

## CBN 휠에 의한 5종 재료의 연삭 특성 비교

원종호\* (충남대 기계공학과), 김건희(기초과학지원연구소), 안병민(충남대 대학원 기계공학과), 박순섭(충남대 대학원 기계공학과), 이진오(충남대 대학원 기계공학과)

### The Grinding Characteristics of 5 kind metals for CBN Wheel

J H Won(Mechanical Eng. Dept., CNU), K. H. Kim(KBSI), B. M. Ahn(Mech. Eng. Dept. CNU), S. S. Park(Mech. Eng. Dept. CNU), J. O. Lee(Mech. Eng. Dept. CNU)

#### ABSTRACT

Ultra-abrasives such as diamond and CBN have used to maintain accuracy and form deviation for superalloy etc. This study contains the dry cylindrical grinding of metals with Vitrified-bond CBN wheel and Resinoid-bond CBN wheel. For various conditions of grinding speed, workpiece speed, grinding depth and feed speed of table, the grinding resistance, the surface roughness, and the material removal are measured and discussed

Keyword · CBN(입방정질화붕소), Vitrified-bond(비트리파이드 본드), Resinoid-bond(레지노이드 본드), Wheel speed(연삭속도), Grinding force(연삭저항), Material removal rate(금속제거율)

#### 1. 서 론

연삭가공이란 “고속도로 회전하는 스톨바퀴를 공작물 표면에 눌러대고 미소한 절삭깊이로 공작물 표면을 미량씩 깎아서 정밀하게 다듬질된 면을 얻는 일종의 절삭가공법”이다.<sup>1)</sup>

이전에는 연삭가공이 마무리 공정으로만 알려져 왔으나 최근에는 새로운 연삭스톨의 개발로 인하여 금속가공에 있어서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 이러한 연삭가공의 발전은 다이아몬드나 입방정질화붕소(Cubic, Boron Nitride, CBN)와 같은 초연마재의 등장으로 난삭재, 초합금, 복합재 등 많은 재료들을 정밀도와 형상정도를 유지하면서 가공할 수 있게 되었기 때문이다. 또한 CBN 연삭가공은 정밀기계류, 항공기, 컴퓨터 등 첨단기기 부품의 고기능화에 따른 제품의 고정밀가공에 보편화되고 있는 실정이다.<sup>2)</sup>

연삭작업에서 요구되는 가공능률과 가공정밀도를 얻기 위해서는 적절한 결합도를 가진 연삭스톨을 결합하는 것이 중요하다. 베이클라이트본드라고도 불리는 레지노이드본드(Resinoid-bond)는 결합력이 강하고 탄성이 크기 때문에 파손에 대한 안정도가 높으며, 연삭열에

대해서도 비교적 안정적이므로 고속연삭이나, 마무리작업에 사용된다. 세라믹본드라고도 불리는 비트리파이드본드(Vitrified-bond)는 다공성 조직으로서 자생작용이 좋아 금속제거율을 향상시킬 수가 있다.<sup>1,3)</sup>

본 연구에서는 가장 늦게 개발되어 계속적으로 사용이 증가되고 있는 비트리파이드본드 휠과 휠 코어 부분이 base metal 로 되어 안정하고 고속가공에 유리한 레지노이드본드 휠을 가지고 5 가지의 금속 즉, 금형강(STD11), 베어링강(STB1), 주강(SC360), 탄소강(SM20C), 탄소공구강(STC7)을 연삭가공하는데 있어서 어떠한 영향을 주는지에 대하여 연구하였다.

연삭속도가 가공에 많은 영향을 준다는데 초점을 두고 연삭깊이, 테이블 이송속도를 주요 변수로 하였으며, 연삭저항, 표면 거칠기, 금속제거량을 통하여 공작물에 어떠한 영향을 미치는지를 조사함으로써 금형강, 베어링강, 스테인레스강, 주강, 탄소강, 탄소공구강에 대한 최적연삭조건을 찾는 데 목적으로 하였다.

#### 2. 실험장치 및 방법

##### 2.1 실험장치

본 연구에서는 횡방향 원통 연삭기를 사용하여 원통연삭을 수행하였으며, 연삭휠은 비트리파이드본드 CBN(B126 VSS R V180)와 레지노이드본드 CBN(B126 KSS R A V180)휠 2 종류를 사용하였고, 본 실험은 1 회 왕복 가공에서 접선연삭저항, 법선연삭저항 2 가지를 동시에 측정할 수 있도록 고안하였다. Fig 1 은 연삭측정장치의 구성도를 보여준다. 연삭속도는 연삭기 자체에 휠 헤드가 고정되어 있으므로 전원 중간에 인버터(LGIS, SV-IG)를 설치하여 제어하였다. 각 공작물의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1 과 같다.

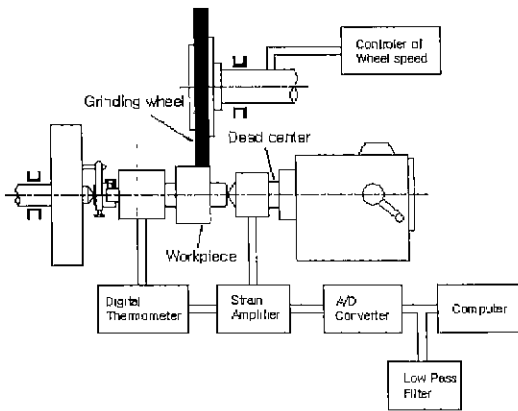


Fig. 1 Block diagram of grinding measuring device

Table 1 Chemical comparisons and mechanical properties of specimens

Chemical comparison,					
	C	Si	Mn	P	S
SM20C	0.19	0.15	0.47	0.03	0.031
STC7	0.68	0.32	0.38	0.02	0.025
SC360	0.15	0.24	0.34	0.04	0.036
STD11	1.48	0.29	0.38	0.02	0.030
STB1	0.97	0.24	0.36	0.02	0.021
Mechanical Property					
	$H_V$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	TS (Kg/mm <sup>2</sup> )	E(%)		
SM20C	198	41	28		
STC7	223	46	31		
SC360	233	37	26		
STD11	255	72	32		
STB1	288	48	30		

연삭저항 측정장치는 Fig. 2 에서 보여준다. 이것은 심압대 초경센터의 원주외면 끝부분에 R1, R2 와 R3, R4 그리고, R5, R6 과 R7 R8 이 대칭이 되도록 휘스톤 브릿지(Wheatstone bridge)로 8 개의 스트레인 게이지(Type CEA-06-062 UW-350)를 2 개의 풀 브리지(Full bridge)

로 부착하였다.<sup>4)</sup>

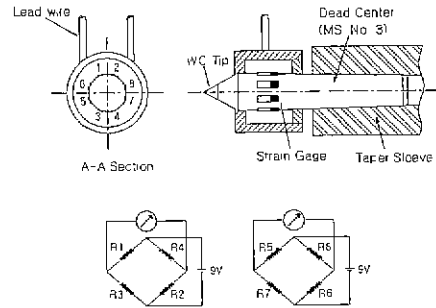


Fig 2 Grinding force measuring devices

표면거칠기는 가공 중에 측정이 곤란하므로 연삭이 끝난 후에 공작물을 떼어내어 표면조도기(Mitutoyo surfst-211, cut-off length : 0.8 $\mu$ m)로 측정하였고, 값은 중심선 평균 표면거칠기 ( $R_a$ ,  $\mu$ m)값으로 하였다.<sup>4)</sup>

## 2. 2. 실험방법

연삭은 상향연삭(up-grinding)을 하였으며, 최초 기준면은 연삭깊이 5 $\mu$ m 로 1 회 왕복한 후 스파크 아웃(spark out)시켰다. 연삭저항은 테이블이 1/2 회 왕복하는 동안에 측정되었으며, 표면거칠기는 1 회 왕복 후 측정하였다. 측정값을 가지고 로우 패스 필터(loss pass filter)하여 분석하였다.

CBN 휠은 마멸이 잘 안되기 때문에 대회드레싱(dressing)이 필요 없으나, 눈 매움(loadin g)현상이 나타날 때는 연삭숫돌스틱(WA stick, 13 × 24 × 100mm)으로 회전하는 연삭휠에 가볍게 누르면서 접촉시켜 드레싱하였다.

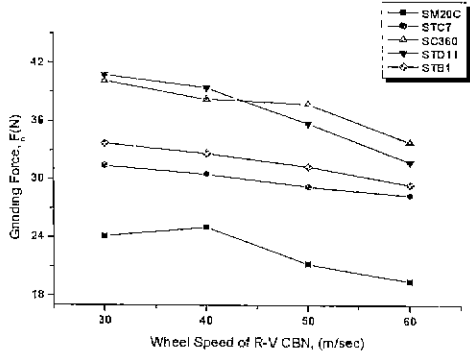
Table 2 Experimental condition

Type of grinding	Cylindrical traverse of dry grinding
Wheel	V-B CBN (B126 VSS R V180, 400×20×127) R-B CBN (B126 KSS R A V180, 400×20×127)
Wheel speed	30, 40, 50, 60(m/sec)
Workpiece	20(m/min)
Table speed	1.0, 1.5, 2, 3(mm/sec)
Depth of cut	5, 10, 15( $\mu$ m)
Diameter of workpiece	51 ~ 53(mm)

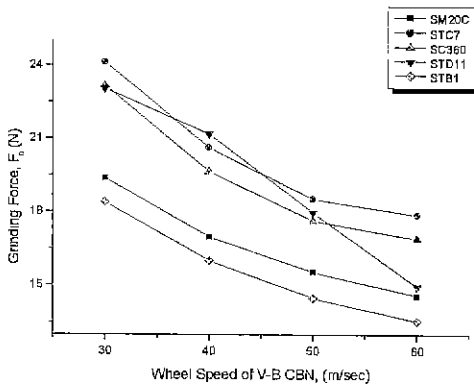
Table 2 는 실험조건과 CBN 휠 규격에 대하여 나타내고 있다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 CBN 휠의 연삭저항에 대한 고찰



(a) Resinoid-bond CBN



(b) Vitrified-bond CBN

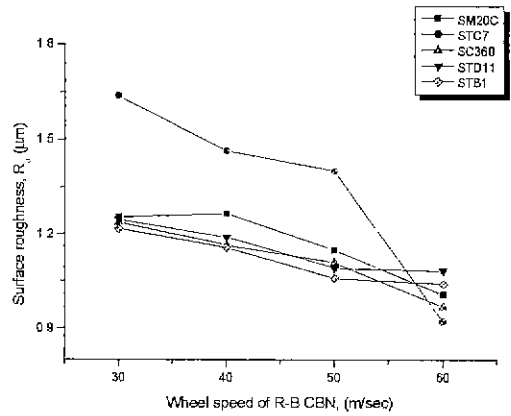
Fig. 3 Relation between normal grinding force and wheel speed with resinoid-bond and vitrified-bond CBN (A: 5 $\mu$ m, F: 1mm/sec)

Fig. 3 은 연삭속도와 연삭저항의 관계로서 레지노이드본드와 비트리파이드본드 휠의 법선연삭저항을 나타내었다. Fig. 3 에서 보는 바와 같이 연삭저항은 감소함을 알 수 있다. 이것은 연삭속도가 증가하면 CBN 휠의 슷들입자 한 개당 연삭깊이가 작아지기 때문에 연삭저항이 감소된다고 할 수 있다. 레지노이드본드와 비트리파이드본드와의 저항값은 각 공작물에 대해 다소 차이가 난다. 연삭속도 60m/sec 에서 연삭저항 값을 살펴보면, 레지노

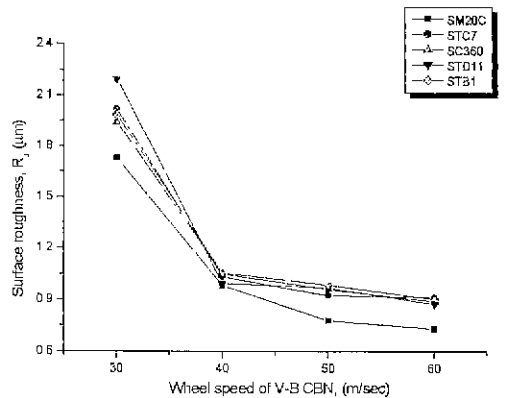
이드본드를 사용했을 때는 SM20C 는 19.482N, STC7 은 28.312N, SC360 은 33.830N, STD11 은 31.762N 이며, STB1 은 29.420N 이다. 또한 비트리파이드본드를 사용 했을 때는 SM20C 는 14.573N, STC7 은 17.885N, SC360 은 16.905N, STD11 은 14.965N 이며, STB1 은 13.553N 이다.

이러한 수치에서도 알 수 있듯이 레지노이드본드 휠이 비트리파이드본드 휠보다 저항이 큰 이유는 레지노이드본드가 비트리파이드본드보다 입자 한 개당 연삭깊이가 더 길고 마찰계수가 더 크다. 또한 확실한 이유는 각 휠에 대한 결합제의 차이로 할 수 있겠다.

#### 3.2 CBN 휠의 표면거칠기에 대한 고찰



(a) Resinoid-bond CBN



(b) Vitrified-bond CBN

Fig. 4 Relation between surface roughness and wheel speed with resinoid-bond and vitrified-bond CBN (A 5 $\mu$ m, F: 1mm/sec)

Fig. 4는 연삭속도에 따른 표면거칠기의 관계이다. 연삭속도가 증가하면 표면거칠기는 양호해지는 것을 볼 수 있다. 레지노이드본드에서 각 공작물의 표면거칠기를 살펴보면 SM20 C와 SC360은 연삭속도의 증가와 더불어 계속적으로 양호해지고 있으며, STD11과 STB1은 연삭속도 50m/sec에서 일정해지고 있음을 볼 수 있고, STC7은 연삭속도 50m/sec에서 급격히 양호해지는 것을 볼 수 있다. 이것은 경도가 커질수록 연삭속도가 50m/sec부터 표면거칠기가 일정해지는 것으로 사료되는데, 이것은 각 공작물의 기계적 성질과 화학적 성분의 차이로 할 수 있겠다. 반면 비트리파이드 본드에서는 연삭속도 40m/sec에서 표면거칠기가 급격히 양호해지는 것을 볼 수 있다. 이것은 비트리파이드본드 휠의 자생효과가 활발히 진행되기 시작하고 있음이라 할 수 있겠다.

### 3.3 경도에 대한 연삭저항 및 표면거칠기의 비교

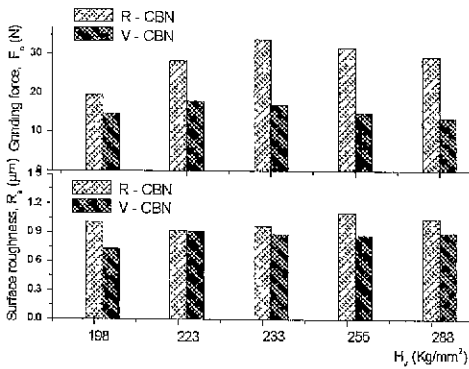


Fig. 5 Relation between grinding force and surface roughness to hardness with resinoid-bond and vitrified-bond CBN

Fig. 5는 연삭속도 60m/sec, 연삭깊이 5 $\mu$ m, 테이블 이송속도 1mm/sec로 하였을 때 각 공작물의 경도에 따른 연삭저항과 표면거칠기를 비교한 것이다. 연삭저항값과 경도와의 관계를 살펴보면 경도가 증가할수록 연삭저항값은 휠에 따라 다소 차이가 있지만 레지노이드본드, 비트리파이드본드 모두 증가하다 감소하는 경향을 보인다. 이러한 현상을 보이는 것은 피삭성이 반드시 경도와 비례하는 것은 아니며, 높은 경도를 갖는 재료가 오히려 낮은 전단강도를 갖을 수 있기 때문이라고 생각된다. 반면에

표면거칠기와 경도와의 관계를 살펴보면 전반적으로 거칠기값이 비슷한 경향을 보인다.

### 3.4 경도에 대한 연삭깊이와 테이블 이송속도에서의 금속제거율에 대한 비교

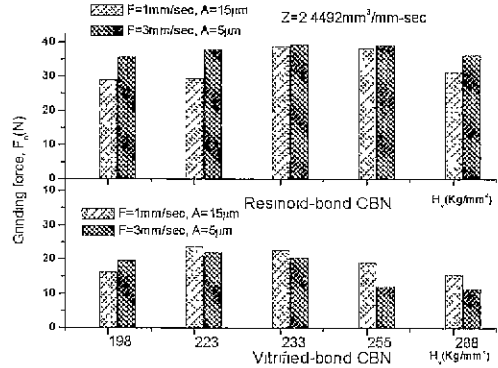


Fig. 6 Grinding force at the same removal rate

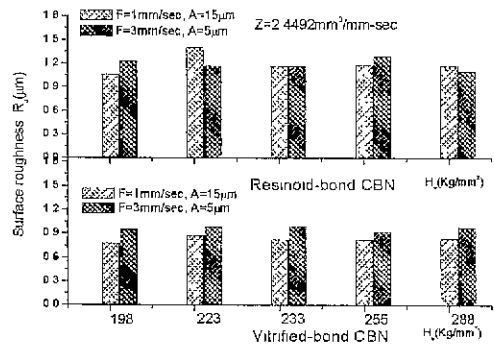


Fig. 7 Surface roughness at the same removal rate

Fig. 6~7은 동일한 금속제거량에 대하여 연삭깊이와 테이블 이송속도가 경도에 따라 연삭저항과 표면거칠기에 미치는 영향에 대해 나타내고 있다. 원통연삭은 평면연삭과는 계산식이 다르며 그에 대한 금속제거율식은 다음과 같다.

$$Z = \pi \cdot d \cdot A \cdot F \text{ (mm}^3\text{/mm-min)}$$

d : Diameter of workpiece

A : Depth of grinding

F : Feed of table

Fig. 7에서 비트리파이드본드가 레지노이드본드보다 표면거칠기가 더 양호하다는 것을 알 수 있다. 비트리파이드본드의 연삭저항과 표면거칠기를 비교해보면 연삭저항의 증가 즉,

비연삭에너지의 증가는 표면거칠기를 양호하게 만든다. 다시 말하면 레지노이드본드는 탄성변형이나 소성변형이 많은 반면에 비트리파이드본드 휠은 절삭현상이 많음을 알 수 있다. 따라서 동일한 금속제거율에 대하여 표면거칠기를 향상시키기 위해서는 연삭깊이를 높이고, 테이블 이송속도를 높이는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다. 다시 말하면 요구하고자 하는 표면거칠기내에서 생산성을 높이기 위해서는 테이블 이송속도보다는 연삭깊이를 증가시키는 것이 유리하다는 것을 의미한다.

#### 4. 결론

본 연구는 레지노이드본드 CBN 휠과 비트리파이드본드 CBN 휠이 경도에 따른 연삭가공 특성을 알기 위해서 탄소강(SM20C), 탄소공구강(STC7), 베어링강(SC360), 금형강(STD11), 주강(STB1)을 전식 횡방향으로 왕복 원통연삭을 하였다. 연삭속도, 연삭깊이, 테이블 이송속도를 주요 변수로 하여 각 연삭조건에 따른 연삭저항, 표면거칠기, 금속제거량을 측정·비교하여 공작물에 미치는 영향을 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 각 공작물에 대한 연삭저항은 레지노이드본드 CBN 휠, 비트리파이드본드 CBN 휠 모두 연삭속도가 증가할수록 감소한다. 또한 레지노이드본드가 비트리파이드본드보다 연삭저항이 훨씬 크다.

2) 각 공작물의 표면거칠기는 연삭속도가 증가할수록 양호해지는 경향을 보인다. 레지노이드본드는 연삭속도 50m/sec 에서, 비트리파이드본드는 연삭속도 40m/sec 에서 표면거칠기가 급격히 양호해지는데 이것은 각 휠의 결합체에 의한 차이로 각 연삭속도에서의 자생효과와 진행이 활발히 시작되는 속도라 할 수 있겠다.

3) 경도에 대한 연삭저항은 레지노이드본드, 비트리파이드본드 모두 증가하다 감소하는 경향을 보인다. 이것은 피삭성이 반드시 경도와 비례하는 것은 아님을 보인다. 또한 경도에 대한 표면거칠기는 전반적으로 비슷한 값을 갖는다.

4) 각 공작물에 대한 금속제거율은 생산성 측면에서 동일한 금속제거율에 대하여 연삭깊이가 크고 테이블 이송속도가 작은 것이 더 유리하며, 표면거칠기가 더 양호하다.

5) 각 5종 재료의 공작물에 대하여 비트리파이드본드 CBN 휠이 레지노이드본드 CBN 휠 보다 연삭저항, 표면거칠기, 금속제거율면에서 더 우수하다.

#### 참고문헌

1. Merchant M. E., "Delphi-type Forecast of the Future of Production Engineering", *Annals of the CIRP*, vol.20/3, pp.213, 1971
2. 신한 다이아몬드공업(주), "고정도화 다이아몬드 공구기술, 기계기술. pp. 160-161, 1997.
3. John A. Webster, Zbigniew prusak, Ioan D. Marinescu, "Tribological Aspects of Vitrified-bond CBN Wheel Truing and Dressing Process", *Proceeding of the Manufacturing Engineering*, pp.534-539, 1996.
4. 원종호, CBN 휠의 고속연삭에서의 가공특성에 관한 연구". 고려대학교 박사 학위 논문. pp. 53-93, 1990.