

초연마재를 이용한 연삭 · 절삭가공

이 종 찬*

Grinding & Machining with Superabrasives

Jongchan Lee*



학회 사업이사

1. 서 론

우리 한국의 기계인들은 일천한 기계공업의 역사 가운데서도 세계가 놀랄만한 기계 산업의 발전을 이루어왔고, 이것은 한국 경제 발전의 원동력이 되었다. 국내에 공업용 다이아몬드와 CBN이 소개된지 얼마되지 않았는데 벌써 많은 초연마재 공구를 만들어 외국에 수출하고 있고, 국내 산업현장에서도 널리 사용되고 있다. 그러나 우리의 초연마재 기술의 역사가 짧아 초연마재 공구를 올바르게 이해하지 못하고 있어 초연마재 공구의 능력을 충분히 활용하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본고에서는 효과적인 초연마재 사용을 위한 초연마재의 특성과 활용방법 및 경제성에 대하여 기술하였다.

2. 연마재의 발전사

천연상태의 연마재를 본드로 결합한 최초의 연삭휠이 19세기 초에 만들어졌다는 기록이 있긴 하나, 19세기 후반까

지 연마재 공구는 자연적으로 형성된 연마재에 의존했다. 연마재 지립을 대량생산하기 위해 엄격하게 제어된 공정이 요구되었고, 이것은 탄화규소(silicon carbide) 생산을 위한 전기로 공정이 도입되면서 가능해졌다. 그 후 산화 알루미늄(aluminium oxide)이 개발되었으며 오늘날에는 다양한 연삭환경과 작업조건에 맞추어 알루미늄과 실리콘 카바이드 지립을 규격, 강도별로 완벽하게 제공할 수 있게 되었다. 그러나 점차 산업이 발달해감에 따라 산업계에 필요한 많은 물질들을 가공하는 데는 산화알루미늄이나 탄화규소보다 더 단단하고 강한 연마재가 필요하게 되었다. 1955년에 미국의 제너럴일렉트릭(General Electric)사는 다이아몬드 제조에 성공했음을 발표했다. 최초의 제품에 Man-made* Diamond라는 상표를 사용하였는데, GE사는 그 이후로 초연마재(superabrasives)로 명명되는 일련의 많은 제품군을 개발하였다. 또한 다이아몬드 합성제조법 연구에 부가하여 독특한 물질인 CBN(입방정 질화붕소, Cubic Boron Nitride)의 합성이 이루어졌다. 표 1은 각 연마재가 개발된 연도 및 개발한 회사를 나타낸다.

* 금오공과대학교 기계공학부

표 1 연마재의 개발년도 및 개발회사

연도	연마재	상품명	회사
1891	SiC	Carborundum	Carborundum
1897	Al ₂ O ₃	Alundum	Norton
1910	Al ₂ O ₃	38Alundum	Norton
1925	SiC	Green Grit	Carborundum
1946	Al ₂ O ₃	32 Alundum	Norton
1954	Al ₂ O ₃	44Alundum	Norton
1954-1957	Diamond	Man-Made Diamond	GE
1954-1969	CBN	Borazon	GE

3. 초연마재의 종류 및 물리적 성질

3.1 초연마재의 종류

그림 1은 다이아몬드 입자의 종류를 나타낸다. RVG는 초경합금 연삭용 레진과 비트리파이드 연삭휠에 적합한 다이아몬드로, 현재까지 전세계에서는 연삭휠 제조업체에서는 RVG를 초경합금 연삭용 휠의 표준 다이아몬드로 사용하고 있다[그림 1(a)]. MBG(metal bond grinding)는 강인하고 각진 형태의 다이아몬드로 RVG보다는 파쇄성이 덜하며 유리나 세라믹 가공에 적합하다[그림 1(b)]. MBS(metal bond sawing)는 각진 형태에 인성이 매우 우

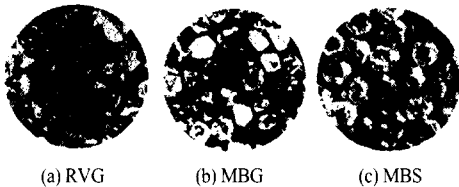


그림 1 다이아몬드입자 종류



(a) 타입 550 (b) 타입 560 (c) 타입 570

그림 2 CBN입자 종류

수한 다이아몬드로 석재와 콘크리트 절단용 메탈본드 소에 사용된다[그림 1(c)]. 다이아몬드와 마찬가지로 CBN도 적용분야별로 다양하게 제조된다. 그러나 다이아몬드와는 달리 CBN은 금속가공산업에서 사용된다. 그림 2는 여러 CBN종류 중 3가지를 소개하였다.

타입 550은 인성이 매우 높은 미립결정입자로 비트리파이드 또는 메탈본드 시스템을 필요로 하는 대부분의 난삭작업에 사용되도록 설계되었다. 타입 550은 다른 CBN입자보다 열안정성이 좋으므로 메탈본드나 비트리파이드 본드 연삭휠의 제작 및 사용시 특별한 이점이 있다 [그림 2(a)]. 타입560은 60wt%니켈코팅한 제품으로, 타입 560은 레진본드 연삭휠에 적합하다[그림 2(b)]. 타입 570은 타입 550결정을 특수 표면처리한 제품으로, 전착휠에 적합하다[그림 2(c)].

3.2 초연마재의 물리적 성질

다이아몬드나 CBN과 같은 초연마재는 산화알루미늄(aluminum oxide)이나 탄화규소(silicon carbide)와 같은 일반 연마재와는 매우 다른 특성을 갖는다. 초연마재는 경도, 내마모성, 압축강도, 열전도성 등이 우수해 각종 난삭재의 연삭, 절단, 래핑, 절삭, 드릴링, 연마휠 드레싱, 인발공정의 공구 소재로 적합하다. 초연마재는 인간에게 알려진 가장 단단한 물질까지 가공할 수 있어서 난삭작업도 평범한 작업이 되도록 한다. 그림 3에 초연마재의 중요한 특성을 산화알루미늄이나 탄화규소와 같은 일반 연마재와 비교하였다.

4. 초연마재의 구조

탄소는 세 가지 형태로 존재하는데, 비결정형의 탄소 그리고 두 가지 결정형태인 흑연과 다이아몬드가 그것이다. 이러한 형태는 탄소원자의 배열로 결정되는데, 비결정형 탄소에는 원자의 배열에 질서가 없고, 흑연에서는 원자들이 6각의 평면이 적층된 형태로 존재한다[그림 4(a)]. 각 원자는 한 평면 내의 다른 3개와 단단히 연결되어 있으나, 평면과 평면 사이에서는 느슨하게 결합되어 있다. 이런 이유로 흑연은 미끄러워서 윤활제로 사용되기도 한다. 다이아몬드 구조에서는 탄소원자들이 3방향으로 촘촘히 싸여 있다. 각 탄소원자는 다른 4개 원자와 연결되어 매우 단단하고 밀도가 높은 구조를 형성한다[그림 4(b)].

다이아몬드 주변의 원소들을 보여주는 주기표[그림 4(c)]상에서 붕소는 다이아몬드의 원편에, 질소는 다이아

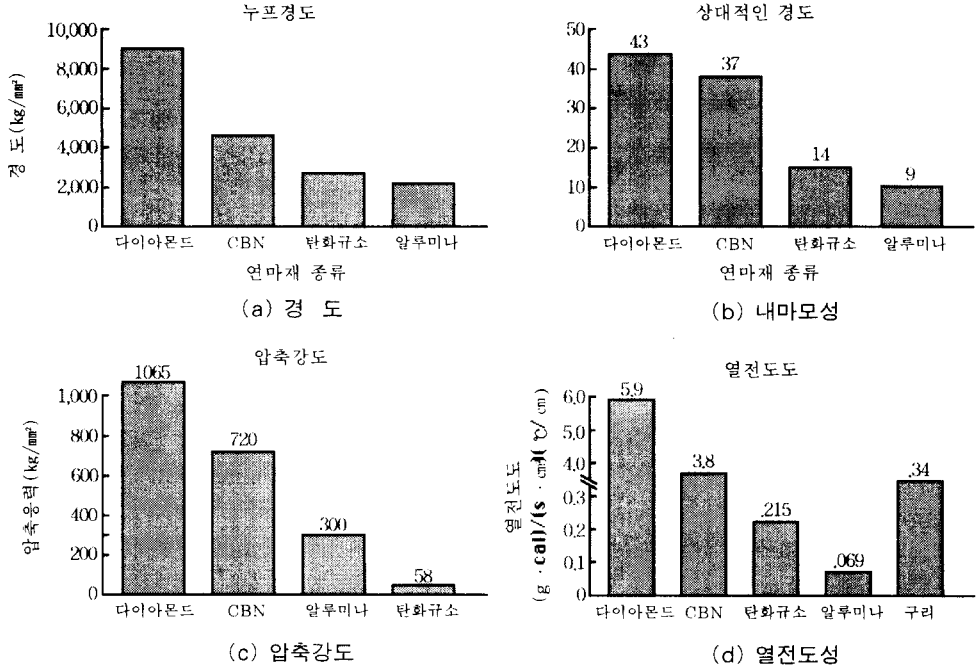


그림 3 초연마재의 물리적 성질

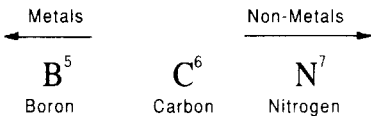
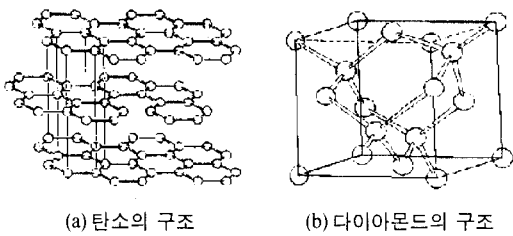
몬드 오른쪽에 위치한다. 붕소나 질소가 다이아몬드처럼 조밀한 구조로 결합된다면, 다이아몬드만큼 또는 다이아몬드보다 더 경도가 높아질 수 있으리라는 생각을 하게

되었고, 새로운 고경도물질을 찾고자 노력한 결과, 자연에는 존재하지 않는 새로운 초연마재, 입방정질화붕소(CBN)가 Borazon*(보라존) CBN이라는 제품명으로 1957년 GE 연구팀에 의해 개발되었다.

이 프로젝트에 참여했던 연구원들은 다이아몬드보다 더 단단한 물질을 만드는 것이 목표였기 때문에 처음에는 실망하였다. CBN은 다이아몬드보다 경도가 낮고, 초경합금을 잘 연삭하지 못했기 때문이다. 그러나 열처리강 연삭용 비탄소계열의 초연마재가 필요해지자 CBN의 상품성이 인정받게 되었다. 초경합금 연삭에서 다이아몬드가 탄화규소를 대체했던 것처럼, CBN도 강의 연삭에서 중요한 역할을 하게 되었다. 경화공구강 연삭에서 CBN의 성능은 산화알루미늄 같은 일반 연마재보다 훨씬 우수하였다.

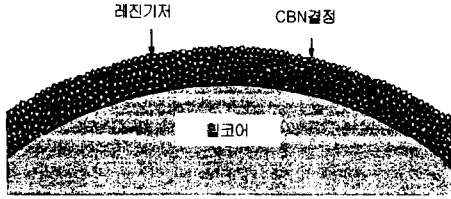
5. 강의 연삭과 다이아몬드

일반적으로 다이아몬드는 강의 연삭에 사용되지 않는 데, 왜 다이아몬드가 강(steel)의 연삭에 사용되지 않는지의문을 가질 수 있다. 다이아몬드는 비철계 재료의 가공에만 유용하게 사용될 수 있음을 이해하는 것이 중요하다. 대부분의 강(특히 저탄소강)은 탄소용해 잠재력(carbon

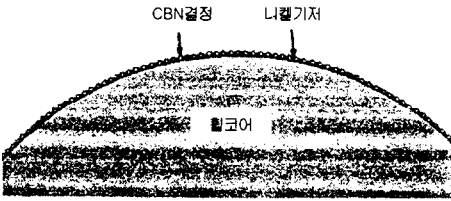


(c) 주기율표에서 Carbon 주위의 원소들

그림 4 초연마재의 결정구조



(a) 임프리그네이트 CBN휠



(b) 전착 CBN휠

그림 7 임프리그네이트 초연마재휠과 전착 초연마재 휠

6.2 초연마재 입자의 크기표시

일반 연삭휠은 크기를 그릿(grit)으로 표시한다. 예를 들면 120-grit 연삭휠이라면 연마재의 평균크기가 인치당 120개 정도 들어가는 연마재임을 의미한다. 이는 매우 느슨한 사양인데, 120번보다 큰 입자나 120번보다 작은 입자들이 포함되는 분포가 매우 크다. 다이아몬드와 CBN이 주어진 작업에서 최적의 생산성을 내기 위해서는 보다 엄격한 표준크기가 요구된다. 다이아몬드와 CBN의 크기는 메시

표 2 집중도의 영향

높은 집중도	낮은 집중도
- 공구수명 증가 - 개별지립에 걸리는 부하가 작음 - 표면조도 향상	- 공구수명 감소 - 개별지립에 걸리는 부하가 증가

(mesh)로 표시하는데 각 크기는 상한선과 하한선이 정해져 있다. 예를 들어 60/80-mesh 휠에는 60-mesh체(sieve)를 통과하고 80-mesh체에 걸리는 크기의 연마입자가 들어있다.

6.3 초연마재 휠의 본드

초연마재 휠의 본드에는 임프리그네이트 본드(impregnated-bond)와 전착의 2가지 종류가 있다. 임프리그네이트 본드 휠(impregnated-bond wheel, 그림 7 (a))에는 림부분 두께 전체에 걸쳐 CBN 입자와 본드(레진, 메탈, 비트리파이드)가 혼합되어 있다. 본드재료는 연마재와 같은 속도로 마모되도록 연마재 성질과 잘 맞는 성질을 갖추도록 설계되어야 한다. 전착 휠[그림 7(b)]은 금속제 휠코어(wheel core)의 가공면에 한층의 지립을 니켈도금한 것이다. 전착된 니켈도금은 연마재를 잡고 있는 능력이 뛰어나다.

6.4 집중도

집중도는 초연마재 휠의 림(wheel rim)부에 함유된 초연마재의 양과 관련이 있다. 집중도 100의 휠에는

표 3 초연마재의 집중도

집 중 도	초연마재함량 [체적%]	초연마재함량 [carats/in ³]	초연마재함량 [carats/cm ³]	본드
200	50	144	8.8	비트리어스
150	37.5	108	6.6	비트리어스
100	25	72	4.4	레진, 금속, 비트리어스
75	18.75	54	3.3	레진, 금속
50	12.5	36	2.2	금속
25	6.25	18	1.1	금속 (드물게 사용)

4.4carats/cm³(72carats/in³)의 초연마재가 함유되며, 그 함량은 전체 체적의 25%를 차지한다. 집중도 50인 휠은 초연마재 함량이 집중도 100인 휠의 반, 즉 전체 체적의 12.5%를 차지한다. 초연마재의 함량을 나타내는 집중도는 초연마재휠을 표시할 때 사용하는 용어이다. 집중도는 공구성능에 큰 영향을 미치는 중요인자로 집중도가 증가할수록 공구수명은 일반적으로 길어진다. 표 2는 초연마재 휠에 집중도가 미치는 영향에 관한 일반지침이고 표 3은 임프리그네이트 본드(impregnated-bond)휠의 초연마재 집중도를 나타낸다.

7. 초연마재휠을 사용하기 위한 연삭기

초연마재 휠의 성능은 기계성능에 의해 좌우된다. 따라서 초연마재 휠로 효율적인 작업을 하기 위해서는 반드시 그림 8의 특징을 갖춘 연삭기를 사용해야 한다. 상태가 좋지 않은 기계에서 초연마재 연삭휠을 사용하면 작업 시작부터 만족한 결과를 얻을 수 없다.

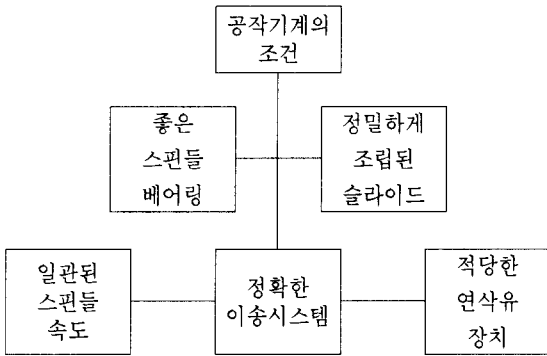


그림 8 초연마재 연삭공구를 효율적으로 사용하기 위한 공작기계의 필수조건

8. 초연마재휠의 트루잉과 드레싱

초연마재 연삭휠에 주로 사용되는 본드로 레진, 메탈, 비트리파이드, 전착의 네 가지가 있다. 이 중에서 전착 휠만이 특별한 준비과정 없이 사용할 수 있으며, 그 외 세 가지 임프리그네이트 본드(impregnated bond) 휠은 휠을 동심원으로 트루잉하기 위해 2~3단계의 작업을 거쳐야 한다. 이후에 휠 표면에 연마재 지립을 돌출시키는 드레싱 과정도 거쳐야 한다. 초연마재 연삭휠의 준비작업이 잘못

되면 재료제거율과 표면조도 등 휠의 성능이 저하된다. 초연마재 휠의 준비작업에는 트루잉, 드레싱, 컨디셔닝이 있는데 본드 종류와 연삭작업에 따라 모두 필요하기도 하고 일부만 필요하기도 하다.

8.1 초연마재 휠의 트루잉

트루잉이란 연삭휠을 스핀들축과 동심원이 되도록 하는 작업으로 휠의 형상을 만든다(그림 9). 트루잉 과정에 따라 연삭휠의 초연마재 부분을 연삭 또는 마모시켜 제거하면 휠의 형상이 만들어진다. 제대로 트루잉된 휠은 드레싱도 바르게 되었을 경우 거의 진동(chatter) 없이 연삭함으로써 원통형, 평면, 정확한 형상 등으로 피삭재를 가공한다. 초연마재 연삭휠에 사용되는 트루잉 장치는 매우 다양하며, 본드 종류별로 적합한 장치들이 따로 있다.

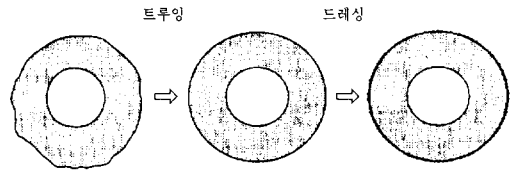


그림 9 트루잉과 드레싱

8.1.1 단석, 다석, 클러스터 형태(cluster-type)의 다이아몬드 닙(nib)(그림 10)

일반적으로 레진이나 메탈본드 CBN 휠에는 적합하지 않다. 다이아몬드가 빨리 마모되기 때문에 트루잉의 효율이 떨어지고 열이 과도하게 발생되므로 휠본드가 손상을 입는다. 본 트루잉 장치는 내경연삭이나 지그 연삭용 소형(25mm 이하) 비트리파이드휠을 트루잉하는데 사용된다.

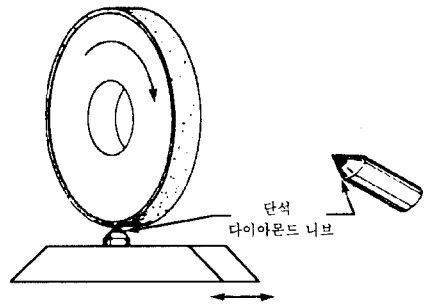


그림 10 단석, 다석, 클러스터 형태(cluster-type)의 다이아몬드 닙(nib)

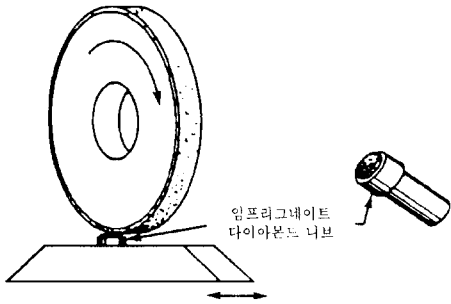


그림 11 임프로그네이트 다이아몬드 니브

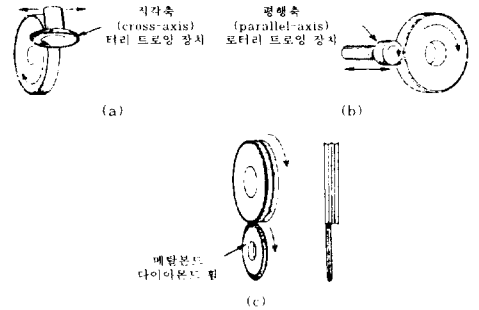


그림 13 로터리-파워 트루잉 장치

8.1.2 임프로그네이트 다이아몬드 니브(그림 11)

마찰열을 감소시키기 위해 니브의 직경은 보통 9mm 이하로 하며 메탈본드와 입도 100/120 다이아몬드로 제조한다. 직경 200mm, 폭 25mm 이하의 레진과 비트리파이드 CBN 연삭휠을 트루잉하는데 사용된다. 트루잉 공구 내의 다이아몬드는 상대적으로 큰 면적에 열을 전달하도록 많은 절삭날을 제공하므로 과잉마모를 막을 수 있다.

8.1.3 브레이크-제어 트루잉 장치(그림 12) (brake-controlled truing device)

직선면의 메탈과 레진본드 CBN 연삭휠의 트루잉에 가장 일반적으로 사용되는 공구로, 마찰열 발생이나 CBN 지립의 과도한 파손없이 본드를 효과적으로 제거한다. 브레이크-제어(brake-controlled) 트루잉 시스템에서는 알루미늄이나 실리콘 카바이드와 같은 일반 연삭휠로 트루잉하는데, 일반 휠은 트루잉 대상인 CBN 휠보다 낮은 주속에서 작업한다. 일반적으로 비트리파이드 본드에 입도 60, 경도 L인 실리콘 카바이드 휠을 사용한다. 트루잉이 약하

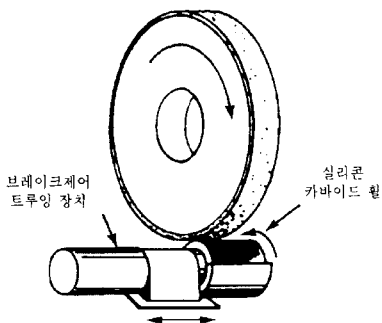


그림 12 브레이크-제어 트루잉 장치

게 진행되기 때문에 다이아몬드 니브를 사용할 때보다 트루잉 후 CBN 휠 표면이 매끈하지 않고 거칠다. 트루잉 속도가 느리고 트루잉 휠의 마모율이 빠르기 때문에 완전히 평평한 CBN 휠 표면은 얻기 어렵다.

8.1.4 로터리-파워 트루잉 장치(그림 13 (a),(b),(c)) (rotary-powered truing device)

레진, 메탈, 비트리파이드 본드 CBN 휠의 트루잉, 특히 200mm 이상의 대형 휠에 적합하다. 트루잉 장치에 유공압 또는 전기로 동력을 전달하고 메탈본드나 전착 다이아몬드 트루잉 휠을 사용한다. 트루잉 휠의 축은 연삭휠의 축에 30°, 45°, 60°, 90° 또는 평행하게 위치를 정할 수 있으며, 소형이나 대형 휠에 관계없이 빠르고 효과적으로 트루잉한다. 로터리-파워 트루잉 장치는 양산 연삭작업에서 원통, 센터리스, 내경, 더블 디스크, 대형 CBN 연삭휠의 트루잉에 사용된다.

8.1.5 다이아몬드 트루잉 블록(그림 14)

입도 100-180의 다이아몬드 임프로그네이트 메탈본드

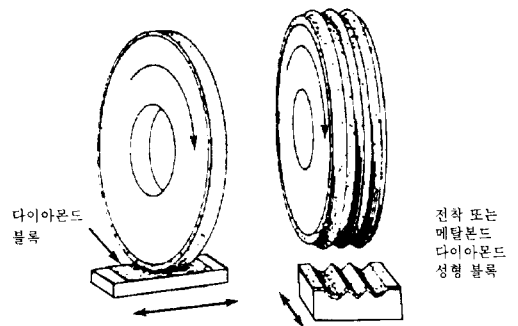


그림 14 다이아몬드 트루잉 블록

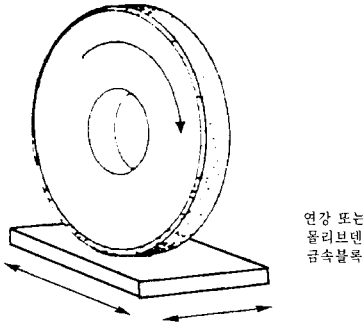


그림 15 금속 드레싱 블록

또는 전착 블록으로 블록의 형태는 평면이나, 연삭휠의 요구 형상이나 외형에 따라 복잡한 형상일 수도 있다. 성형(form) 블록 트루잉 공구는 레진본드 CBN 휠에 가장 일반적으로 사용되나 일부 메탈본드와 비트리파이드 본드 휠의 트루잉에도 효과적이다.

8.1.6 금속 드레싱 블록[그림 15]

연강이나 몰리브덴으로 만들며 직선면의 CBN 레진본드 휠을 트루잉하는데 사용된다. 트루잉/드레싱하지 않은 휠로 금속 블록을 연삭하면 휠이 마모되면서 자연스럽게 트루잉/드레싱된다. 피삭재인 연철 금속이 CBN 휠을 빠

표 4 초연마재 휠 본드 종류별 트루잉 장치 지침

	본 드			
	레진	메탈	비트 리파이드	전착 †
임프로그네이트 다이아몬드 닢	+	0	0	N/A
단석 다이아몬드 닢	0	-	0	N/A
로터리-파워 다이아몬드 트루잉 장치	+	+	+	N/A
브레이크-제어 트루잉 장치	+	+	-	N/A
연강-몰리브덴 블록	0	-	-	N/A
전착/메탈본드 다이아몬드 블록	+	+	0	N/A
실리콘 카바이드 휠	+	+	-	N/A

- + 사용추천
- 0 일부 조건에서 사용가능
- 사용하지 말 것
- † 전착휠은 일반적으로 사용전이나 사용 도중 트루잉이나 컨디셔닝이 불필요

르게 마모시켜 휠 표면에 날카로운 지립을 돌출시키는 것이다. 이때 휠이 과도하게 트루잉되어 휠 표면이 거칠어지거나 연마재의 과다 제거로 포켓(pocket)이 많이 생기지 않도록 주의한다. 일반 트루잉 장치를 CBN휠의 본드 종류별로 표 4에 열거하였다.

8.2 초연마재의 드레싱 방법

드레싱은 트루잉된 매끈한 휠 표면에서 본드를 제거하여 연마입자를 돌출시켜 휠이 효과적으로 연삭할 수 있도록 하는 작업이다. 초연마재 휠의 드레싱 방법과 장치는 여러 해에 걸쳐 다양하게 개발되어 왔다. 이 중 대다수의 드레싱 기술이 초연마재 전용 연삭기에 적용되면서 연삭 시스템의 자동화와 수치제어가 가능해지고 있다. 동시에 드레싱 작업도 자동화되는 추세이다. 일반적인 드레싱 지침을 초연마재연삭휠의 본드 종류별로 표 5에 열거하였다.

8.2.1 알루미나 드레싱 스틱[그림 16, 17]

이 방법은 초연마재 연삭휠을 드레싱 할 때 널리 사용하는 가장 간단한 방법으로, 입도 220, G 등급의 무른 미세 지립 알루미나 스틱을 회전하는 휠 표면에 접촉시켜 드레싱 한다. 소량의 연삭유를 투입하여 드레싱 스틱과 회전하는 휠 사이에 슬러리를 생성시킴으로써 연삭휠의 본드를 제거하고 날카로운 연마재 결정을 돌출시킨다. 안전상 바이스나 치구에 드레싱 스틱을 장착하고 드레싱 스틱 위로 휠을 이송시키는 것이 좋다. 일정속도로 회전하는 휠속으로 스틱을 이송시키는 자동스틱 드레싱 장치[그림 17]도 다양한 연삭기에 적용할 수 있다.

표 5 초연마재 휠 본드 종류별 드레싱 및 컨디셔닝 지침

	본 드			
	레진	메탈	비트 리파이드	전착 †
알루미나 드레싱 스틱	+	+	-	N/A
유리 연마재	+	-	-	N/A
연강-몰리브덴 연삭	+	-	-	N/A
단석 다이아몬드 니브	0	-	0	N/A
브레이크-제어 트루잉 장치	0	0	-	N/A
와이어 브러시	+	-	-	N/A
로터리-파워 다이몬드 드레서	0	0	+	N/A

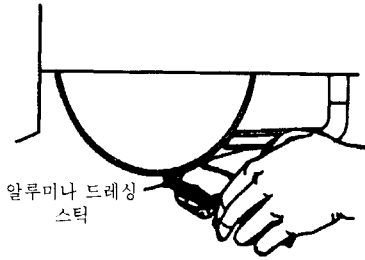


그림 16 알루미늄 드레싱 스틱

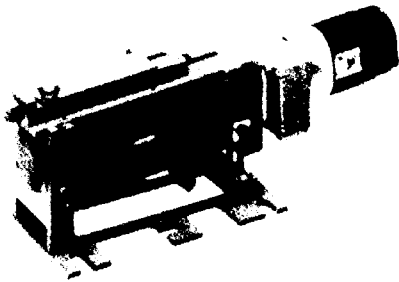


그림 17 자동 스틱 드레싱장치

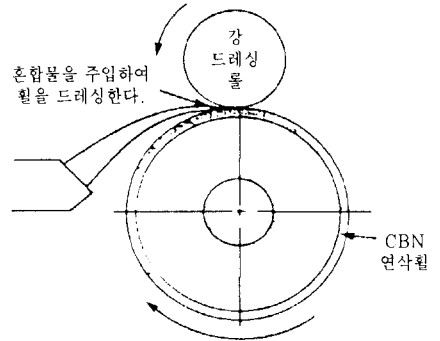


그림 19 드레싱롤

속도로 회전하는데 이 속도 차이로 인해 발생하는 휠과 알루미늄 입자간의 마모작용으로 초연마재 휠의 본드가 제거된다.

8.2.3 유리알루미나 연마재 드레싱(그림 20, 21)

이 방법은 압축공기를 사용하여 연삭휠 표면에 유리 알루미나 입자를 노즐을 통해 분사하며, 드레싱량은 공기압력, 알루미늄 입도, 분사시간으로 조절한다[그림 20]. 이 시스템은 경화기어의 사상연삭용으로 설계된 자동화 연삭기에 사용되고 있다. 그림 21의 방법에서는 유리알루미

8.2.2 수용성 왁스 스틱(그림 18, 19) (water-soluble wax stick)

폴리에틸렌글리콜, 수용성 왁스와 유리 알루미늄 입자를 혼합하여 스틱 형태로 만든 것으로 연삭휠을 피삭재나 피삭재와 유사한 형상의 금속에 근접하게 위치시킨 후, 왁스 스틱을 회전하는 휠 표면에 접촉시키면 왁스 내의 연마입자가 회전하는 휠과 피삭재 사이에서 압착되어 본드를 제거한다[그림 18]. 이때 피삭재는 압착롤(pinch roll) 역할을 한다. 이처럼 압착롤을 이용한 드레싱 시스템을 초연마재 연삭기에 내장하기도 한다. 이 드레싱 시스템에서는 물과 연삭휠 사이로 연삭유와 알루미늄 연마재의 혼합물을 노즐을 통해 공급한다[그림 19]. 연삭휠과 물은 서로 다른

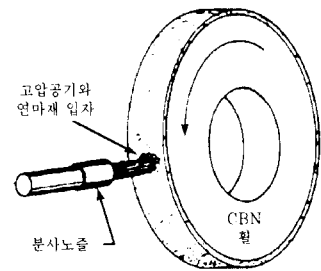


그림 20 고압분사노즐

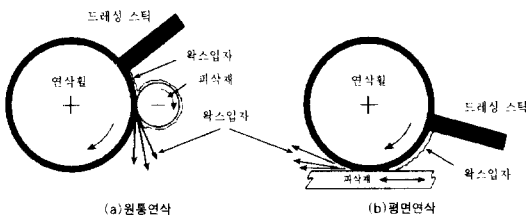


그림 18 수용성 왁스 스틱

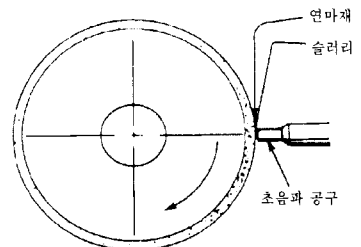


그림 21 초음파드레싱공구

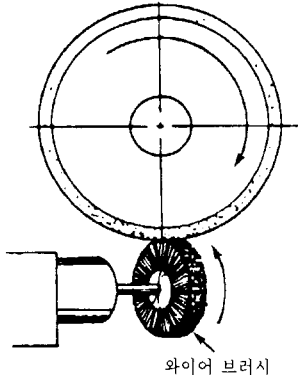


그림 22 로터리 와이어 브러시

나 입자와 연삭유의 혼합물을 초음파 장비로 연삭휠 표면에 투입해 본드를 제거한다. 이 방법은 아직 실험단계에 있으나 매우 효과적인 결과를 보여주고 있다.

8.2.4 와이어 브러시 드레싱(그림 22)

이 방법도 현재 실험단계에 있으나 매우 유망한 드레싱 방법이다. 브러시의 와이어는 연삭휠의 본드를 제거할 정도의 강성을 갖추면서 동시에 연삭도중 떨어져 나가지 않을 정도의 유연성도 갖춰야한다. 보통 브러시의 회전축은 연삭휠 축의 45°에 위치시키는데, 브러시는 연삭휠의 회전으로 구동시키거나 별도의 동력장치를 갖추어야 한다.

9. 초연마재 공구의 경제성

미국 일본을 비롯한 세계 선진 공업국과의 생산성 격차를 극복하고 극심한 경쟁환경에서 살아남기 위해서 제조업에 종사하는 많은 회사들은 제조비용(manufacturing cost)을 낮추면서 동시에 고품질의 제품을 생산해야 한다는 과제가 직면해 있다. 최소의 비용으로 연삭 또는 절삭 가공을 하기 위해서는 공구 기술자와 공정설계 담당자가 전체 공정을 대상으로 가공비용에 영향을 주는 각 요소를 먼저 검토해야 한다. 신개발 고능률 절삭공구나 공작기계의 많은 이점들은 제조공정에서 모두 고려되어야 한다.

초연마재로 연삭할 때 두가지, 즉 제품당 인건비, 간접비와 제품당 휠 비용을 고려해야한다. 제품당 인건비와 간접비는 재료제거율이 증가하면 감소한다. 하지만 재료제거율이 증가하면 초연마재의 마모가 증가하기 때문에 제품당 초연마재의 휠 비용이 증가한다. 따라서 전체비용이 최소가 되는 재료제거율로 가공해야한다(그림 23). 그림 24

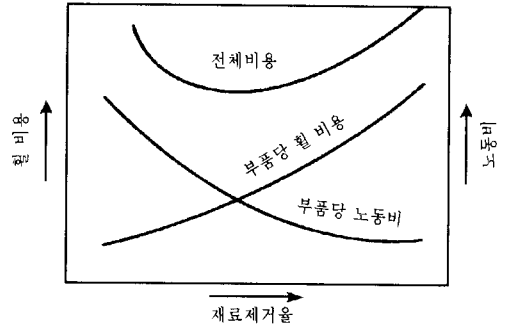


그림 23 초연마재의 비용곡선

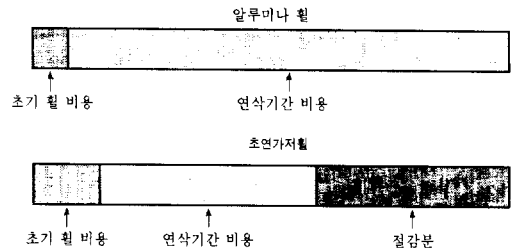


그림 24 알루미나와 CBN휠의 비용효과 분석비교

는 CBN을 사용했을 때 일반연삭휠과 비교한 비용효과를 나타낸다. 이는 경화강 브로치본디(broach body)를 평면연삭 한 후 비용을 분석한 자료이다. CBN휠을 사용하면 알루미나 휠로 평면연삭할 때 보다 공구당 휠 가격은 비싸지만 공구당 인건비와 간접비는 연삭시간의 감소, 휠 교환횟수 감소, 휠 컨디션닝 횟수 감소, 측정 및 휠마모를 보정하기 위한 기계조정작업을 위해 실시하는 기계 비가동시간 감소, 마무리 작업시간 단축과 같은 이유로 싸게된다.

10. 다결정 초연마재의 제조

10.1 제조과정

다이아몬드와 CBN 다결정공구의 제조과정은 매우 유사하다. 연마재층은 공구가 궁극적으로 적용되는 곳에 따라서 평균 2~20 μ m 범위로 미세하게 분쇄된 다이아몬드나 CBN 분말로 제조된다. 때로는 적은 양의 금속분말과 혼합하여 제조하는 경우도 있다. 이 분말을 직경 12~35mm의 원통형 초경합금 기층 상면에 위치시키고 고온고압장치에 100만PSI (Ib/in²)의 압력과 1200 $^{\circ}$ C 이상의 온도를 적정

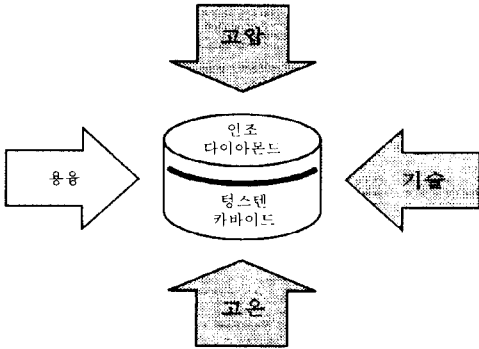


그림 25 다결정 공구 소재와 인서트의 제조

시간 유지시킨 후 냉각과정을 거쳐 상온으로 냉각시킨다. 연마제 입자와 초경합금 기층이 고온, 고압상태에서 수분 동안 있게 되면 소결(sintering)이 이루어지게 된다. 이 과정에서 분말의 표면적, 분말 내부의 기공이 감소되게 된다. 거의 모든 재료가 온도와 압력이 충분히 높을 때 이런 현상이 일어나며 이 과정을 소결이라 한다[그림 25].

다결정 공구는 액상소결이라 불리는 더 빠른 형태의 소결방식을 사용한다. 용융된 금속은 기공을 채우고 지립간의 결합을 촉진시킨다. 소결과정이 완료되었을 때 모든 연마제지립은 서로 단단히 결합된다. 이것은 초경합금 기층 상부에 결합되어 매우 강인한 0.5mm 두께의 내마모재층을 만든다. 연마제층은 모든 기공이 금속으로 채워진 소결된 다이아몬드 또는 CBN 지립으로 구성된다. 이러한 형태의 다결정 공구소재는 절삭가공에 사용되는 초경공구와 유사한 형상을 갖는다. 이러한 소결과정을 거친 원형 공구소재는 특정한 모양과 크기로 완성되는데 이를 위한 공정으로 절삭, 연삭, 래핑 또는 폴리싱 기술로 이루어진다. 다결정 공구소재는 여러 가지 절삭용도에 적합한 다양한 형태와 크기로 사용할 수 있다[그림 26].

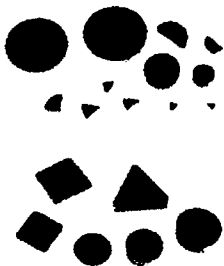


그림 26 다양한 모양과 크기의 다결정 초연마제 인서트

10.2 다결정 초연마제 공구의 종류와 규격

다결정 초연마제 공구소재와 인서트는 초경합금 기저 위에 결합된 초연마제층과의 조합이다. 일반적인 다결정 초연마제 공구소재는 소결작업 후에 다양한 기계가공에 적합한 모양과 크기로 제조된다. 공구제조자는 이 다결정 초연마제 공구소재를 완제품으로 가공하여 사용자에게 공급하며 팁 인서트, 전면 인서트, 생크브레이징형 공구의 세가지로 나누어진다.

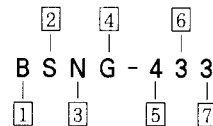
10.2.1 팁인서트(그림 27(a))

대부분의 표준 초경합금 인서트 형상에 적용되고 일반적으로 저렴하다. 이러한 팁인서트는 초경합금 인서트에 포켓가공을 하고 그 위치에 다결정초연마제를 브레이징(경납땀)하여 만든다. 팁 인서트는 하나의 절삭날만을 갖고 있기 때문에 절삭날이 무너지면 공구의 재연삭이 필요하며 재연삭된 절삭날은 새절삭공구와 같은 공구수명을 가진다.

10.2.2 전면 다결정초연마제 인서트(그림 27(b))

초경합금 기저에 결합된 다결정초연마제층으로 구성되어 있다. 다결정초연마제 전면 인서트는 사각, 삼각, 원형으로 만들어지고 공구제조자들은 사용 후 여러번 재연삭이 가능하기 때문에 계속 크기를 줄여 사용하여 일반적으로 가격면에서 매우 효과적이다. 다결정초연마제 전면 인서트의 규격 호칭방식을 표 6에 나타내었다.

표 6 다결정 초연마제 인서트의 규격 호칭방식



- ① B-PCBN 블랭크
- ② S-사각형 R-등군형 T-삼각형
- ③ N-음경사각 P-양경사각(각 표시, 6' 표준)
- ④ G-정밀 인서트 공차
U-활용 인서트 공차(유용하지 않음)
- ⑤ 1/8in IC의 수(즉, 4/8=1/2-in IC 사각) ⑥ 1/2-in
↓
- ⑥ 1/16in 두께의 수(즉, 3/16in 두께) ↑
- ⑦ 1/64in 노즈반경의 수(즉, 사각과 삼각형에만 적용되는 3/64 노즈반경)

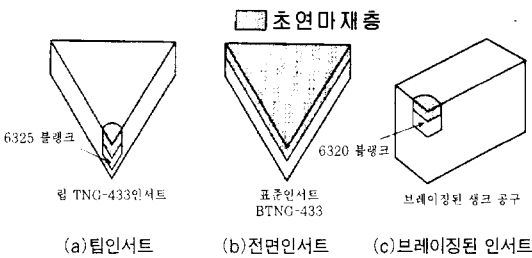


그림 27 다결정 초연마재 절삭공구의 일반적인 세가지 형태

10.2.3 생크 브레이징형 다결정초연마 공구 [그림 27(c)]

가장 일반적인 절삭공구 형태로 만들어진다. 적당한 모양의 공구 생크에 포켓을 가공하고 그 위에 다결정초연마재를 납땜용접하여 만든다. 이것은 다양한 가공형상에 적합하도록 공구 제조자들이 다결정초연마재 형상을 특별히 주문할 수 있다.

10.3 다결정 초연마재 공구의 마모 형태

절삭공구의 마모나 마멸은 공구 수명을 결정한다. 다결정초연마재 절삭공구에 발생할 수 있는 마모 형태는 프랭크(여유면 또는 측면) 마모, 노즈 마모, 크레이터(경사면 또는 상면)마모 세가지 종류의 마모가 일반적으로 발생한다.

10.3.1 프랭크 마모(그림28(a))

절삭공구날의 측면과 가공되는 금속과의 마찰에 의해서 절삭날 측면에서 발생하는 마모이다. 너무 많은 프랭크 마모는 마찰을 증가시키고 가공을 위해 많은 동력을 필요로 한다. 프랭크 마모가 많아지면, 공구는 재연삭이 필요하다.

10.3.2 노즈마모(그림28(b))

공구의 노즈와 가공되는 피삭재사이의 마찰에 의해서 절삭공구의 노즈점에서 발생하는 마모이다. 절삭공구 노즈의 마모는 공작물 상의 표면조도에 영향을 미친다.

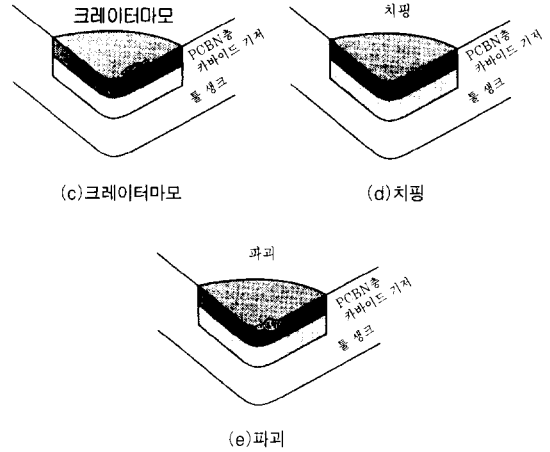
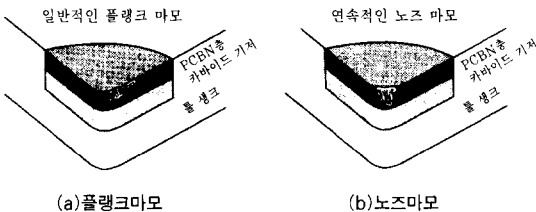


그림 28 다결정 초연마재 공구의 마모형태

10.3.3 크레이터마모(그림28(c))

절삭공구의 상면에서 칩이 공구의 접촉면을 따라 연속적으로 미끄러지는 결과로, 절삭날의 선단으로부터 약간 떨어진 거리에 발생하는 마모이다. 많은 크레이터 마모는 때때로 절삭날을 파손시킨다.

10.3.4 치핑(그림 28(d))

절삭날의 매우 작은 부분이 깨어져 떨어져 나가는 것이며 마모가 아니다. 이것은 절삭력이 절삭공구 미소부분의 단위 강도보다 더 클 때 발생하고, 일반적으로 단속절삭시에 주로 발생한다.

10.3.5 파괴(그림 28(e))

절삭력이 인서트의 강도보다 더 크기 때문에 공구 인서트 부분이 깨어져 떨어져 나갈 때 발생한다.

10.4 다결정 다이아몬드 공구에 적합한 피삭재

다결정 다이아몬드 공구는 비철계 또는 비금속재료의 절삭에 사용되며, 주로 피삭재가 내마모재인 곳에 사용된다. 이러한 재료들은 재료의 내마모재 특성에 의해 일반적으로 난삭재이다. 비철계금속의 대부분은 전형적으로 연하지만, 경질입자가 산포되어 있다. 예로 알루미늄에서의 실리콘 또는 플라스틱에서의 유리섬유는 일반 공구의 절삭날을 파괴시키는 경한 연마재이다. 다이아몬드는 이런 경질입자보다 경도가 높아 경질입자를 탈락시키거나 절삭날이 무디게 되기 보다는 경질입자를 절단한다. PCD 소재

표 7 PCD 절삭공구의 적용범위

비철금속	비금속재료	복합재료
알루미늄합금	소결알루미나	석면
배릿합금	베이클라이트	섬유유리
황동합금	베릴륨	에폭시
청동합금	세라믹스	탄소 나이론
구리합금	에폭시	페놀
납합금	유리	P.V.C
망간합금	흑연	실리카
실리콘-알루미늄	고무, 경질	테프론
은, 백금	다양한	나무, 제조품
텅스텐 카바이드	플라스틱	
아연합금		

공구들은 내마모재 가공에 있어 초경공구보다 종종 100 배 이상의 공구수명을 발휘한다. 사용이 늘어나고 있는 새로운 비금속재료의 범주는 세라믹과 그 복합체이다. 이 재료들은 경한 내마모재로 이루어져 있어서, 가공을 위해서는 다이아몬드 공구가 유일한 공구소재이다. PCD 절삭공구는 절삭날의 무더짐 없이 경질의 연마재가 내재하고 있는 이러한 신소재의 가공에 적합한 공구소재이다. PCD 공구에 적합한 피삭재로는 비철계금속, 비금속, 복합체 3종류로 분류가 가능하며 표 7에 PCD 공구로 효과적으로 가공할 수 있는 가장 일반적인 재료가 나열되어 있다.

10.5 다결정 CBN 공구에 적합한 피삭재

다결정 CBN(입방정 질화붕소) 절삭공구는 선반과 터닝 센터를 이용한 곡면가공이나 밀링가공, 머시닝 센터를 이용한 평면가공에 사용된다. 이 절삭공구는 직선터닝, 단면가공, 보링, 형상가공, 밀링가공에 성공적으로 사용된다. PCBN 소재 공구와 인서트는 일반 절삭공구보다 긴 공구수명 및 고속으로 재료를 제거할 수 있다. 이 결과 생산성의 증가와 더불어 생산원가를 낮출 수 있다.

다결정 CBN 공구 소재와 인서트는 경도가 높은 난삭재와 절삭가공이 불가능하여 이전에는 연삭되었던 경질 내

표 8 PCBN 공구의 적용

경주철 · Ni-Hard 주철 · 합금주철 · 칠드주철 · 구상흑연주철	초합금 · Inconel-718, -901,-600 · Rene 77, 95 · Hastalloy · Waspallory · Stellite · Colmonoy · K-Mone
연주철 · 회주철	
철계소결합금 · 분말합금 · 철계소결합금	
경화강 · 공구강 · 다이스강 · 표면경화강 · A, D, M 시리즈강 · 베어링강	

마모재의 절삭을 위해 설계되었다. PCBN 절삭공구가 연삭가공을 대신함에 따른 높은 재료제거율로 인해 가공시간이 상당히 감소되었다. PCBN 절삭공구가 가장 잘 적용되고 비용면에서도 효과가 우수한 피삭재 영역은 다음과 같다. 표 8은 PCBN 절삭공구로 효과적으로 가공되는 일반적인 피삭재를 나타내었다. PCBN 절삭공구는 초경이나 세라믹 등 일반 절삭공구의 인선이 급속히 파손되는 피삭재 가공에 가장 적합하다. PCBN 공구는 수치제어 동작기계나 유연생산 시스템과 같은 고가의 가공 시스템에서 특히 중요하다. 오랜 절삭날의 유지는 컴퓨터 제어 동작기계나 시스템의 정밀도를 피삭재 가공에 반영할 수 있게 하여 정확한 부품을 생산하고 생산성을 높여 고비용의 장비 투자로 인한 고가 기계의 비가동시간을 줄일 수 있다.

참고 문헌

이종찬 외1, "초연마재를 이용한 연삭·절삭가공", 문운당, 1998