

## 레지노이드 본드 CBN 휠의 연삭 특성

원종호\*(충남대 기계공학과), 김건희\*\*(한국기초과학지원연구원),  
박원규\*\*\*, 안병민\*\*\*, 박순섭\*\*\*, 이진오\*\*\*, 조주현\*\*\* (충남대 기계공학 대학원)

### Grinding Characteristics of Resinoid-bond CBN Wheel

J.H. Won\*, G. H. Kim\*\*, W. G. Park\*\*\*, B.M. An\*\*\*,  
S.S. Park\*\*\*, J.O. Lee\*\*\*, J.H. Cho\*\*\*

#### ABSTRACT

Super-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 resinoid-bond CBN wheel. For various conditions of grinding speed, workpiece speed, grinding depth and feed speed of table, the grinding resistance and the surface roughness are measured and discussed. The results are as follows.

**Key Words** : CBN(입방정 질화붕소), Resinoid-bond(레지노이드 본드), Grinding force(연삭저항),  
Surface roughness(표면 거칠기),  $F_n$ (법선저항력),  $F_t$ (접선저항력),  $V_w$ (휠속도),  
STD11(금형강), STS304(스테인레스강), STC7(탄소공구강)

#### 1. 서론

선진국에서는 초연마제(super abrasive)라 할 수 있는 다이아몬드와 CBN을 60년대 후반부터 합성하여 연삭분야에 본격적으로 이용하기 시작하였는데 이중 특히 CBN(Cubic Boron Nitride)은 고경도 이면서 열전달율이 높아 입자의 작은 절삭날이 마모되지 않고, 절삭날을 잘 유지하므로 매우 양호한 절삭을 할 수가 있다. 또한 CBN연삭은 정밀기계류, 항공기, 컴퓨터, 자동차등 첨단기기 부품의 고기능화에 따른 제품의 고정밀화가 보편화되고 있는 실정이고, 국내의 기계공업 및 자동차 공업에 있어서도 제품의 경쟁력 제고 위하여 정밀가공의 필요성이 무엇보다도 요구되고 있다.

이러한 연삭을 통하여 요구되는 형상 및 정밀도, 표면 조도와 높은 생산성을 보장하기 위해서는 연삭공구의 품질이 가장 중요한 관건이라 할 수 있다.<sup>1-5)</sup>

따라서 연삭작업에 있어서 요구되는 가공능률과 가공정밀도를 얻기 위해서는 적절한 결합도를 가진 연삭숫돌을 선택하는 것이 중요한 요건이 된다.

베이크라이트 본드라고도 불리는 레지노이드 본드(Resinoid-bond)는 결합력이 강하고 탄성이 크기

때문에 파손에 대한 안정도가 높으며, 연삭열에 대해서도 비교적 안정적이므로 고속 연삭이나 마무리 작업에 사용된다.

따라서 본 연구에서는 레지노이드 본드 CBN 휠을 이용하여 3종 재료 즉, 금형강(STD11), 스테인레스강(STS304), 탄소공구강(STC7)을 연삭가공할 때 공작물 재료에 따른 연삭특성에 대하여 고찰하였다.

휠속도가 가공에 많은 영향을 준다는데 초점을 두고 연삭깊이, 테이블 이송속도를 주요 변수로 하였으며, 연삭저항, 표면 거칠기를 통하여 공작물에 어떠한 영향을 미치는지를 조사함으로써 금형강, 스테인레스강, 탄소공구강에 대한 최적 연삭조건을 찾는 데 목적으로 하였다.

#### 2. 실험장치 및 방법

##### 2. 1 실험 장치

본 연구에서는 횡방향 원통연삭기를 사용하여 원통 연삭을 수행하였으며, 연삭휠은 레지노이드 본드 CBN(B126 KSS R A V180, 400×20×127)을 사

용하였다.

본 실험은 1회 왕복 가공에서 접선연삭저항, 법선연삭저항 2가지를 동시에 측정할 수 있도록 고안하였다. Fig.1은 연삭 측정 장치의 구성도를 보여준다. 휠속도는 연삭기 자체에 고정되어 있으므로 전원 중간에 인버터(LGIS, SV-IG)를 설치하여 제어하였다.

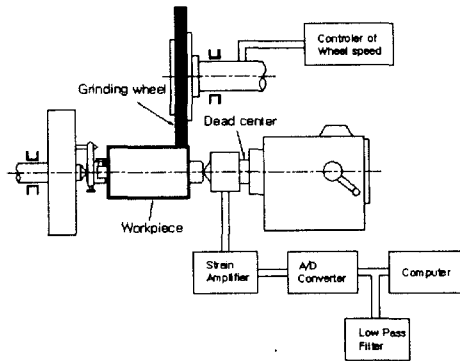


Fig.1 Block diagram of grinding measuring device.

각각의 공작물에 대한 화학적 성분과 기계적 물성치는 Table.1에 나타내었다.

Table.1 Chemical compositions and mechanical properties of specimens

Chemical composition					
	C	Si	Mn	P	S
STS304	0.065	0.49	1.31	0.027	0.025
STC7	0.67	0.32	0.47	0.025	0.029
STD11	1.53	0.36	0.55	0.026	0.028
Mechanical property					
	HB (Kg/mm <sup>2</sup> )		T.S (Kg/mm <sup>2</sup> )		
STS304	182		53		
STC7	199		51		
STD11	253		72		

연삭저항 측정장치는 Fig.2에서 보여준다. 이것은 심압대 초경센터의 원주외면 끝부분에 R1, R2와 R3, R4 그리고, R5, R6과 R7, R8이 대칭이 되도록 휘스톤 브릿지(Wheatstone bridge)로 8개의 스트레인 게이지(Type CEA-06-062 UW-350)를 2개의 풀 브리지(Full bridge)로 부착하였다.<sup>1)</sup>

표면거칠기는 가공 중에 측정이 곤란하므로 연삭이 끝난 후에 공작물을 떼어내어 표면조도측정기(Mitutoyo surftst-211, cutoff length : 0.8 μm)로 측정

하였고, 값은 중심선평균표면거칠기(Ra, μm)값으로 하였다.

## 2. 2 실험 방법

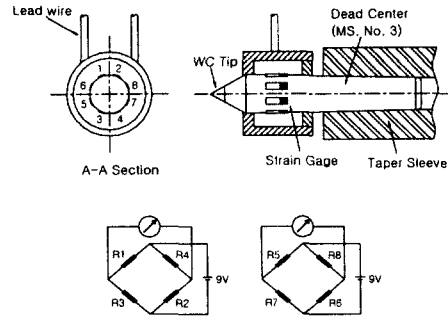


Fig.2 Grinding force measuring devices

연삭은 상향연삭(up-grinding)을 하였으며, 최초 기준면은 연삭깊이 5 μm로 1회 왕복한 후 스파크 아웃(spark out)시켰다. 연삭저항은 테이블이 1/2회 왕복하는 동안에 측정되었으며, 표면 거칠기는 1회 왕복 후 측정하였다.

Table.2는 실험조건과 CBN 휠 규격에 대하여 나타내고 있다.

Table.2 Experimental condition

Type of grinding	Cylindrical traverse of dry grinding
Wheel	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 (μm)
Diameter of workpiece	51~54 (mm)

CBN 휠은 마멸이 잘 안되기 때문에 매회 드레싱(dressing)이 필요 없으나, 눈메움/loading 현상이 나타날 때는 연삭숫돌 스틱(WA stick, 13×24×100 mm)으로 회전하는 연삭휠에 가볍게 누르면서 접촉시켜 건식 드레싱하였다.

## 3 . 실험결과 및 고찰

### 3. 1 CBN휠의 연삭저항에 대한 고찰

Fig.3 ~ Fig.6은 테이블 이송속도, 휠속도, 연삭깊이에 대한 연삭저항의 관계를 보여주고 있다.

Fig.3은 각각 3가지 공작물의 휠속도에 대한 법선연삭저항을 보여주고 있다. 휠속도가 증가함에 따라 연삭저항은 감소함을 알 수가 있다. 이것은 휠속도가 증가되면 CBN휠의 숫돌입자 한 개당 연삭깊이가 작아지기 때문에 연삭저항이 감소된다고 할 수 있다.

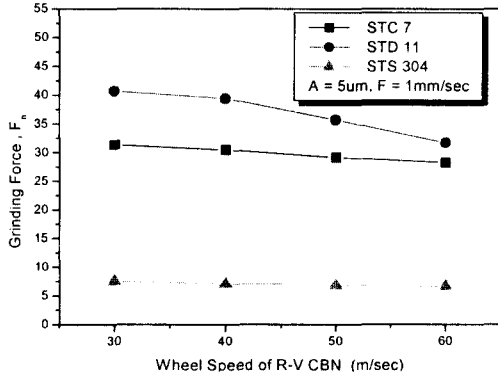


Fig.3 Relation between normal grinding force and wheel speed with resinoid-bond CBN

STD11(금형강)은 40 m/sec이후로 급격히 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 나머지 2종류의 공작물에서는 연삭저항의 감소 폭이 다소 작음을 알 수 있다. 휠속도 60 m/sec 일 때, STD11은 31.762 N, STC7은 28.312 N, STS304는 6.675 N이다.

STS304이 가장 작은 법선저항력을 나타내고 있다.

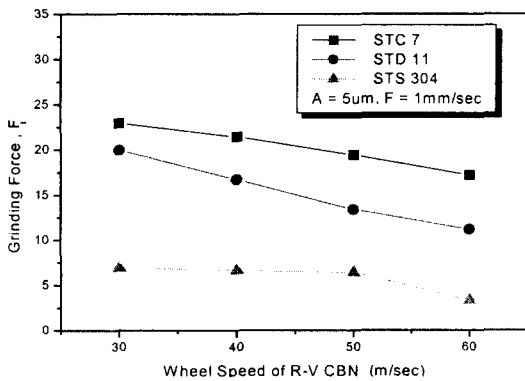


Fig.4 Relation between tangential grinding force and wheel speed with resinoid-bond CBN

Fig.4는 연삭속도에 대한 접선연삭저항을 보여주고 있다. Fig.4의 접선연삭저항을 보면 Fig.3의 법선연삭저항과 비슷한 경향을 보인다. 공작물 회전속도를 20 m/min으로 고정된 본 실험에서 법선연삭

저항과 접선연삭저항을 살펴보면 다음과 같다.

레이노이드 휠속도 60 m/sec에서 각각의 연삭저항을 살펴보면, 법선연삭저항에서는 STD11, STC7, STS304의 순으로 되지만, 접선연삭저항에서는 STC 7, STD11, STS304의 순이다.

이러한 차이를 보이는 것은 각 공작물 재료의 물성치와 화학적 성분의 차이로 사료된다. 여기에서 휠속도 60 m/sec 일 때, STC7은 17.130 N, STD11은 11.162 N, STS304는 3.305 N이다.

Fig.5 ~ Fig.6은 연삭깊이와 연삭저항과의 관계를 나타내고 있다. 연삭깊이가 증가함에 따라 연삭저항은 증가함을 알 수가 있다. 그 이유는 연삭깊이가 증가하게 되면 연삭 칩 길이가 길어지기 때문에 연삭저항이 증가되는 것으로 사료된다.

Fig.5에서는 휠속도를 60 m/sec, 공작물 이송속도를 1.0 mm/sec로 하였을 때의 법선연삭저항 그래프이다.

Fig.5에서 3가지 공작물은 연삭깊이가 증가할수록 연삭저항이 완만히 증가함을 볼 수 있다. 여기에서 연삭깊이가 5 µm일 때, 연삭저항 STD11은 31.762 N, STC7 28.312 N, STS304는 6.675 N이다.

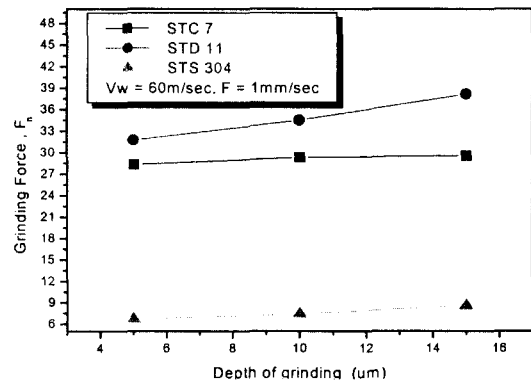


Fig.5 Relation between normal grinding force and depth of grinding with resinoid-bond CBN

Fig.6은 휠속도를 30 m/sec, 연삭깊이를 10 µm로 하였을 때의 법선연삭저항 그래프이다. 테이블 이송속도가 증가할수록 법선연삭저항이 급격히 증가함을 보이다가 이송속도가 2.0 mm/sec 이후로는 연삭저항의 증가율이 감소하거나 2.0 mm/sec보다 연삭저항이 떨어지는 경향을 보인다. 이것은 레이노이드 휠의 강성으로 인하여 연삭저항이 감소하는 것으로 사료된다. 여기에서 연삭깊이가 10 µm이고 이송속도가 2.0 mm/sec일 때, 연삭저항 STD11은 50.530 N, STC7 44.218 N, STS304는 11.433 N이다.

### 3. 2 CBN휠의 표면 거칠기에 대한 고찰

Fig.7 ~ Fig.9는 휠속도, 연삭깊이, 테이블 이송속도에 대한 표면 거칠기의 관계를 레지노이드 CBN 휠에 대하여 보여주고 있다.

Fig. 7은 이송속도 1 mm/sec와 연삭깊이 5  $\mu\text{m}$ 에서의 휠속도와 표면 거칠기의 관계를 나타내고 있다.

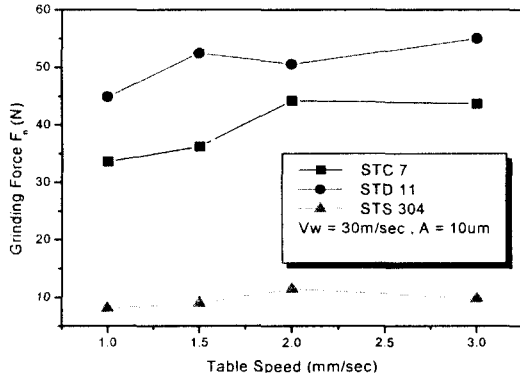


Fig.6 Relation between normal grinding force and feed of table with resinoid-bond CBN

데, 휠속도가 증가되면 표면 거칠기는 양호해지는 것을 알 수 있다. STC7은 50 m/sec까지 불량해지다가 양호해진다. STS304는 휠속도가 증가할수록 표면 거칠기의 변화가 완만하다. 여기에서 휠속도가 60 m/sec일 때, 표면 거칠기 STC7은 1.060  $\mu\text{m}$ , STD11은 1.236  $\mu\text{m}$ , STS304는 0.712  $\mu\text{m}$ 이다.

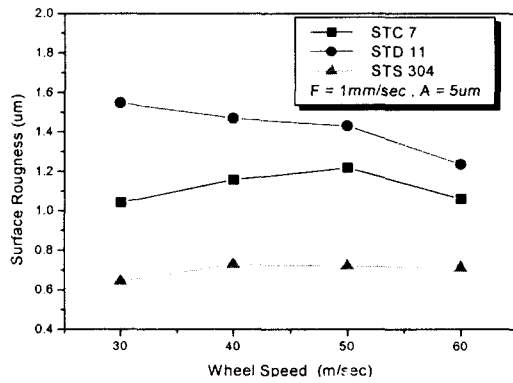


Fig.7 Relation between surf roughness and wheel speed resinoid-bond CBN

Fig.8은 휠속도 60 m/sec와 연삭깊이 5  $\mu\text{m}$ 에서의 공작물 이송속도와 표면 거칠기의 관계를 나타내고 있다. 테이블 이송속도가 증가함에 따라 표면 거칠기는 전반적으로 나빠지나 STS304는 향상됨을 볼 수 있다. 휠속도 60 m/sec, 연삭깊이 5  $\mu\text{m}$ , 이송속

도 2 mm/sec에서의 표면 거칠기를 보면 STD11은 0.849  $\mu\text{m}$ , STC7은 1.024  $\mu\text{m}$ , STS304는 0.634  $\mu\text{m}$ 이다. 테이블 이송속도가 2 mm/sec일때가 가장 좋은 표면거칠기가 나왔다. STS304에서 표면거칠기가 양호하고, 연삭저항이 작은 것은 표면에 형성되는 산화크롬( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )의 피막이 윤활제의 역할을 하는 것으로 사료된다.

Fig.9는 휠속도 60 m/sec와 이송속도 2 mm/sec에서의 연삭깊이와 표면 거칠기의 관계를 나타내고 있다. 연삭깊이가 증가할수록 표면 거칠기가 나빠지는 경향이 있다. 연삭깊이나 테이블 이송속도가

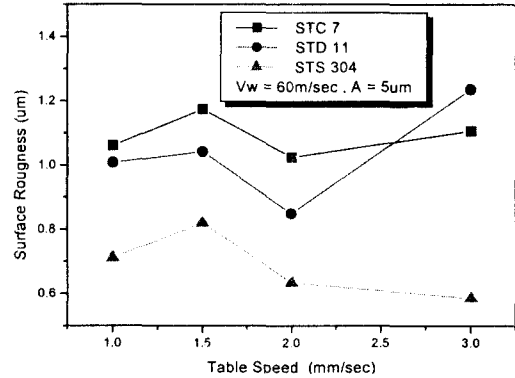


Fig.8 Relation between surface roughness and feed of table resinoid-bond CBN

증가할수록 거칠기는 계속적으로 상승하는 경향을 보이고 있는데, 이것은 평균 단면적이 커짐으로 인해 슷들의 마멸량이 커져서 입자가 슷들의 공작물 사이에 개재하여 다듬질면을 불량하게 하는 것이다. 표면 거칠기에 대한 영향은 연삭깊이 보다 테이블 이송속도의 변화에 의해서 더 많은 영향을 받는다는 것을 알 수가 있다.

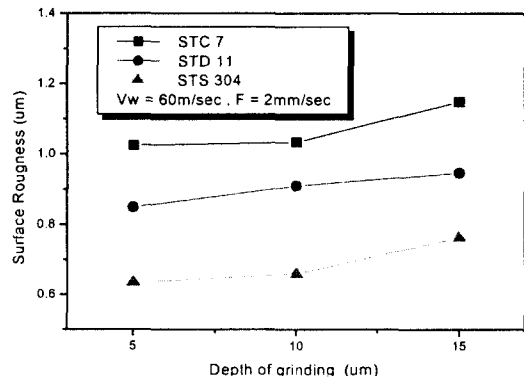


Fig. 9 Relation between surface roughness and depth of cut resinoid-bond CBN

#### 4. 결 론

본 연구는 레지노이드 본드 CBN 휠의 연삭 가공 특성을 알기 위하여 STS304(스테인리스강), STC7(탄소공구강), STD11(금형강)을 건식 횡방향 왕복원통연삭을 하였다. 휠속도, 공작물속도, 연삭깊이, 테이블이송속도를 주요변수로 하여 각각의 연삭조건에 따른 연삭저항, 표면 거칠기를 측정, 비교하여 공작물에 미치는 영향을 고찰하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 각 공작물에 대하여 공통적으로 가장 빠른 휠속도 60 m/sec, 가장 작은 연삭깊이 5  $\mu$ m, 가장 느린 테이블 이송속도 1 mm/sec에서 연삭저항이 가장 작았다.
- 2) 각 공작물에 대한 표면 거칠기는 휠속도가 빠를수록, 이송속도가 느릴수록, 연삭깊이가 낮을수록 양호하여지나, 재료 별로는 STD11, STC7, STS 304 순의 양호한 표면거칠기를 나타내었다.
- 3) STS304는 STD11, STC7보다 연삭저항이 3분의 1 정도로 낮게 나왔으며, 표면 거칠기 또한 우수하게 나왔다. 이것은 재료의 화학적 특성의 영향으로 사료된다.
- 4) STS304 연삭시 Burning 현상이 다른 공작물보다 자주 발생하여서 드레싱작업이 많이 필요하였는데, 그 이유는 연성, 가공경화 현상이 크고 열전달율이 낮기 때문으로 사료된다.
- 5) 탄소 함유량, 경도와 인장강도가 큰 금형강의 경우 연삭력과 표면거칠기가 높게 나타냄을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. 원종호 "CBN 휠의 고속연삭에서의 가공특성에 관한 연구", 고려대학교 박사 학위논문, pp.1, 53-93, 1990.
2. 신한 다이아몬드공업(주), "고정도화 다이아몬드 공구기술", 기계기술, pp160-161, 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. 臼井英治, "切削·研削加功學 下", 共立出版株式会社, pp. 105-117, 1971.
5. Shih A. J., Grant M. B., Younshonis T.M., "Vitreous bond CBN High Speed and High Material Removal Rate Grinding of Ceramic", Precision Engineering, pp. 622-625, 1998.
6. 손명환 "절삭가공론", 문운당 pp. 299~458, 1996.
7. M.J. Jackson, C.J. Davis, M.P Hitchiner, B.mills "High-speed grinding with CBN grinding wheels - applications and future technology" Journal of Materials Processing Technology 110, pp. 78~88, 2001.
8. 이종찬.유인석 "초연마재를 이용한 연삭·절삭가공" 문운당 pp. 21~115, 2000.