

화인세라믹스의 고능률적 평면 연삭가공을 위한 실험적 연구 (I)

(평면 연삭용 다이아몬드 연삭 공구의 트루잉, 드레싱을 주로한 연구)

강 재훈*, 이 재경**

Study on the Surface Grinding Machining of Fine-ceramics with high efficiency

Jae-Hoon, Kang*, Jae-Kyung, Lee**

ABSTRACT

Recently, Fine Ceramics have been concerned significantly with some excellent properties and many functions as new industrial materials to the industry at large. For the manufacture of Fine Ceramics, sintering is essential process. Thus the most of Fine Ceramics used for precision parts are in need of machining proces. It is, however, very difficult to manufacture the Advanced Ceramics with high efficiency because they have not only high strength and brittleness but also high hardness.

In present research, experiments are carried out to obtain the basic knowledge of Fine Ceramics grinding with high efficiency. Representative advanced ceramics, such as Al_2O_3 , ZrO_2 , SiC and Si_3N_4 are ground with diamond wheels using conventional surface grinding machine. This research is carried out for the purpose of saving machining technology required for manufacturing Fine Ceramics parts

1. 머릿말

최근 화인 세라믹스는 다양한 특성과 우수한 기능성을 갖는 신소재로써 미래지향적 고부가가치의 첨단 산업 전반에 걸친 부품의 대체 소재로서

많은 각광을 받고 있다. 제조법상 소결 공정을 거치게되는 화인 세라믹스는 그 수축을 피할 수 없는 바, 정밀 부품으로서 금속과 대체 혹은 체결하여 사용하기 위해서는 기계적인 제거가공의 후가공을 필수로 한다. 특히 고경도 엔지니어링

*가공기술연구실 연구원 (정회원)

**가공기술연구실 책임연구원 (총신회원)

세라믹스는 취성과 높은 강도뿐만 아니라 고경도로 인하여 대표적인 난삭재로 분류되어지며 고능률의 기계 가공에 많은 어려움이 따르는 것이 사실이다.

국내에서도 점차 전자 관련 산업 뿐만 아니라 산업 전반에 걸쳐 그 부품 소재로의 응용에 많은 기대를 하고 있으나, 아직 화인 세라믹스 가공에 대한 기초조차 정립되어 있지 않고 기술 집약적 소재로 인하여 선진국으로 부터의 기술 이전이 불가능하여 그 가공 기술의 개발에 대한 중요성이 더 한층 높아져 가고 있다.

본 연구에서는 화인 세라믹스의 기계 가공중 가장 널리 사용되고 있는 연삭 가공을 고능률로써 수행하기 위한 기초적인 지식을 얻고자 실험을 수행하였다. 대표적인 고경도 엔지니어링 세라믹스라 할 수 있는 알루미늄(Alumina), 지르코니아(Zirconia), 질화규소(Silicon Nitride), 탄화규소(Silicon carbide) 소재들을 대상으로 다이아몬드 연삭 공구를 사용한 평면 연삭 가공실험을 수행함으로써, 고능률적인 연삭 가공법을 확립하는데 전제되어야 하는 연삭 가공의 특성을 파악하였다.

2. 평면 연삭 가공

고경도 엔지니어링 세라믹스는 기계 부품, 자동차 부품 등에 널리 사용되어지는 것으로 기계구조용 세라믹스라고도 불리며, 화학 부품 등에도 활용된다. 가공시에 발생하게 되는 micro crack이 재료 강도에 큰 영향을 줄 수 있으며, chipping의 발생이 간혹 부품의 불량에 주요 원인이 될 수 있으므로 가공 조건이나 가공 분위기가 주요 관건이 된다.

따라서 본 연구에서는 각종 세라믹스를 다양한 연삭 조건으로 가공할 때의 피연삭성을 연삭저항, 가공물의 표면조도, 연삭력 등을 주요 관점으로 하여 비교, 검토하였다.

또한 다이아몬드 연삭 공구를 사용하는 연삭 가공에서는 특히 슷들의 작용면에 따라 가공물 표면의 형상이 그대로 재현되는 모성 가공이 되어지므로, truing 및 dressing 기술의 최적 조

건과 방법이 요구되어 각종 조건과 방법을 통한 실험으로써 truing, dressing을 실행한 뒤 가공물의 형상도를 측정하여 비교, 검토해 보았다.

2.1. 실험 장치

본 실험에 사용한 세라믹스 시편의 특성은 표 1과 같다. 국내에서는 구입이 불가능한 고경도 화인 세라믹스인 관계로 일본에 A, B 두 생산업체로부터 각각 구입하였다. 시편의 크기는 피연삭성 측정뿐 아니라 연삭 가공 시스템 자체의 진동 및 강성도 측정 가능하도록 $50 \times 100 \times 20$ mm로 정하였다. 비자성재료 인해 magnetic table에 그대로 고정하여 사용할 수 없으므로 접착제나 보조용 치구를 사용해야 하는데, 동력계와의 부착과 시편의 크기등의 문제점으로 연삭재의 보조용 치구를 설계·제작하여 사용하였다.

실험에 사용된 평면 연삭반은 서독 ELB사의 것으로 주축 동력은 4.25/5.18Kw이며 주축 회전수는 1680/3360rpm으로서 선택형이다. 테이블 구동만이 유압 구동식인 부분 유압 구동식 연삭반으로 연삭 슷들의 최소 절입량은 $2\mu\text{m/pass}$ 까지 가능하다. 연삭반 및 실험 시스템은 그림 1에 나타냈으며, 그 사양 및 성능은 표 2에 나타내어 보았다.

연삭 슷들은 국내 모 다이아몬드 연삭 공구 전문 생산업체에 주문·제작하였으며, resin bond의 1A1 type으로 다이아몬드 층의 두께는 3mm, 가공면의 폭은 10mm로 정하였다.

연삭 저항은 Piezoelectric type의 3-components dynamometer(Swiss Kistler Co., model:9257)를 사용하여 접선과 법선의 두 저항 성분을 측정하였다. 연삭 동력은 PC power-meter(일본 横河 北辰電機社製, 2503 type)를 사용하여 측정하였으며 이와 같은 세 가지 성분을 구하여 repicorder(일본 SAN-EI Co., A2101 type)에 기록하였다. 그림 2에 연삭 가공 In-process 측정 시스템의 diagram을 나타내어 보았다.

가공 실험후의 가공면에 대한 표면조도는 측정식 표면조도 측정기(영국 Taylor-Hobson Co., Surtronic-3 type, 서독 Mahr Co., PMK type)를

표 1) 시편의 기계적 특성

특 성	시편 재질		Al ₂ O ₃		ZrO ₂		SiC		Si ₃ N ₄	
	생	산	A	B	A	B	A	B	A	B
Vickers hardness (Gpa)			16	15	13		25	24	15	15
Young's modulus (Gpa)			344	350	206		392	398	294	293
Bending strength (Mpa)			304	295	930		490	479	588	589
Density (g/cm ³)			3.8	3.7	5.9		3.1	3.0	3.2	3.2
Poission's raio			0.25	0.26	0.31		0.16	0.17	0.28	0.28
기계구조용 부품으로의 적용 사례			<ul style="list-style-type: none"> · 자동차산업 ; Plug, port liner · 산업장비 ; Injection molding machine · High temperature fluid controller · 공구 ; Cutting tool 				<ul style="list-style-type: none"> · 자동차산업 ; Pistion, piston crown, cylinder liner combustor, super charger, valve lifter, cam · 산업장비 ; Die for wire elon gation, Al die casting machine, spinning fram, injection mol- ding machine · 가스터빈 ; Rotor blade, stator blade, shroud, heat exchanger, hose cone 		<ul style="list-style-type: none"> · 자동차산업 ; Valve lifter Thermal reactor, cam · 산업장비 ; Spinning frame Al die casting madhine · 가스터빈 ; Rotor blade, stator blade nose cone · Nuclear reactor Fution reactor 	

사용하여 측정하였으며, 형상도는 형상 측정기 (영국 Taylor-Hobson Co., Talysurf 4 type)를 사용하여 측정하였다.

또한 Stereoscopic Microscope와 카메라를 사용하여 가공면 상태를 확인해보았으며, 가공 흔

적의 비교를 위하여 SEM촬영도 시도해보았다.

2.2. 공구의 Truing 및 Dressing 실험

고가의 초지립 연삭 공구를 잘 조정함으로써

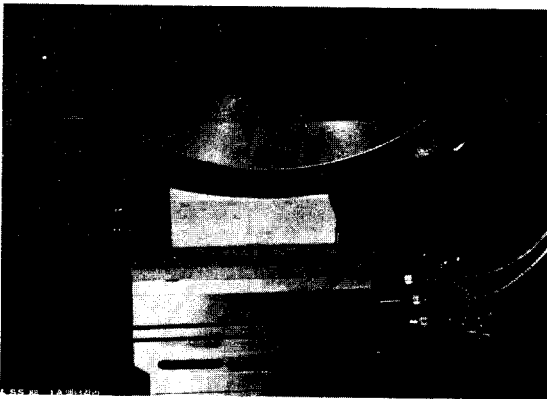


그림 1 연삭반 및 실험시스템

고정도, 고능률의 세라믹스 특유의 모성 가공을 실행하고 공구비나 가공비를 가능한 낮추기 위해서 다음과 같이 손쉽게 연삭반 위에서 할 수 있는 트루잉, 드레싱법을 선택하여 실험해 보았다. 그 실험 조건은 다음 표 3과 같다.

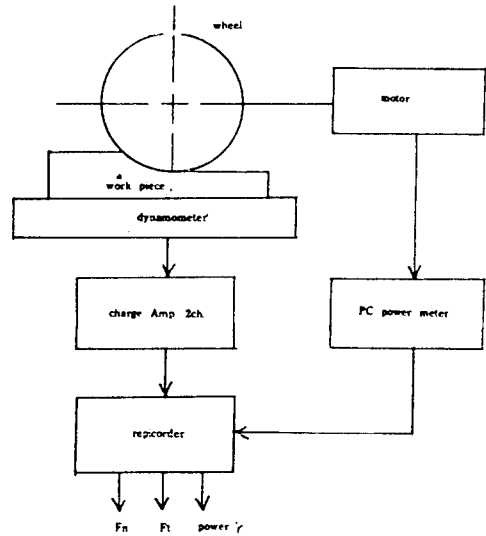


그림 2 실험 장치 개요

2.2.1. Truing 및 Dressing 종류

◦ 연강 연삭법 :

국내 산업 현장에서는 초지립 공구를 사용하는데 있어 범용 숫돌에 대한 기존의 감으로써

적용코자 지립의 돌출을 위해 연강이나 구리, 혹은 망간강 등을 연삭하는 법, “지립+연삭유”를 연강이나 구리판 위에 흘려 부우며 연삭숫돌에 가압하는 방법등을 사용하고 있는 실정이다.

표 2) 연삭반의 사양 및 성능

모 델 명		SWN 6
테이블의 마그네틱 고정부		900×300mm
최대작업범위		600×350×375mm
테이블 속도		2~28m/min
최대 cross traverse		320mm
cross feed	rapid trans. traverse	1.2m/min
	automatic cross feed	1~60mm/stroke
	1 graduation on handwheel	20μm
	1 revolution	3mm
vertical feed	vertical rapid traverse	0.15m/min
	automatic downfeed	2~60μm
	1 graduation on handwheel	2μm
	1 revolution	0.2mm
grinding wheel		60cycle 경우 1680/3360 rpm
grinding wheel dimensions (dia×width×bore)		300×50×76mm
motor		grinding spindle용 4.25/5.18kw

표 3) 트루잉 및 드레싱법과 조건

방법	鋼 연삭법	Imply dresser법	Brake truing법(1號 平型 C 砥石)	
			traverse style	plunge style
트루잉	<ul style="list-style-type: none"> · 연강 HB 122 · 100^h×50^w×20^tmm · V_i=10m/min · t=20μ/1st 	<ul style="list-style-type: none"> · 丸形(φ10. #80) resin bond diamond · imply dresser사용 · f=75μ/rev · t=5μ 	<ul style="list-style-type: none"> · C60k 7 VGW 砥石사용 · 75×25×12.7mm · f=75μ/rev · t=20μ 	<ul style="list-style-type: none"> · C 60k 7VGW 砥石사용 · 75×25×12.7mm · V_i=0.6mm/min
드레싱	<ul style="list-style-type: none"> ※트루잉 및 드레싱 동시효과 방법 	<ul style="list-style-type: none"> · WA 220) 6V Stick 砥石사용 · 21×20×200mm · 1000mm³/mm³ 제거 거친연삭 V=100mm/min t=1mm/1st 고운연삭 V=10m/min t=50μ/1st 		

* 연삭숫돌 주속도 Vg=1600m/min

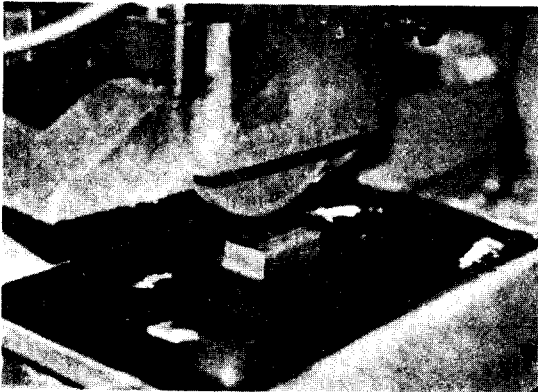


그림 3

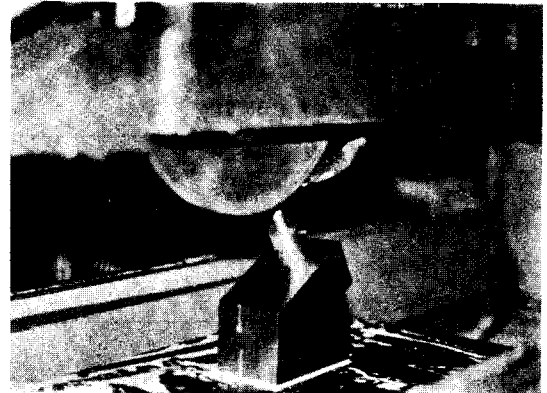


그림 4

연강 연삭법은 연강을 연삭함으로써 배출되어 지는 절분들이 연속적으로 발생, 작용하여 다이아몬드 연삭 숫돌의 결합체를 제거하게 된다. 이러한 과정을 이용하여 초기 진동을 조정할 수도 있게 된다. 실험을 통하여 진동 무늬가 현저히 감소함을 쉽게 확인할 수 있었다. 현재 이 방법은 트루잉 뿐만 아니라 드레싱 까지 쉽게 효과를 얻을 수 있는 것으로 가공 현장에서 보편화되어 사용되고 있다. Traverse, plunge 방식 모두 채택이

가능하다 (그림 3).

◦ Imply dresser 사용법 :

CBN 연삭 공구로의 적용을 위해 이미 많은 기술적 경험을 쌓은 공구 사용법이다. 트루잉하고자 하는 다이아몬드 연삭 공구의 지립보다 어느 정도 큰 다이아몬드 숫돌 입자를 metal bond에 섞어 성형한 Imply dresser를 사용하여 숫돌의 진동을 수정하는 방식이다. 절입은 미세하게 연

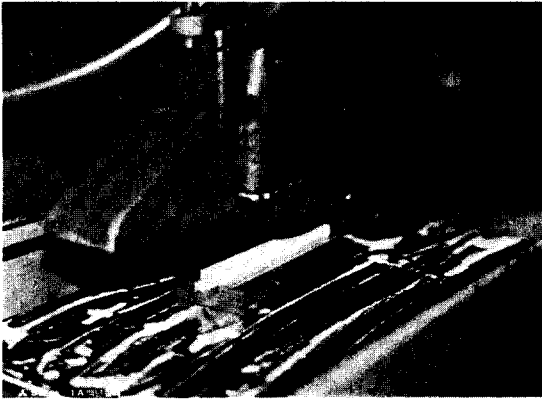


그림 5

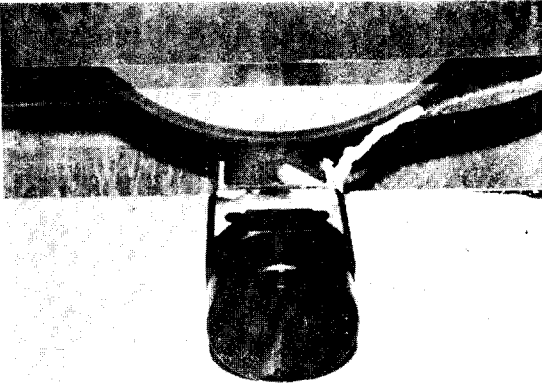


그림 6

속적으로 행하며 Spark-out 음압이 발생하는 시점에서 절입을 가하는 편이 좋다 이는처음 절입되어지는 슷돌 부위에서 흑시 발생할 수도 있는 다이아몬드 층의 탈락 등의 결함을 미연에 방지코자 하는 것인데 절입 속도도 느리며 기술적 경험 역시 풍부하므로 그다지 어려운 일은 못 되었다.

ImPLY dresser의 단면 표면적은 슷돌의 가공면 폭에 따라 결정하는데 폭 10mm의 연삭 공구이므로 $\Phi 10\text{mm}$ 의 원형 ImPLY dresser라면 충분하다고 볼 수 있다. 이 방법에선 특히 연삭유를 충분히 가해야 하며 분사 속도나 각도 역시 최적이 되도록 함이 좋다(그림 4).

◦Stick형 호우닝용 슷돌을 사용하는 법 :

CBN연삭 공구의 트루잉 및 드레싱에 주로 많이

사용되어지는 방법으로 이미 기술적 경험을 많이 쌓았다. WA나 GC의 Stick형 슷돌은 연삭함으로써 연삭 공구의 본드를 제거하여 슷돌의 미세한 진동 수정 및 드레싱 효과를 얻는 방법이다. 실상 트루잉의 효과는 거의 얻을 수 없는 드레싱 위주의 방법이다. 연삭 방식은 plunge 방식을 채택하고 연삭유의 분사 속도를 낮게하여 연삭유량을 적당하게 적게 조절하여 될 수 있는 한 연삭 가공에 의해 배출된 stick형 슷돌을 절분들이 오랜 동안 다이아몬드 연삭 공구의 가공면에 접촉하여 마찰할 수 있도록 하는 편이 좋다. 여기서는 WA 220H6V Stick형 슷돌을 사용하였으며 크기는 $21 \times 20 \times 200\text{mm}$ 의 것으로 보조용 치구를 제작하여 실행하였다. 절입량과 공작물 속도는 고온연삭과 거친 연삭으로 나누어 조절하여 되는데, 현장 경험과 실험적 기술 습득을 요한다(그림 5).

◦ Brake truiet를 사용하는 방법 :

C 연삭 슷돌을 장착한 연삭 공구에 트루잉용의 C 연삭 슷돌로 절입이 가해지는 효과를 얻도록 하는 방식이다. 다이아몬드 연삭 슷돌과 접촉하면서 Brake truiet의 C 연삭 슷돌이 회전되기 시작하는데 장치내에 있는 brake에 의해 일정한 회전수 이상이 되지 않도록 되어지기 때문에 절입이 가능해진다. 따라서 두 연삭 슷돌 간의 미끄럼 마찰로 인하여 다이아몬드 연삭 슷돌의 진동도 수정되어지며 C 슷돌의 절분들에 의해 드레싱의 효과도 얻게 된다. 즉, 트루잉과 드레싱양 효과를 얻을 수 있는 방법이다. Plunge 방식과 Traverse 방식 모두 채택이 가능하며 연삭유의 량은 적게 하는 편이 좋다. 여기에선 C60K7 VGW($75\text{D} \times 25\text{T} \times 12.7\text{d mm}$) 연삭 슷돌을 장착한 Brake truiet를 사용하였다(그림 6).

2.2.2. 실험 결과

◦ 다이아몬드 연삭 슷돌의 가공면 형상 :

먼저 슷돌 가공면의 초기 진동 수정 정도를 측정하여 트루잉 정도를 알아보기 위하여 연강판을 1.0 mm plunge 연삭하였다. 그 연삭면에 전사된 형상과 표면조도를 각각 비교하여 그림 7에 나타내 보았다.

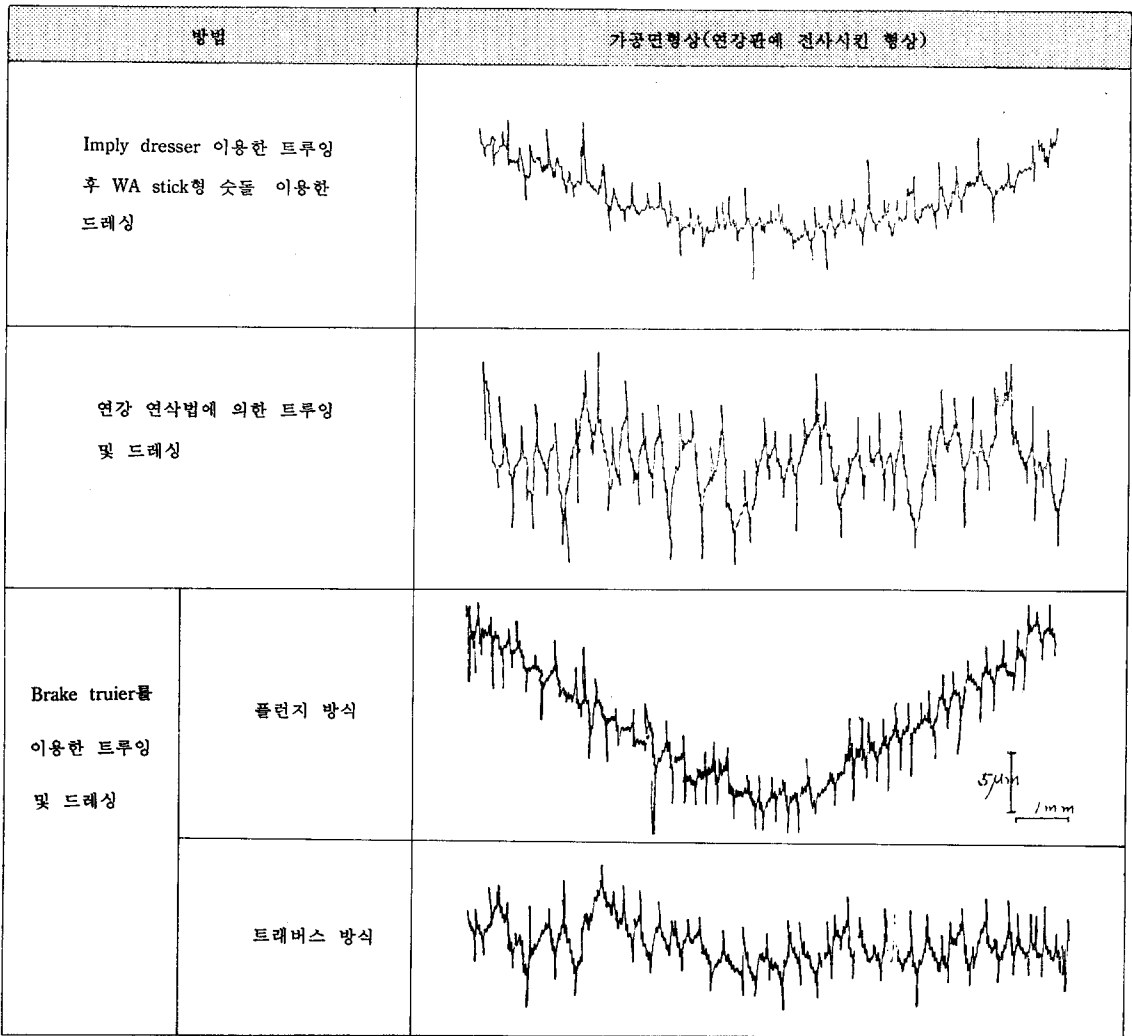


그림 7 다이아몬드 연삭스틀 가공면의 형상

표 4) 연삭 조건

연삭 슷돌의 주속도	1600m/min
공작물 속도(테이블 속도)	3~17 m/min
절입량	10μm
연삭 슷돌의 전진 이송량	0.4~3.0mm/pass
공작물	Si ₃ N ₄ (상압 소결)

Impley dresser법과 Brake truiet의 traverse법의 경우에는 연삭 슷돌 가공면의 중앙부가 불룩한 형상을 이루고 있다. 이는 impley dresser로 트루잉을 하게 되면 절입이 시작되어지는 연삭 슷돌

가공면의 모서리 부분에 있어 절입이 많아지게 되는 이유로 인한 것이라고 보여진다. 즉, 탄성률이 높은 레진 본드 다이아몬드 연삭 슷돌의 탄성 변형이 원인이 되는 것이다. Brake truiet의 traverse type은 C연삭 슷돌이 다이아몬드 연삭 슷돌 모서리 부위의 본드를 많이 없애버리기 때문인 것으로 생각된다.

연강 연삭법의 경우에는 요철의 기복이 심한 표면이 만들어졌음을 볼 수 있다. 이것은 연강을 연삭할 때에 배출되어지는 연강의 절분이 다이아몬드 연삭 슷돌의 결합체를 불규칙적으로 제

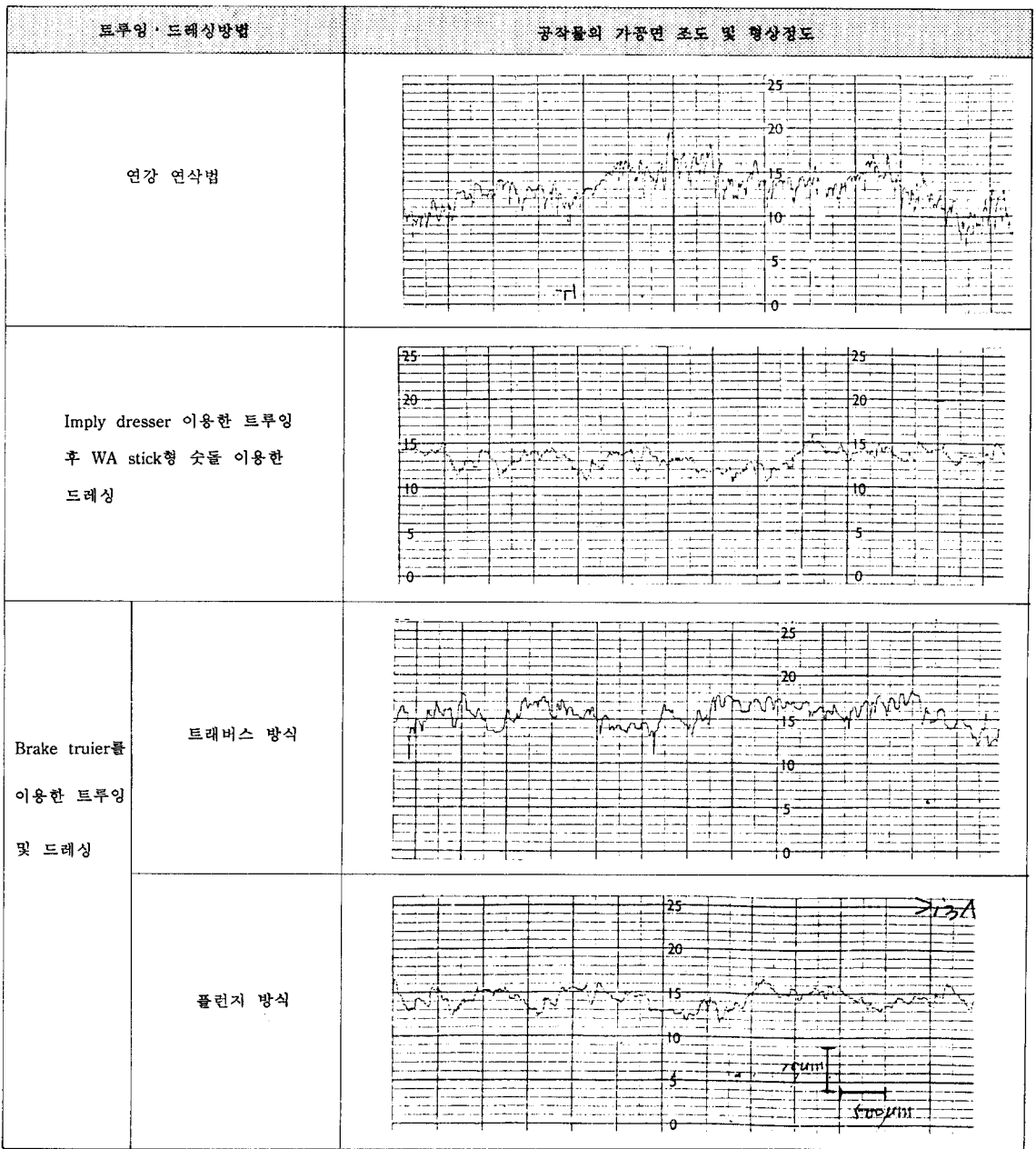


그림 8 각 트루잉 · 드레싱법에 의한 가공면 조도 · 형상 정도

거하기 때문이라고 생각된다.

Brake truiet의 plunge법의 경우에는 비교적 형상도는 양호하나 요철의 기복이 심한 것을 알 수 있다.

○ 연삭 성능의 평가 :

각 트루잉 및 드레싱 방법에 대한 연삭 성능을 평가하기 위하여 표 4의 연삭 조건으로 연삭 가공을 실행하여 가공면의 표면조도, 형상도, 연삭

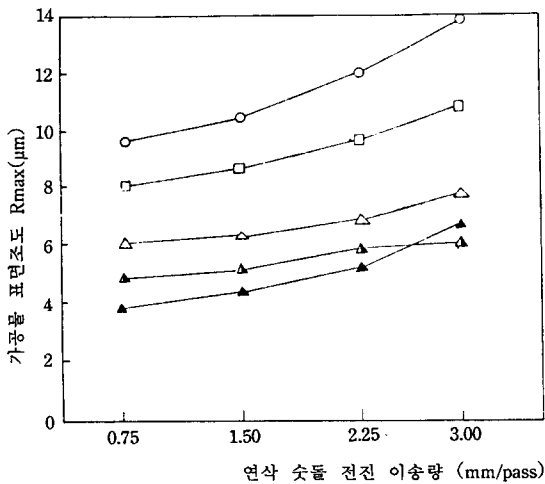
저항 등을 구하여 비교, 검토해 보았다.

① 가공면조도에 대한 영향

그림 8은 각 트루잉, 드레싱 실시후 연삭 슷들의 전진 이송량을 3mm/pass로 하는 트래버스 방식의 연삭을 한 공작물의 표면조도와 형성정도를 한 눈에 알아보기 쉽게 나타내본 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 슷들 가공면의 요철 정도가 가장 나쁜 연강 연삭법으로 실행한 경우의 공작물 표면조도 및 형상정도가 현저히 나쁘다.

또 슷들의 가공면 중앙부가 볼록한 형상을 띄고 있는 brake truiet의 트래버스법에 의하면 연삭 슷들의 전진 이송량이 비교적 큰 3mm/pass일 경우 공작물의 표면에 흠등의 결함이 생김도 알 수 있다.

이와 같이 피삭재의 표면조도는 다이아몬드 연삭스�들의 가공면의 형상도 및 요철정도에 크게



- 연강연삭법
 - imply dresser법 + WA stick형 슷들(1000mm³/mm제거)
 - △ C 연삭스�들(플런지 방식)
 - △ C 연삭스�들(트래버스 방식)
 - ▲ C 연삭스�들(트래버스 방식) + WA stick형 슷들(1000mm³/mm제거)
- SDC 170N 100B · Vw = 10m/min
 Vg = 1600m/min · t = 10μm

그림 9 각종 트루잉·드레싱방법에 있어서의 연삭스�들 전진 이송량 변화에 따른 표면조도의 변화

좌우됨을 확신할 수 있게 되었다.

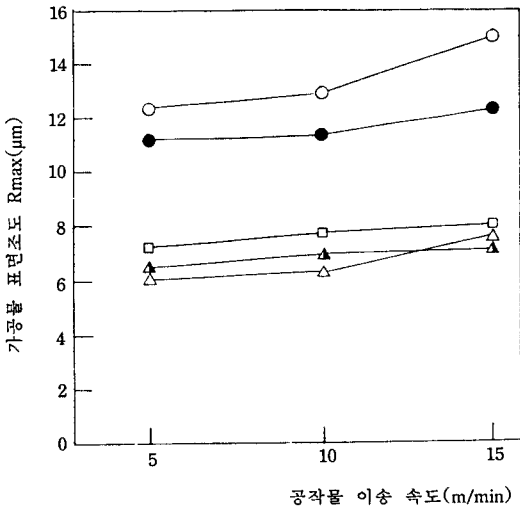
그림 9는 트래버스 방식의 연삭 가공을 할 때 연삭 슷들의 전진 이송량에 따라 가공물의 표면조도가 받는 영향을 나타내고 있다. 일반 연삭과 마찬가지로 다이아몬드 연삭 슷들을 사용한 호인 세라믹스의 연삭 가공에 있어서도 연삭 슷들의 전진 이송량이 클수록 가공면의 표면조도 역시 거칠어짐을 알 수 있다.

연강 연삭법의 경우는 다른 방법들 보다 표면조도가 현저히 나쁘며 C 연삭 슷들을 장착한 brake truiet법은 트래버스 방식의 경우가 플런지 방식보다 표면조도가 양호하였다. 또 C 연삭 슷들을 사용하는 방법은 트루잉, 드레싱 양 효과를 얻을 수 있으나, 같은 트래버스 방식의 경우 WA Stick형 슷들을 어느 정도 연삭했을 경우에 표면조도가 더 양호해진 결과로 미루어 이것은 트루잉 보다 드레싱이 불완전했던 다이아몬드 연삭 슷들의 가공면을 드레싱 까지 완전히 마칠 수 있는 과정이 되었기 때문인 것으로 생각된다.

그림 9는 트래버스 방식의 연삭 가공을 할 때, 연삭 슷들의 전진 이송량은 고정하되 공작물의 이송 속도를 변화시킬 경우에 공작물의 표면조도가 받게 되는 영향을 나타내고 있다. 역시 공작물의 이송 속도가 빨라질수록 공작물의 표면조도가 악화됨을 알 수 있다. 연강 연삭법의 경우는 다른 방법들보다 표면조도가 현저히 나쁘며 WA stick형 슷들을 어느 정도 연삭했을 경우는 약간 표면조도가 개선되나 그다지 큰 차이는 보이지 않는다. 이는 연강 연삭시 배출되는 절분액에 의하여 받게된 흠이 좀처럼 없어지지 않기 때문인 것으로 보여진다. C 연삭 슷들을 장착한 brake truiet법은 트래버스나 플런지 방식 모두 비슷한 값을 보이며 imply dresser를 사용하는 방법과도 큰 차이를 나타내지 않는다.

② 연삭 저항에 대한 영향

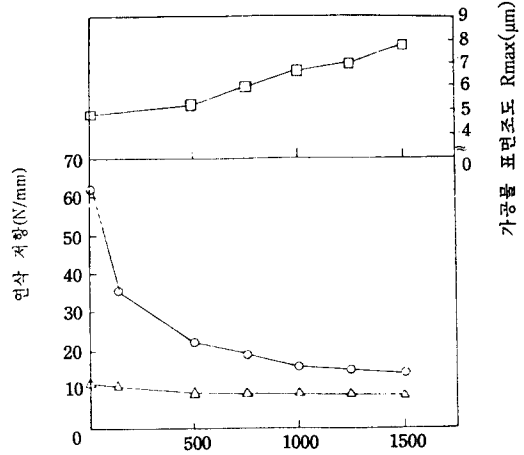
그림 10은 imply dresser를 사용하는 방법으로 초기 진동 수정 및 트루잉을 실시한 후, WA Stick형 슷들로 드레싱을 함에 있어 그 제거량에 따라 각각의 경우에 가공물이 받게 되는 연삭 저항과 표면조도의 변화를 나타내본 것이다. 이 방법을 사용할 시는 트루잉을 한후 최고의 절



- 연강연삭법
- 연강연삭법+WA stick형 슷돌(1000mm³/mm 제거)
- △ imply dresser법+WA stick형 슷돌(1000mm³/mm 제거)
- △ C 연삭스틀(불런지 방식)
- △ C 연삭스틀(트래버스 방식)
- SDC 170N 100B
- Vg=1600m/min
- fg=3mm/pass
- t=10μm

그림 10 각종 트루잉·드레싱방법에 있어서의 공작물 이송속도 변화에 따른 가공물 표면조도의 변화

미량을 얻기 위해 드레싱이 필요한 바, WA Stick형 슷돌을 사용하여 연삭 제거하는 방식이 가장 용이하므로 이 때 WA Stick을 어느 정도 제거했을 경우가 가장 절미량이 양호한가를 실험적으로 비교, 검토해 보아야 한다. 그래서 WA Stick형 슷돌의 연삭 제거량을 증가시켜가며 그 때 마다의 연삭 저항값을 구하여 비교의 기준이 되도록 하였다. 즉 연삭 저항이 낮은 경우에 절미량도 가장 양호한 상태가 된다는 것이다. 참고로 각 경우에 있어서의 표면조도도 구하여 함께 실어 보았다. 보통 다이아몬드 연삭 슷돌의 가공면이 평탄해질수록 연삭 저항값은 커지게 된다. 이 말은 곧 드레싱을 하기 바로 전에 트루잉을 마쳐 평탄해진 다이아몬드연삭 슷돌의 가공면으로 공작물을 연삭가공할 때에 가장 큰 연삭 저항값을



WA stick형 슷돌의 제거량(mm³/mm)

- SDC 170N 100B
- Vg=1600m/min
- Vw=10m/min
- t=10μm/1st

그림 11 WA stick의 제거량에 따른 연삭저항과 가공물 표면조도의 변화

같이 됨을 뜻한다.

그림으로 부터 알 수 있듯이 WA Stick형 슷돌의 제거량이 증가할수록 연삭 저항이 감소하지만 그 후 더 이상 WA Stick형 슷돌의 제거량을 증가시켜도 연삭 저항값은 거의 일정한 값을 유지하게 된다. 이 상태가 바로 그 연삭 슷돌이 가질수 있는 최고의 절미 성능을 갖고 있는 상태라 할 수 있다. 단 이 제거량 값이 다이아몬드 연삭스틀의 가공면 형상, 결합체의 종류 등에 따라 차이가 나는가 등의여부는 향후 더 연구해보아야할 관건이라고 할 수 있다.

그림 11은 표 5의 각 조건들로 트루잉, 드레싱을 실시한 후 공작물을 1050 mm²/mm만큼 연삭가공했을 때의 연삭 저항치 Fn, Ft를 측정하여 비교해본 것이다.

그림으로 부터 알 수 있듯이 연강 연삭법에 의한 연삭 저항이 비교적 가장 작다. 이것은 연강 절분들에 의해 다이아몬드 연삭 슷돌의 가공면에 흠이 생기는 등 요철 현상이 두드러지게 나타나 오히려 이들이 chip pocket이 큰 가공면의 성격을

갖게끔 하는 역할을 해주기 때문인 것으로 보인다. Imple dresser법으로 트루잉한 후 WA Stick형 숫돌로 드레싱한 경우와 플린지 방식의 Brake trulier법의 경우가 비교적 연삭 저항이 큰 이유는 트루잉과 드레싱이 양호하게 수행되어져 다이아몬드 연삭 숫돌의 가공면이 평탄하게 되므로 많은 숫돌 입자들이 동시에 연삭 작용을 할 수 있으며 또한 숫돌 입자의 돌출량도 양호하고 날카로운 날 끝을 형성할 수 있게끔 되었기 때문으로 생각된다.

2.2.3. 결론

각종 손쉬운 트루잉 및 드레싱법에 대한 실험을 통한 성능 평가를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

① 연강 연삭법의 경우는 연삭 저항값이 작아 절미 성능도 양호하나 숫돌 가공면의 상태로 인해 가공물의 표면조도는 우수한 값을 기대하기 힘들다.

② Brake trulier의 방법은 트루잉 및 드레싱의 조건에 따라 연삭 숫돌면의 형상도 등의 상태가 간혹 좌우될 수 있으므로 주의와 경험을 요한다. 그러나 비교적 절미 성능도 양호하고 가공물의 표면조도도 향상시킬 수 있으므로 가장 좋은 방법이라 할 수 있다.

③ Imple dresser법의 경우는 다이아몬드 연삭 숫돌의 가공면 형성에 문제가 따르므로 범용 연삭반에서 사용할 때는 트루잉에 대한 기대를 하기 힘들다. 그러나 고정도의 평탄도등 우수한 형상도를 필요로 하지 않는 거친 연삭 등에선 비교적 표면조도도 낮출 수 있으므로 주의를 기울여 사용할 수 있다.

④ WA Stick형 숫돌로 드레싱을 할 때는 그 제거량에 따라 가공물의 표면조도 및 절미 성능 등이 영향을 받게 되므로 작업 목적에 따라 제거량을 고려할 필요가 있다. 일반적으로 1000 mm²/mm 정도의 제거량이면 충분한 드레싱 효과를 볼 수 있으나 트루잉 방법, 다이아몬드 연삭 숫돌의 입도나 결합제의 종류에 따라 차이가 날 수도 있으므로 가급적 실험적인 경험을 수행함이 좋다.

2.3. 본 실험

고경도 엔지니어링 세라믹스의 고능률적 평면 연삭 가공 기술의 확립을 위한 다양한 실험을 통해 연삭저항, 연삭동력, 표면조도 등에 대한 항목의 다음과 같은 실험 결과들을 얻을 수 있었다. 각 실험들의 전제 트루잉, 드레싱 방법 및 조건은 C 연삭 숫돌을 사용한 Brake trulier 방법으로 그 조건은 앞의 표와 같다.

2.3.1. 실험 결과

◦ 연삭 저항 및 연삭 동력 :

연삭반의 주축계에 걸리는 부하 용량을 알아 보고 연삭반계의 강성을 알아 보기 위해 연삭 동력 값을 알아 보았다. 먼저 실험에 들어가기 전에 절입만을 제외한 실제 실험시와 동일한 조건으로 약 10분간 공회전 시켰다. 실험 시작 바로 직전의 연삭 숫돌의 공회전 부하 용량은 약 0.7Kw였다. 플린지 연삭 방식으로 절입량을 일정하게 증가시켜가며 그 연삭 동력값을 각 5회에 걸쳐 측정된 값을 그림 12에 나타내 보았다.

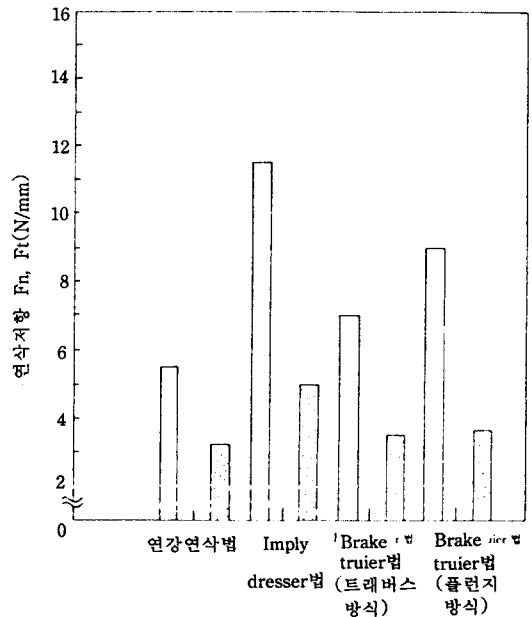
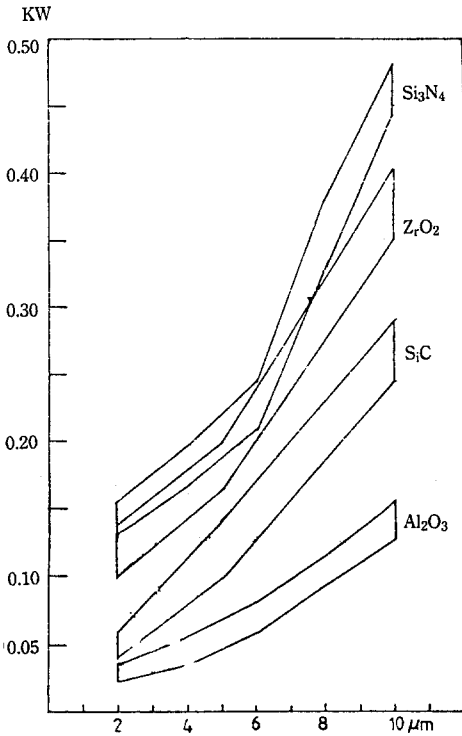


그림 12 각종 트루잉 및 드레싱 방법에 대한 연삭저항값 비교



- Wheel : ASD 170N100
- Vg : 1600m/min
- Vw : 10m/min
- C 슛돌 사용한 브레이크식 트루잉장치로 트루잉
 - 드레싱실시
- 각 절입량마다 5회씩 실시

그림 13 각종 세라믹스의 절입량과 연삭력 관계

그림으로 부터 알 수 있듯이 Alumina의 경우가 가장 작은 값을 보이고 Silicon Nitride의 경우에 가장 큰 값을 보인다. 절입량이 증가할수록 따라서 증가하며 Alumina의 경우에 가장 둔감한 증가 추세를 보였다.

그림 13은 비연삭강성(단위 폭당의 연삭강성)을 측정 한 결과이다. 거의 선형적인 증가 추세를 보이며 공작물 속도가 높을수록 비연삭 강성이 증가하며 Silicon Nitride의 경우가 역시 다른 세라믹스에 비해 확실히 큰 값을 보였다.

그림 14와 그림 15는 절입량 증가에 따른 두연삭 저항 성분의 변화를 측정해본 것이다. 법선 저

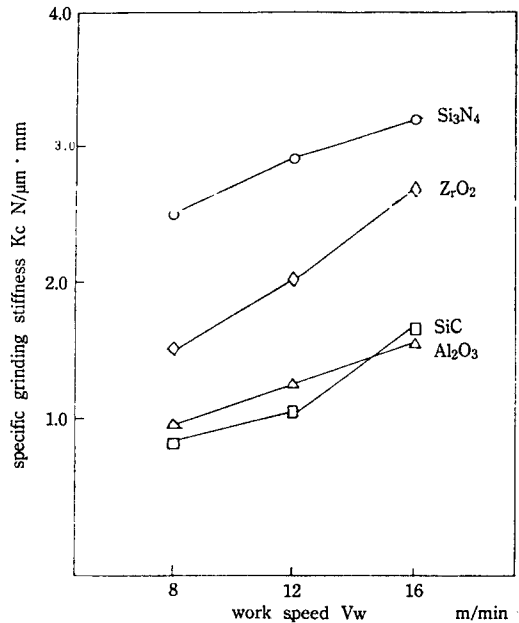
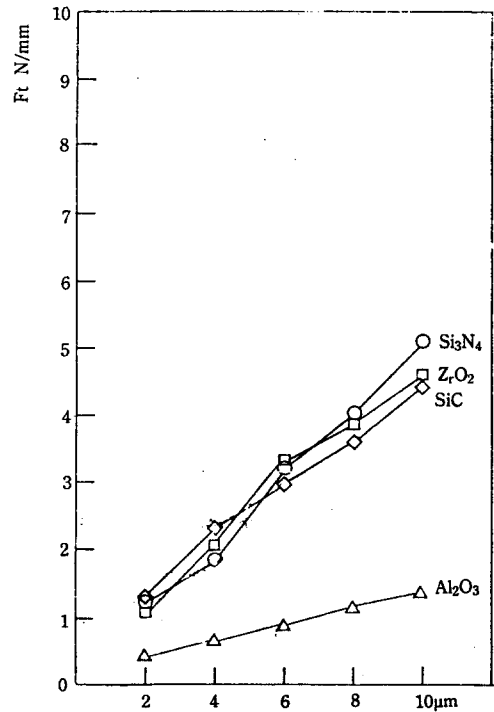


그림 14 각종 세라믹스의 연삭 강성



- Wheel : ASD 170N 100
- Vg : 1600m/min
- Vw : 10m/min

그림 15 각종 세라믹스의 절입량과 접선저항과의 관계

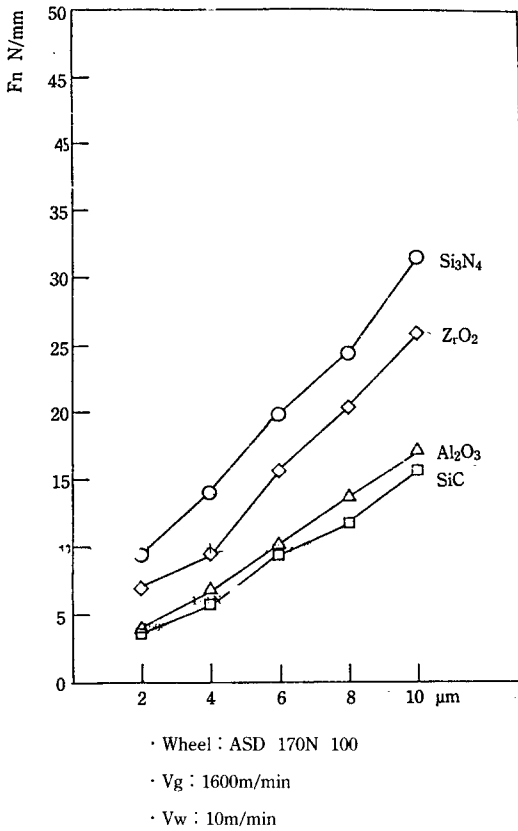


그림 16 각종 세라믹스의 절입량과 범선 연삭저항과의

항값이 접선 저항값에 비해 상대적으로 무척 큼을 알 수 있으며, 두 경우 모두 절입량의 증가에 따라 선형적으로 증가하고 있음을 보여준다. 접선 저항의 경우는 Alumina의 경우가 다른 세라믹스들에 비해 현저히 낮은 값을 가지나 범선 저항의 경우는 Alumina와 Silicon Carbide의 경우가 거의 비슷한 값을 보여 결국 연삭 분력비로 재질별 피연삭성을 살펴봄이 좋을 것이라는 결론을 얻었다. 그림 16에 나타낸 연삭분력비에 의해 Alumina의 경우가 가장 작음을 명확하게 알 수 있었으며 절입량의 증가에 따라 그다지 큰 변화를 보이지 않음도 알 수 있었다.

◦ 표면조도 :

절입량이 증가하는 경우의 재질별 표면조도값

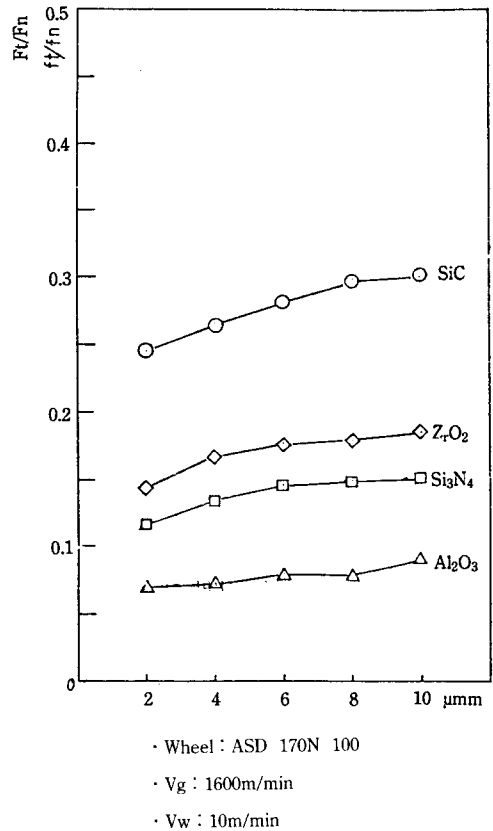
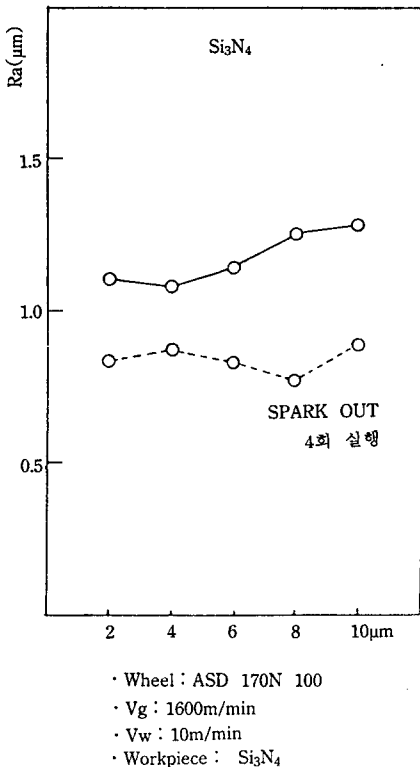
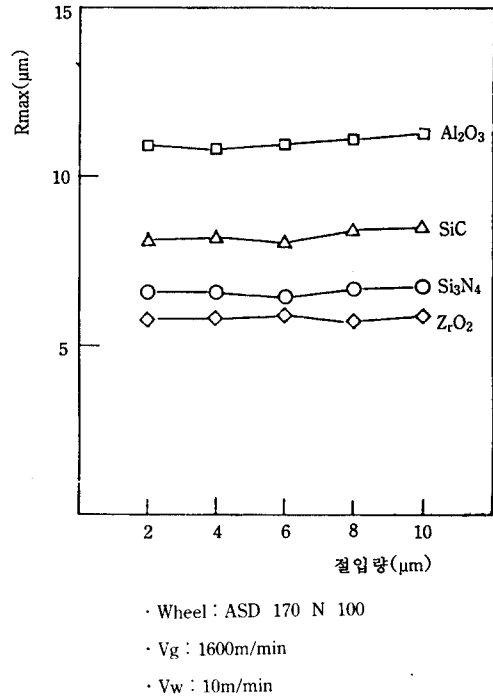
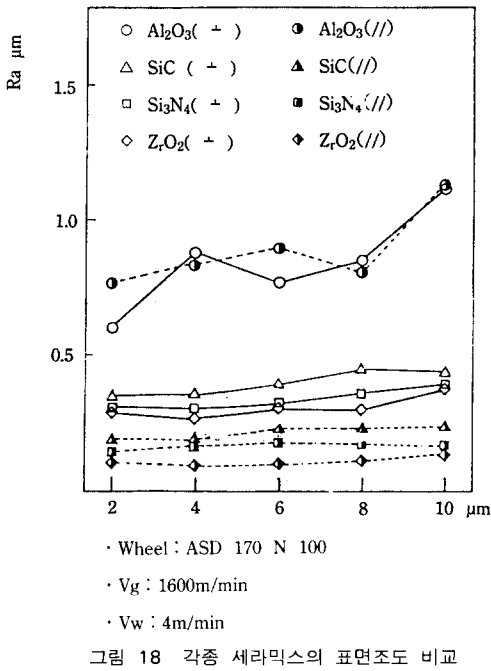


그림 17 각종 세라믹스의 절입량과 연삭비의 관계

(Ra)의 변화를 그림 17에 나타내 보았다. 절입량 증대에 다른 표면조도값의 변화는 크게 찾아볼 수 없었으며 일정한 경향도 보이진 않았다. 또, 연삭 직각 방향의 값이 현저히 연삭 방향의 값보다 좋지 않음을 알 수 있었으며 Alumina의 경우가 다른 재질들에 비해 상대적으로 현저하게 떨어짐도 알 수 있었다.

화인 세라믹스의 소재에 대한 평면 연삭의 경우에도 Spark-out에 의해 가공면의 표면조도 값이 향상됨을 그림 18의 결과로써 알 수 있었으며 Spark-out을 실행했을 경우의 표면조도 Rmax. 값을 그림 19와 같이 구하였다. 세라믹스 재질의 부품 역시 사용되어지는 경우에 따라서 표면조도 Rmax의 값이 Ra 값의 경우보다 더 중요시 될 수 있는 바, Zirconia의 경우에 약 5μm 정도의 가장 우수한 값을 얻을 수 있었다.



2.3.2. 결론

① 연삭 동력은 재질에 관계없이 절입량의 증가에 따라 거의 선형적인 증가 추세를 보이며 Alumina의 경우에 가장 작은 값을 나타냈다.

② 법선 연삭 저항값이 접선 연삭 저항값에 비해 상대적으로 큰 값을 나타내며, 절입량의 증가에 따라 선형적 증가 추세를 보였다. 재질별 차이를 확실하게 알기 위해서는 연삭비를 구하여 알아보는 편이 좋다. 연삭 저항 역시 Alumina의 경우에 가장 낮은 값을 보였다.

③ 화인 세라믹스의 평면 연삭시도 Spark-out 과정을 통해 표면조도의 향상을 꾀할 수 있었다. 연삭 직각의 경우에 연삭 방향의 경우 보다 표면조도의 값이 현저히 떨어지며, 절입량의 증가에 따라 거의 변화를 보이지 않는 경향을 보였다. Alumina의 경우에 다른 재질에 비해 상대적으로 낮은 값을 나타냈으며, 연삭 직각 방향으로의 최고 Ra 0.55 μm, Rmax 5.5 μm 측정치를 얻을 수 있었다.

3. 맺음말

본 실험적 연구는 전용기가 아닌 범용 연삭 반으로서 국내에선 아직 그 연구가 거의 전무하다고 할 수 있는 High strength engineering ceramics의 평면 연삭 가공을 수행하여 향후 가공 기술의 확립에 필요한 기초적이지만 필수적인 지식을 얻을 수 있었다.

무엇보다 1A1 type 평면 연삭용 resin bond diamond wheel의 트루잉, 드레싱의 최적화를 이룰 수 있었으며 이 방법을 사용함으로써 표면조도값 약 $R_{max} 5.5 \mu\text{m}$ 까지 얻을 수 있었다.

앞으로도 계속적인 연구를 수행함으로써 전용기가 아닌 범용기로도 화인 세라믹스의 정밀 기계적 제거 가공을 이룩할 수 있도록 할 예정이다.

참고 문헌

- [1] 窯業協會, 세라믹스製品および半製品の除去加工, 세라믹스, 18-6(1983), p. 506
- [2] 石田泰弘, 세라믹스研削加工, 工業材料, 28-12(1980), p. 29
- [3] 稻崎, 最近の高効率研削技術, 87-873(昭和59), p. 133
- [4] 今中, ガラス、セラミックスの砥粒加工, 精密加工, 41-7(昭和50), p. 672
- [5] 岡村健二郎外一人, 砥粒切れ刃による切削現象の研究(第六報), 精密機械, 33-5(1967), p. 312
- [6] 세라믹스加工ハンドブック偏執委員會, 세라믹스加工ハンドブック, 1988
- [7] 정윤교, 강제훈, 화인세라믹스의 연삭가공특성, 한국정밀공학회 '89추계학술대회초록집, 1989 p. 91
- [8] 이재경, 강제훈, 세라믹가공기술개발(1), 한국기계연구소제출보고서, 1989
- [9] 中尾 博, タイヤモソド研石によるセラミックスの加工, 機械と工具, 10, 1982, p. 1
- [10] 伊藤政治, 窒化物系, 炭化物系構造用セラミックスの精密研削, 세라믹스, 18-3(1983), p. 4790
- [11] A. G. Pinson, Diamond Grinding of Structural Ceramics-shape of things to come, SME Tech. paper, MR 83-195(1983), p. 1-8
- [12] 大原保之, ダイヤモンド砥石によるセラミックスの研削加工, 機械と工具, 8, 1979, p. 72