

# 연속 드레싱 공정을 도입한 엔지니어링 세라믹스의 고능률적 연삭 가공에 관한 연구

A Study on the Grinding Machining of Engineering Ceramics with High Efficiency Using "In-process Dressing"

강 재 훈\*, 이 재 경\*\*  
J. H. Kang, J. K. Lee

## ABSTRACT

Engineering ceramics have some excellent properties as the material for the mechanical components. It is, however, very difficult to grind ceramics with high efficiency because of their high strength, hardness and brittleness. In this paper, experiments are carried out to obtain the effect of "In-process dressing" to grind the Engineering ceramics with high efficiency. To save running time for dressing process and obtain restraint effect of diamond grain wear, "In-process dressing" system using WA stick type honing stone is proposed. Representative Engineering ceramics, such as  $Al_2O_3$ ,  $Si_3N_4$ , are ground with diamond wheel. Also bending strength test is carried out to check upward tendency of mechanical properties as the result of machining defect restraint through the grinding machining method using "In-process dressing" process. Some results obtained in this study provide useful information to attain the high efficiency grinding and the high mechanical properties of Engineering ceramics.

주요기술용어 : Engineering ceramics(세라믹엔지니어링), In-process dressing(연속드레싱), High efficiency(고능률), Diamond wheel(다이아몬드휠), Mechanical properties(기계적 특성치) Machining defect(가공결함)

## 1. 서 론

항공·우주, 신운송기기, 정보·통신기기, 메카트로닉스, 메카트로닉스, 전자 산업 부문 등 고부가가치의 미래지향적 첨단 산업 전반에 걸친 세계 각국의 연구 개발노력이 더 한층 가속화 되어짐에 따라 보다 더 가혹한 조건과 분위기

하에서도 우수한 특성과 다양한 가능성 등을 유지할 수 있는 신소재로의 소재 대체화 요구가 높아지게 되어졌다.

최근 인류의 입에 많이 회자되어지고 있는 "Fine Ceramics"는 뛰어난 내마로성과 내열성, 고강도와 고경도 등의 기계적 특성치들과 기계적, 전·자기적, 광학적, 화학적, 생화학적 기능성

\* 정회원, 한국기계연구원

\*\* 한국기계연구원

등을 다양하게 지님으로서 이상과 같은 요구들을 충족시킬 수 있는 제3의 소재라 하겠다.”

한편, 불과 몇년 후부터는 국산 자동차의 수출에 있어서도 그 대폭적인 연비향상 조건이 전제되어질 전망이다. 하지만 지금까지의 연비향상 노력은 그 극한치에 도달해 있다고 해도 과언은 아닐 것이다. 따라서 엔진 성능 향상 및 소형, 경량화 측면의 운동 성능 향상과 고품질화 및 연비 향상 측면의 엔진 효율, 수명향상 등을 만족시킬 수 있는 차세대형 자동차의 엔진 제작을 위해선 국내에서도 반드시 기존의 소재를 과감히 탈피하여 신소재를 도입해야 할 시기에 도달해 있다고 볼 수 있다.

하지만 이와 같이 기계·구조용으로 활용되어지는 “High Strength Engineering Ceramics”는 대표적인 난삭재라는 점과 높은 취성이라는 불리한 특성을 지니고 있어, 기계적 제거 가공시의 고능률화를 추진하고 가공면 상의 crack이나 fracture 등 결함을 최대한 억제하기 위한 많은 연구가 현재 전세계적으로 계속 진행중에 있다. 이러한 단점들 때문에 기존의 설계 도면에 그대로 소재만 대체화하여 제품화시키게 되면 큰 문제점들을 야기시키게 되므로 기계 요소 및 구조용 부품화를 위해선 새로운 기법의 설계가 필수적이 되며, 이를 위해선 소재의 여러 기계적 특성치들 중 특히 굽힘 강도치(Bending Strenght Value) 데이터가 반드시 필요하다. 또한 이에 필요한 시험편을 최적으로 가공, 제작하지 않으면 동일한 소재로서도 그 신뢰도의 높은 특성치 데이터들을 제시할 수 없으며 그 상품성을 잃게 되는 주요인이 된다.

따라서 본 연구에서는 굽힘 강도 측정용 세라믹스 시험편을 국내에서 필수적으로 개발해야 하는 가공 부품의 일례로 들어 고능률화와 가공 결합 최대 억제를 주목적으로 하는 최적 연삭 가공을 수행함으로써 기계적 특성치를 최대로 발휘하고자 한 바, 평면 연삭 가공 조건을 최적화 정립함으로써 기계적 특성치를 충분히 향상시키고자 한 목적으로 수행하여 기 보고한 바도 있는 연구 내용에 부가적으로 큰 영향을 미칠 수 있는 것으로 사료되는 다이아몬드 연삭 공

구에 대한 연속 드레싱 공정(In-process dressing)을 최초로 도입하여 일반 연삭 가공조건내의 범주에서 실험을 수행한 후 그 가공 시험편들에 대한 굽힘 강도 시험을 실행해 봄으로써 그 효과를 명확히 규명하고자 하였으며, 이를 토대로 실제 부품화 가공이나 Creep-feed grinding에 대한 적용의 타당성을 검토해보고자 하였다.

## 2. “In-process dressing”을 도입한 평면 연삭 가공 실험

세라믹스재는 필수적인 소결 공정에 따른 수축 등의 다양한 변형이 발생되어지므로 이러한 불필요한 부위를 제거하거나 규격(KSI 1591)에서 제시하고 있는 시험편의 칫수 및 형상 정도, 상하면 품질 등을 만족시키기 위해선 연삭과 같은 기계적인 제거 가공공정이 반드시 따르게 된다. 그러나 세라믹스는 소재 구조상의 문제로 금속재 등에 비해 그 가공 조건에 의한 강도 저하 내지는 표준편차가 매우 크다고 알려져 있다. 따라서 동일 소재로도 최적 가공 조건을 사용하지 않으면 강도의 극대치를 얻을 수 있게 되어 그 만큼 소재의 고능률화를 추구할 수 있게 된다고 볼 수 있다. 금속재가 금속 결합으로 이뤄져 있는 것에 비해 일반적으로 세라믹스재는 주로 이온 결합과 공유 결합으로 이뤄져 있다. 따라서 내부 조직결합이나 표면의 상처 뿐만 아니라 기계 가공에 의한 인위적인 예리한 상처가 가공 표면에 잔류하게 되어질 뿐 아니라 표면으로부터 깊이 침투, 과급되어질 수 있기 때문에 강도치의 큰 저하가 야기되어지는 것이다.

초기 원재의 변형이나 불필요 부위를 제거 가공함으로써 우선 요구 칫수 및 형상으로 제작하기 위해선 고능률이 우선 고려되어야 하며, 강도 보증을 위해선 가공면의 품질, 즉 가공으로 인한 결함이 최대한 억제되어질 수 있도록 고려되어야 한다. 마치 미소한 파피의 연속 발생으로 이뤄지는 듯한 세라믹스의 기계적 제거 가공에 있어선 파피로 야기되어 발생, 성장되어지는 크랙 침투 선단이 강도치에 큰 영향을

미치게 된다.

범용 연삭 공구로서 가공이 거의 불가능한 고경도의 세라믹스 가공을 위해선 신 가공공구인 다이아몬드 연삭 휠의 사용이 불가피하다. 트루잉과 드레싱 공정을 통하여 연삭 슷들의 최적 조정을 수행한 후 가공 작업을 하더라도 결합제 층의 잘 들출되어지고 형성되어진 각 다이아몬드 지립 절인부(cutting-edge)가 어느 정도도 마멸을 초래하지 않고 계속 유지되어질 수 있으나 상당히 중요한 관건이 된다.<sup>2,3)</sup> 예리하게 들출되어진 다이아몬드 지립에 심한 마멸 현상이 진행되어지게 되면, 난삭재인 세라믹스에 대하여 절입에 의한 관입이 어려워지게 되며 이는 과대한 압입 현상을 야기시키게 되어 가공면 상으로 부터 깊은 곳까지 크랙 등의 결합을 계속적으로 잔재하도록 하게끔 하는 요인이 된다. 따라서 평면 연삭 가공 후의 고품질화를 위한 다듬질 가공인 래핑이나 폴리싱 공정 등에 의해서는 절입에 의한 제거 가공을 크게 기대할 수 없는 이유로 인하여 이와 같은 결합들이 완벽하게 제거 되어질 수 없으며, 따라서 국부적 결합에 의한 조기 파괴 현상이 초래되어 결국 최대 굽힘 강도치를 발휘 할 수 없게 된다.<sup>5,6,7)</sup>

이러한 현상을 고려하여 평면 연삭 가공 공정 중에 "In-processing dressing"(이후 ID로 표기함)을 도입시켜 초기 드레싱 효과가 어느 정도 계속적으로 유지되어 질 수 있는가를 알아 보고 또한 이를 통하여 굽힘 강도 시험편의 최적 가공이 이뤄져 기계적 특성치의 향상을 과연 초래할 수 있는 가를 검토해 봄으로써 재고찰해 보았다.

### 3. 실험 장치 및 방법

본 실험에 사용되어진 연삭반은 주축 동력 1.5 KW의 횡축 평면 연삭반으로서 국내 모생산업체의 강성 보안을 위한 특별 사양 설계후 주문, 제작한 것으로 실험조건을 다양하게 변화시켜 보기 위하여 주축의 무단 변속화를 위한 무단 변속 모터를 장착하였으며, 비자성 소재를 주로 대상으로 하여 가공 실험하고자 "원심 분리식

+ paper filtering"의 2중 절삭칩 제거 장치를 부착하였다.

시험편은 국내 모 생산업체에 주문, 제작한 순도 99.7%의 고순도, 고치밀도 Alumina ceramics와 일본 K사에 주문, 제작한 상압 소결형 Silicon Nitride의 두 가지 종류로써 50×50×6 (mm)의 정사각형 판재이며, 그 특성치는 Table.1에 나타난 바와 같다. 연삭 가공 공구로서는 국내 모 생산업체에 주문, 제작한 것으로 resin bond계 diamond wheel을 사용한 바, 1A1 type straight wheel로서 {D}180×(d)31.75×(W)10×(t)3mm의 사양을 갖는 SDC140N100RW-3.0 연삭 슷들이다.

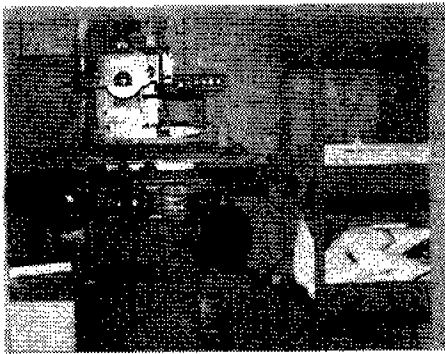
Table.1 Material properties

material properties	Alumina	Silicon Nitride
Density(g/cm <sup>3</sup> )	3.8	3.2
Thermal conductivity (cal/cm.s.°C)	0.05(RT)	0.05(RT)
Young's modulus (×10 <sup>-4</sup> kg/mm <sup>2</sup> )	4.0 (RT)	2.8 (RT)
Poission's ratio	0.25	0.28
Vicker's hardness (kg/mm <sup>2</sup> )	1,990(RT)	1,800(RT)
Bending Strength (kg/mm <sup>2</sup> )	30(RT)	85(RT)
Fracture toughnessg (MPa m <sup>1/2</sup> )	3.5(RT)	6.7(RT)

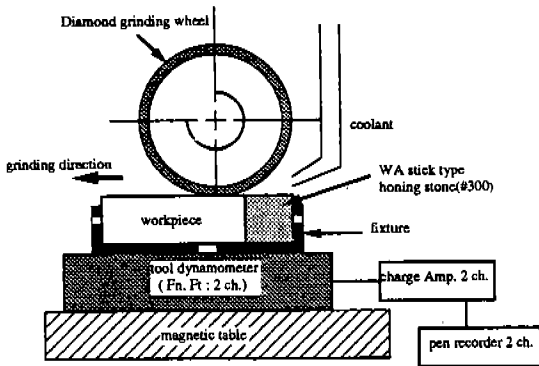
법선과 접선의 두 연삭 저항 성분(Fn & Ft)을 In-process 측정하기 위하여 piezoelectric type의 3-componant tool dynamometer(Swiss KISTLER Co. 9257 A)를 사용하였으며, 2-ch.의 charge amplifier(Swiss KISTLER Co. 504A)를 사용하여 증폭한 뒤 Repicorder(Japan NIKON Co. 2503 type)을 통하여 기록해 비교해 보았다. stereoscopic microscope(Japan NIKON Co. 251 type) 및 SEM을 통하여 연삭공구 가공면 상태 및 피삭재 가공면의 결합을 판별해 보았으며, 가공면의 표

면조도를 surface roughness tester(Japan MI-THUTOYO Co. 측정식 201S type)를 사용하여 구해 보았다. Fig.1에 실험시스템 및 diagram을 나타내 보았다.

Disc형의 원재를 우선 diamond wheel을 사용한 low speed cutting M/C으로 한 변이 50mm인 정사각형 판재로 만들은 후, 평면 연삭반 상에서 정사각형 판재의 상하면을 KS 규격에서 요구하는 대로 제거 및 다듬질 가공하였다. 여기에서 다이아몬드 연삭 공구의 ID에 의한 마멸 억제 효과를 알아보려고 Fig.2과 같은 여러가지 형의 치구를 제작하여 다양한 조건으로 실험해 보았다. 비자성체인 시험편을 동력계에 부착하기 위하여 치구를 제작하였으며, 자려 진동 등의 noise 요소들을 제거하고자 Silicon 및 아교 등으로 접착한 후 볼트로 체결하였다.



(a) Photograph of experimental system



(b) Diagram of experimental system

각 실험은 초기 트루잉과 드레싱 공정을 수행함으로써 동일한 연삭 공구 가공면 상태를 조성하였으며 이미 발표한 바 있는 brake type truiuer을 사용한 트루잉과 WA stick type honing stone을 사용한 드레싱을 병행하는 최적 방법 및 조건을 활용하였다.<sup>4)</sup> Fig.3에는 트루잉 및 드레싱 공정을 사진으로 나타내 보았다. Table.2, 3에는

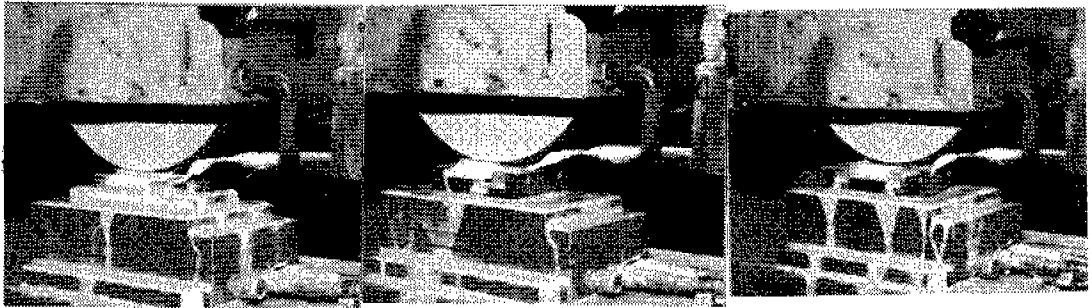
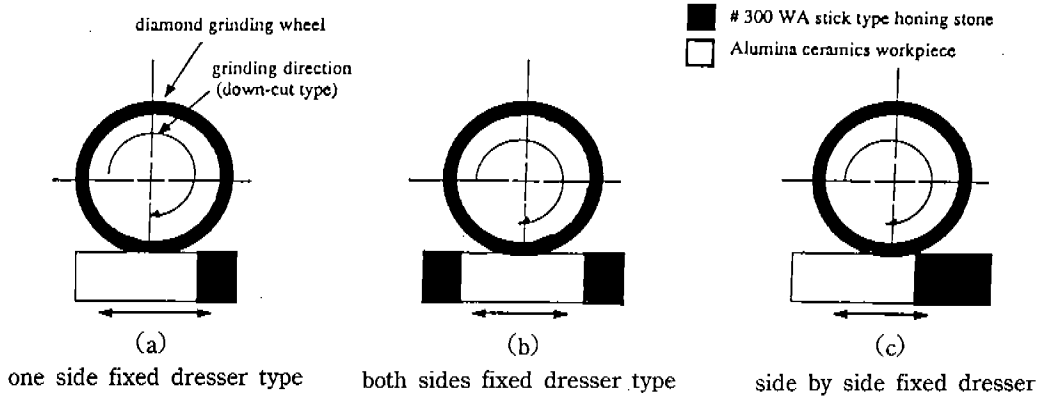
Table.2 Grinding condition

Grinding wheel	SDC140N100RW-3.0 (D180×d37×W100mm)
Peripheral wheel speed Vw(m/min)	1,400, 1,700
Table speed Tf (m/min)	3.0, 6.0, 10.0
Depth of out (μm/pass)	5, 10, 20
Cross-feed rate (mm/pass)	4.0
Cutting type	down-cut, up-cut (dry type, wet type)

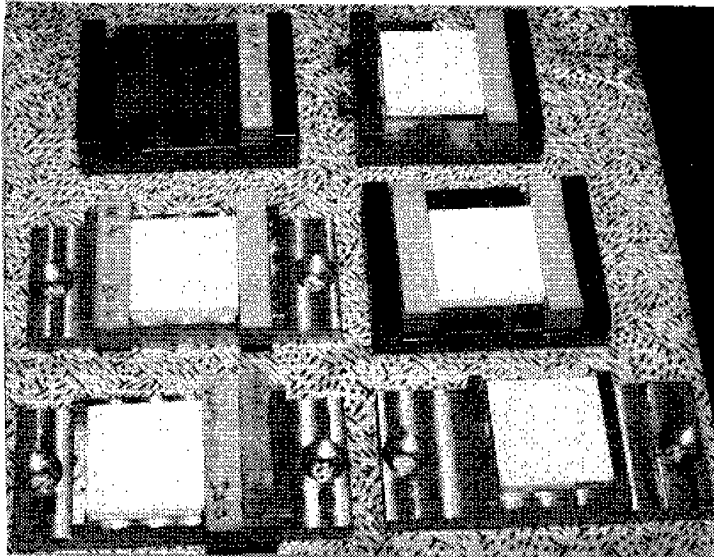
Table.3 Truing & Dressing condition

Truing	Brake type truiuer	C80N wheel(D80d10×25mm)
	Wheel speed (m/min)	1,700
	Table speed (m/min)	3.0
	Depth of cut (μm/pass)	10(total 200μm)
	Cutting type	down-cut(wet type)
Dressing	Stick type honing stone	WA200M(20×21×200mm)
	Wheel speed (m/min)	1,700
	Table speed (m/min)	1.5
	Depth of cut (μm/pass)	100(total removal volume 1000mm <sup>3</sup> /mm)
	Cutting type	down-cut(wet type)

Fig.1 Photograph & diagram of experimental system



(d) Photographs for comparison of variable "In-process dressing" types



(e) Photograph of variable fixtures for "In-process dressing"

Fig.2 Fixtures for ID process

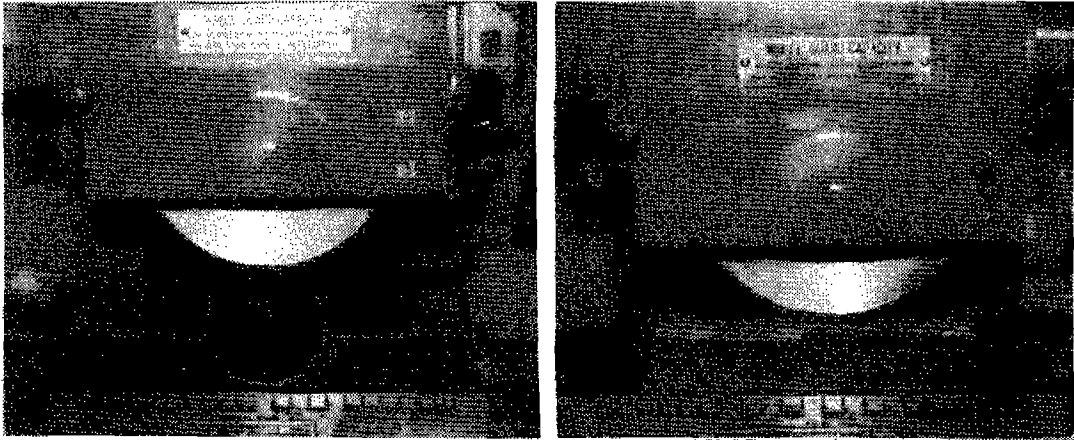


Fig.3 Truing process & Dressing process

본 실험의 연삭 가공 조건 및 트루잉, 드레싱 조건을 각각 나타내 보았다.

그 뒤 금속 마운트에 접착제 등으로 세라믹스 정사각형 판재를 부착하여 테이블에 고정시킨 후, diamond wheel을 사용한 Multi-cutting M/C (Japan MARDO Co. Ceramicron MX-833)로써 절단 가공하였으며, 이 들을 4점 지지 굽힘 강도 측정용 간이 시스템을 부착한 인장시험기에서 시험하여 기계적 특성치들을 구하여 비교해 보았다.

#### 4. 결과 및 고찰

대표적인 일반 금속재인 S45C와 Silicon Nitride ceramics의 연삭 분력비를 구하여 비교해 본 것을 Fig.4에 나타내 보았다. 그 분력비가 Silicon Nitride ceramics의 경우에 약 2.5-4.5배 이상으로 큰 값을 나타내 보이고 있는 바, 배분력 (법선 연삭 저항, normal grinding force,  $F_n$ )이 이렇게 큰 것은 고경도의 피삭재에 대한 스톤 절입의 관입이 매우 어렵기 때문인 것으로 여겨진다. 이는 실상 세라믹스재의 기계적 제거 가공이 미소파괴 현상의 연속에 의한 것임을 감안할 때 취성재의 가공 표면으로부터 그 만큼 깊이가 파괴적 결함을 잔재하도록 하는 요인이 될 수 있다고 생각할 수 있다. 또한, 절입량을 비교적

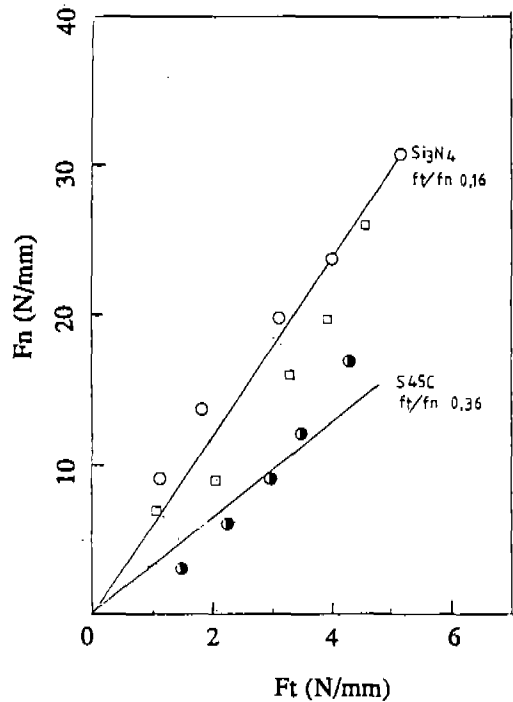


Fig.4 Comparison of grinding ratio (Silicon Nitride ceramics vs. S45C steel)

\* grinding condition :  
 grinding wheel : SDC140N100RW-3.0  
 (D180×d37×W10 mm)  
 peripheral wheel speed : 1,700 m/min  
 table speed : 10 m/min  
 depth of cut : 5 μm/pass  
 cutting type : down-cut (wet type)

크게하는 고능률적 연삭 가공을 추구할 시, 다이아몬드 지립의 예리한 절인이 마멸되어짐에 따라 그 만큼 고경도 피삭재에 대한 관입이 어려워지게 되어짐으로써 강제 압입에 의한 결합들이 증대해질 수 있다는 것을 보여주는 것이라 할 수 있다.

일반적으로 소결 공정을 거친 세라믹스의 조직이나 물성은 첨가제나 조성제 등의 불균일한 분포로 인하여 상, 하면 등 표면 조직에 있어 특히 상당한 깊이 만큼의 제거를 가하는 것이 바람직하다. 이를 위해 정사각형 원재의 상, 하면에 대하여 변형량 정도 이상으로 고능률적 제거 가공을 상당량 수행할 필요가 있게 된다. 보통 중절입량으로 저입도의 다이아몬드 휠을 사용하여 계속적으로 가공하는 경우가 대부분인 바, 우선 이러한 지속적인 가공 중에 있어 ID를 도입하게 되면 어느 정도 다이아몬드 휠의 마멸 및 눈탁집현상, 연삭 열 발생현상 등을 억제할 수 있는 가에 대하여 알아 보았다.

Fig.5에 Alumina ceramics를 대상으로 비교적 큰 절입량인 10<sup>4</sup>m/pass를 가하며 계속적으로 제거량을 누적시켜 나가는 건식 가공을 수행할 시 ID에 의한 연삭저항의 상승 억제 효과가 과연 어떻게 나타나는가를 나타내 보았다. (c)의 경우와 같이 ID를 가하지 않는 경우엔 가공물의 총 제거 체적량이 누적됨에 따라 연삭저항이 급격하게 증가하는 현상을 보이는 반면, 가공물 너비의 1/5크기 폭을 갖는 드레서를 한 편에 부착하는 방식의 ID에 의해선 큰 상승 폭 없이 거의 일정하게 그 값을 유지할 수 있다는 것을 알 수 있었다. ID를 가하지 않는 경우에 있어서선 마멸과 탈락 그리고 결합제가 자연스럽게 탈락한 후의 지립 돌출 현상이 주기적으로 발생하고 있음을 발견할 수 있었으며, 따라서 다이아몬드 휠과 같은 초지립(超砥粒)연삭 공구에 있어서도 지립의 자생 작용이 이뤄짐을 알 수 있었다. (a), (b)로부터 ID를 가하는 경우에 있어서도 법선 연삭 저항 성분(이후 F<sub>n</sub>이라 약칭함)이 접선 연삭 저항 성분(이후 F<sub>t</sub>이라 약칭함)보다 약 3배 정도 큰 값을 나타냄을 알 수 있었으며, 고경도 가공물의 특성상 지립의 관입에 의해 치핑을 발생

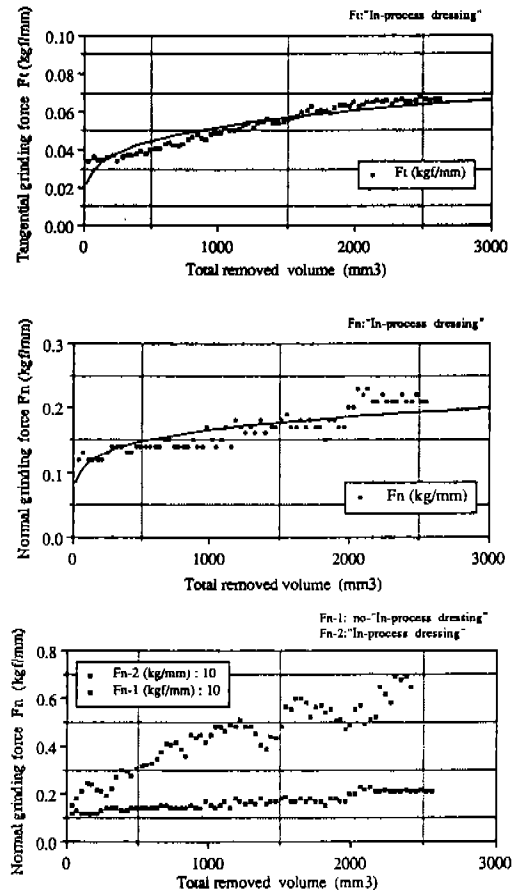


Fig.5 Effect of "In-process dressing" on the grinding force in the case of no-initial dressing

\* Experimental condition:  
 grinding speed; 1,700 m/min  
 table speed; 3 m/min  
 cross-feed rate; 4 mm/pass  
 depth of cut; 10 micron/pass  
 down-cut & dry type

시키는데 드는 F<sub>n</sub>값의 변화 폭이 상대적으로 커짐도 알 수 있었다. 세라믹스의 연삭 가공에 있어서는 F<sub>n</sub>값이 주요한 고찰 요인이 되므로 이후 이 저항성분을 대상으로 하여 주로 언급하고자 한다.

Fig.6에는 Alumina ceramics에 대한 건식과 습식 가공 방법에 따른 ID효과의 정도를 비교해 나타내 보았다. 우선 (a)로부터 동일하게 ID를 가하는 경우에 있어서 절입량이 10<sup>4</sup>m/pass에서

중 절입량이 할 수 있는 20 $\mu$ m/pass로 증가하게 되는 경우 그 Fn값은 2.5-3.0배로 증가함을 알 수 있었으며, ID의 여부에 관계없이 습식가공으로 절입량 20 $\mu$ m/pass를 가하는 경우에 있어 오히려 건식 가공으로 절입량 10 $\mu$ m/pass를 가하는 경우보다 총 제거 체적량이 누적되어가도 그 Fn의 상승폭이 적음도 발견 할 수 있었다. 이는 강한 연삭유의 주입으로 칩핑의 배출이 용이해지고 슷들의 눈막힘 현상 및 중절입량에 따른 다이아몬드 지립의 열화 작용이 억제되어질 수 있기 때문인 것으로 사료된다. 가공 전에 초기 드레싱을 가한 후 동일 절입량 10 $\mu$ m/pass를 가하는 경우에 있어 총 제거 체적량이 누적되어갈 때 ID의 여부와 건식과 습식 가공 방법에 따른 Fn값의 변화 추이를 알아본 것을 (b)에 나타내 보았다. 총 제거 체적량이 3,500mm<sup>3</sup>에 달했을 때 건식의 경우 ID에 관계없이 양 경우 모두 Fn값이 습식의 경우에 비해 약 2배 정도 커짐을 알 수

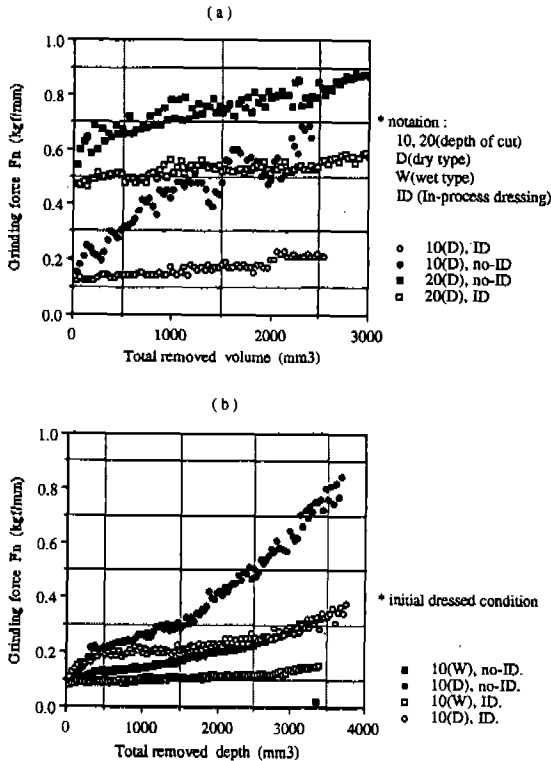


Fig.6 Effect of "ID" on the grinding force in the case of initial dressed condition

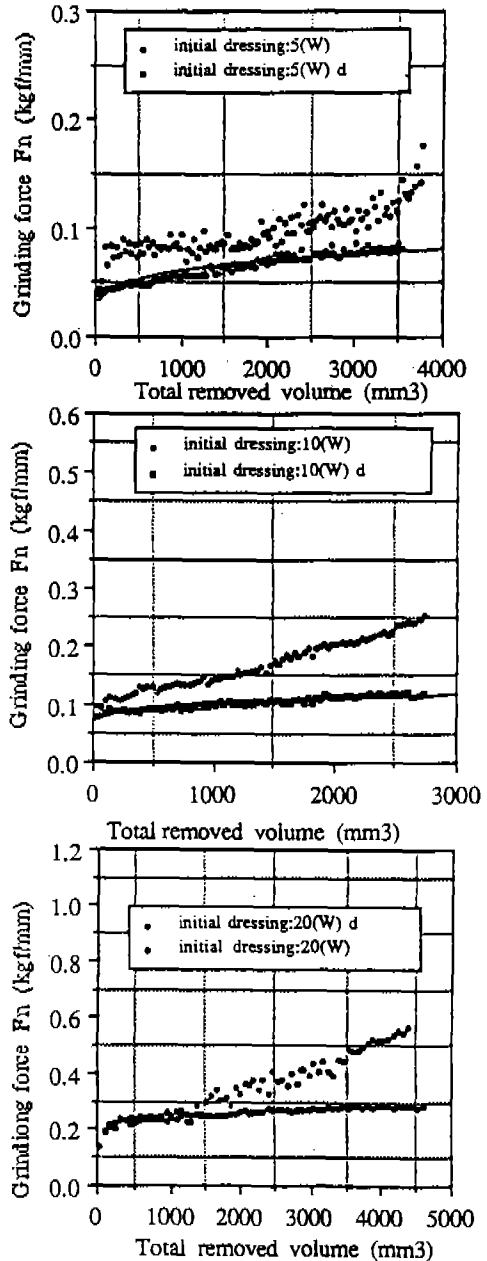


Fig.7 Effect of "in-process dressing" on the grinding force for various depth of cut in the case of initial dressed condition

\* Experimental condition  
 grinding speed; 1,700 m/min  
 table speed; 3m/min  
 cross-feed rate; 4 mm/pass  
 down-cut & wet type



있었고, 총 제거 체적량이 누적되어갈수록 증가되어져 가는  $F_n$ 값의 변화 폭이 비교적 심해짐을 알 수 있었다. 또한, ID를 가하더라도 건식의 경우 약  $2,500\text{mm}^3$ 의 총 제거 체적량을 전후로  $F_n$ 값의 비교적 상당한 증가 현상을 보이는 것은 스톨의 눈막힘 현상이 심해짐을 나타내 주는 것으로서 세라믹스의 고능률적 연삭가공을 위해선 역시 습식의 가공 방법을 채택하는 것이 바람직하다는 것을 제시해준다고 하겠다.

Fig.7은 Alumina ceramics를 대상으로 초기 트루잉과 드레싱을 먼저 각각 실행한 후 절입량을 다양하게 변화시켜가며 습식으로 연삭하는 경우에 있어 ID에 의한  $F_n$ 값 억제 정도가 어떻게 변화되어지는가에 대하여 알아본 것이다. 비교적 적은 절입량인  $5\mu\text{m/pass}$ 의 경우엔 ID에 의한  $F_n$ 값 증가 억제 효과가 오히려 큰 절입량의 경우에 비해서 적은 한편 비교적 그 증가율이 커 총 제거 체적량 약  $3,500\text{mm}^3$ 정도에 달해서는 초기에 비하여 약 50%정도 큰 값이 되어졌으며, ID에 의한 가공 중에도  $F_n$ 값 변화 폭이 다른 경우에 비해 뚜렷이 나타났다. 이는 절입량이 적은 값이거나 미세한 경우에 있어선 ID에 의한 드레싱 효과보다 부착되어진 드레서에 의한 다이아몬드 지립의 마멸 현상이 가공물 제거에 의한 것에 비해 무시하지 못할 정도로 크게 작용되어질 수 있다는 것을 보여주는 것이라 하겠다. 이에 비해 절입량  $10, 20\mu\text{m/pass}$ 의 경우엔 ID에 의한  $F_n$ 값 억제 효과가 뚜렷이 나타나고 있음을 알 수 있었으며, 절입량이 커질수록 가공 고정 초기에 있어 ID를 도입한 경우에 있어 ID를 가하지 않은 경우에 비해 당분간 큰  $F_n$ 값을 나타내고 있음도 있었는데 이 역시 앞의 경우에서와 같은 이유로 인한 것으로 사료된다. 특히, ID를 도입하더라도  $20\mu\text{m/pass}$ 의 비교적 중절입에 있어선 총 제거 체적량 약  $1,500\text{mm}^3$ 이후로 다는 경우들에 비해  $F_n$ 값의 증가폭이 두드러진 하였으나, ID를 도입하지 않은 경우에 비하여 총 제거 체적량  $4,500\text{mm}^3$ 이후가 되더라도 50% 정도 이상으로 효율적인  $F_n$  값 상승 억제 효과를 얻을 수 있어 중절입량일수록 그리고 총 제거 체적량이 크게 늘어날수록 유용하게 도입 활용

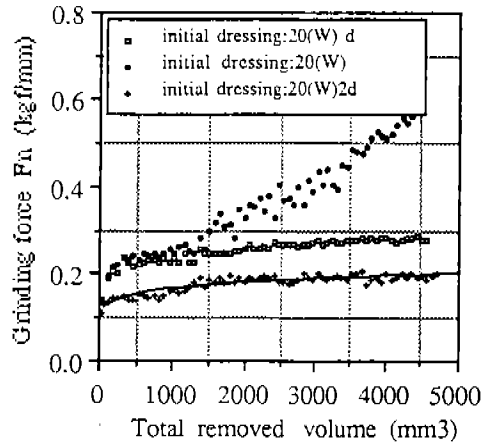


Fig.8 Effect of "in-process dressing" type on the grinding force in the case of initial dressed condition

할 수 있음을 알 수 있었다.

Fig.8은 Alumina ceramics를 대상으로  $20\mu\text{m/pass}$ 의 중절입량을 가하며 총 제거체적량을  $5,000\text{mm}^3$ 정도로 크게 누적시켜가는 가공을 하는 경우에 있어 ID를 위하여 부착하는 드레서의 폭을 공작물 너비의 1/5과 그 두배인 2/5로 변화시켜볼 때  $F_n$ 값의 상승 억제 효과에 있어 어떠한 경향이 나타나는가에 대해 알아본 것이다. 후자의 경우 전자의 경우에 비하여 약 25% 정도 더 효율적인 억제 효과를 얻을 수 있었으나 상대적으로 그 상승 폭과 변화 폭이 비교적 두드러지게 나타남을 찾아볼 수 있었다. 공작물 너비의 1/5인 폭을 갖는 드레서를 공작물의 양단에 부착하는 경우에 있어선 한쪽에 부착하는 경우에 비해 약 30% 정도 더 효율적인  $F_n$ 값 억제 효과를 얻을 수 있는 한편, 그 상승 폭과 변화 폭이 거의 나타나지 않음도 알 수 있어 이 경우가 보다 나은 ID도입 방법이라 생각되어진다.

Fig.9는 Alumina ceramics에 대하여 연삭 주속도와 테이블 이송 속도를 변화시켜가며 가공을 하는 경우에 있어서 ID에 의한  $F_n$ 값 상승 억제 효과가 나타는 경향에 대하여 알아본 것이다. 어느 경우에 있어서도 ID에 의한 효과는 뚜렷했으며, 다만 테이블 이송 속도를  $6\text{m/min}$ 에서  $10\text{m/min}$ 로 빨라지게 하면  $F_n$ 값이 약 40% 정도

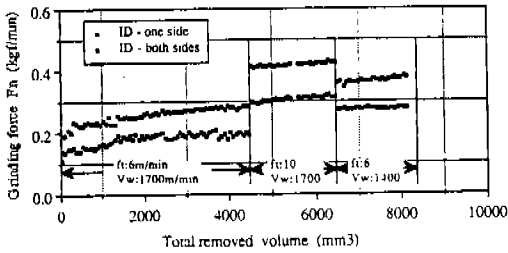


Fig.9 Effects of table speed & grinding speed on the efficiency of "In-process dressing"

\* Experimental condition:  
 depth of cut 20micron/pass  
 cross-feed rate 4mm/pass  
 grinding speed 1,400, 1,700 m/min  
 table speed 6, 10 m/min  
 down-cut & wet type

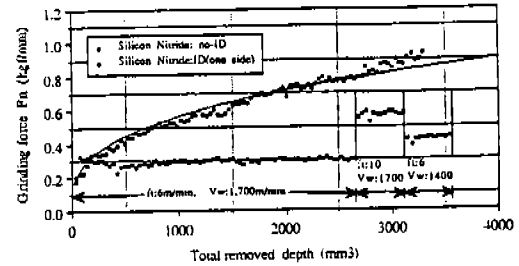
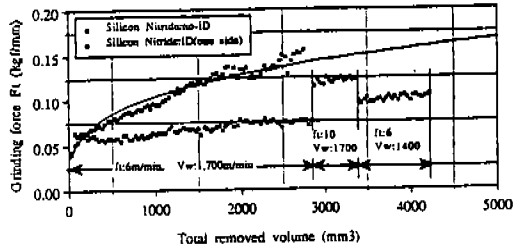


Fig.10 Effects of table speed & grinding speed on the efficiency of "In-process dressing"

\* Experimental condition:  
 depth of cut 10 micron/pass  
 cross-feed rate 4 mm/pass  
 grinding speed 1,400, 1,700 m/min  
 table speed 6, 10 m/min  
 down-cut & wet type

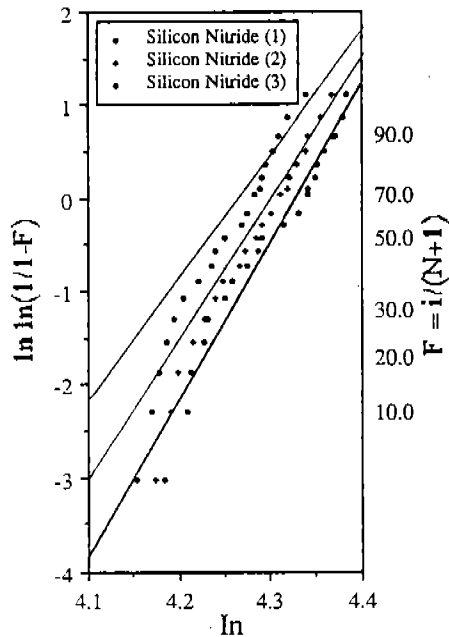
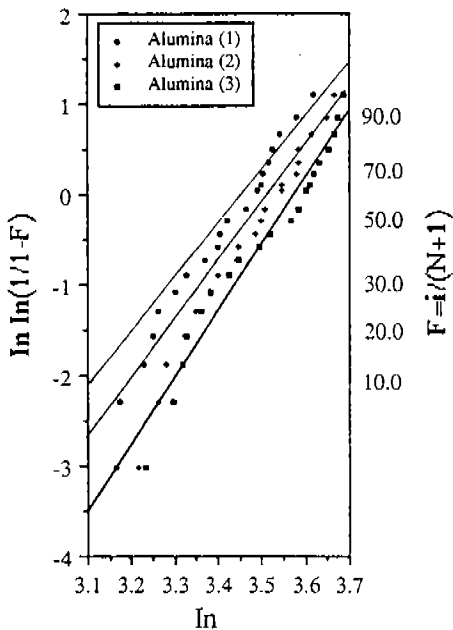


Fig.11 Weibull plotting of bending bending strength values for comparison of "Inprocess dressing" effect

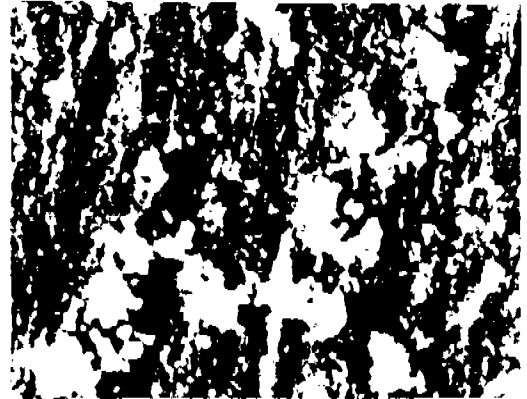
\* notation  
 1: In-process dressed testpiece (one side fixed)  
 2: In-process dressed testpiece (both sides fixed)  
 3: no-"In-process dressing" case

커졌으며, 연삭 주속도를 1,700m/min에서 1,400 m/min로 느려지게 하면 Fn값이 약 25% 정도 커졌다.

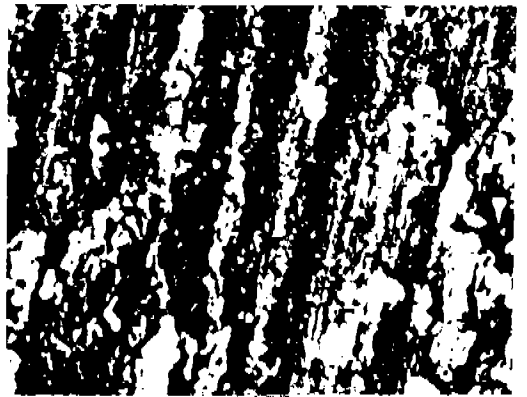
Fig.10은 Silicon Nitride를 대상으로 역시 연삭 주속도와 테이블 이송 속도를 변화시켜가며 가공을 하는 경우에 있어서, ID에 의한 Fn, Ft값 상승 억제 효과를 알아 본 것이다. Fn, Ft값들 모두 동일 조건으로 Alumina ceramics를 가공하는 경우에 비하여 더 우수한 상승 억제 효과가 나타나고 있음을 발견할 수 있었다. 이는 세라믹스재 중에서도 경도가 그 만큼 높은 경우일 수록 더 우수한 ID효과를 기대할 수 있다는 것을 보여주는 것이라 하겠다. 테이블 이송 속도를 6 m/min에서 10m/min로 빠르게 하면 Fn값은 2배 정도, Ft값은 70% 정도 커졌으며, 연삭 주속도를 1,700m/min에서 1,400m/min로 느려지도록 하면 Fn, Ft값들 모두 약 35% 정도 커졌다.

이와 같이 ID를 도입하는 경우와 도입하지 않는 경우로 나누어 각각 정사각형 원재의 공작물 들에 대한 저입도의 다이아몬드 휠을 사용한 고능률적 가공 조건으로 평면 연삭 가공을 실행한 뒤 Multi-cutting M/C으로 절단 후 래핑 및 폴리싱의 후 가공을 통하여 굽힘 강도 시험편의 제작을 마친 후 간이 굽힘 강도 측정시스템에서 시험하여 기계적 특성치들을 구해보았다. 이 데이터들을 Weibull plotting 해 봄으로써 공작물 시험 집단군의 파괴에 대한 신뢰도를 알아보았다.

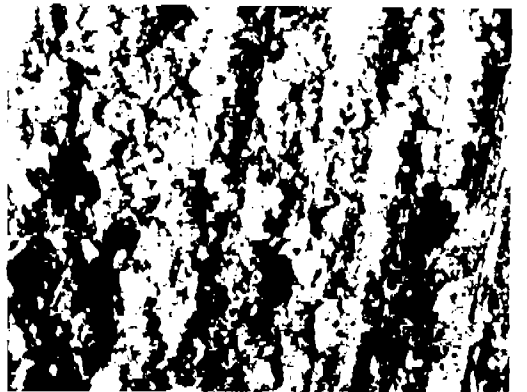
Fig.11은 ID를 도입하지 않고 평면 연삭 가공한 경우와 공작물의 한 단 및 양단에 드레서를 부착한 ID방법을 도입하여 평면 연삭 가공한 공작물 집단들의 각 4점 지지 굽힘 강도 측정 결과치 들을 Weibull plotting하여 비교해 나타내 보인 것이다. 직선 기울기 m값이 클수록 그 값들의 표준편차가 적은 것으로서 우수한 기계적 특성치들을 보이는 것이라 하겠다. 두 가지 소재 모두 역시 ID를 도입한 경우의 집단들이 큰 m 값을 보여 도입하지 않은 집단에 비해 우수한 기계적 특성치를 발휘함을 알 수 있었고, ID를 도입한 같은 경우라 할지라도 양 단에 드레서 들을 부착하는 경우가 한 단에만 드레서를 부



(a) Diamond grain with no-wear condition in the case of "In-process dressing"

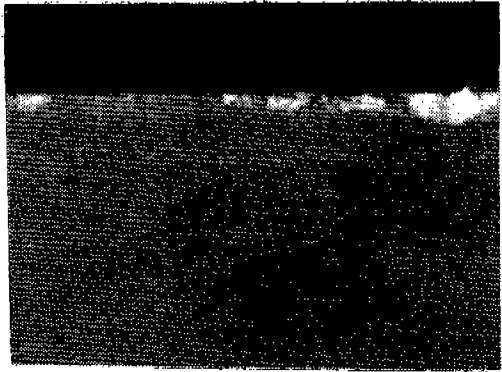
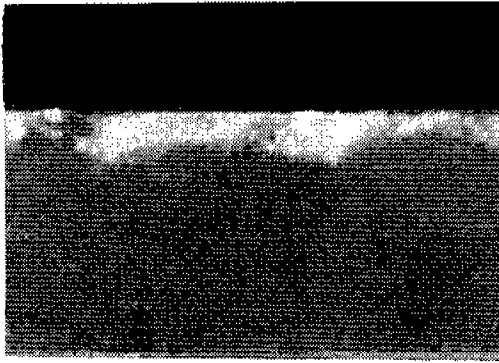


(b) diamond grain with wear condition(1 step) in the case of no-"In-process dressing"



(c) diamond grain with wear condition(2 step) in the case of no-"In-process dressing"

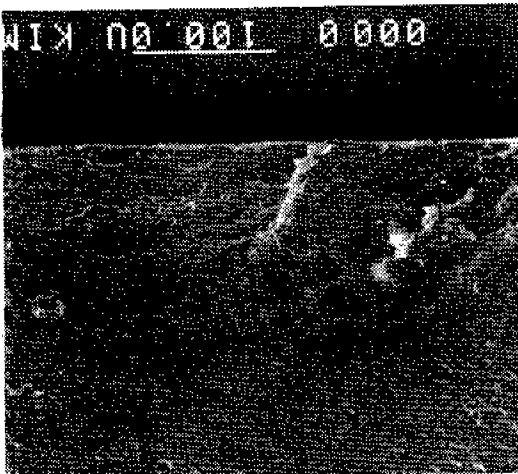
Fig.12 Photographs for comparison of diamond wheel surface with variable conditions



(a) In the case of no-"In-process dressing"  
 --- variable conditions of defected ground surface layer

(b) In the case of "In-process dressing"  
 --- ground surface layer with no defects

Fig.13 Photographs for variable ground surface layers using Stereoscopic microscope  
 (\* Silicon Nitride workpiece)



(a) In the case of no-"In-process dressing"  
 (Alumina workpiece)

(b) In the case of "In-process dressing"  
 (Alumina workpiece)

Fig.14 SEM photographs of variable ground surface layers

작하는 경우에 비해 큰 m 값을 보여 상대적으로 더 우수한 경향을 나타냄을 알 수 있었다. 이는 ID를 도입하지 않는 경우에 있어 고능률적 연삭 가공을 수행하게 되면 공작물 가공면 층의 깊은 가공 결합이 전반적으로 많이 잔재하게 되어 래핑이나 폴리싱 등 제거 가공의 의미가 크지 않은 후 연마 가공들에 의해선 완벽하게 크랙

이나 국부적인 미세한 파괴 흔적들이 제거될 수 없음을 보여주는 것이다. 따라서 고능률적 제거 가공을 위주로 하는 세라믹스재 등 단삭재 류의 평면 연삭에 있어선 In-process 측정 등을 통한 다이아몬드 휠 가공면 상의 지립 마멸 거동을 주시해가며 자주 재 드레싱을 실시해주거나 이상과 같은 ID를 도입하여 지속적인 드레싱 효

과가 발휘될 수 있도록 하는 것이 공작물 가공면 상의 가공 결함들을 최대한 억제시키는 효과를 줌으로써 공작물의 기계적 제거 가공후 시험편 특성치를 최적으로 끌어 올릴 수 있게 하는 방법이라 생각되어진다. 한편, Alumina ceramics의 경우 보다 Silicon Nitride의 경우 더 우수한 강도 데이터 표준편차를 나타내 보이고 있는데, 이는 소재 생산 상의 기술도에 따른 소재 자체의 신뢰도 차에 따른 경향이 나타나는 것이라 사료 되어진다.

가공 진행에 따른 다이아몬드 슷돌 지립의 마멸거동을 관찰하여 Fig.12에 비교해 나타내 보았다. 총연삭 가공 시간이 누적되어짐에 따라 절인의 마멸과 슷돌 입자의 탈락이 이뤄짐을 찾아볼 수 있어 주기적으로 슷돌 가공면을 재조정할 필요가 있음을 알 수 있었다. 이는 고능률적 연삭가공 수행시 장애요인인 슷돌의 눈막힘 현상 방지와 지립의 마멸 현상을 극소화시키는 작업이 반드시 필요하다는 것을 제시해주는 것이라 하겠다.

ID 적용 여부에 무관하게 각각 절입량  $10\mu\text{m}/\text{pass}$ 로 총 제거체적량 약  $1,000\text{mm}^3$ 정도를 가공한 후, Alumina ceramics 소재의 가공 변질층을 SEM촬영하여 Fig.13에 나타내 보았다. ID를 도입하지 않은 경우엔 가공 변질층이 상당히 발생되었음을 알 수 있었고, ID를 도입한 경우엔 가공 변질층을 아직 거의 찾아볼 수 없었다.

절입량을  $20\mu\text{m}/\text{pass}$ 로 크게 하고 총 제거 체적량을 약  $3,000\text{mm}^3$  정도로 많이 진행시켜 보았을 때, ID를 도입하지 않은 경우엔 다이아몬드 슷돌 지립의 절인이 상당히 마멸되어진 후라서 시험편 가공면 상에 파괴 결함들이 다소 발생되어지고 있음을 Stereoscopic microscope으로 확인해 볼 수 있어, 이를 Fig.14에 나타내 보았다. 가공 결함을 포함한 변질층 형성 정도로 보아 래핑을 비롯한 후 연마 가공으로 완벽하게 제거하기 곤란하다고 보이며, 결함 하부의 크랙 선단 역시 깊어 침투되어 졌다고 보이므로 고품위의 가공면으로 제작하여 고신뢰도의 높은 기계적 특성치를 얻기 힘들 것이라는 것을 재고찰해 볼 수 있었다. 상대적으로 ID를 도입한 경우엔 가공

결합의 발생을 거의 찾아볼 수 없는 고품위의 연삭 가공면을 창출해 냄을 재확인해볼 수 있었다.

#### 4. 결 론

ID를 도입함으로써 다이아몬드 연삭 공구의 마멸 억제와 지립 절인의 지속적인 유지 및 생성을 창출해낼 수 있는 효과를 고경도 세라믹스재의 고능률적 평면연삭 가공에 과연 적용해 볼 수 있는가의 여부를 알아보았으며, 또한 이를 정량적으로 평가해보기 위한 방법으로서 굽힘 강도용 시험편을 공작물로서 선정하여 다양한 가공 조건들에 의한 가공을 수행한 후 이들 Alumina ceramics 및 Silicon Nitride 시험편들에 대한 기계적 특성치들을 측정하여 이 결과들을 Weibull plotting 해 봄으로써 ID의 효과에 의한 가공 결함의 억제 현상이 도출되어지는 뚜렷한 경향에 관하여 재고찰해 볼 수 있었다.

본 실험적 연구를 통해 얻을 수 있었던 주요한 몇가지 결과들을 항목별로 정리하여 나타내 보면 다음과 같다.

- ① ID의 도입 여부에 관계없이 세라믹스재의 연삭 분력비( $F_n/F_t$ )는 일반 금속재에 비하여 약 3-4배 정도 큰 값을 보였다.
- ② 판재형의 세라믹스 공작물에 대한 stick type honing stone(WA#300)을 부착하는 ID방법을 도입해 봄으로써, 연삭열 극소화 및 눈막힘 현상 억제효과와 다이아몬드 연삭 공구의 지립 마멸 거동을 억제시키는 효과를 충분히 얻을 수 있었다.
- ③ ID를 도입하지 않은 경우에 비하여 ID를 도입하는 경우에, 그리고 초기 드레싱을 실시하지 않은 경우에 비하여 초기 드레싱을 실시한 상태에서 ID를 도입하는 경우에 총 제거 체적량이 누적되는 초기 영역에 있어서는 상대적으로 더욱 불안정하고 더 큰  $F_n$ 값을 나타냈다.
- ④ ID를 실시한 경우 연삭유를 강하게 주입하는 습식형 가공일수록, 절입량을  $20\mu\text{m}/\text{pass}$  이상으로 비교적 크게 가하는 가공일

수록 총 제거 제적량이 증대할 때 연삭 저항의 상승 억제 효과를 많이 얻을 수 있었다.

- ⑤ ID용 드레서의 너비는 공작물 너비의 약 2/5 정도가 적합하며, 한 측에 부착하는 경우보다 양 단에 1/5씩 대칭되도록 부착하는 경우에 30% 정도 더 큰 효과를 얻을 수 있었다.
- ⑥ 가공 후 제작한 굽힘 강도 측정용 시편의 기계 특성치 측정 결과 ID를 도입했던 집단군의 굽힘 강도치와 그 표준편차가 우수하게 나타남을 알 수 있었으며, Alumina ceramics보다 Silicon Nitride의 경우에 상대적으로 더 적은 표준편차를 보였다.

### 참 고 문 헌

1. 뉴어세라믹스懇談會：セラミックスの超精密加工, 日間工業新聞社, 1983.

2. 汁郷生セラミックス研削用ダイヤモンドホイール、セラミックス加工研究會例會資料,(第二回), P.1~13, 1987.
3. 中川威雄, 鈴木清, 鑄鐵ホンダダイヤモンド砥石によるセラミックスの高エネルギー研削加工, セラミックス加工研究會例會資料,(第四回), P. 10~15, 1987.
4. 강제훈, 이재경, 초지립연삭공구의 최적조정법에 관한 연구, '90 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, p.58-67.
5. 高木純一郎, ダイヤモンドホイール材料の加工損傷に関する研究(第一報), 日本精密工學會誌, Vol56, No.3, P.129-134, 1990.
6. 紫坂敏郎, 燒結ぜい材料の加工損傷に関する研究(第一報), 日本精密工學會誌, Vol56, No.3, p.129-134, 1990.
7. 木本寛外 2名, ガラスおよび多結晶セラミックスにおける缺陷寸法と強度の關係 日本機械學會論文集, Vol.51, No.471, P.242-249, 1985.