

CBN 공구의 형상이 고경도강의 절삭특성에 미치는 영향

문상돈*, 김태영**

Influence of CBN Tool Geometry on Cutting Characteristics of High Hardened Steel

Sang-Don Mun*, Tae-Young Kim**

Abstract

The purpose of this investigation is experimentally to clarify the machinability and optimum tool geometry on milling of hardened STD11 steel. In the finish process of face milling of high hardened STD11 steel by CBN tool, the optimum tool shape is suggested, which can minimize the tool fracture and chipping by impact. It is measured that cutting force, tool wear and surface roughness generated during single-insert face milling using various geometric CBN tools. It has been found that the optimal chamfer angle of CBN tool is about -25° and the suitable chamfer width is 0.2mm. The nose radius of tool is the most excellent at 1.2mm in the viewpoint of tool wear and surface roughness.

Key Words : high hardened steel(고경도강), CBN tool(CBN 절삭공구), chamfer angle(첼퍼각), chamfer width(첼퍼폭), nose radius(공구반경)

1. 서론

최근 각종 첨단산업의 고도성장과 더불어 여러 형태의 금형들과 기계부품들은 강도와 내마모성을 향상시킬 목적으로 열처리를 실시하여 사용하는 경우가 증가하고 있다.^(1,2) 이러한 재료들은 내마모성 및 기계적, 물리적인 성질이 뛰어난 반면 절삭공구의 제한성 때문에 고정밀, 고능률, 고속절삭 가공이 어려워 난삭재의 하나로 분리되어 있고, 이에 대한 효율적인 절삭가공 방법들이 여러 방면에서

모색되고 있다.^(2,3)

종래에는 고경도 열처리강의 가공에 있어 연삭가공이나 방전가공이 그 주류를 이루고 있었다.⁽⁴⁾ 그러나 최근에는 공작기계 및 공구의 발달로 절삭가공에 의한 가공들이 시도되고 있고⁽⁵⁾ 이의 실현은 경제적인 측면에서나 생산 능률적인 측면에서 단가절감을 기대할 수 있다.

고경도인 난삭재들의 절삭가공에 관한 연구들로는 선삭에서 열처리강의 정밀절삭시 절삭저항의 특성⁽⁶⁾, 다양한 경도의 chromium-molydenum 강⁽⁷⁾의 선삭 가공시 CBN 공

* 전북대학교 강사(msd11@dreamwiz.com)

** 전북대학교 기계공학부

구의 절삭특성⁽⁷⁾ 등이 있다.

그러나 위와 같은 연구들은 주로 선삭 가공을 중심으로 한 연속적인 절삭에 적용되어 왔고 정면밀링에서와 같은 단속 절삭에 적용한 사례는 아직도 매우 미진한 상태이다.

본 연구에서는 금형재로 많이 쓰이는 STD11 강을 열처리하여 경도가 각각 H_RC 22, 50, 55인 상태로 제작된 재료를 사용하여 CBN 공구의 챔퍼각, 공구반경, 챔퍼폭 등이 고경도 피삭재의 공구마모, 표면거칠기, 공구수명에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 실험에는 주축회전수와 이송속도를 9×12단으로 변환할 수 있는 만능 밀링머신을 사용하였다. Fig. 1은 주요 실험장치의 개략도이다.

피삭재는 금형 제작 재료로 많이 사용되고 있는 STD11 강을 사용하였으며 경도가 H_RC 55로 열처리된 시험편을 사용하였다. 그리고 피삭재의 경도변화에 의한 공구의 마모특성 실험에서는 열처리에 의하여 경도가 각각 H_RC 22, 50, 55로 처리된 재료를 사용하였다. Table 1은 STD11 강의 화학적 성분을 나타내고 있다.

밀링커터는 고경도 절삭가공에 주로 사용되는 더블 네거티브형(double negative type)을 사용하였고, 절삭공구는 CBN 공구를 사용하였다. CBN 공구는 Fig. 2에서 나타내는 것처럼 절삭날 에지(edge)에 챔퍼 가공을 실시하여 절삭 성능의 안정화를 도모해 나갔다. 챔퍼가공 후 경사면과

Table 1 Chemical composition of STD11

Chemical composition(wt.%)							
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

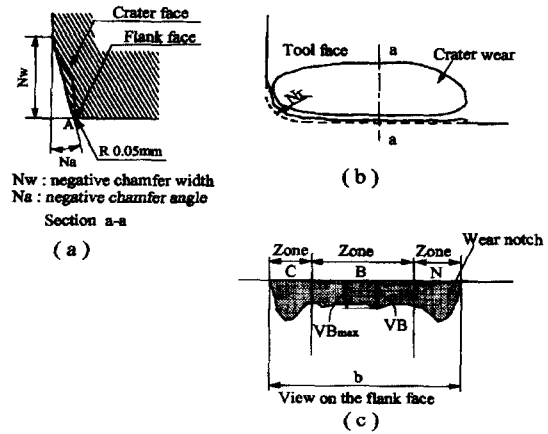


Fig. 2 Geometry of cutting edge

Table 2 Cutting conditions

Machine	Universal milling machine
Milling	M415SN04R-12 (KT ø 100 mm)
Cutter	· lead angle : 15° · axial rake angle : -7° · radial rake angle : -5°
Insert	BZN8100 (65 % CBN)
Type	Nose radius(Nr) : 0.4, 0.8, 1.2mm Chamfer angle(Na) : -15°, -25°, -30°, -45° Chamfer width(Nw) : 0.05, 0.12, 0.2, 0.3mm
Cutting Condition	Cutting speed(V) : 311, 224 mm/min Feed rate(Sz) : 0.06, 0.041 mm/tooth Depth of cut(Ap) : 0.2 mm Workpiece : STD11 · hardness : H _R C 22, 50, 55 · size : 150mm × 65mm × 16 ¹ mm Center milling

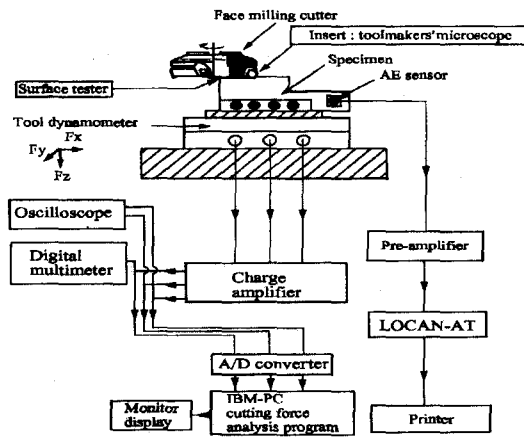


Fig. 1 Experimental apparatus

플랭크 마모를 형성하는 여유면 측이 교차하는 부분 즉 (a)의 A 부분은 반경 0.05mm로 가공하였다. 구체적인 공구의 형상, 절삭조건 등은 Fig. 2 (a), (b), (c) 및 Table 2에 나타냈다.

가공중에 발생하는 절삭력의 측정을 위해 공구동력계 (KISTLER type 9257B)를 사용하였고, 공구동력계로부터 발생한 신호는 증폭 후 A/D converter를 거쳐 PC에 저장하였다.

가공물의 표면거칠기는 절삭조건에 따라 가공 후 표면조도계 (Mitutoyo Surftest 301)를 사용하여 측정하였다.

Cut-off 값은 0.8mm로 하였으며 중심선평균표면거칠기 (Ra)와 최대높이표면거칠기(Rmax) 측정법을 사용하여 가공면의 표면상태를 평가하였다.

공구마모량은 공구현미경을 사용하여 측정하였고, 플랭크 마모를 기준으로 선택하였다. 공구의 수명판정은 정밀 절삭시 일반적으로 적용하는 평균 플랭크 마모(VB)를 0.2mm로 정해 공구수명에 도달할 때까지 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 챔퍼각의 영향

CBN 공구의 절삭성능은 난삭재의 가공시 절삭날 처리 여부에 크게 영향을 받는다.⁽¹⁾ 특히 피삭재의 경도나 강도가 높을 때 이와 같은 효과가 현저히 나타난다. 절삭날이 예리한 경우 절삭날 끝 부분의 강도 부족으로 칩핑이 발생하지만 공구에 챔퍼를 가함으로써 칩핑을 방지하고 정상적인 마모를 형성할 수 있다.

Fig. 3은 공구반경 Nr=1.2mm, 챔퍼폭 Nw=0.12mm, 챔퍼각 Na=-15°, -25°, -30°, -45°인 조건에서 재료의 경도가 H_RC 55인 STD11 강을 CBN 공구로 가공했을 때 평균 플랭크 마모 VB와 절삭시간과의 관계를 나타낸 그래프이다.

초기마모 영역에서 가공시간의 변화에 따른 공구마모의 기울기는 챔퍼각이 -45°인 CBN 공구가 가장 컸다. 그리고 비례마모 영역과 그 이후의 영역에서도 초기마모 영역에서 가장 마모율이 컸던, 챔퍼각이 -45°인 공구의 마모율이 가장 크고, -25°인 공구의 마모율이 가장 작았다.

Fig. 4는 Fig. 3과 동일한 조건에서 공구수명과 챔퍼각과의 관계를 표시한 것이다.

공구수명은 챔퍼각이 Na= -25°인 공구가 가장 길었다. 챔퍼각이 -45°인 공구는 Fig. 3에서와 같이 초기마모 기

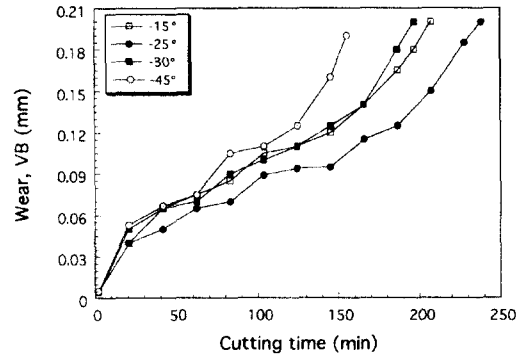


Fig. 3 Wear, VB vs. cutting time
(V=311m/min, Sz=0.041mm/tooth, Ap=0.2mm, Nr=1.2mm, Nw=0.12mm, H_RC 55)

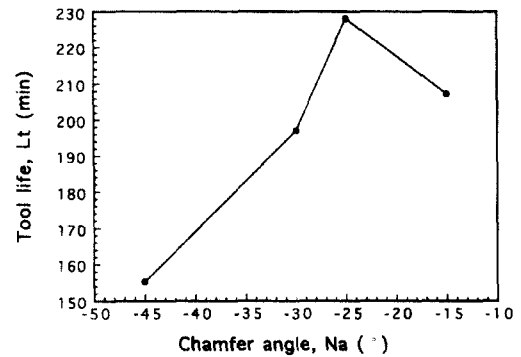


Fig. 4 Tool life vs. chamfer angle
(V=311m/min, Sz=0.041mm/tooth, Ap=0.2mm, Nr=1.2mm, Nw=0.12mm, H_RC 55)

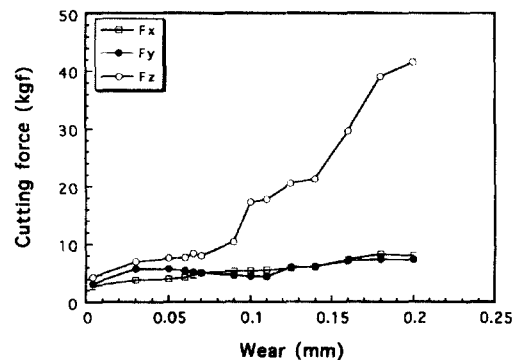


Fig. 5 Cutting force vs. wear, VB
(V=311m/min, Sz=0.041mm/tooth, Ap=0.2mm, Na=-30° Nr=1.2mm, Nw=0.12mm, H_RC 55)

울기가 가장 급격하고, 비례마모 이후 영역까지 가장 현저하게 공구마모가 진행되어 155분 정도에서 공구수명을 다하였다. 이는 부적절한 칩퍼각으로 인한 축분력의 증가가 공구의 기계적 마모를 촉진시킨 것으로 판단된다.

그러므로 부적절한 칩퍼각의 선정은 급속한 공구마모를 야기하여 공구수명을 단축시키므로 이러한 공구형상의 선택은 피해야 한다고 본다.

Fig. 5는 절삭력과 공구마모 VB와의 관계를 나타낸 그래프이다.

Fig. 1과 같이 공구가 피삭재를 가공할 때 발생하는 평균 절삭분력들을 각각 X방향(이송방향) 분력 F_x , Y방향(이송방향과 직각 방향) 분력 F_y , Z방향(축방향) 분력 F_z 라 할 때 가장 크기가 큰 것은 F_z 절삭분력 이었다. 그리고 공구마모가 진행됨에 따라 F_z 절삭분력의 증가율이 가장 현저하였다.

이는 일반 절삭에서와는 달리 칩퍼각이 네거티브일 뿐만 아니라, 가공재와 공구가 모두 고경도이므로 접촉면에서 강한 충격과 높은 마찰저항이 직접 축방향에 전달되어 증가율이 상대적으로 컸다고 판단된다.

Fig. 6은 칩퍼각의 변화에 따른 가공면의 표면거칠기(최대높이표면거칠기, R_{max})와 절삭시간과의 관계를 나타낸 그래프이다.

칩퍼폭 N_w 를 0.12mm로 일정하게 하였을 때 최대높이 표면거칠기의 측면에서, 가장 긴 시간동안 우수한 표면거칠기를 유지한 공구는 칩퍼각이 -25° 인 공구였고, 칩퍼각이 -15° 인 공구도 -30° , -45° 보다 양호한 표면거칠기를 유지하였다.

한편 절삭초기에는 칩퍼각이 -45° 인 공구의 최대높이 표면거칠기가 가장 우수하였다. 이와 같은 양호한 경향은 절삭초기부터 약 50분까지 계속되었다. 그러나 50분이 지남에 따라 상태는 급격히 나빠져서 가장 불량한 가공면을 형성하였다. 그 원인은 Fig. 4에서와 같이 칩퍼각이 -45° 인 공구가 공구마모로 인해 상대적으로 빨리 표면거칠기의 안정구역에 진입하고, 마모의 급증과 축분력의 빠른 증가로 인하여 가장 빨리 표면거칠기가 악화되었다고 판단된다.

칩퍼각이 -15° , -25° , -30° 인 공구에서는 마모의 진행에 따른 공구반경의 점차적인 증가 효과로 최대높이표면거칠기가 비교적 긴 정상적인 안정구역을 거친 후 공구수명에 가까워지면서 나빠짐을 알 수 있었다.

3.2 공구반경의 영향

정밀절삭에서는 공구반경에 의하여 절삭이 통상 행해지기 때문에 공구반경의 변화가 절삭저항 및 가공면의 표면거칠기에 영향을 미친다.

Fig. 7은 공구반경의 변화에 따른 공구마모 VB와 절삭시간과의 관계를 나타낸 그래프이다.

칩퍼각은 -25° 로 일정하게 하고 공구반경은 0.4, 0.8, 1.2mm의 조건을 사용하였다.

절삭초기에는 공구마모 양상이 모두 비슷하다가 공구반경이 0.4mm인 공구에서 갑작스런 파손이 발생하였다. 0.8과 1.2mm인 공구는 400시간 이상의 긴 수명을 유지하였다.

공구반경이 0.4mm인 공구가 비교적 조기에 파손된 이

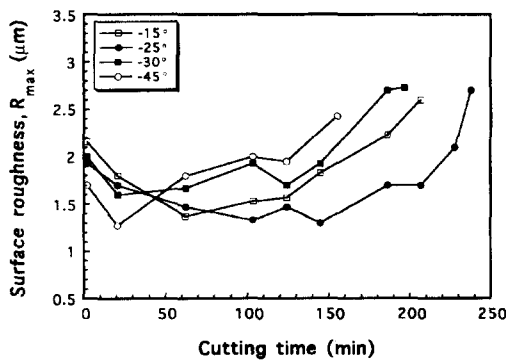


Fig. 6 Surface roughness, R_{max} vs. cutting time
($V=311\text{m/min}$, $S_z=0.041\text{mm/tooth}$, $A_p=0.2\text{mm}$, $N_r=1.2\text{mm}$, $N_w=0.12\text{mm}$, $HrC\ 55$)

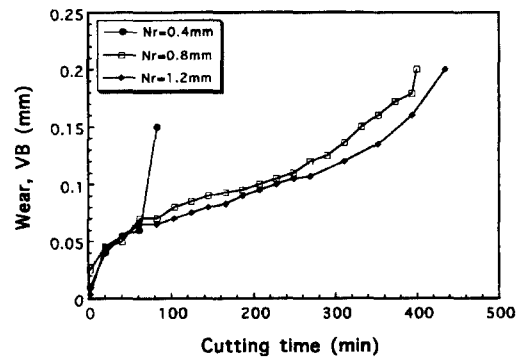


Fig. 7 Wear, VB vs. cutting time
($V=311\text{m/min}$, $S_z=0.041\text{mm/tooth}$, $A_p=0.2\text{mm}$, $N_a=-25^\circ$, $N_w=0.12\text{mm}$, $HrC\ 55$)

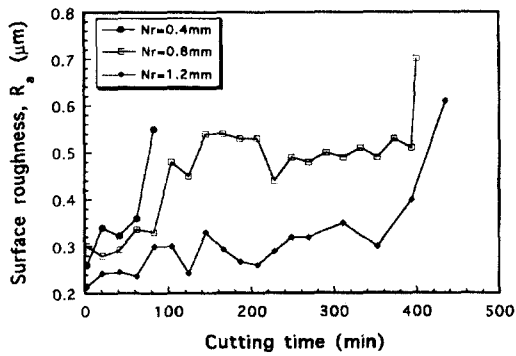


Fig. 8 Surface roughness, Ra vs. cutting time
($V=311\text{m/min}$, $S_z=0.041\text{mm/tooth}$, $A_p=0.2\text{mm}$, $N_a=-25^\circ$, $N_w=0.12\text{mm}$, HRC 55)

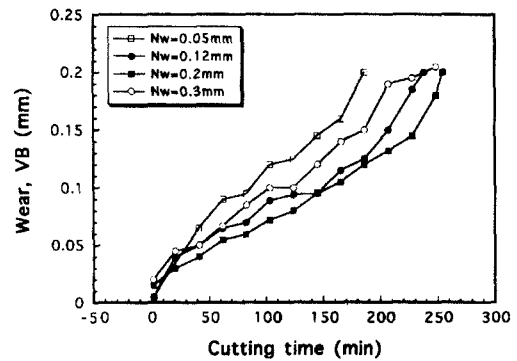


Fig. 9 Wear, VB vs. cutting time
($V=311\text{m/min}$, $S_z=0.041\text{mm/tooth}$, $A_p=0.2\text{mm}$, $N_r=1.2\text{mm}$, $N_a=-25^\circ$, HRC 55)

유는 0.8, 1.2mm 공구들에 비해 절인부의 강도가 비교적 약하기 때문이라고 판단된다. 공구반경이 너무 클 경우에는 축분력이 증가하여 공작기계의 강성에 영향을 미치고 진동 등의 영향으로 표면거칠기에 영향을 미치므로 지나치게 큰 공구 반경은 피하는 것이 좋다고 알려져 있다. 그러나 고경도강의 절삭시 공구반경은 어느 정도 크게 설정하는 것이 유리하다고 생각된다. 이 공구반경의 증가는 높은 이송에 의한 절삭 즉 실이송을 크게 하는 역할을 하여 고능률 절삭을 가능하게 하므로 고능률 가공의 측면에서도 유리하기 때문이다.

Fig. 8은 공구반경의 변화에 따른 표면거칠기(중심선평균거칠기, Ra)와 절삭시간과의 관계를 나타낸 그래프이다.

본 실험조건에서 가장 표면거칠기가 우수한 공구반경은 1.2mm였다. 그 1차적인 이유는 이론적인 표면거칠기가 공구반경이 증가함에 따라 양호하기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 공구반경의 증가로 인한 절삭부의 상대적인 강성의 증가가 갑작스런 파손이나 칩핑 등을 막아 반경이 작은 공구들보다 표면거칠기가 우수한 것으로 판단된다.

3.3 칩퍼폭의 변화에 따른 영향

Fig. 3~Fig. 8에서와 같이 고경도 재료의 정면밀링 가공시 공구수명은 칩퍼폭과 공구반경이 임계의 적정범위를 벗어날 때 정상적인 마모과정을 거쳐 수명에 이르는 것보다 주로 심한 칩핑 또는 공구파손을 동반하여 짧아짐을 확인할 수 있었다. 공구의 칩퍼폭, 공구반경과 더불어 칩퍼폭의 변화 또한 공구수명에 영향을 미쳤다.

Fig. 9는 칩퍼폭의 변화에 따른 공구마모 VB와 절삭시

간과의 관계를 나타낸 그래프이다.

칩퍼폭을 각각 0.05, 0.12, 0.2, 0.3mm로 하고 공구수명의 기준을 $VB=0.2\text{mm}$ 로 하였을 때 칩퍼폭 N_w 가 0.2mm인 공구의 마모율이 가장 우수함을 확인할 수 있었다. 그리고 $N_w=0.12\text{mm}$ 인 공구도 마모 경향이 0.2mm인 공구와 비슷하였다. $N_w=0.05\text{mm}$ 인 공구는 급격한 마모가 진행되어 그 수명도 가장 짧았다.

3.4 경도의 변화에 의한 CBN 공구의 마모 특성

Fig. 10은 경도가 각각 H_RC 22, 50, 55인 STD11 강 가공시 CBN 공구의 마모 VB와 경도 변화와의 관계를 나타낸 그래프이다.

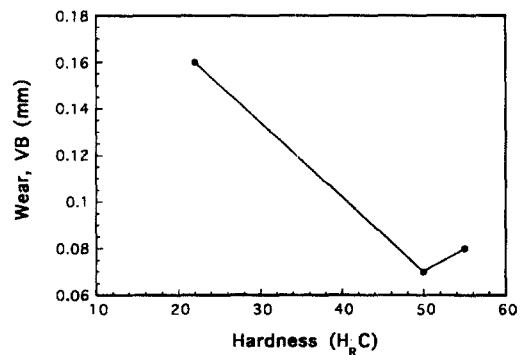
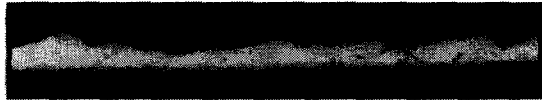
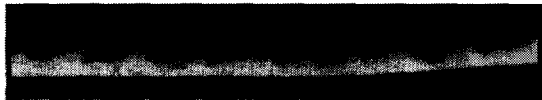


Fig. 10 Wear vs. workpiece hardness
($V=224\text{m/min}$, $S_z=0.06\text{mm/tooth}$, $A_p=0.2\text{mm}$, $N_a=-25^\circ$, $N_r=1.2\text{mm}$, $N_w=0.12\text{mm}$, after 69,19 minute)

공구마모는 경도가 매우 높은 H_RC 50, 55인 재료보다 H_RC 22인 재료를 가공한 공구에서 상대적으로 심했다. 이는 경도가 H_RC 22인 시험편이 상대적으로 연성재료에 해당하므로 Photo 1 (a)에서처럼 칩의 슬립간격이 경도가 매우 높은 Photo 1의 (b), (c)보다 길어 고온 고압상태가 순간적으로 길어지므로 공구에 구성인선을 일으켜 마모가 빨리 진행되었다고 판단된다.



(a) H_RC 22 (×100)



(b) H_RC 50 (×100)



(c) H_RC 55 (×100)

Photo 1 Shape of chips according to change of hardness of STD11

4. 결 론

CBN 공구에 의한 고경도 피삭재의 밀링가공시 공구인선 형상이 절삭특성에 미치는 영향을 다음과 같이 평가할 수 있었다.

- (1) 안정된 공구마모율과 표면거칠기의 측면에서 챔퍼 각은 -25° 부근이 최적이었다. 그리고 절삭초기에 공구마모율이 가장 컸던 공구(Na= -45°)의 수명이 가장 짧았다.
- (2) 공구마모가 진행됨에 따라 증가하는 F_x, F_y, F_z 절삭분력 중 F_z 절삭분력의 증가율이 가장 현저하였다.
- (3) 공구반경이 0.4mm, 0.8mm, 1.2mm인 조건에서 공구마모율 및 표면거칠기가 가장 우수한 공구의 반경은 1.2mm였다.

- (4) 공구의 챔퍼폭이 각각 0.05mm, 0.12mm, 0.2mm, 0.3mm인 조건에서 공구마모율이 가장 우수한 챔퍼폭은 0.2mm였다. 그리고 챔퍼폭이 가장 짧았던 공구(Nw= 0.05mm)의 마모율이 가장 커서 다른 공구들보다 짧은 공구수명을 유지하였다.
- (5) 경도가 각각 H_RC 22, 50, 55인 재료를 가공시, 경도가 H_RC 22인 피삭재를 가공한 공구의 마모율이 가장 컸다.

참 고 문 헌

- (1) K. Shintani and Y. Fujimura, "Influence of CBN Tool Geometry on Finishing of Hardened Steel by Turning", JSPE, Vol. 31, No. 5, pp. 1053~1059, 1985.
- (2) 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.
- (3) K. Shitan and N. Suzuki, "Wear Mechanism of CBN Tool by High-Temperature Cutting Condition in ADI Machining", JSPE, Vol. 61, No. 6, pp. 804~808, 1995.
- (4) "난삭재의 절삭가공기술", 기술정보, pp. 1~54, 1992.
- (5) 김성청, 이재우, "다이아몬드공구에 의한 초경합금의 절삭", 한국공작기계기술학회지, Vol. 6, No. 2 pp. 102~103, 1997.
- (6) T. Ohtani, K. Fujise and H. Yokogawa, "Cutting force Characteristics in Finish Machining of Hardened Steel", JSPE, Vol. 54, No. 10, pp. 1969~1974, 1988.
- (7) S. Enomoto and M. Kato, "Cutting Characteristics of CBN Cutting Tools in Turning Chromium- Molybdenum Steels of Various Hardnesses", JSPE, Vol. 9, No. 6, pp. 1079~1084, 1989.