives for various tool type

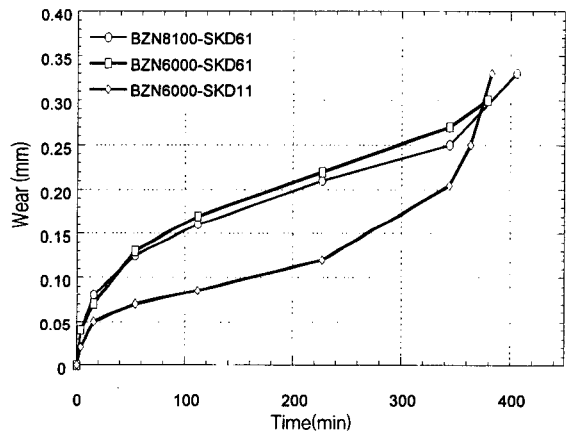


Fig. 3. Wear mode of CBN tools

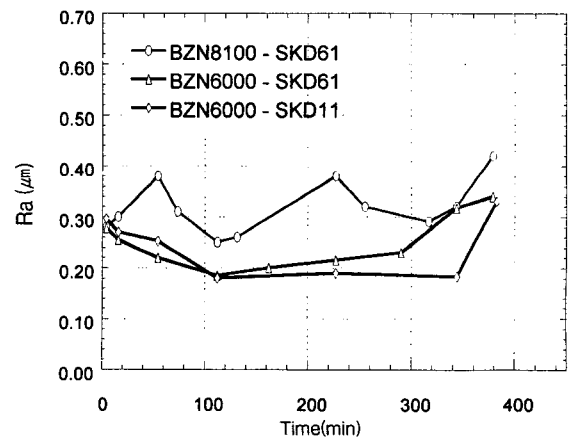


Fig. 4. Surface roughness mode of CBN tools

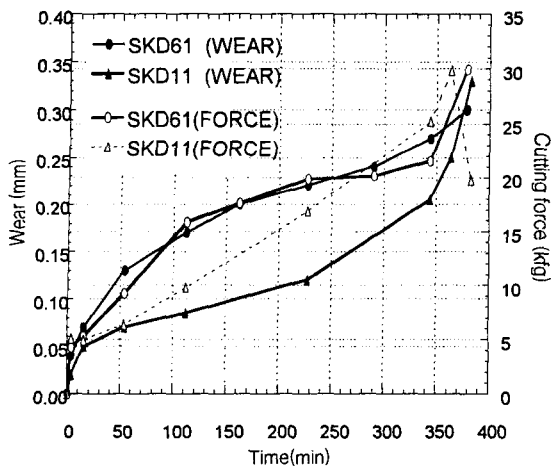


Fig. 5. The relation between wear mode and cutting force of BZN6000 CBN tool



(c) Photo of BZN8100 - SKD61

Photo. Images of tool wear and fracture



(a) Photo of BZN6000 - SKD61



(b) Photo of BZN6000 - SKD11