

CBN 휠의 연삭특성에 관한 비교연구

안병민*(충남대 대학원), 원종호(충남대 공대), 김건희(기초과학연구소)

A study Grinding Characteristic of CBN Wheel

B. M. An(Mecha. Eng. Dept. CNU), J. H. Won(Mecha. Eng. Dept. CNU), K. H. Kim(KBSI)

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 Vitriified-bond CBN wheel and Resinoid-bond CBN wheel. For various condition of grinding speed, workpiece speed, grinding depth and feed speed of table, the grinding resistance, the surface roughness, and material removal are measured and discussed.

Keyword : CBN(Cubic Boron Nitride; 입방정질 화붕소), Vitriified-bond(비트리파이드 본드), Resinoid-bond(레지노이드 본드), Wheel speed(연삭 속도), Grinding force(연삭저항), Material removal rate(금속제거율)

1. 서론

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

이전에는 연삭가공이 마무리 공정으로만 알려져 왔으나 최근에는 새로운 연삭숫돌의 개발로 인하여 금속가공에 있어서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 이러한 연삭가공의 발전은 다이아몬드나 입방정질화붕소(Cubic Boron Nitride; CBN)와 같은 초연마제의 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.²⁾

연삭작업에서 요구되는 가공능률과 가공정밀도를 얻기 위해서는 적절한 결합도를 가진 연삭숫돌을 결합하는 것이 중요하다. 베이클라이트 본드라고도 불리는 레지노이드 본드(Resinoid-bond)는 결합력이 강하고 탄성이 크기 때문에 파손에 대한 안정도가 높으며, 연삭열에 대해서도 비교적 안정적이므로 고속연삭이나 마무리 작업에 사용된다. 세라믹 본드라고도 불리는 비트리파이드 본드(Vitriified-bond)는 다공성 조직으로서 자생작용이 좋아 금속제거율을 향상시킬 수 있다.^{1,3)}

본 연구에서는 가장 늦게 개발되어 계속적으로 사용이 증가되고 있는 비트리파이드 본드 휠과 휠 코어 부분이 base metal로 되어 안정하고 고속가공에 유리한 레지노이드 본드 휠을 이용하여 탄소강(SM20C), 금형강(STD11)을 연삭가공하는데 있어서 어떠한 영향을 주는지에 대하여 연구하였다.

연삭속도가 가공에 많은 영향을 준다는데 초점을 두고 연삭깊이, 테이블 이송속도를 주요 변수로 하였으며, 연삭저항, 표면거칠기, 금속제거량을 통하여 공작물에 어떠한 영향을 미치는지를 조사하므로써 금형강(STD11), 탄소강(SM20C)에 대한 최적연삭조건을 찾는 데 목적으로 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 횡방향 원통연삭기를 사용하여

원통연삭을 수행하였으며, 연삭휠은 비트리파이드 본드 CBN(BI26 VSS R V180)과 레지노이드 본드 CBN(BI26 KSS R A V180)휠 2 종류를 사용하였고, 1회 왕복가공에서 접선연삭저항과 법선연삭저항을 동시에 측정할 수 있도록 고안하였다. Fig 1 은 연삭측정장치의 구성도를 보여준다. 연삭속도는 휠 헤드가 연삭기 자체에 고정되어 있으므로 전원 중간에 인버터(LGIS, SV-IG)를 설치하여 제어하였다. 각 공작물의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1 과 같다.

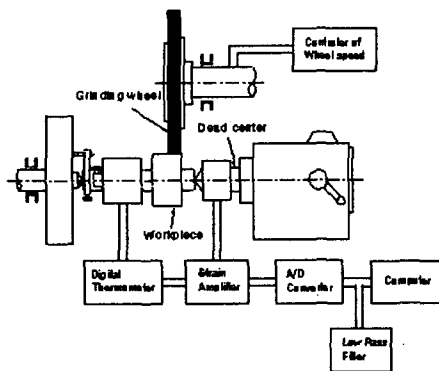


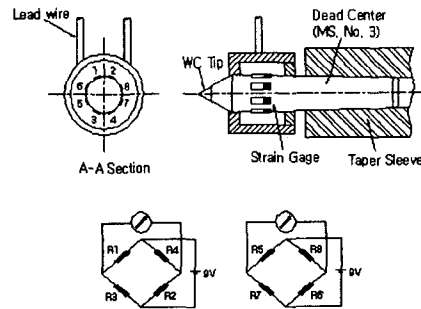
Fig. 1 Block diagram of grinding measuring device

Table 1 Chemical composition and Mechanical property of specimens

Chemical composition					
Metals	C	Si	Mn	P	S
SM20C	0.19	0.15	0.47	0.03	0.031
STD11	1.47	0.29	0.38	0.02	0.020
Mechanical property					
Metals	H _v (Kg/mm ²)	T.S(Kg/mm ²)	E(%)		
SM20C	198	37	26		
STD11	242	72	32		

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-360)를 2개의 풀 브릿지(Full bridge)로 부착하였다.⁴⁾

Fig. 2 Grinding force measuring devices



표면거칠기는 가공중에 측정이 곤란하므로 연삭이 끝난 후에 공작물을 떼어내어 표면 조도기(Mitutoyo surfst-211, cutoff length:0.8 μ m)로 측정하였고, 값은 중심선 평균거칠기(Ra, μ m)값으로 하였다.

2.2 실험방법

연삭은 상향연삭(up-grinding)을 하였으며, 최초 기준면은 연삭깊이 5 μ m로 1회 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 매회 드레싱(dressing)이 필요 없으나, 눈매움/loading)현상이 나타날 때는 연삭숫돌스틱(WA stick, 13 \times 24 \times 100mm)으로 회전하는 연삭휠에 가볍게 누르면서 접촉시켜 드레싱하였다.

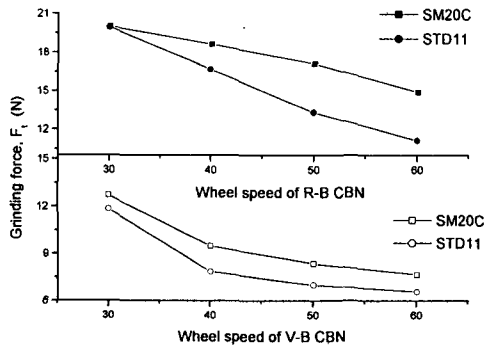
Table 2 는 실험조건과 CBN 휠 규격에 대하여 나타내고 있다.

Table 2 Experimental condition

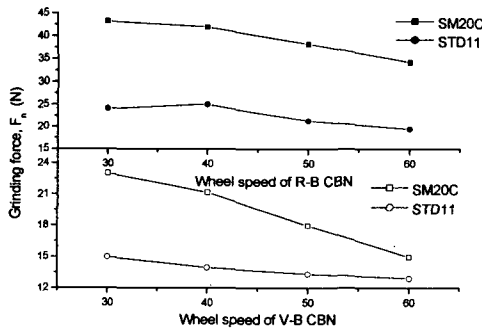
Type of grinding	Cylindrical traverse cut, Dry grinding
Wheel	V-B CBN(BI26 VSS R V180, 400 \times 20 \times 127) R-B CBN(BI26 KSS R A V180, 400 \times 20 \times 127)
Wheel speed	30, 40, 50, 60(m/sec)
Workpiece	20(m/min)
Table speed	1.0, 1.5, 2.0, 3.0(mm/sec)
Depth of cut	5, 10, 15(μ m)
Diameter of workpiece	51 ~ 53(mm)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 두 CBN 휠의 연삭저항에 대한 영향



(a) Tangential grinding force, F_t (N)



(b) Normal grinding force, F_n (N)

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

Fig. 3은 연삭속도와 연삭저항의 관계로서 레지노이드 본드와 비트리파이드 본드 휠에 대하여 나타내고 있다. 두 휠 모두 연삭속도가 증가함에 따라 연삭저항은 감소함을 알 수 있다. 이것은 연삭속도가 증가할수록 휠 입자 한 개당 연삭깊이가 작아지기 때문에 연삭저항이 감소된다고 할 수 있다.

(a)는 연삭속도에 따른 법선연삭저항을 나타내고 있으며, (b)는 연삭속도에 따른 접선연삭저항을 나타내고 있다.

연삭속도가 30m/sec 일 때 법선연삭저항에 있어서의 탄소강(SM20C)은 레지노이드 본드 CBN 휠과 비트리파이드 본드 CBN 휠에서 24.1N, 19.4N 이고, 금형강(STD11)은 각각 40.7N, 20.0N 이다. 또한 같은 조건에서 접선연삭저항에 있어서의 탄소강(SM20C)은 레지노이드 본드 CBN 휠과 비트리파이드 CBN 휠에서 19.6N, 12.7N 이고, 금형강(STD11)은 각각 20.0, 11.8N이다. 이와 같이 레지노이드 본드 휠이 비트리파이드 본드 휠보다 연삭 저항이 큰 이유는 레지노이드 본드가 비트리파이드 본드보다 입자 한 개당 연삭깊이가 더 깊고 마찰계수가 더 크고, 또한 가장 확실한 이유는 결합체의 차이로 인하여 발생된 것이라 할 수 있겠다.

3.2 두 CBN 휠의 표면거칠기에 대한 영향

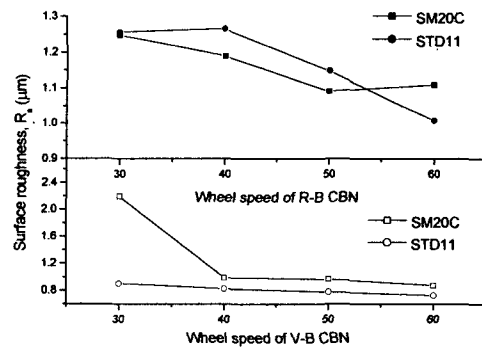


Fig. 4 Relation between surface roughness wheel speed with resinoid-bond and vitrified-bond CBN ($A:5\mu\text{m}$, $F:1\text{mm}/\text{sec}$)

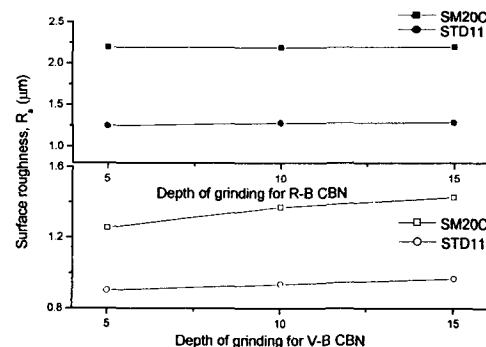


Fig. 5 Relation between surface roughness depth of cut with resinoid-bond and vitrified-bond CBN ($V:30\text{m}/\text{sec}$, $F:1\text{mm}/\text{sec}$)

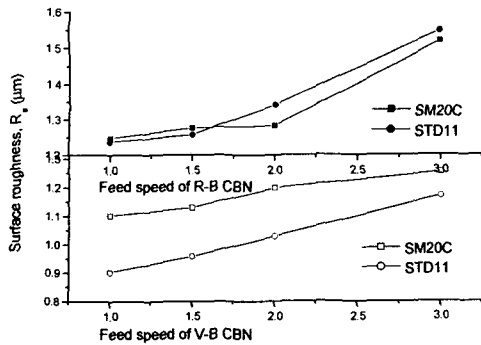


Fig. 6 Relation between surface roughness feed with resinoid-bond and vitrified-bond CBN (A:5μm, V:30m/sec)

Fig. 4 ~ Fig. 6은 연삭속도, 이송속도 그리고 연삭깊이와 표면거칠기와의 관계를 비트리파이드 본드와 레지노이드 본드 휠에 대하여 나타내고 있다.

Fig 4는 연삭속도에 따른 표면거칠기의 관계이다. 연삭속도가 증가되면 표면거칠기는 양호해진다. 비트리파이드 본드 휠은 계속적으로 연삭속도가 증가함에 따라 표면거칠기가 양호해지고 있으며, 레지노이드 본드 휠은 연삭속도 50m/sec에서 SM20C가 다소 증가되는 경향을 나타내고 있는데, 이것은 고속에서 휠의 자생효과가 둔화되는 현상이라 사료된다. 연삭속도 60m/sec에서 비트리파이드 본드 휠에서는 SM20C가 1.11μm, STD11이 1.008μm이고, 레지노이드 본드 휠에서는 SM20C가 0.874μm, STD11이 0.730μm을 나타내었다. 이 수치적인 값에서 알 수 있듯이 비트리파이드 본드 휠이 레지노이드 본드 휠보다 더 양호한 표면거칠기를 갖는다. 이것은 비트리파이드 본드 휠이 레지노이드 본드 휠보다 칩배출이 더 용이하다는 것을 알 수 있다. 두 휠의 표면거칠기의 변화는 비트리파이드 본드 휠이 레지노이드 본드 휠보다 변화폭이 좁다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5 ~ Fig. 6은 연삭깊이와 테이블 이송속도에서 표면거칠기에 대하여 보여주고 있다. 연삭깊이나 테이블 이송속도가 증가할수록 거칠기는 계속적으로 상승하고 있다. 이것은 평균 칩 단면적이 커지고 이로 인하여 슯돌의 마멸량이 커져서 입자가 슯돌과 공작물사이에 개재하여 다

듬질면을 불량하게 하는 것이다. Fig. 5에서 연삭 깊이가 15μm 일 때 탄소강(SM20C)은 레지노이드 본드 CBN 휠과 비트리파이드 본드 CBN 휠에서 2.198μm, 1.427μm이고, 금형강(STD11)은 각각 1.286μm, 0.966μm이다. 그리고 Fig. 6에서 테이블 이송속도가 3.0mm/sec 일 때 탄소강(SM20C)은 레지노이드 본드 CBN 휠과 비트리파이드 본드 CBN 휠에서 1.519μm, 1.253μm이고, 금형강(STD11)은 각각 1.519μm, 1.169μm이다. 이와 같이 표면거칠기에 대한 영향은 연삭깊이보다 테이블 이송속도의 변화에 의해서 더 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

3.3 두 재료의 경도에 대한 연삭저항 및 표면 거칠기의 비교

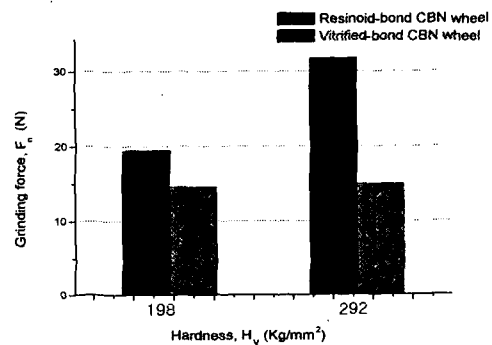


Fig. 7 Relation between normal grinding force hardness with resinoid-bond and vitrified-bond CBN

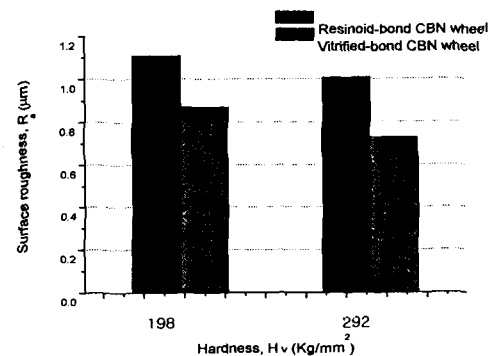


Fig. 8 Relation between surface roughness hardness with resinoid-bond and vitrified-bond CBN

Fig. 7 ~ Fig. 8은 휠 속도 60m/sec, 연삭깊이

5 μ m, 테이블 이송속도 1mm/sec로 하였을 때 각 공작물의 경도에 따른 연삭저항과 표면거칠기의 그래프이다. Fig. 7에서 레지노이드 본드 CBN 휠은 경도가 커질수록 연삭저항은 증가한다. 그러나 비트리파이드 본드 CBN 휠은 경도의 증가 여부에 상관없이 거의 일정한 연삭저항값을 갖는다.

Fig. 8은 레지노이드 본드, 비트리파이드 본드 CBN 휠 모두 경도가 증가할수록 표면 거칠기는 양호해지는 경향을 보인다. 다른 경도를 갖는 공작물에도 이러한 경향을 보일지는 추후의 실험을 통하여 밝힐 예정이다.

3.4 경도에 따른 연삭깊이와 테이블 이송속도에서의 금속제거율에 대한 비교

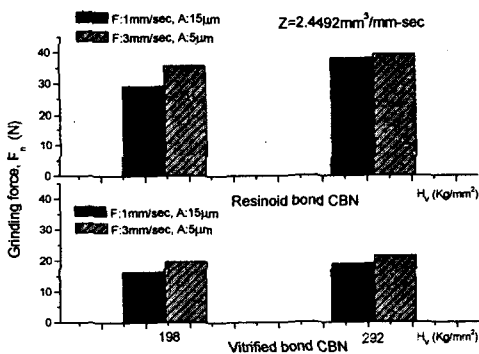


Fig. 10 Grinding force at the same removal rate

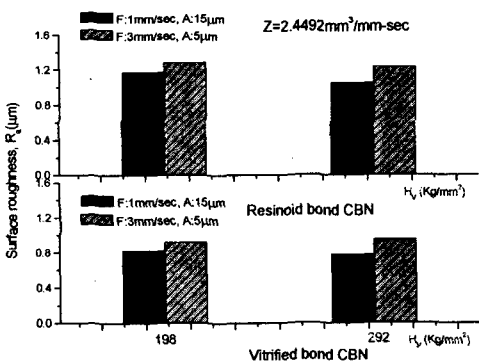


Fig. 11 Surface roughness at the same removal rate
Fig. 10과 11은 동일한 금속제거량에 대하여

연삭깊이와 테이블 이송속도가 경도에 따라 연삭저항과 표면거칠기에 미치는 영향에 대해 나타내고 있다. 원통연삭은 평면연삭과는 계산식이 다르며, 그에 대한 금속제거율식은 다음과 같다.

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

d : Diameter of workpiece

A : Depth of grinding

F : Feed of table

Fig 11에서 표면 거칠기는 비트리파이드 본드 CBN이 레지노이드 본드 CBN보다 표면거칠기가 더 양호하다는 것을 알 수 있다. 이것은 연삭저항과 비교하여 보면 연삭저항의 증가 즉, 비연삭 에너지의 증가는 표면거칠기 값을 양호하게 만든다. 다시 말하면 레지노이드 본드는 탄성변형이나 소성변형이 많은 반면에 비트리 파이드 본드 휠은 절삭현상이 많음을 알 수 있다.

따라서 동일한 금속제거율에 대하여 표면거칠기를 향상시키기 위해서는 연삭깊이를 깊게 하고, 테이블 이송속도를 작게 하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다. 다시 말하면 요구하고자하는 표면거칠기내에서 생산성을 높이기 위해서는 테이블 이송속도보다는 연삭깊이를 증가시키는 것이 유리하다는 것을 의미한다.

4. 결론

본 연구는 레지노이드 본드와 비트리파이드 본드 CBN 휠이 경도에 따른 연삭가공 특성을 알기 위하여 탄소강(SM20C), 금형강(STD11)을 건식 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 비트리파이드 본드 CBN, 레지노이드 본드 CBN 휠 모두 연삭속도가 빠를수록 감소한다. 또한 레지노이드 본드 CBN보다 비트리파이드 본드 CBN의 연삭저항이 훨씬 작았다.

2) 각 공작물에 대한 표면거칠기는 연삭속도가 증가할수록 양호해지는 경향을 보인다. 여기서 레이노이드 본드 휠은 연삭속도 50m/sec에서 다소 증가하는데, 이것은 휠의 자생효과가 둔화되는 현상이라 사료된다. 또한 두 CBN 휠 모두 테이블 이송속도가 증가할수록 표면거칠기는 불량해지나 연삭깊이가 증가에 따른 표면 거칠기는 큰 차이를 볼 수 없다.

3) 경도에 대한 연삭저항은 경도가 증가할수록 레이노이드 본드는 증가하는 반면에 비트리파이드 본드 휠은 큰 차이를 보이지 않는다. 또한 경도에 대한 표면거칠기는 두 휠 모두 경도가 증가할수록 감소한다.

4) 생산성 측면에서 동일한 금속제거율에 대하여 연삭깊이가 크고 테이블 이송속도가 작은 것이 유리하며 표면거칠기가 더 양호하다.

5) 탄소강(SM20C), 금형강(STD11)에 대하여 비트리파이드 본드 휠이 레이노이드 본드 휠보다 연삭저항, 표면거칠기, 재료제거율면에서 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), "고경도화 다이아몬드 공구기술", 기계기술. pp160-161, 1997.
3. Jhon 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 학위논문, pp53-93, 1990.