

초연마재(CBN)을 사용한 연삭가공



이 종 찬
(금오공과대학교 교수)



김 흥 건
(전주대학교 교수)

1. 서론

오늘날 산업현장에서 난삭재의 생산성과 정밀도 향상을 위해 가공상 발생하는 문제를 해결하기 위한 노력이 연삭가공의 사용을 자연적으로 증가하게 만들었다. 일반 연마재는 여러 연삭가공에 적합하지만 생산성이 만족할 만하지 못하기 때문에 대체로 다이아몬드 또는 CBN과 같은 초연마재를 사용하고 있다. 초연마재 기술은 경화강에 제한되지 않고 풀림강 또는 연강의 가공까지 적용범위가 점점 더 확장되고 있다. 이전에는 선삭, 밀링, 브로칭과 같은 전통적인 기계가공을 대신할 연삭가공이 없었지만 초연마재 연삭휠용으로 설계된 공작기계 (Machine Tool) 및 각각의 가공에 적합한 휠의 개발로 인해 고경도 재료의 고능률, 경제적인 가공이 가능하게 되었다¹⁾.

CBN 휠은 단단하고 가공하기 힘든 철계 재료의 연삭에 사용된다. 또 CBN 휠은 같은 가공조건에서 일반연마재로 가공할 때 보다 더 낮은 온도에서 재료를 제거한다. CBN 휠로 연삭가공시 발생하는 열이 낮기 때문에 피삭재의 표면은 거의 열적손상을 입지 않는다. 그러므로 CBN 휠로

연삭가공한 절삭공구나 부품은 일반적으로 수명이 길다. 그리고 재료제거율이 높아서 CBN 휠은 선삭, 밀링, 일반 연삭가공을 대체할 수 있다. CBN 휠은 공구실에서 엔드밀, 밀링커터, 브로치 등의 절삭공구를 날카롭게 하기 위하여 공구연삭기와 커터연삭기에 처음 사용되었으며 그 적용이 계속적으로 성공함에 따라 다른 형태의 연삭기에서도 사용되었다. 오늘날 CBN 휠은 평면연삭기, 원통연삭기 내면연삭기, 센터리스 연삭기, 특수 목적의 연삭기 등 모든 형태의 연삭기에서 널리 사용된다²⁾.

2. CBN 휠을 이용한 평면연삭

평면연삭은 일반적으로 피삭재를 회전하는 연삭휠 속으로 이송시켜 피삭재상에 평면, 외형, 불규칙한 형상 등을 가공하는 연삭방법이다. 제품상에 요구되는 형상은 연삭휠의 하강이송과 크로스피드 증분의 횡수의 조합 또는 크립피드 연삭의 1회 이송을 통하여 얻어진다.

한편 CBN 연삭휠은 경화공구강과 다이강을 다이아몬드 휠이나 알루미늄 휠보다 더 효율적으로 연삭하기 위하여

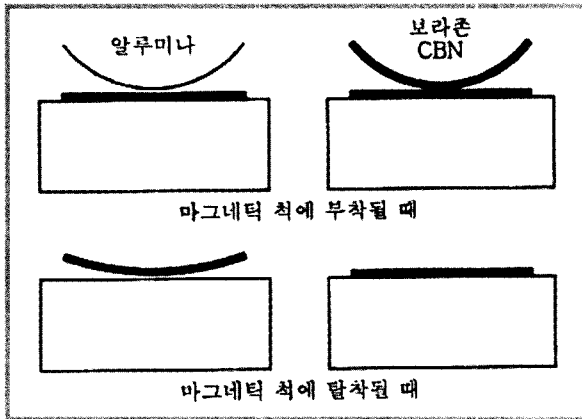


Fig. 1 CBN 휠의 탈·부착시의 변형

고안되었다. CBN 휠을 올바르게 사용하면 생산성은 증가하고 제품품질이 향상되며 연삭비용은 감소된다. CBN 휠의 마모는 느리고 균일하여 휠 수명이 길다. 이것은 특히 난삭재를 높은 재료제거율로 연삭할 때 확연히 드러난다. 휠마모가 작으므로 제품의 치수관리가 용이하고 또한 제품의 치수를 측정하여 휠마모에 대한 기계조정이 불필요하므로 비가동시간의 발생이 거의 없다. 또한 휠의 진직도와 형상을 유지시키기 위한 드레싱을 자주 해 줄 필요가 없다⁸⁾.

CBN 휠이 적절하게 사용되면 연삭가공은 상대적으로 낮은 온도에서 이루어져 피삭재의 버닝발생 위험이 거의 없다. 열적손상이 없기 때문에 CBN 휠로 연삭된 절삭공구는 공구수명이 길어진다. 연삭가공온도가 낮은 CBN 휠의 특성은 얇은 제품을 연삭할 때 진직도 관리를 쉽게 한다. 알루미늄 휠의 경우에 자주 발생하는 연삭열은 연삭 후 잔류응력이 발생하여 제품이 마그네틱 척으로부터 탈착될 때 변형을 일으킨다 (Fig. 1 참조).

2.1 평면연삭의 형태

평면연삭기에는 네 가지의 기본적인 형태가 있는데 모두 피삭재를 몇 가지 방법으로 고정하고 회전하는 연삭휠에 대하여 피삭재를 통과시키는 방법이다.

■ 왕복 테이블이 장착된 수평 스피들 연삭기 (Fig. 2 참조)

이 연삭기는 작업장에서 사용되는 가장 일반적인 평면연

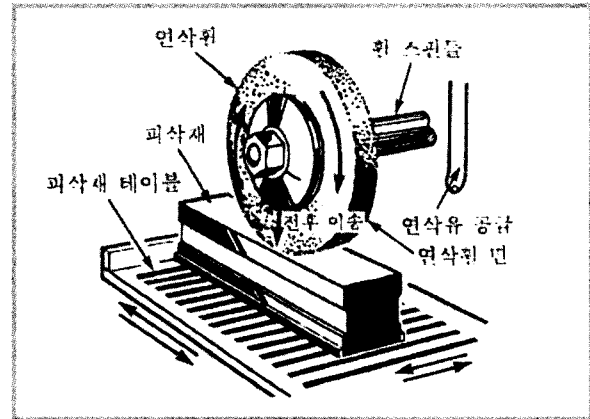


Fig. 2 왕복 테이블의 수평 스피들 평면 연삭기

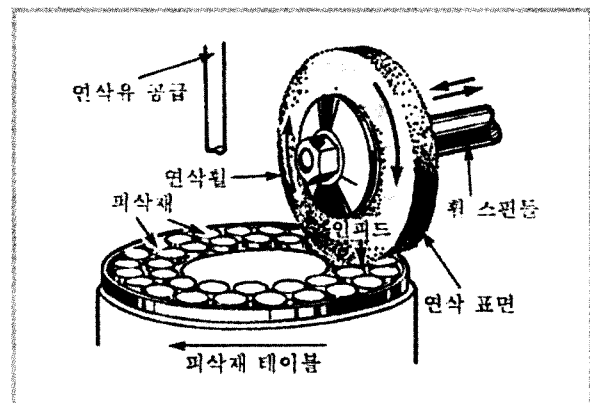


Fig. 3 로터리 테이블이 장착된 수평연삭기

삭기이다. 마그네틱 척이나 고정 바이스로 피삭재를 고정하고 요구되는 연삭깊이로 하강이송되어 회전하는 연삭휠 아래로 테이블을 왕복운동시킨다. 크로스피드는 테이블의 횡단이동으로 제어한다.

■ 로터리 테이블이 장착된 수평 스피들 연삭기 (Fig. 3 참조)

이 연삭기는 일반적으로 Fig. 3과 같은 평평한 원형제품의 연삭에 사용된다. 이 연삭기는 서로 접촉하여 회전하는 연삭제품의 표면가공에 적합하다. 피삭재는 로터리 테이블의 마그네틱 척으로 고정되고 회전하는 연삭 휠 아래로 통과한다. 이송은 휠헤드의 횡단이동으로 제어한다.

■ 로터리 테이블이 장착된 수직 스피들 연삭기 (Fig. 4 참조)

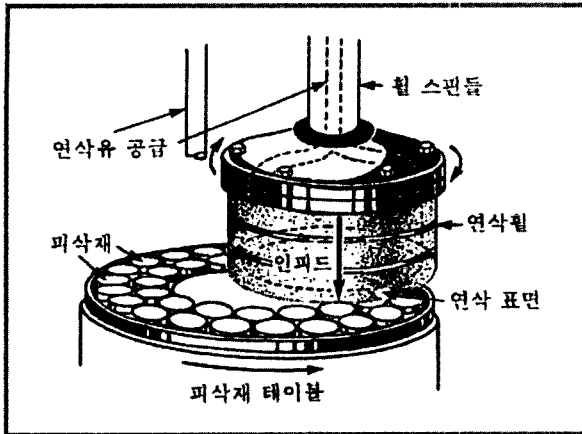


Fig. 4 로터리 테이블이 장착된 수직 스피들 평면 연삭기

Fig. 4와 같이 연삭휠의 평면으로 연삭하는 연삭기이다. 가공된 표면의 형태는 연속으로 교차하는 호같이 보인다. 수직스핀들 연삭기는 재료제거율이 높고 평평한 표면의 생산에 가장 효율적이고 정밀도가 높은 연삭기이다.

■ 왕복 테이블이 장착된 수직 스피들 연삭기

(Fig. 5 참조)

이 연삭기는 회전하는 연삭휠 아래에서 피삭재가 왕복운동을 하여 연삭휠의 평면으로 피삭재를 연삭한다. 피삭재와 연삭휠의 접촉면적이 넓기 때문에 1회 패스로 최고 13mm까지 중연삭이 가능하다.

2.2 피삭재의 종류

CBN 휠은 공구강, 다이강, 합금강을 효율적으로 가공한다. CBN 휠은 경화강을 연삭할 때 알루미늄 휠보다 내마모성이 크므로 제품당 연삭비용이 절감된다. 다음과 같은 재료가 효과적으로 평면연삭이 된다⁴⁾.

- (1) 공구강과 다이강 : CBN 휠은 H_{RC} 58-60의 공구강과 다이강을 연삭할 때 내마모성이 크므로 마모량이 적다. CBN 휠을 사용하여 효과적으로 연삭되는 강의 종류는 M-2, M-4, M-15, T-1, T-9, T-15, A-7, D-7이다.
- (2) 경화강과 주철 : H_{RC} 50 이상인 탄소강 또는 합금강과 아주 경하고 내마모성이 큰 주철합금도 CBN 휠로

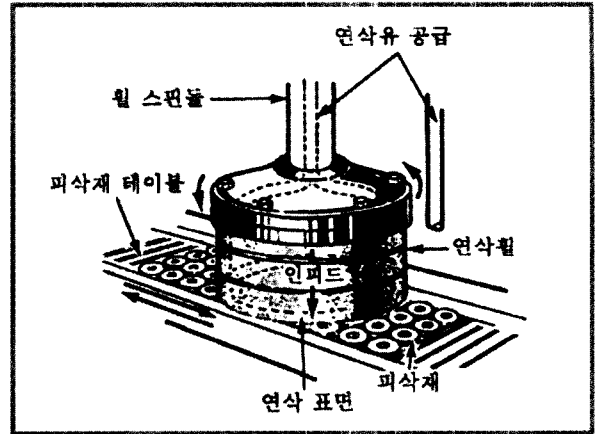


Fig. 5 왕복 테이블이 장착된 수직 스피들 평면 연삭기

연삭 가능하다. 또한 스테인리스와 베어링강도 연삭 가능하다.

- (3) 내마모성이 큰 합금과 초합금 : CBN 휠은 경한 스텔라이트와 내마모성이 큰 합금의 평면연삭에 추천된다. 특히 인성과 점착성이 있는 H_{RC} 35이상의 니켈기저와 코발트기저의 초연마재 연삭에 적합하다.

금속을 연삭하는 데 있어서 각 금속의 조성은 연삭성에 영향을 많이 미친다. 텅스텐, 몰리브덴, 크롬, 니켈, 코발트

종 류	매우 낮음	낮 음	보 통
T-15	■		
A-7	■	■	
M-4	■	■	
M-15	■		
M-42	■	■	
M-2	■	■	
M-3	■	■	
D-2	■	■	
D-7	■	■	
T-3	■	■	
T-1	■	■	■
O-1	■	■	■
W s	■	■	■

Fig. 6 재료별 CBN 휠의 연삭성

등과 같은 첨가원소는 강에 특별한 특성을 부여한다. 그러나 이러한 특성이 연삭성을 나쁘게 한다. Fig. 6은 CBN 휠로 효율적으로 연삭 가능한 여러 금속의 연삭성을 열거하였다.

2.3 CBN 휠을 사용한 평면연삭

대부분의 평면연삭가공에는 집중도 100의 레진본드 CBN 휠이 추천된다. 집중도 100인 휠은 휠 립부에 대략 4.4캐럿/cm³이 포함된다. 올바른 CBN 휠을 선정하고 트루잉과 드레싱을 적합하게 하였다면 효과적인 연삭을 위한 1차적 준비는 된 것이다. CBN 휠의 이점을 최대한 활용하기 위해서는 가공조건을 선정하는 것이 필요하다.

- (1) 최대효과를 얻기 위한 습식 연삭 : CBN 휠은 높은 재료제거율로 난삭재를 연삭하는 데 사용되기 때문에 연삭마찰을 감소시키고 열을 제거시키기 위해 연삭유의 연속적인 공급이 필요하다. 건식 연삭은 연삭열이 피삭재에 손상을 일으킬지도 모르기 때문에 사용되지 않는다. 만약 건식 연삭이 필요하다면 피삭재에 버닝이 일어날 가능성을 줄이기 위해 스펀들 속도, 연삭깊이, 테이블 속도를 낮춘다.
- (2) 수용성 연삭유의 사용 : CBN 연삭휠은 칩을 발생시킴으로써 재료를 제거한다. 연삭 압력은 높고 연삭유는 칩이 입자결정에 붙는 것을 방지하기 위해 윤활성질이 좋아야 한다. CBN 휠의 수명과 재료제거능력

은 수용성 연삭유를 사용하면 상당히 향상시킬 수 있다 (Fig. 7 참조).

- ① 일반적인 목적의 연삭에 대하여서는 5%의 경연삭 수용성 연삭유가 적합하다.
 - ② 우수한 결과와 긴 휠수명을 위해서는 5~10%의 중연삭용 수용성 연삭유를 사용한다.
 - ③ 연삭하기 힘든 초합금에는 황화계 또는 황화염소계의 광유가 추천된다.
- (3) 피삭재와 휠 경계에 연삭유 공급 : 연삭유를 잘 공급하면 휠 수명 증가, 연삭열 감소, 표면조도 향상의 좋은 결과를 가져온다.
 - ① 연삭유 노즐은 피삭재 표면에서 6mm 이내에 테이블 왕복방향과 평행하게, 가능하면 휠과 가까이 위치시킨다 (Fig. 8 참조).
 - ② 연삭유가 비산되는 것을 방지할 수 있는 별도의 보호막장치를 연삭 노즐 주위에 설치한다.
 - ③ 피삭재의 오른쪽 끝단에 모형 블록을 사용하여 연삭되는 표면이 항상 젖어 있게 할 것 (Fig. 9 참조).
 - (4) 평면연삭시 적정속도와 이송을 사용
 - ① 휠 원주속도는 25~33m/s로 한다. 이 범위 내 속도에서 가장 긴 수명과 가장 좋은 표면조도가 얻어진다.
 - ② 연삭기 허용범위 중 가능한 한 높은 테이블 속도에서 최상의 연삭성능이 발휘된다. 테이블 속도가 높으면 재료제거율이 높고 따라서 많은 양을 연삭할

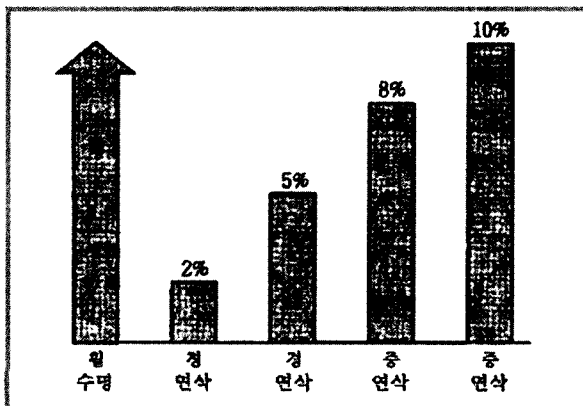


Fig. 7 연삭유의 혼합비와 CBN 휠 수명과의 관계

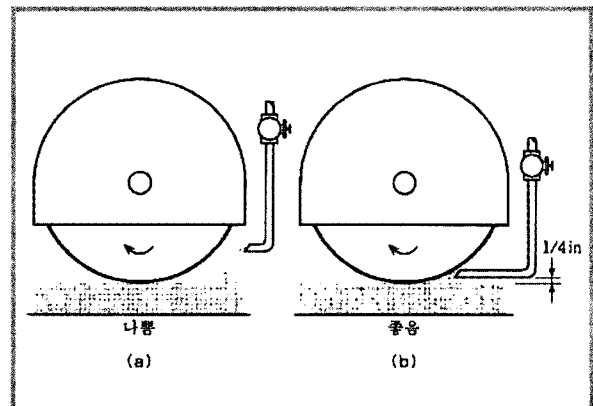


Fig. 8 연삭유 노즐을 피삭재 상면과 피삭재 표면에 가능한 가깝게 위치시킴

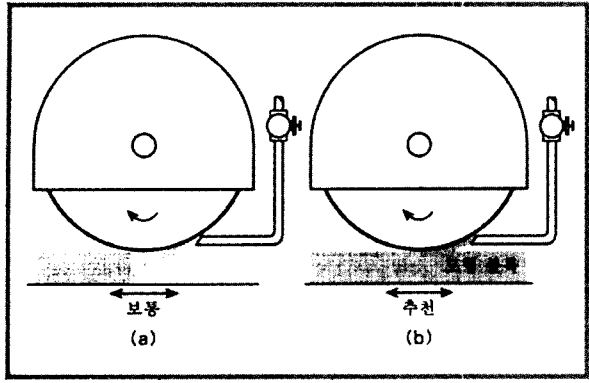


Fig. 9 모형 블록을 두어 피삭재면에 연삭유를 공급함

수 있게 되어 개당 인건비와 간접비가 감소한다.

- ③ 휠폭의 1/4~1/2 정도의 큰 크로스피드 증가는 일반적인 용도의 연삭가공에서 추천된다 (Fig. 10 참조). 마무리 작업에서는 크로스피드 증가를 작게 한다.
- ④ CBN 휠에 대한 올바른 하강이송 범위
 M-2와 T-1강과 같은 ETG (easy-to-grind) 재료에서는 패스당 0.02~0.05mm로 한다.
 M-4와 T-15와 같은 DTG (Difficult-to-grind) 재료에서는 패스당 0.01~0.02mm로 한다.

3. CBN 휠을 이용한 원통연삭

19세기 후반, 경화강의 발달로 피삭재의 경도가 절삭공구만큼 높아지면서, 고경도 피삭재를 마무리 가공할 수 있는 기계의 필요성이 대두되었다. 그 결과, 연삭기가 개발되었고 수년간의 개량 및 연구개발 끝에 오늘날과 같은 고정밀도 연삭기가 출현하게 되었다. 회전하는 피삭재의 원주 부위를 연삭하는 공정을 통틀어 원통연삭이라 한다. 따라서 원통연삭에는 여러 형태가 있지만 여기에서는 센터형 원통연삭만을 다루기로 한다.

3.1 피삭재 준비와 장착

피삭재의 정밀가공, 우수한 표면조도, 비용효율이 좋은 재료제거율로 가공하기 위해서는 피삭재의 준비와 장착을 적절히 할 필요가 있다. 센터에 장착된 피삭재의 외경연삭

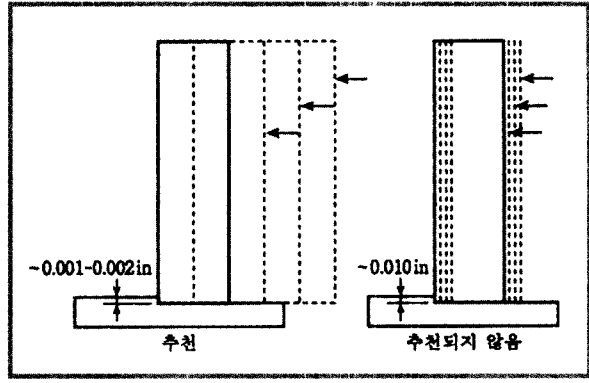


Fig. 10 CBN 휠의 수명을 연장시키기 위해서 큰 크로스피드를 사용

가공을 예로 들어, 모든 원통연삭에 적용 가능한 몇 가지 기본사항을 설명하면 다음과 같다.

- (1) 피삭재의 직경이 평행하게 작업되도록 테스트 바와 다이얼 게이지를 이용하여 연삭기의 센터를 정렬한다.
- (2) 피삭재 회전을 정확하게 하도록 피삭재의 센터를 호닝 또는 래핑(Lapping)한다.
- (3) 주축대(Headstock)와 심압대(Footstock) 중심을 조정하여 피삭재의 길이에 맞춘 후, 테이블 중심에서 같은 거리상에 고정한다.
- (4) 피삭재의 센터에 적합한 윤활제를 공급한다.
- (5) 공작물에 적합한 돌리개를 고정시킨 후, 양 센터 사이에 공작물을 고정한다.
- (6) 피삭재가 연삭기 센터에 확고하게 고정되도록 심압대 센터의 압력을 조정한다. 이 때 힘을 과다하게 부과하지 않는다
- (7) 길고 가는 피삭재를 가공할 경우, 피삭재가 튀어오르는 것을 방지하기 위해 적당한 수의 피삭재 받침대를 사용하여 지지한다. 각 피삭재 받침대 간의 거리는 피삭재 직경의 약 6~10배 정도로 한다.

3.2 속도, 이송, 연삭깊이

원통연삭의 효율을 지배하는 여러 요소 중, 주요요소로 연삭휠 속도, 피삭재 속도, 연삭깊이, 가로이송률 등을 들 수 있다. 이 요소들은 CBN 휠의 수명, 재료제거율, 표면조

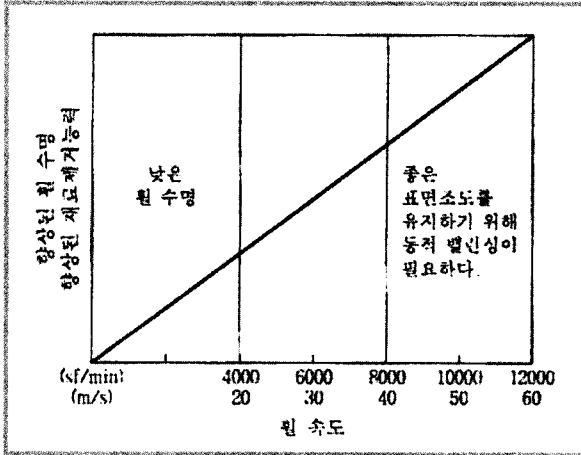


Fig. 11 CBN 연삭휠의 원주속도에 따른 성능

도, 피삭재의 정밀도 등에 영향을 준다.

■ 휠 속도

CBN 휠은 높은 원주속도에서 최상의 성능을 발휘하므로, 속도가 증가할수록 재료제거율과 휠수명이 길어진다 (Fig. 11 참조). CBN 휠의 일반 휠 속도범위는 25.5~33.2m/s이나, 일부 연삭기의 경우, 102m/s 이상까지 속도를 올릴 수 있다. 연삭휠 제조업체의 지침범위를 초과하여 속도를 올려서는 안된다.

■ 피삭재 속도

피삭재는 연삭휠과 같은 방향으로 회전시킨다(즉, 연삭 지점에서 연삭휠과 피삭재의 속도방향이 반대가 되도록 한다). 또한 최상의 재료제거율을 얻기 위해서는 휠 속도 및 휠의 연마재 특성과 상호관계가 잘 맞아야 한다. CBN 원통연삭에서 피삭재 속도는 0.26~1.02m/s의 범위 내가 일반적이다. 우수한 표면조도 0.26m/s 속도에서 얻을 수 있고, 1.02m/s 범위에서는 작업이 힘들기는 하나 재료제거가 빠르다.

■ 연삭 깊이

CBN 원통연삭에서 권장하는 연삭깊이는 피삭재의 직경에 따라 다르나 일반지침은 다음과 같다.

- 횡삭 : 0.01~0.05mm/패스
- 정삭 : 0.005~0.01mm/패스

■ 가로이송률

가로이송률은 재료제거율과 표면조도에 영향을 준다.

CBN 원통연삭에서 권장하는 가로이송률은 다음과 같다.

- 범용 원통연삭 : 피삭재 1회전당 CBN 휠폭의 1/3~1/4
- 사상연삭 : 피삭재 1회전당 CBN 휠폭의 1/8

4. CBN 휠을 이용한 내경연삭

1969년 GE사에서 CBN을 상업소개한 이후 CBN의 사용이 계속 증가해왔다. CBN과 관련된 상당한 연구와 실험 끝에 CBN 휠이 내경연삭가공에도 성공적으로 사용될 수 있음이 밝혀졌다. 다른 형태의 연삭가공에서 보여 주었던 다음과 같은 CBN 휠의 이점이 내경연삭가공에서도 역시 적용된다.

- 높은 재료제거율
- 긴 휠 수명
- 우수한 정밀도
- 고품질의 제품생산

4.1 휠 장착과 준비

- (1) CBN 휠이 장착되는 스피들 퀴(Quill) 또는 아버(Arbor)의 직경은 가능한 크게 한다.
- (2) 변형, 채터, 진동이 최소가 되도록 휠 돌출을 최소로 유지한다.
- (3) 스피들상에서 휠을 확실히 장착한다.
- (4) 다이얼 게이지로 휠떨림을 검사하여 휠 원주상의 휠떨림 0.02mm이내가 되도록 휠을 트루잉한다.
- (5) CBN 본드 종류에 맞는 적당한 트루잉 장치를 사용한다.
- (6) CBN 입자의 절삭날이 날카롭게 돌출되도록 휠을 드레싱한다.
- (7) 휠 장착과 준비시 주의할 사항은 전착 CBN 휠이나 편은 트루잉과 드레싱을 할 필요가 없다는 것이다.

4.2 속도와 이송

CBN 휠의 속도와 이송률은 재료제거율과 내경연삭휠의

수명에 영향을 준다. 다음의 일반 지침을 준수하면 CBN 휠로 내경연삭할 경우 우수한 결과를 가져오며, 이 지침은 각 내경연삭가공별로 최상의 재료제거율과 휠 수명을 달성하기 위해 다소 차이가 있을 수 있다.

- (1) 휠 속도 : 대부분의 강은 일반 속도에서 효과적으로 내경연삭된다. 그러나 일부 경우, 휠 속도를 높여야 할 때가 있다. 다음은 권장되는 CBN 휠 속도이다.
 - ① CBN 내경연삭 휠의 성능을 최상으로 하기 위해서는(특히 25mm 이하의 구멍가공) 50~62m/s가 권장된다.
 - ② 25mm 이상의 구멍 가공에는 20~30m/s가 가장 일반적이다. 휠 속도가 높을수록 높은 재료제거율, 긴 휠수명, 우수한 표면조도를 얻을 수 있다.
- (2) 이송률 : 이송률은 재료제거율과 표면조도에 영향을 준다. CBN 내경연삭에서 권장하는 이송률은 다음과 같다.
 - ① 범용 내경연삭 : 피삭재 1회전당 CBN 휠폭의 1/4~1/2
 - ② 사상연삭 : 피삭재 1회전당 CBN 휠폭의 1/8

5. CBN 휠을 이용한 공구연삭

초기 CBN 연삭휠은 난삭 (Difficult-to-grind) 경화 공구강과 다이강 절삭공구를 연삭하는 데 시험사용되었다. 경도와 내마모성이 매우 큰 이들 피삭재 가공에 일반 알루미늄 연마재를 사용하면 연마재가 빨리 무더질 수 밖에 없다. 따라서 알루미늄 연삭휠은 피삭재인 공구를 절삭하기 보다 마찰에 따른 버닝을 일으키게 되고, 그 결과 생산성의 저하와 더불어 피삭공구에 금속학적 손상을 발생시킨다.

반면 CBN 휠로 경화 공구강과 다이강을 연삭하면, 날카로운 절삭날을 오랫동안 유지하면서 연삭온도를 낮게 유지할 수 있다. 저온 연삭으로 피삭재의 금속학적 손상이 거의 발생하지 않으므로, CBN 휠로 연삭된 절삭공구는 알루미늄 나 휠로 연삭된 절삭공구보다 예리한 절삭날을 더 오래 유지할 수 있다.

5.1 휠의 선정

CBN은 종류나 입도가 다양하게 구비되어 있어, 공구재종에 따라 연삭에 가장 적합한 CBN 휠을 선정할 수 있다. 대부분의 공구연삭에는 집중도 100, 입도 120의 레진 본드 CBN 휠이 추천되는데, 과도한 열발생없이 높은 재료제거율, 좋은 표면조도, 긴 휠수명을 제공한다. 공구연삭용 CBN 휠 선정시 다음 사항을 고려해야 한다.

- (1) 본드 종류 : CBN 연삭휠 선정시 가장 먼저 고려해야 할 요소로, 대부분의 공구연삭에 레진본드 휠을 사용한다. 성형연삭에는 전착휠이 사용된다.
- (2) 입도 : 알루미늄 나 휠을 CBN 휠로 교체할 때 두 휠의 입도비교표의 지침을 따르는 것이 좋다.
- (3) 집중도 : 집중도 75~100인 휠의 재료제거율과 휠수명 조건이 가장 우수해, 비용면에서 가장 효과적이다.
- (4) CBN 휠 제조업체에서는 광범위하게 휠을 검사하기 때문에 휠 사용에 대한 제조업체의 주의사항을 따라야 한다.

5.2 휠 장착과 준비

- (1) 휠 장착시 고품질의 표준 휠 어댑터를 사용하고 휠의 수명이 다할 때까지 휠과 어댑터를 하나의 세트(Unit)로 관리한다.
- (2) 다이얼 게이지로 휠떨림을 검사하여 휠 원주상의 휠떨림이 0.02mm 이내가 되도록 휠을 트루잉한다.
- (3) CBN 휠 종류에 맞는 적당한 트루잉 장치를 사용하여 연삭기상에서 휠을 트루잉한다.
- (4) CBN 입자의 절삭날이 날카롭게 돌출되도록 휠을 드레싱한다.
- (5) 전착 CBN 휠은 트루잉과 드레싱을 필요가 없다.

5.3 속도와 이송

- (1) 휠속도
 - ① 건식 연삭 : 15~23m/s의 휠속도를 추천한다. 이 범

위 이상의 휠속도에서는 공구절삭날의 버닝이 일어날 수 있다.

② 습식 연삭 : 25~33m/s의 휠속도에서 우수한 성능을 발휘한다. 휠속도가 높은 범위에서 휠수명과 재료제거율 모두 향상된다.

(2) 이송 : CBN 연삭휠의 저온연삭특성 때문에 이송률은 일정하게 유지되어야 한다. 가능한 싱글패스 크립 피드 연삭을 사용하고, 건식 연삭에서는 이송률을 낮추어 사용하는 것이 좋다. CBN 원통연삭에서 권장하는 연삭깊이는 피삭재의 직경에 따라 다르나 일반 지침은 다음과 같다.

① 황삭 : 0.01~0.05mm/패스

② 정삭 : 0.005~0.01mm/패스

황삭에서는 0.05mm의 연삭깊이를, 정삭에서는 일반적으로 0.01~0.02mm의 연삭깊이가 일반적이다. 상태가 양호한 연삭기에서 CBN 휠을 사용하면 입력된 연삭깊이만큼 재료가 제거되므로 스파크아웃을 위한 이송이 필요없다.

6. CBN 휠을 이용한 지그연삭

지그연삭기는 고경도 피삭재에서의 정확한 위치의 구멍 가공 필요성 때문에 개발되었다. 자주 반복되는 클램핑(Clamping), 절삭가공, 경화작업으로 인해 피삭재가 변형되어 구멍위치가 달라지기 때문에 구멍의 정확도는 떨어진다. 초기 지그 연삭기는 경화 피삭재에 정확한 위치의 구멍을 가공하는 용도로 설계되었지만, 지금은 직경, 접선, 각도, 평면의 형태를 갖는 총형연삭에도 널리 사용되고 있다. 일반 연마재 휠과 핀도 보통수준의 성능은 발휘하지만, 빨리 파쇄되는 경향이 있기 때문에 구멍의 크기를 유지하려면 측정작업과 마모에 대한 보정을 계속해야 한다. 알루미늄이나 휠보다 경도가 2배 높은 CBN 휠은 내파쇄성(Breakdown resistance)이 크고 휠 수명이 길어, 조정작업이나 휠 교환이 거의 없다.

6.1 휠의 선정

CBN 지그연삭휠은 다양한 본드, 다양한 형상별로 제공

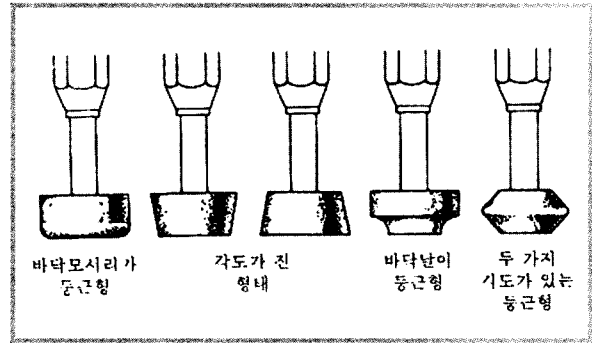


Fig. 12 CBN 지그 연삭휠의 종류

되므로 다양한 지그연삭가공에 유용하다(Fig. 12 참조). 효율적인 연삭을 위해서는 피삭재에 맞는 휠의 선정이 중요한데, CBN 휠 선정시 중요한 요소로 연마재 종류, 본드, 입도가 있다.

(1) 연마재 종류

CBN 종류는 다양하나, 보라존 CBN 타입 I, 타입 II, 타입 500, 타입 510이 지그연삭에 가장 많이 사용된다.

(2) 본드

CBN 지그연삭휠의 본드는 전착, 레진, 비트리파이드, 메탈본드 네 가지가 있다.

① 전착휠 : 한 층의 CBN이 강제 코어나 생크에 도금된 형태이다. 경도와 인성이 매우 뛰어난 보라존 CBN 타입 I, 타입 500이 전착휠에 추천된다. 이 두 CBN은 낮은 가격, 높은 재료제거율, 쾌삭성, 저온연삭 특성으로 설계되었다.

② 레진본드 휠 : 보라존 타입 II 결정을 휠 전체에 균일하게 분포하여 제조한다. 이 결정은 본드 내 결정 유지력을 향상시키기 위해 금속코팅된 제품으로 전착휠보다 수명이 길다. 레진본드 휠로는 높은 재료제거율, 긴 휠수명, 균일한 표면조도로 가공할 수 있다.

③ 비트리파이드본드 휠 : 일반적으로 보라존 타입 I을 사용하며, 근본적으로 레진본드 휠과 같은 이점이 있다. 트루잉 후 바로 사용할 수 있고 드레싱이 필요 없다.

④ 메탈본드 휠 : 보라존 타입 I 이 사용될 때도 있으나, 타입 510이 메탈본드용으로 설계된 제품이다.

메탈본드 휠은 수명이 길고, 형상유지력이 우수하다. 휠 변형 문제가 있는 작업에는 카바이드 생크의 메탈본드 휠이 추천된다. 성형연삭에는 가능한 한 휠 직경을 크게 사용한다.

- (3) 입도 : 같은 작업조건에서는 지립 크기가 큰 CBN 휠이 휠수명도 길고 재료제거율도 높다. 일반적으로 미세입자 휠이 좋은 표면조도를 산출한다. 따라서 입도를 선택할 때는 요구 표면조도로 생산가능한 범위에서 가장 큰 입자를 선택하는 것이 좋다.

6.2 휠 장착과 준비

CBN 지그연삭휠의 성능을 제대로 발휘하기 위해 휠의 올바른 장착, 트루잉, 드레싱은 필수이다.

(1) 휠의 장착

레진, 비트리파이드, 메탈본드 휠을 올바르게 장착하면 진원도를 맞추기 위한 트루잉 작업시 휠에서 제거되는 CBN 량을 줄일 수 있다. 휠 세트의 정렬이 올바르지 못하면 휠 수명이 줄어들 뿐만 아니라 피삭재의 품질에도 나쁜 영향을 미친다. 휠 돌출부는 최소로 유지해, 변형, 채터, 진동을 감소시킨다. 휠이 바르게 장착되었는지 확인하기 위해 다이얼 게이지로 휠 생크를 검사한다. 손으로 휠을 천천히 회전시키면서 휠떨림이 0.02mm 이내인지 확인한다. 휠의 올바른 장착은 전착휠의 경우 특히 중요한데, 단층의 연마 재층을 갖기 때문에 과도한 휠떨림은 휠수명과 연삭효율을 감소시키기 때문이다.

(2) 휠의 트루잉

레진, 비트리파이드, 메탈본드 휠에만 트루잉이 필요하다. 전착휠은 트루잉이나 드레싱을 하지 않는다. 레진, 비트리파이드, 메탈본드 휠용 트루잉 장치로 다이아몬드 임프리트그네이트 니브(Fig. 13)를 추천하며, 니브의 다이아몬드 입도는 150이 좋다. 단적 다이아몬드 니브는 CBN 휠에 손상을 입힐 수 있으므로 사용하지 않는다. 레진이나 비트리파이드본드 휠의 형상을 트루잉하는데 예리한 단적 다이아몬드를 사용할 수도 있으나, 이 때 다이아몬드는 예리하게 유지해야 하고 드레싱 중분은 0.01mm 이하로 한다. CBN 지그 연삭휠을 트루잉할 때는 항상 수용성의 스프레

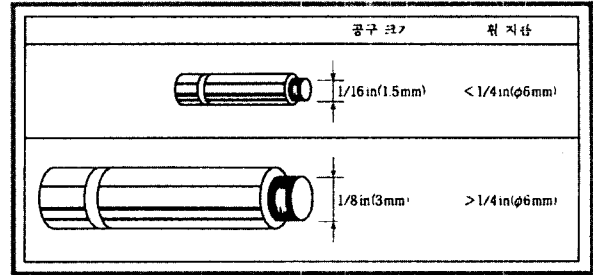


Fig. 13 다이아몬드 임프리트그네이트 니브의 사용

이 분사 연삭유를 공급한다. 연삭유 공급은 레진, 비트리파이드, 메탈본드 휠의 트루잉시 매우 중요한데, 연삭유를 공급하지 않을 경우 과도한 열발생으로 CBN 휠이 조기 파쇄될 수 있다.

6.3 지그연삭 지침

지그연삭 효율과 표면조도는 휠속도, 왕복속도, 수평속도, 연삭방법, 연삭형태와 같은 여러 요소의 영향을 받는다.

(1) 휠 속도

CBN 휠은 15~30m/s의 고속에서 재료제거율이 가장 효율적이고 최상의 표면조도를 산출한다. 이 범위보다 낮은 속도에서는 휠수명과 생산성이 감소한다.

(2) 왕복속도와 수평속도

CBN 휠의 성능을 최대한 발휘하기 위해서는 연삭이송량은 0.01mm 이내로, 왕복속도와 수평속도는 고속으로 한다. 작업별 이송률은 스펀들 속도, 휠 직경, 본드, 피삭재에 따라 다르다. 표 1은 전착 CBN 휠에 추천되는 이송률 지침이다.

표 1. CBN 휠에 추천되는 이송률 지침

휠 직경	패스당 아웃피드율
< 1.5mm	0.003~0.005mm
1.5~4.0mm	0.008~0.012mm
4.0~10.0mm	0.015~0.025mm
> 10.0mm	0.025~0.04mm

(3) 연삭방법

CBN 휠은 쾌삭성과 저온연삭특성으로, 건식 연삭시에도 공작물 표면에 과열을 발생시키지 않아 열손상이 없다.

열발생문제가 생길 경우, 드레싱, 이송률 감소, 휠과 공작물 사이에 수용성 연삭유의 직접분사 등의 조치를 취한다.

7. CBN 휠을 이용한 호닝

과거 50년 이상 가장 일반적으로 호닝에 사용된 입자는 알루미늄과 실리콘 카바이드였다. 이 일반 연마재는 호닝 작업에 잘 사용되었으나 가공량이 적을 뿐만 아니라 매우 경한 재료에는 만족할만한 역할을 수행하지 못했다. 거의 모든 재료, 즉 강, 합금, 초합금, 주철, 카바이드, 전착이나 코팅된 재료, 세라믹과 유리 등에 CBN이나 다이아몬드로 만들어진 초연마재 호닝 스톨들은 일반 호닝스톨보다 몇 배의 재료제거율을 가능하게 하였다.

7.1 호닝의 발달

호닝은 저속의 표면마무리작업으로 내경가공에 사용되며 입자의 전단작용에 의해 재료를 제거한다. 호닝작용은 여러 개의 호닝스톨이 장착된 호닝 몸체의 회전과 왕복운동으로 이루어진다 (Fig. 14 참조). 이 작용은 오일저장을 돕고 상대부품(피스톤)에 대한 우수한 베어링 표면을 제공하는 크로스해치라는 독특한 십자형 가공표면을 생성한다. 이 공정은 표면조도 뿐만 아니라 직진도, 진원도, 크기가 정확한 내경가공을 보장한다. 급세기 초부터 호닝과 호닝기계가 사용되는 동안 호닝 공정은 거의 변하지 않았던 것이 사실이다. 그러다가 초연마재의 출현 이후 호닝 공정의 급속한 발달이 이루어졌다. 1957년 합성 다이아몬드와 1967년 CBN을 상업적으로 사용하게 된 것이다. GE사에 의한 상당한 연구가 따랐고 1970년대 초 경도가 높고 인성이 큰 입자인 보라존 CBN 타입 510이 고경도 공구강과 초합금의 메탈본드 연삭 및 호닝을 위해 개발되었다. GE사에 의한 CBN 입자의 개발과 보라존 CBN 510 결정은 호닝공정에 혁명을 일으켰다. 연구실과 산업체에서 행해진 실험에서 CBN 입자로 만들어진 호닝 스톨이 알루미늄과 같은 일반연마재로 만들어진 호닝스톨보다 우수한 성능을 보였다.

즉 빠른 작업속도와 100배 이상의 수명을 갖게 했으며 일반 호닝공정에서 발생하는 높은 굽힘소리 없이 호닝이

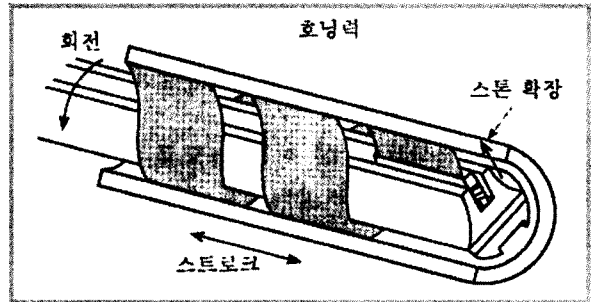


Fig. 14 호닝의 왕복과 회전운동을 통한 내면 가공

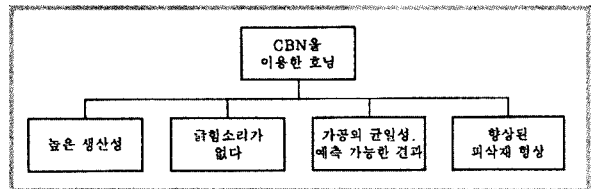


Fig. 15 CBN 입자호닝을 사용한 가공의 주요이점

가능하게 되었다. CBN 입자에 의한 호닝은 피삭재의 형상을 향상시키는 동시에 가공의 균일성으로 결과 예측이 가능하다 (Fig. 15 참조).

7.2 호닝과 연삭비교

호닝과 연삭에는 기본적인 차이점이 있다 (Fig. 16 참조). 호닝은 저속가공인 반면(25~95m/min) 연삭은 고속가공이다(1500~1980m/min).

- (1) 연삭에 의해 배출되는 칩은 피삭재 표면에서 각 입자와의 단속적인 접촉으로 인하여 짧고 격렬한 불꽃을 낸다.

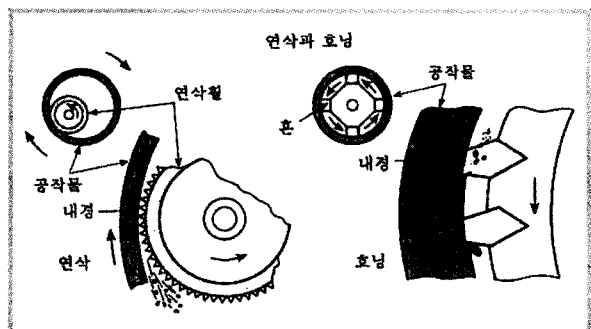


Fig. 16 내경 마무리작업에서 호닝은 저속, 연삭은 고속으로 가공하는 모습

- (2) 호닝에 의해 배출되는 칩은 피삭재와 호닝숫돌입자와의 연속적인 접촉으로 인하여 저온의 연속칩으로 배출된다.
- (3) 알루미늄을 사용한 연삭은 피삭재 표면에 손상을 주는 경향이 있다. 경우에 따라서는 0.05mm 깊이까지 손상을 주기도 한다.
- (4) 호닝은 작업조건이 심하지 않은 저온의 작업으로 피삭재 표면에 손상이나 비틀림이 생길 위험이 거의 없다.
- (5) 호닝은 호닝숫돌이 확장되면 자동적으로 피삭재가 정렬되기 때문에 피삭재를 고정시킬 필요가 없다.
- (6) CBN을 사용한 호닝은 대부분의 내경가공에서 연삭보다 비용면에서 월등히 유리하다.
- (7) 호닝은 연삭보다 더 빠른 속도로 우수한 표면조도와 높은 정밀도, 평행도, 진원도를 가진 내경가공이 가능하다.

7.3 호닝 숫돌

- 입도

호닝 숫돌은 입도, 경도, 본드형태, 입자의 종류를 기본으로 하여 결정된다.

 - (1) 입도는 요구되는 표면조도에 따른 표면조도표를 선택한다.
 - (2) 본드의 경도는 제조자의 카탈로그를 참조한다.
 - (3) 황삭은 낮은집중도의 거친CBN입자를 사용한다.
 - (4) 정삭과 정밀한 치수 공차의 가공을 위해서 제거량 허용공차가 0.05mm에서 0.2mm로 주어져야 한다.

■ 절삭속도
초연마제를 사용한 호닝의 일반적인 절삭속도는 알루미늄 호닝을 사용했을 때의 일반적인 절삭속도의 2배이다. 왕복속도는 요구되는 크로스해치 형태를 얻기 위한 스핀들 속도에 비례해야 한다. 높은 스핀들 속도는 CBN 숫돌을 사용한 호닝에서는 대단히 중요하다. 만약 스핀들 속도가 높지 않으면 호닝이 효과적으로 되지 못한다.

- 스핀들 속도
 - (1) 연강과 경강의 호닝에서 높은 재료제거율을 위해 35

~95m/min가 필요하며 높은 호닝압력을 사용한다.
(2) 정삭호닝에 대해서는 20~60m/min을 사용하고 약 50%까지 호닝압력을 감소시킨다.

■ 왕복속도
대부분의 호닝가공에서는 호닝 왕복속도 8~12m/min가 권장된다. 이것은 내경에 요구되는 크로스해치 형태에 따라 다소 변화되기도 한다.

- 냉각제
좋은 호닝유는 성공적인 호닝가공을 하기 위해 매우 중요하다. 호닝유는 세 가지 역할을 한다.
 - (1) 호닝 숫돌의 세척 및 윤활작용을 한다.
 - (2) 열을 제거하고 절삭시 발생하는 이물질질을 제거한다.
 - (3) 가이드슈와 피삭재 내경간에 마찰로 인한 금속성분의 용착을 방지한다.

7.4 초연마제 호닝의 이점들

일반 연마제보다 우수한 CBN 호닝숫돌의 이점을 다음의 Fig. 17에 나열하였다.

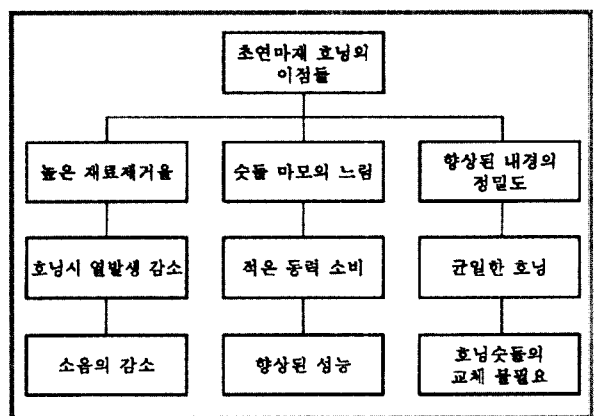


Fig. 17 초연마제 호닝의 이점들

8. CBN을 사용한 경제성 평가

CBN을 사용한 이점 때문에 경강원통 내면은 이전에 알루미늄 일반 연마제로 가능했던 것보다 더 빨리, 적은 비용

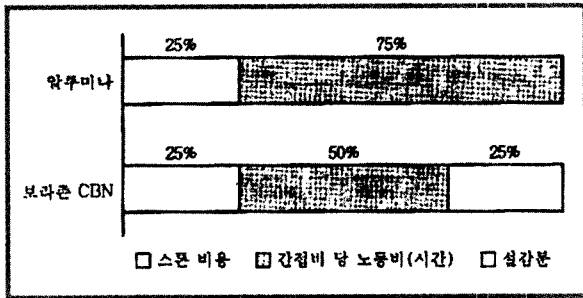


Fig. 18 알루미늄과 CBN의 호닝비용 비교분석

으로 호닝될 수 있다. Fig. 18은 전형적인 호닝가격 분석으로 일반 호닝에 비해 CBN 호닝의 경제적인 이점을 나타낸다.

CBN을 사용했을 때 얻어지는 비용절감뿐만 아니라 향상된 피삭재의 형상과 효과적인 절삭작용, 우수한 표면조

도, 긴 공구수명, 소음감소의 이점이 있다. CBN 호닝숫들의 경우 초기비용이 많으나 생산성의 증가와 불량률의 감소에 따라 CBN 호닝이 비용면에서 더 효과적이다. 일반적으로 CBN 숫들을 사용한 호닝은 부품당 총호닝비용을 낮춘다.

참고 문헌

- (1) Introduction to Tribology, N. K. Myshkin et. al., Cheong Moon Gak, 1997.
- (2) 초연마재를 이용한 연삭 및 절삭가공, 이종찬, 유인석 공역, 문운당, 1998.
- (3) 절삭가공론, 손명환, 문운당, 1994.
- (4) 최신 기계공작법, 강명순, 손명환, 문운당, 1995.