

세라믹 재료의 고품위 연삭특성 Grinding Characteristics of Ceramics for High Integrity

양재용 * , 곽재섭 ** , 하만경 ** , 윤문철 **

* 부경대학교 대학원

** 부경대학교 기계공학부

Abstract

In this study an experimental investigation was conducted to find the grinding characteristics of ceramics, as compared to STD11 and SUS304 materials. The grinding force and the microscopic observation of the workpieces were obtained in surface grinding.

It has been found that the grinding force of ceramics is relatively low as compared to that of steels and that CBN wheel has an excellent performance.

Keywords : Ceramics, CBN wheel, Grinding force, Microscopic observation

1. 서 론

최근 산업분야에서는 고정밀 고속가공으로 인한 생산성 증대에 대한 연구를 계속적으로 진행하고 있다. 의료, 항공, 우주 관련 등의 각종 산업분야에서는 높은 정밀도와 함께 생산성을 증대시키는 가공공정을 요구하고 있고, 연삭기술 또한 그의 한 분야로서 중요한 위치를 차지하고 있다. 그에 따라 고정밀 연삭을 위해 연삭조건과 상태에 따른 생산성 증대와 고품위 연삭공정의 연구가 필요하게 되었다⁽¹⁾.

세라믹은 산업사회의 여러분야에 광범위하게 적용되고 있다. 세라믹 공작물중 Al_2O_3 는 대표적인 세라믹재료로서 분자량이 101.96이고, 비중이 3.965이며, 용융점이 $2,072^\circ C$ 로서 백색의 분말인 유방정구조이다. 높은 내열성과 내화학성, 내식성, 고강도로서 그의 우수한 특성 때문에 내마모재, 열교환기 부품, 내화물, 섬유, 절삭공구, 연마재, 수지의 필러 등에 적용되고 있다

(2). 또한 전세계적으로 연간 4,500만톤 정도가 생산되고 있으며, 생산된 알루미늄의 90%정도가 Al급속을 만드는데 사용되고 있어서 세라믹의 가공에 대한 연구가 증가하고 있다.

본 논문에서는 세라믹재료를 평면 연삭하였다. 정밀도를 향상 시키기 위한 방법으로 미소 이송속도를 주어 각 절삭력의 변화를 측정하였다.

장치의 구성은 평면 플런지 연삭으로 오실로스코프와 공구동력계(Tool dynamometer)를 이용해 세라믹과 범용강인 STD11, 그리고 스테인레스강인 SUS304의 절삭력을 측정하였다.

2. 연삭력 이론

연삭가공에서 연삭력은 수직력(Normal force)이 지배적인 영향을 미친다. 수직력은 식 (1)와 같이 공작물을 절삭하는데 필요한 힘과 미끄럼(Sliding)을 일으키는 힘의 합으로 나타낼 수 있다⁽³⁾⁽⁴⁾.

$$F_n = F_c + F_s \quad (1)$$

위 식을 평균접촉 응력(\bar{p})과 실접촉면적(A_a)의 항으로 나타내면 다음과 같다.

$$F_n = F_c + \bar{p}A_a \quad (2)$$

$$A_a = b(d \cdot t)^{1/2}A \quad (3)$$

여기서, b 와 d 는 숫들의 폭과 직경을 나타내고, t 와 A 는 절입깊이와 겉보기 접촉면적이다. 또한 비절삭에너지(u)를 이용하여 F_c 를 나타내면 다음과 같은 식이 완성된다.

$$F_n = \frac{k \cdot u \cdot v_w \cdot b \cdot t}{v_s} + \bar{p} \cdot b \cdot (d \cdot t)^{1/2} \cdot A \quad (4)$$

위 식에서 이론적인 연삭력의 수직성분은 공작물의 속도(v_w)가 빨라질수록 증가하고, 연삭 스톨의 속도(v_s)가 빨라질수록 연삭력은 감소함을 알 수 있다. 또 절입깊이와 절삭폭이 커질수록 연삭력은 증가하고, 평균접촉 응력의 영향을 받음을 알 수 있다.

3. 실험 및 고찰

3.1 장치 구성도

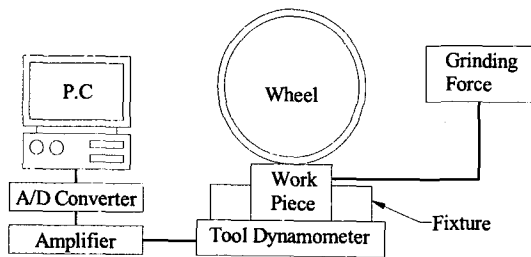


Fig. 1 Experimental set up

본 연구에서는 WA 스톨과 CBN 스톨을 이용해 난삭재인 세라믹과 금형강 STD11과 스테인레스강 SUS304를 테이블에 고정하여 평면연삭을 하였으며, 이송속도에 따른 연삭력을 평가하였다.

검출되는 연삭력 신호의 변화거동을 관찰하기 위하여 오실로스코프(Oscilloscope)로 시각화하였고, 12비트의 분해능을 갖는 A/D변환기를 사용하여 얻어진 데이터를 컴퓨터에 저장하여 연삭력을 나타내었다.

3.2 실험 조건

연삭력을 측정하기 위해 아래의 Table 1과 같은 조건으로 실험을 하였다.

연삭유체는 Shell사의 절삭유를 10:1의 비율로 희석하여 공작물의 냉각작용과 윤활작용을 도왔다. 또한 주축의 속도를 1,800rpm으로 일정하게 하여 가공을 했다.

가공방법은 하향연삭으로 절삭정도를 높일 수 있는 방법을 택했으며, 한 방향으로 일정하게 가공을 했다.

Table 1 Experimental condition

Items	Type
Grinder	Spindle speed : 1,800rpm surface grinder
Grinding condition	Plunge, wet, down grinding
Wheel	CBN200 WA100
Feedrate	0.02m/s, 0.03m/s 0.04m/s, 0.06m/s
Depth of cut	5 μ m, 10 μ m
Grinding fluid	Shell lubricant (10:1)

Table 2 Chemical composition

Items	C	Cr	Mo	V
Composition (%)	1.4	1.1	0.8	0.2

(a) STD11

Items	C	Si	Mn	P	S	N
Composition (%)	0.08	1.0	2.0	0.045	0.03	10.5

(b) SUS304

Table 2는 각 공작물들의 화학적 조성을 나타낸 것이다.

세라믹은 96%의 Al₂O₃가 함유되어 있으며, 다른 강들은 탄소, 크롬, 질소, 망간 등의 성분들이 함유되어 있다. 이와 같이 공작물의 성분분포가 달라, 공작물 각각의 연삭성질 및 특성에 차이가 발생한다.

3.3 결과 및 고찰

3.3.1 절삭력 측정

Fig. 2에서는 시간에 따른 절삭력 변화를 나타내었다. 공작물은 SUS304, 세라믹, STD11을 사용하였고, 스톨은 CBN과 WA를 사용하였다. 또한 가공된 공작물의 표면 사진을 나타내었다.

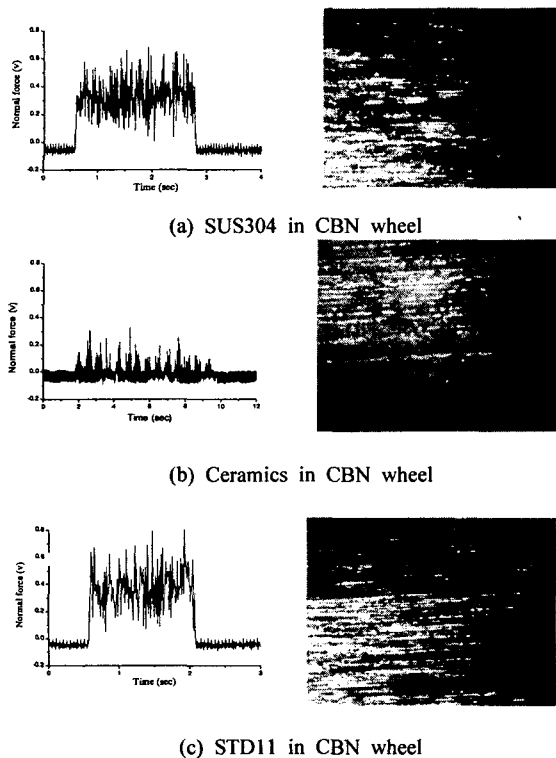


Fig. 2 Normal force variation according to the grinding time

Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 STD11, SUS304, 세라믹의 순으로 절삭력이 크게 나타났다.

연삭력은 공구동력계에서 A/D 변환기를 통해 검출된 절삭력을 샘플링하고, 이를 컴퓨터에 저장하여 나타낸 것이다. Fig. 2의 (a)는 CBN 슷돌로 SUS304 공작물의 절삭력을 측정 한 값과 배율 100배의 공작물 표면 사진을 나타낸 것이고, (b)는 세라믹과 그 표면사진을, (c)는 STD11의 절삭력 측정 값과 표면 사진을 나타낸 것이다.

3.3.2 WA 슷돌인 경우

Fig. 3에서는 WA 슷돌로 절입깊이 $5\mu\text{m}$ 로 연삭을 했을 때의 각 공작물의 절삭력을 이송속도 0.02m/s , 0.03m/s , 0.04m/s 에 따른 각 공작물의 연삭력을 나타낸 것이다.

일반적으로 절입깊이가 깊어질수록 절삭력은 증가하는 현상을 보여주어야 하지만 세라믹과 SUS304는 불안정한 값을 보여주고 있다. 이는 이송량이 증가하고, 절삭횟수가 많아짐에 따라 WA 슷돌의 불규칙한 자생작용에 의해 공작물에 대한 저항이 작아져 절삭력이 감소하는 것으로 사

료된다. 세라믹의 경우에는 이송량이 $0.01\sim 0.02\text{m/s}$ 의 구간에서 연삭력의 변화가 일어났고, SUS304의 경우에는 $0.02\sim 0.03\text{m/s}$ 의 구간에서 눈매움 현상으로 상대적으로 연삭력이 증가하였다. 이것은 SUS304의 공작물의 특성이 연성 (Ductile mode)이기 때문이다. 따라서 공작물의

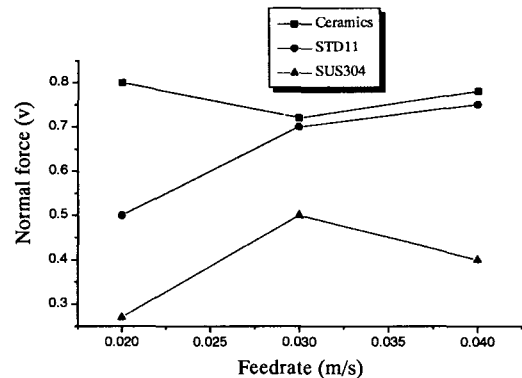


Fig. 3 Normal force versus feedrate in WA ($5\mu\text{m}$)

특성에 따라 연삭특성은 변화한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4에서는 절입깊이를 $10\mu\text{m}$ 로 했을 때의 절삭력을 나타낸 것이다. Fig. 3과 비교하여 볼 때 현저히 높은 연삭력의 값을 보여주고 있다. 그리고 SUS304의 경우에는 0.03m/s 의 절입일 때 아주 높은 수치의 절삭력이 나타나는데, 이것은

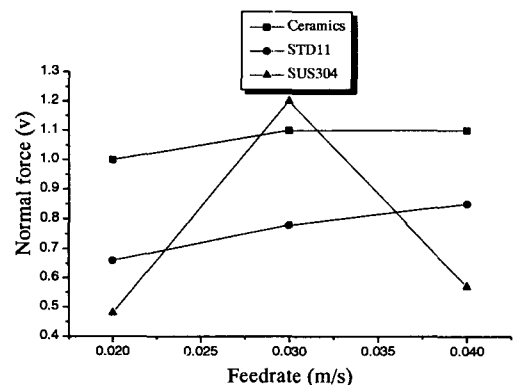


Fig. 4 Normal force versus feedrate in WA ($10\mu\text{m}$)

스틀의 눈매움 현상으로 인한 절삭저항의 증대 때문인 것으로 볼 수 있다. 그러나 세라믹과 STD11의 경우는 이송속도가 증가함에 따라 연삭력은 서서히 증가하는 것을 알 수 있다.

WA 슷돌로서 세라믹을 연삭할 때는 대체로 연삭력이 다른 공작물에 비해서 크다는 것을 알

수 있다. 이것은 세라믹과 같은 고경도, 취성의 난삭재는 WA와 같은 슷들로 가공하기가 어렵다는 것을 의미한다. 세라믹을 WA 슷들로 연삭하면 연삭입자의 연삭활동이 원활하지 못해 슷들의 눈매음현상을 일으키고, 그 결과 연삭력이 커진다.

3.3.2 CBN 슷들인 경우

CBN 슷들을 이용해서 연삭을 할 경우에는 절입깊이가 적을 때 ($5\mu\text{m}$) 슷들의 자생작용도 눈매음현상도 일어나지 않았다. 이것은 절입깊이가 크지않고, CBN 슷들의 연삭성능이 WA 슷들에 비해 뛰어나기 때문에 그래프는 완만한 선형을 이루며 증가함을 알 수 있다.

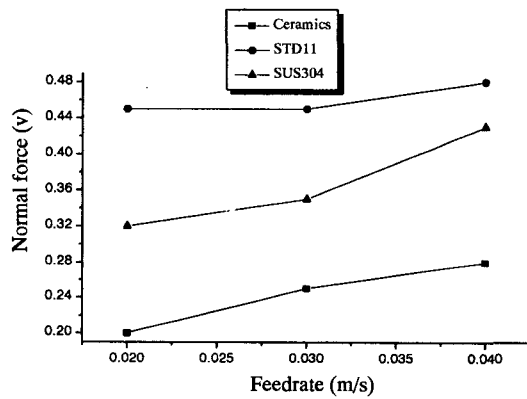


Fig. 5 Normal force versus feedrate in CBN ($5\mu\text{m}$)

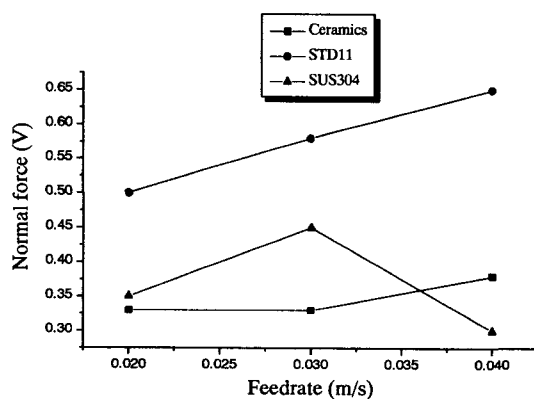


Fig. 6 Normal force versus feedrate in CBN ($10\mu\text{m}$)

4. 결론

본 논문은 경취성 재료인 세라믹과 SUS304, STD11의 공작물을 WA 슷들과 CBN 슷들로 가공하는데 있어서, 이송속도를 변화시켜 절삭력을 측정하고, 이송속도와 연삭력이 어떤 상관관계가 있는지에 대한 연구를 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) WA 슷들로 세라믹을 절입깊이 $5\mu\text{m}$ 로 가공할 때, 자생작용에 의해 $0.02\sim 0.03\text{m/s}$ 이송속도의 구간에서는 절삭력이 감소하였다. 또한, SUS304의 경우는 연질인 공작물 특성으로 인해 가공중 눈매음 현상이 크게 나타나 절삭력이 급격히 증가 하였다.
- (2) CBN 슷들의 경우는 $5\mu\text{m}$ 의 절입깊이때는 이송량의 증가에 따라 연삭력이 서서히 증가하는 일반적인 현상을 나타내었다. WA 슷들로 세라믹을 가공했을 때는 전체적으로 절삭력은 증가하였다. 그러나 CBN 슷들로 세라믹을 가공했을 때는 절삭력이 다른 공작물에 비해 감소하였다.
- (3) 이로서 세라믹의 가공은 WA 슷들보다는 CBN 슷들로 가공할 때 더 작은 절삭력으로 가공할 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 논문은 2000년도 부경대학교 BK21사업에 의하여 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Sangback Ha, "A Study on the Surface Integrity of Grinding of Ceramics," Journal of Applied Mechanics, pp.337~342, 2000.
2. Smith : Structure and Properties of Engineering Alloys, Second Edition, 1993.
3. S. Malkin : Grinding thchnology theory and applications of machining with abrasives.
4. Jae Seob Kwak, Man Kyung Ha, "연삭 동력신호를 이용한 결합진단에 관한 연구," 한국공작기계학회지, 제9권, 제4호, pp.108~116, 2000.