

# 고경도 금형강의 고속절삭 가공시 CBN공구의 인선형태 변화에 따른 공구수명 평가에 관한 연구

문상돈\*, 오성훈(전북대 대학원), 김성일(대불대), 김태영(전북대 공대)

S. D. Mun, S. H. Oh (Graduate School, Chonbuk Univ), S. I. Kim (Daebul Univ), T. Y. Kim (Chonbuk Univ)

## ABSTRACT

In process of the finish face milling of the hardened STD11 steel(H<sub>R</sub>C50,55) by CBN tool, the optimum tool shape is suggested, which can minimize the tool fracture and chipping by impact. The obtained results are as follows. (1) The optimal chamfer angle was about 25°, and the suitable chamfer width was 0.2mm. (2) The nose radius of tool was the most excellent at 1.2mm in the viewpoint of tool wear and surface roughness. (3) Wear speed was effected by sintering method of CBN tool and B.U.E

**Keyword** : hardened steel(경화강), CBN tool(입방정질화붕소 절삭공구), chamfer angle(첼퍼각), chamfer width(첼퍼폭), flank wear(여유면 마모)

### 1. 서 론

최근 각종 첨단산업의 고도성장과 더불어 각종 형태의 금형들과 많은 기계부품들은 강도와 내마모성을 향상시킬 목적으로 열처리를 실시하여 고경도, 고강도 상태로 재료를 만들어 사용하는 경우가 증가하고 있다.<sup>1,3)</sup>

이러한 강들은 내마모성 및 기계적, 물리적인 성질이 훌륭한 반면 절삭공구의 제한성 때문에 고정밀, 고능률, 고속절삭 가공이 매우 어려워 난삭재의 하나로 분리되어 있으며, 이에 대한 효율적인 절삭가공 방법들이 여러방면에서 모색되고 있다.<sup>2,4,5,7)</sup>

한편 담금질강의 가공은 종래에는 연삭작업으로 행해졌으나 이것보다 생산성이 우수한 절삭가공으로의 전환이 행해지고 이 절삭가공은 서멧이나 초경 그리고 다이아몬드 에 의한 절삭으로는 곤란해서 CBN공구나 일부 세라믹공구가 유효하다고 생각된다. 그러나 이에 대한 체계적인 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 금형재료로 많이 쓰이는 STD11강을 열처리 하여 HRC50,55로 상태로 제작하여 이의 마무리 절삭에 적당한 인선형상을 구하기 위해 첼퍼각, 첼퍼의 길이, 공구반경이 공구의 마모와 다듬질면 표면거칠기에 미치는 영향을 밝히고, 경도의 변화에 따른 CBN공구의 마모특성도 분석하였다.

### 2. 실험장치 및 실험방법

본 실험에서 사용한 피삭재는 기계가공성이 우수하고 높은 내마모성을 지니고 있어 금형제작재로 많이 쓰이는 STD11강을 사용하였고 Table 1은 이들 강의 화학적 성분을 나타내고 있다.

Table 1 The chemical composition of STD11

Chemical composition(wt.%)								Hardness (H <sub>R</sub> C)
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	
1.4~1.6	0.4	0.6	0.03	0.03	11~13	0.8~1.2	0.2~0.5	15,50,55

절삭실험을 위하여 STD11 시편의 가공경화 부분을 sawing machine을 사용하여 제거하고 시편을 150×65×16<sup>t</sup> mm의 규격으로 가공하였다. 가공후 일부 시편은 열처리하여 경도가 각각 H<sub>R</sub>C50,55가 되도록 처리하였다. 밀링커터는 고경도 절삭가공에 주로 사용되는 더블 네거티브(Double negative) 밀링 커터를 사용하였고, 공구는 CBN입자와 세라믹의 함유비율이 60:40인 공구를 사용하였다. 절삭조건 및 공구의 형상 및 형상 등은 Table 2 및 Fig.1에 나타냈다. 공구의 마모폭은 공구현미경과 형상투영기를 사용하여 평균마모의 길이가 0.2mm이거나 공구파손이 발생하면 공구수명이 다한 것으로 판정하였다.

Table 2 Experimental Condition

Machine	Universal Milling Machine
Environment	Dry
Milling Cutter	M415SN04R/L-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 Insert	CBN tool (BZN8100-SNGN120412)
Work Material	SKD 11 (HRC15,50,55, 150×65×16 <sup>T</sup> )
Cutting Conditions	Cutting speed : 311m/min Feed rate : 0.041 mm/tooth Depth of cut : 0.2 mm Center milling

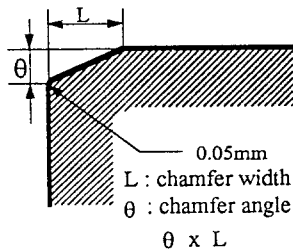


Fig.1 The shape of cutting edge treatment

절삭가공중에 발생하는 절삭력의 측정을 위해 공구 동력계를 사용하였고, 공구동력계로부터 나온 절삭력 신호를 증폭하기 위하여 charge amplifier를 사용하였다. 증폭된 신호는 A/D Converter를 거쳐 IBM-PC로 저장, 분석되어졌다.

절삭 조건에 따라 절삭 실험을 수행한 후 가공물의 표면거칠기를 측정하기 위해 표면조도계를 고정 프레임에 장착하여 밀링머신 테이블 위에 설치한후 cut-off 값을 0.8mm을 주어 가공표면의 중심선 평균거칠기 (Ra)와 최대높이표면거칠기(Rmax)를 측정하였다. 이때 정확한 데이터의 산출을 위해서 5회 측정 후 얻은 데이터 중에서 가장 큰 값과 작은 값을 버리고 나머지 3개 데이터의 평균값을 실험데이터로 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 챔퍼 각의 영향

CBN 절삭공구의 절삭성능은 난삭재의 가공시 절삭날처리 여부에 크게 영향을 받는다. 특히 피삭

재의 경도나 강도가 높을 때 이 효과가 현저히 나타난다. 절삭날이 예리한 경우 절삭인 부분의 강도 부족으로 칩핑이 발생하지만 공구에 챔퍼를 가함으로써 칩핑을 방지하고 정상적인 마모를 형성할 수 있다.

Fig.2는 공구반경  $r_r=1.2\text{mm}$ , 챔퍼폭  $W_1=0.12\text{mm}$ , 챔퍼각  $Ca = -15^\circ, -25^\circ, -30^\circ, -45^\circ$ 인 조건에서 금형용 강의 가장 대표적인 재료의 일종인 STD11을 HRC55로 열처리한 후 CBN공구로 정면 밀링 가공시 CBN공구의 평균마모 VB와 절삭시간과의 관계를 나타낸 그래프이다.

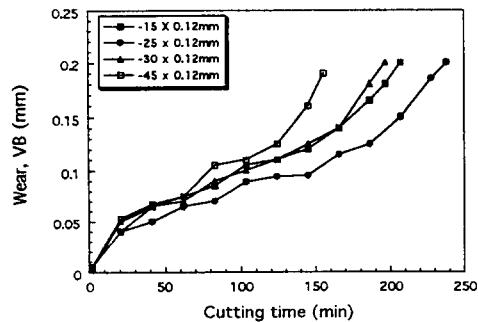


Fig. 2 Wear vs. cutting time ( $V=311\text{m/min}$ ,  $f_z=0.041\text{mm/tooth}$ ,  $a_p=0.2\text{mm}$ , STD11, HRC55)

비례마모 영역에서의 기울기는 어느 챔퍼 각에서나 거의 비슷한 기울기였다. 그러나 초기마모 영역에서 각 각도의 변화에 따른 공구마모의 기울기는 챔퍼 각이 -45도인 CBN공구의 초기마모 기울기가 가장 컸고, -25인 공구의 기울기가 가장 적었다. 이는 마모의 입장에서 공구의 수명을 예측할 수 있는 영역은 비례마모 영역보다 초기마모의 기울기가 수명예측을 가능하게 하는 구역이라고 생각된다. 이 초기마모가 공구의 수명에 영향을 미치므로 공구의 선정시 초기마모가 작은 공구의 각과 폭을 선정하는 것이 중요한 요인이라고 생각된다. Fig.3은 Fig.2의 조건에서 공구수명과 챔퍼 각과의 관계를 표시한 것이다. 공구의 수명은 초기마모에서 그 수명을 예측할 수 있듯이  $Na=-25^\circ$ 에서 228분 동안의 최장수명의 값을 표시하고, 이것보다 작거나 커도 성능은 그리 우수하지 않음을 확인할 수 있다. 특히 챔퍼각이 -45도인 경우에는 공구의 초기 마모 속도가 급격한 편에 속하여 가장 현저한 공구마모 크기를 비례마모영역까지 유지하여 공구수명이 가장 짧은 155분 정도에서 공구수명을 다하였다. 이는 적정 챔퍼 각을 지나 증가하는 배분력의 증가가 공구의 기계적 마모를 촉진시킨 것으로 생각된다. 그러므로 챔퍼각

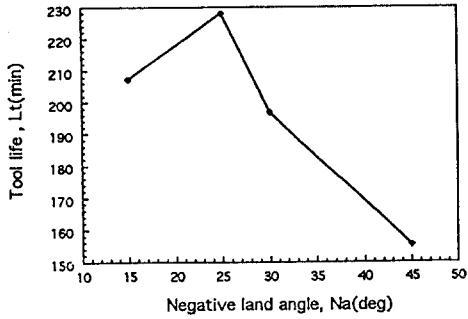


Fig.3 Tool life (VB= 0.2mm) vs. chamfer angle (Nr=1.2mm, Wl=0.12mm)

을 어느 값 이상 취하는 것은 급속한 공구마모를 야기하여 공구수명을 단축시키므로 이러한 조건의 선택은 피해야 한다고 판단된다.

Fig.4는  $V=311\text{m/min}$ ,  $fz=0.041\text{mm/tooth}$ ,  $ap=0.2\text{mm}$  일때 절삭력과 공구마모 길이와의 관계를 나타낸 그래프이다.

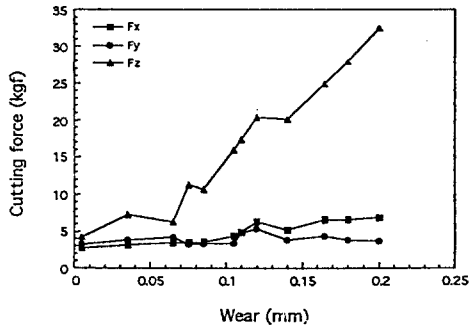


Fig.4 Cutting force vs. wear ( $V=311\text{m/min}$ ,  $fz=0.041\text{mm/tooth}$ ,  $ap=0.2\text{mm}$ ,  $-15 \times 12\text{mm}$ ,  $Nr=1.2\text{mm}$ , STD11, HRC 55)

3분력중 가장 큰 것은 Fz방향의 절삭력이고 공구마모가 진행됨에 따라 Fz방향의 절삭력의 증가율은 가장 현저하였다. 이는 일반절삭에서와는 달리 고경도 강을 가공시에는 공구도 고경도이므로 절삭시 공구와 피삭재의 접촉면에서 강한 충격과 높은 마찰저항을 받고 이때 발생하는 큰 절삭저항은 축방향으로 그 힘이 직접 전달되어 Fz방향의 힘을 증가시킨다고 생각된다.

Fig.5는 절삭속도  $V=311\text{m/min}$ ,  $fz=0.041\text{mm/tooth}$ , 챔퍼폭,  $Wl=0.12\text{mm}$ ,  $Ca=-15, -25, -30, -45$ 인 절삭조건에서 절삭시간이 경과함에 따라 최대높이거칠기 Rmax가 변화하는 양상을 나타낸 것이다.

초기에는 Rmax값이 -45,-30,-25,-15순으로 -45의 표면거칠기가 50분까지 양호하였으나 50분이 지남에 따라 표면거칠기는 급증하여 가장 불량한 표면을 보였다. 그 원인은 Fig.2에서와 같이 공구마모의 급

격한 증가에 따라 상대적으로 빨리 -45도의 공구가 표면거칠기의 안정구역에 진입하였고, 배분력의

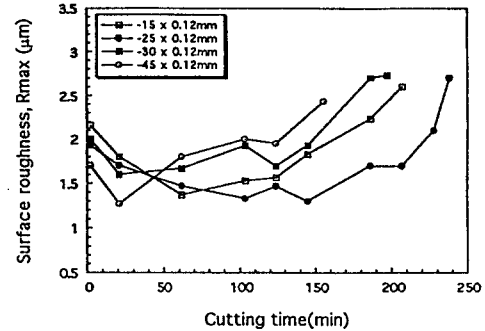


Fig.5 Surface roughness, Rmax vs. cutting time (STD11, HRC55, Nr=1.2mm)

증가와 초기마모의 급증으로 인해서 가장 빨리 표면거칠기가 악화되고 공구의 수명도 단축된 것으로 생각된다. 그 외의 공구에서는 전체 마모에 따른 공구반경의 점차적인 증대로 Rmax가 감소 후 다시 증가되며 안정구역을 거치친 후 다시 나빠졌다. 최대표면거칠기의 입장에서 챔퍼각은 가장 양호한 표면거칠기를 보이는 각을 중심으로 그 각이 적은 -15도의 표면거칠기가 -30, -45보다 양호함을 확인할 수가 있어 각을 어느 정점이상으로 취하는 것보다 어느 정점 아니면 부득이 한 경우 그 이하의 각을 취하는 것이 최대표면거칠기의 입장에서 유리하다고 생각된다. 그래프에서 최대표면거칠기가 가장 장시간동안 좋았던 공구는 -25도인 공구이고 다음은 -15도 그리고 -30도였다.

그러므로 본실험에서 공구마모의 측면에서나 표면거칠기의 측면에서 챔퍼의 각은 -25도 전후의 각이 고경도 급형강을 절삭가공시 가장 우수한 성능을 발휘하는 것으로 판단되는 것으로 생각되고, 이것보다 너무 작거나 너무 각도가 커도 공구수명은 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

### 3-2. 공구반경의 영향

정밀절삭에서는 공구반경에 의해서 절삭이 통상 행해지기 때문에 공구반경의 변화가 절삭저항 및 가공면의 표면거칠기에 영향을 미치므로 반경의 영향을 명확하게 하는 것은 중요하다.

챔퍼 각은 전향에서 얻어진 최적값  $Na=-25$ 도로 일정하게 하고 공구반경을 여러 종류로 변화시키면서 공구마모가 0.2mm에 달할 때까지와 절삭시간과의 관계를 조사하였다.

Fig.6은 반경의 변화에 따른 공구마모와 절삭시간과의 관계를 나타낸 그래프이다.

절삭초기에는 공구마모 양상이 모두 비슷하다가 반경이 0.4mm인 공구가 갑작스런 결손이 발생한 반면

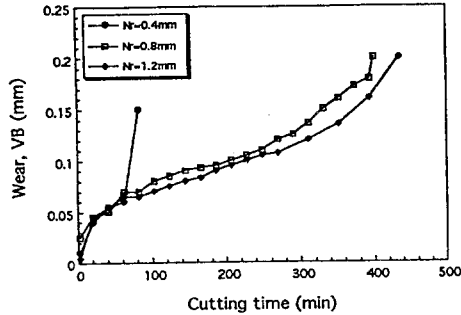


Fig.6 Wear vs. cutting time (-25 x 0.12 mm, STD11, HRC50)

공구반경이 0.8과 1.2mm인 공구에서는 비교적 장수명을 유지하였으며 내마모성도 노즈반경의 크기에 따라 큰 차이를 보이지 않고 비교적 비슷한 양상을 보였다. 0.4mm인 공구가 비교적 조기에 파손된 것은 다른 공구에 비해 0.4mm의 강도가 비교적 약해 공구가 조기 파손 되었다고 생각된다. 그래서 고경도강의 절삭시 공구의 반경은 크게 설정하는 것이 유리하다고 생각되고 이 공구반경의 증가는 높은 이송에 의한 절삭 즉 실이송을 크게하는 역할을 하여 고능률 절삭을 가능하게 하므로 고능률 가공의 측면에서도 반경의 증가는 유리하다. 그러나 이러한 반경의 증가는 너무 클경우 배분력이 증가하여 공작기계의 강성에 영향을 미치고 진동등의 영향으로 표면거칠기에도 영향을 미치므로 지나치게 큰 공구반경은 피하는 것이 좋다고 생각된다.

Fig.7은 반경변화에 따른 표면거칠기와 절삭시간과의 관계를 나타낸 그래프이다.

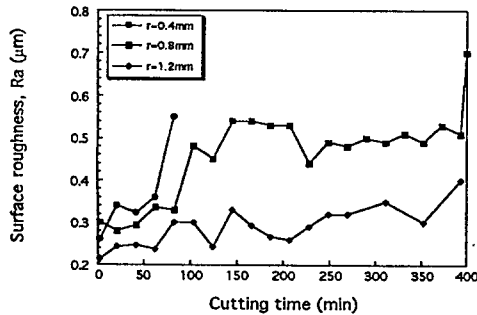


Fig.7 Surface roughness vs. cutting time (-25 x 0.12mm, STD11, HRC50)

공구의 반경이 1.2mm인 공구의 표면거칠기가 가장 장시간 유지함과 동시에 큰 표면거칠기의 기록도 없

이 안정적인 상태를 유지함을 확인할 수 있었다. 그 1차적인 이유로 이론적인 표면거칠기 식에서 공구반경이 증가함에 따라 이론적인 표면거칠기는 양호한 경향을 보이는 영향 때문인 것으로 생각되고, 공구반경의 증가로 인한 공구절삭부의 상대적인 강성의 증가로 갑작스런 공구의 파손이나 칩핑 등이 이것보다 반경이 작은 것들보다 작아 이러한 요소들이 표면거칠기에 영향을 미쳐 공구의 반경이 1.2mm인 공구의 가공면이 우수한 것으로 판단된다.

### 3-3. 챔퍼 폭의 변화에 따른 영향

고경도강을 정면밀링 가공시 공구의 인선의 변화에 따른 공구의 수명을 평가할 때 주로 평가의 대상은 가장 먼저 공구의 마이너스각과 공구의 반경으로 이들은 적정한 조건이 충족되지 않을 때 정상적인 마모과정을 거쳐 수명에 이르는 것보다 주로 심한 칩핑을 동반한 공구파손의 양상을 주로 보이는 특징을 가지고 있다. 이 적정범위에서 고경도 강 경우 챔퍼의 폭 또한 공구의 수명에 영향을 미쳐 적정한 공구의 형상 설계시 최적의 길이를 선택해야 긴 공구수명과 안정된 표면거칠기를 보장 받을 수 있다.

Fig.8은  $V=311\text{m/min}$ ,  $\text{feedrate}=0.041\text{mm/tooth}$ ,  $N_a=-25$ 도일 때  $VB_{\text{max}}$ 와 절삭시간과의 관계를 나타낸 것이다.

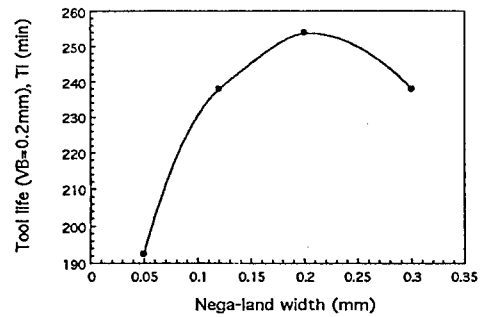


Fig.8 Tool life vs. nega-land width (-25 x 0.12mm, STD11, HRC55)

본 실험에서는 챔퍼 폭을 0.05, 0.12, 0.2, 0.3mm의 4단계화 하여 공구수명 실험을 실시한 결과 챔퍼 폭이 비교적 긴 공구의 수명이 장수명을 유지하였고 그중에서 챔퍼 폭이 0.2mm인 공구는 238분의 가장 긴수명을 보였다. 그러나 챔퍼 폭이 어느 길이 이상을 넘으면 절삭수명은 저하하였다.

### 3-4. 경도의 변화에 의한 CBN공구의 마모특성

Fig.9는  $V=311\text{m/min}$ ,  $f_z=0.041\text{mm/tooth}$ ,  $ap=0.2\text{mm}$ 의 조건에서 STD11강을 비열처리 했을때와 열처리하

여 HRC50,55로 경도의 변화를 주었을 때 경도의 변화에 따른 공구의 마모이다. 공구의 마모는 경도가 큰 것이 클 것 같았으나 마모는 경도가 가장 작은 것을 절삭가공할 때 가장 마모의 폭이 컸다. 이는 CBN공구의 소결방법에 의한 차이와 Photo1에서 처럼 칩의 슬립간격이 열처리한 것보다 길어 고온 고압의 상태가 순간적으로 길어 공구에 B.U.E를 일으켜 공구의 마모가 빨리 진행되었다고 생각된다.

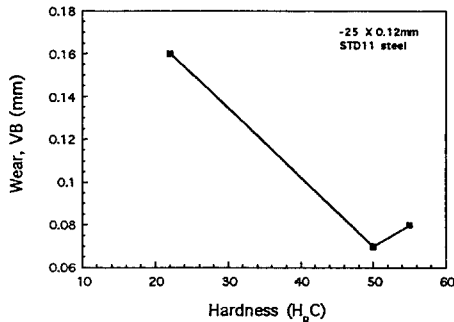


Fig. 9 Flank wear vs. work piece hardness (V=224m/min, fz=0.06mm/tooth, ap=0.2mm, after 69.19 minute)

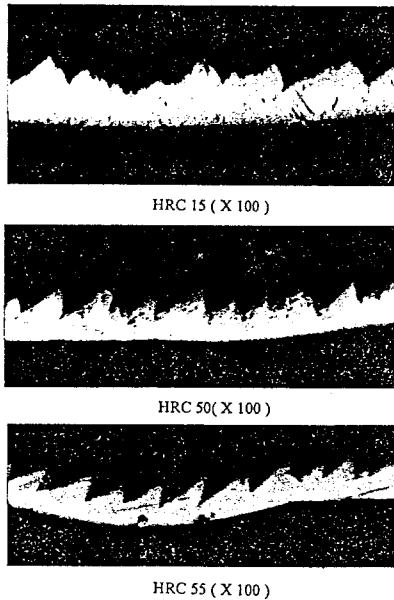


Photo 1 The shape of chips according to hardness

#### 4. 결 론

CBN공구를 이용하여 고경도 금형강의 밀링가공 시 공구의 형상변화에 의한 최적의 인선 형상을 여유면 마모와 표면거칠기의 관점에서 다음과 같이 결정할 수 있었다.

1. 챔퍼각은 평균여유면마모, 표면거칠기의 측면에서 공구의 초기마모가 공구수명에 영향을 미쳐 초기마모 기울기로서 공구의 수명을 예측할 수 있고, 25도 전후의 각이 안정된 수명을 보이는 최적치였다.
2. 챔퍼의 폭은 작은 랜드부를 갖는 것은 공구의 마모를 촉진하고 공구의 단 수명을 보였다. 랜드부의 길이는 긴 것이 유리하였으나 너무 길면 공구의 약화를 초래하였다.
3. 노즈반경은 0.4에서 1.2범위 안에서 반경이 1.2mm인 공구의 표면 거칠기가 가장 우수하였으며 공구수명도 가장 길었다.
4. 고경도의 열처리한 재료와 비열처리 재료의 가공시 공구의 마모속도는 비열처리 재료의 마모속도가 높았다.
5. 3분력중 가장 큰 것은 Fz방향의 절삭력이고 공구마모가 진행됨에 따라 Fz방향의 절삭력의 증가율은 가장 현저하였다.

#### 참 고 문 헌

1. K. Oishi, "Built-Up Edge Elimination in Mirror Cutting of Hardened Steel", ASME Journal of engineering for Industry, Vol. 117, Feb., pp. 62-66, 1995
2. S. Enomoto, Masamichii Kato, "Cutting Characteristics of CBN Cutting Tools in Turning Chromium-Molybdenum Steels of Various Hardnesses", JSPE, Vol. 9/6, pp.1079-1084, 1989
3. K. Shintani, Yoshio Fujimura, "Infulence of CBN Tool Geometry on Finishing of Hardened Steel by Turning", JSPE, Vol 31/05, pp., 1053-1059, 1985
4. T. Ohtani, K. Fujise, H. Yokogawa, "Cutting force Characteristics in Finish Machining of Hardened Steel", JSPE, Vol. 54/10, pp.1969-1974, 1988
5. Y. Tamane, T. Okano, N. Narutaki, "Face Milling of Hardened Steels by Tic Added Alumina Ceramic Tool (1st Report) -Failure Characteristics and Influence of Cutting Condition on Tool Life-", JSPE VOL. 56/3, pp. 539-544, 1990
6. K. Shitan, N. Suzuki, "Wear Mechanism of CBN Tool by High-Temperature Cutting Condition in ADI Maching", JSPE, Vol. 61/6, pp. 804-808, 1995
7. T.Nishiguchi, M. Masuda, "Precision Cutting of Ferreous Metals with Single Crystal CBN Cutting Tools", JSPE, Vol. 54/2, pp.140-145, 1988