論文 한국정밀공학회지 제10권 제2호 1993.6
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 10. No.2 Jun. 1993.

연속 드레싱 공정을 이용한 엔지니어링 세라믹스의 평면 연삭 가공에 관한 연구

강 재 훈*, 허 성 중**, 김 원 일***

A study on the surface grinding machining of Engineering ceramics using "In-process dressing" method

Jae-hoon Kang*, Seoung-jung Heo**, Won-il Kim***

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 High Strength Engineering ceramics Al_2O_3 and Si_3N_4 are ground with diamond wheel. Also bending strength test is carried out to check upward tendancy of mecahnical properties as the result of machining defact 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.

Key Words : Engineering ceramics, In-process dressing, diamond wheel, surface grinding machining, machining defact.

1. 서 론

항공, 우주, 신운송기기, 정보·통신기기, 메카놀틱스, 메카트로닉스, 전자 산업 등의 첨단 산업분야에 대한 선진국들의 경쟁적 연구 개발 노력이 진행되면서, 최근 보다 더 가혹한 분위기 조건 하에서도 우수한 특성과 다양한 기능성 등을 유지할 수 있는 신소재로의 소재 대체화 요구가 더 한층 높아지게 되어졌다. 이에 대해 "Fine Ceramics"는 특히 뛰어난 내마모성과 내열성, 고경도와 고강도 등의 기계적 특성을 지니는 한편 전·자기적, 광학적, 화학적, 생화학적 기능성 등을 발휘할 수 있어 이상과 같은 요구들을 충족시킬 수 있는 제 3의 소재라 할 수 있다[1].

하지만 기계 구조용으로 활용되어지는 "High

* 한국기계연구원 가공기술연구실 선임연구원(정회원)
** 경남대학교 대학원 기계공학과(정회원)
*** 경남대학교 기계공학과(정회원)

strength Engineering Cermics"는 취성이 높다는 단점을 지니고 있어 기존의 설계 도면에 그대로 혹은 근사화하여 소재만 대체시켜 제품화한다면 큰 문제점들이 발생되어진다. 따라서 기계 요소 부품화나 구조용 부재화를 위해선 새로운 기법의 설계가 필수적이 되어지며, 이를 위해선 소재의 기계적 특성치, 특히 굽힘 강도치 (Bending Strength Value) 데이터가 반드시 수반되어져야 한다.

세라믹스는 소재 제조 공법상 소결 과정이 필수적인 바, 이에 따른 수축 현상과 비틀림 등의 바람직하지 못한 변형이 발생되어지므로 이러한 불필요한 부위를 제거하거나 KS규격에 제시되어 있는 시험편의 칫수 및 형상 정도, 상하면의 품위등을 만족시키기 위해선 연삭과 같은 기계적인 제거 가공이 반드시 따르게 된다. 그러나 세라믹스는 금속재와 다른 소재 구조상의 결합 형태를 지녀 금속재에 비하여 가공 조건에 의한 강도 저하 현상이 뚜렷하고 그 표준 편차 값도 매우 커지게 된다[2, 3].

범용 연삭 공구로는 가공성이 극히 낮은 고경도의 세라믹스 가공을 위해선 신가공공구인 다이아몬드 연삭 공구의 사용이 불가피하다[4]. 트루잉과 드레싱 공정으로 연삭 숫돌을 최적 조정한 후 가공을 수행하게 되지만 결합제 층으로 부터 잘 돌출되어지고 날카롭게 형성되어진 다이아몬드 연삭 숫돌 입자의 절인부(cuttingedge)가 얼마나 계속 유지되어질 수 있느냐가 상당히 중요한 관건이 된다[5, 6]. 다이아몬드 연삭 숫돌 입자에 심한 마멸 현상이 진행되어지게 되면, 난삭재인 세라믹스에 대한 정상적인 절입이 어려워지고 과대한 압입 현상이 크게 발생함으로써 가공 능률과 가공면 품위가 저하되어질 뿐 아니라 가공면으로 부터 깊은 층까지 크랙 등의 결함이 지속적으로 잔재되어지는 요인이 된다. 따라서 이를 개선키 위해 후 다듬질 가공인 래핑이나 폴리싱 공정을 도입하지만 가공 결함들이 완벽하게 제거 되어지는 것을 기대할 수 없으며, 결국 이와 같은 국부적 결함들이 잔재하게 됨으로써 조기 파괴 현상이 초래되어 최대 굽힘 강도치를 발휘할 수 없게 된다[7, 8].

따라서 본 연구에서는 평면 연삭 가공시에 다이아몬드 연삭 숫돌에 대한 연속 드레싱(In-process dressing, 이하 ID로 표기함) 방법을 도입하여 초기 드레싱 효과가 어느 정도 계속적으로 유지되는 한편, 가공 공정 중의 재드레싱 효과에 따른 숫돌 입자의 마멸 억제 정도를 어느 만큼 기대할 수 있는가를 알아 보고, 또한 ID를 통하여 과연 가공 결함이 충분히 억제되어지고 연삭 가공의 고품위화가 이뤄짐으로써 기계적 특성치의 향상과 표준 편차 및 신뢰성의 개선이 얼마나 초래되어질 수 있는 가에 대해서 알아보고자 하였다.

2. ID방법을 도입한 평면 연삭 가공 실험

2.1. 실험장치

본 실험에 사용되어진 연삭반은 주축 동력 1.5kW의 횡축 평면 연삭반으로서 주축의 무단 변속화를 위한 무단 변속 모터를 장착하였으며, 비자성 소재의 가공을 위해 "원심 분리식+paper filtering"의 2중 절삭칩 제거 장치를 부착하였다.

시험편은 순도 99.7%의 고순도 Alumina c-eramics와 일본 K사에 주문, 제작한 소결형 Silicon Nitride ceramics로, 50×50×6(mm)의 정사각형 판재이며, 그 특성치는 Table. 1에 나타낸 바와 같다.

연삭 가공 공구로서는 resin bond계 다이아몬드 연삭

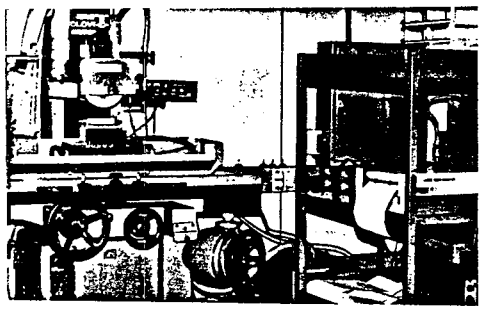
Table 1. Material properties

material / properties	Alumina	Silicon Nitride
Density (g/cm^3)	3.8	3.2
Thermal conductivity (cal/cm. s. ℃)	0.05 (RT)	0.05 (RT)
Young's modulus ($X10^{-4}kg/mm^2$)	4.0 (RT)	2.8 (RT)
Poission's ratio	0.25	0.28
Vicker's hardness (kg/mm^2)	1,900 (RT)	1,800 (RT)
Bending strength (kg/mm^2)	30 (RT)	85 (RT)
Fracture toughness (MPa $m^{-1/2}$)	3.5 (RT)	6.7 (RT)

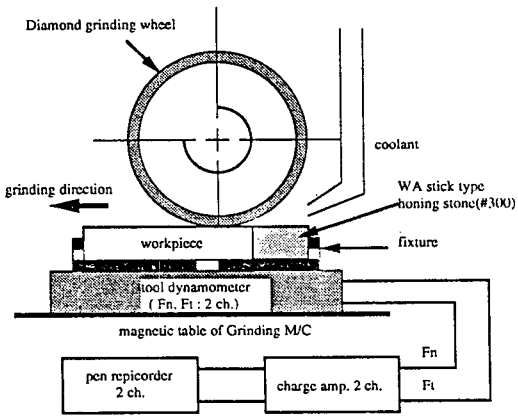
공구를 사용한 바, 1A1 type straight wheel로서 (D) 180×(d) 31.75×(W) 10×(t) 3mm의 사양을 갖는 SDC140N100RW3.0 연삭 숫돌이다.

법선과 접선의 두 연삭 저항 성분(Fn & Ft)을 In-process측정하기 위하여 piezoelectric type의 3-componant tool dynamometer(Swiss KI-STLER Co. 9257 A)를 사용하였으며, 2-ch. 의 charge amplifier(Swiss KISTLER Co. 504 A)를 사용하여 증폭한 뒤 Repicorder(Japan SAN-EI Co. 2503 type)를 통하여 기록해 비교해 보았다.

그리고 Stereoscopic macroscope(Japan NIKON Co. 251 type)및 SEM을 통하여 연삭 숫돌 입자의 상태 및 피삭재 가공면의 결함을 각각 판별해 보았으며, 가공면의 표면 조도는 S-urface rouhgness tester(Japan MITHUTOYO Co. 촉침식 201S type)를 사용하여 구해 보았다. Fig. 1에 실험 시스템 및 Diagram을 나타내 보았다.



(a) Photograph of grinding machining system



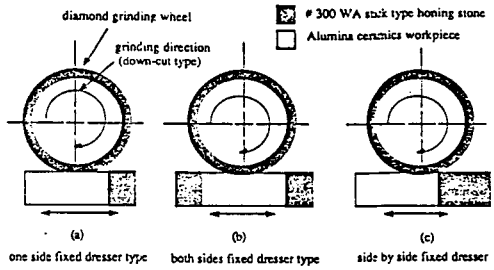
(b) Diagram of grinding machining system

Fig. 1 Photograph & diagram of experimental system

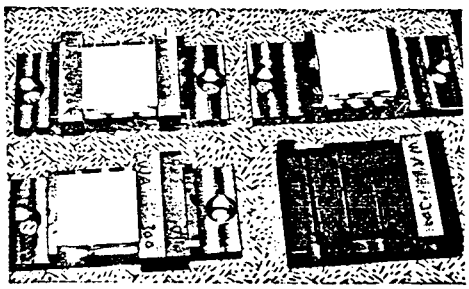
2.2. 실험 방법

원재를 다이아몬드 절단 숫돌을 사용한 Low speed cutting M/C으로 한 변이 50mm인 정사각형 관재로 성형 절단한 후, 평면 연삭반 상에서 정사각형 관재의 상하면을 굽힘 강도 시험편의 칫수(W4×t3×L50mm)로 제거 및 다듬질 가공을 실행하였다.

한편 다이아몬드 연삭 공구의 ID에 의한 재드레싱 및 마멸 억제 효과가 드레서의 크기를 따라 어떠한 경향을 보이는 가를 알아보고자, Fig. 2과 같은 여러가지 형의 치구를 제작하여 실험을 해보았다. 비자성체인 시험편을 동력계에 부착하기 위하여 치구를 제작하였으며, 자려 진동 등의 noise 요소들을 제거하고자 접착제로 접착한 후 다시 볼트로 체결하였다.



(a) Diagram of various "ID" types



(b) Photograph of various fixtures for "ID"

Fig. 2 Various "ID" types and fixtures for grinding experiment

매회 실험 시마다 초기 트루잉과 드레싱 공정을 반드시 수행함으로써 동일한 연삭 공구의 가공면 상태가 이뤄지도록 하였는데, Fig. 3과 같이 brake type truier을 사용한 트루잉과 WA stick type honing stone을 사용한 드레싱을 병행하는 방법 및 최적 조건[9]을 활용하

Fig. 3 Trueing and dressing methods used in this experiment
(a) Trueing process using brake type truier
(b) Dressing process using WA stick type honing stone

였다. Table. 2, 3에는 본 실험의 연삭 가공 조건 및 트루잉, 드레싱 조건을 각각 나타내 보았다.

그 뒤 금속 마운트에 접착제로 세라믹스 정사각형 관재를 부착하여 테이블에 고정시킨 후, 다이아몬드 휠을 사용한 Multi-cutting M/C(Japan MARDO Co. Ceramicron MX-833)로써 절단 가공하였으며, 이들을 4점 지지 굽힘 강도 측정용 간이 시스템을 부착한 인장 시험기에서 시험하여 기계적 특성치들을 구하여 비교해 보았다.

2.3. 결과 및 고찰

2.3.1. 세라믹스재와 금속재의 연삭 분력비 비교

대표적인 금속재라 할 수 있는 S45C 강재와 Silicon Nitride ceramics의 연삭 분력비(Fn/Ft)를 구하여 비교해 본 것을 Fig. 4에 나타내 보았다. 그 분력비가 Silicon Nitride ceramics의 경우에 약 3-4배 이상으로 큰 값을 나타내 보이고 있는 바, 배분력(법선 연삭 저항, normal grinding force, Fn)이 이렇게 큰 것은 고경도의 피삭재에 대한 숫돌 입자 절인의 관입이 매우 어렵기 때문인 것으로 여겨진다. 이는 실상 세라믹스재의 기계적 제거 가공이 미소 파괴 현상의 연속에 의해 이뤄짐을 감안할 때 취성재의 가공 표면으로 부터 그만큼 깊이 파괴적 결함을 잔재하도록 하는 요인이 될 수 있다고 생각할 수 있다. 또한, 절입량을 비교적 크게하는 고능률적 연삭 가공을 추구할 시, 다이아몬드 숫돌 입자에 예리한 절인이 시간 경과에 따라 점차 마멸되어짐에 따라 그만큼 고경도 피삭재에 대한 관입이 어려워지게 되어짐으로써 강제 압입에 의한 결함들이 증대해질 수 있다는 것을 보여주는 것이라 할 수 있다.

Table 2. Grinding condition

Grinding wheel	SDC140N100RW-3.0(D180×d31.75×W10mm)
Peripheral wheel speed Vw(m/min)	1,400, 1,700
Table speed Tf(m/min)	3.0, 6.0, 10.0
Depth of cut (μm/pass)	5, 10, 20
Cross-feed rate (mm/pass)	4.0
Cutting type	down-cut, wp-cut (dry type, wet type)

Table 3. Truing & Dressing condition

Truing	Brake type truier	C80N wheel (D80×d10×W25mm)
	Wheel speed (m/min)	1,700
	Table speed (m/min)	3.0
	Depth of cut (μm/pass)	10 (total 200 μm)
	Cutting type	down-cut (wet type)
Dressing	Stick type honing stone	WA220M (20×21×200 mm)
	Wheel speed (m/min)	1,700
	Table speed (m/min)	1.5
	Depth of cut (μm/pass)	100(total removal volume 1000mm³/mm)
	Cutting type	down-cut (wet type)

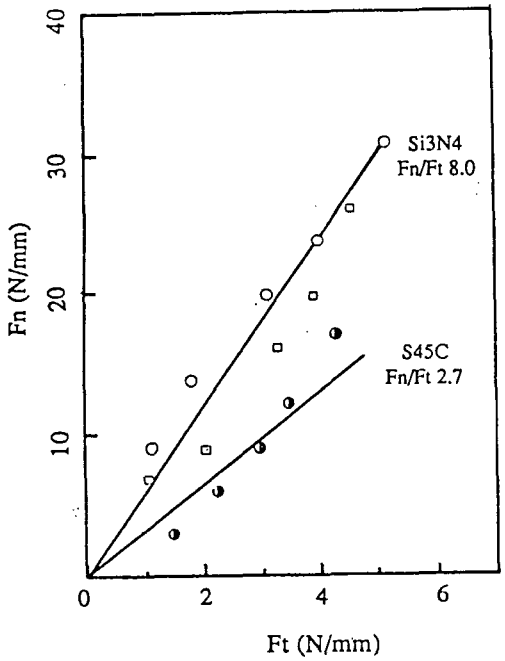


Fig. 4 Comparison of grinding force Fn & Ft (Silicon Nitride ceramics vs. S45C steel)

2.3.2. ID도입 방법에 따른 재드레싱 효과의 경향

소결 과정을 거친 세라믹스의 표면 조직은 조직 분포나 물성의 차이가 심하여 결국 상당한 깊이 만큼의 표층 제거를 가하는 것이 바람직하다. 이를 위해 정사각형 원재의 상하 면을 초기 형상 결함 정도 이상으로 일단 고능률적 제거 가공을 수행할 필요가 있게 된다. 보통 10 μm/pass 이상의 비교적 큰 절입량으로 저입도의 다이아몬드 휠을 사용하여 제거 가공하는 경우가 대부분인 바, 우선 이러한 에비 가공에 있어 ID를 도입할 경우 어느 정도 다이아몬드 휠의 눈 막힘 현상을 억제하는 한편 연삭 열에 의해 다이아몬드 지립이 취약해져 탈락되거나 타버리게 되는 다이아몬드 휠의 가공면 부위에 대한 재드레싱 효과도 얻을 수 있는 가를 알아보았다. 절입량 10 μm/pass를 가하며 계속 가공물 제거량을 누적시켜 나가는 건식 연삭 시, ID에 의한 연삭 저항의 상승 억제 효과를 구하여 Fig. 5에 나타내 보았다. (c)의 경우와 같이 ID를 가하지 않는 경우엔 가공물의 총 제거 체적량이 누적됨에 따라 연삭 저항이 급격하게 증가하는 현상을 보이는 반면, 가공물 너비의 1/5크기 폭을 갖는 드레서를 이용한 ID에 의해서 큰 상승 폭 없이 거의 일정하게 그 값을 유지할 수 있다

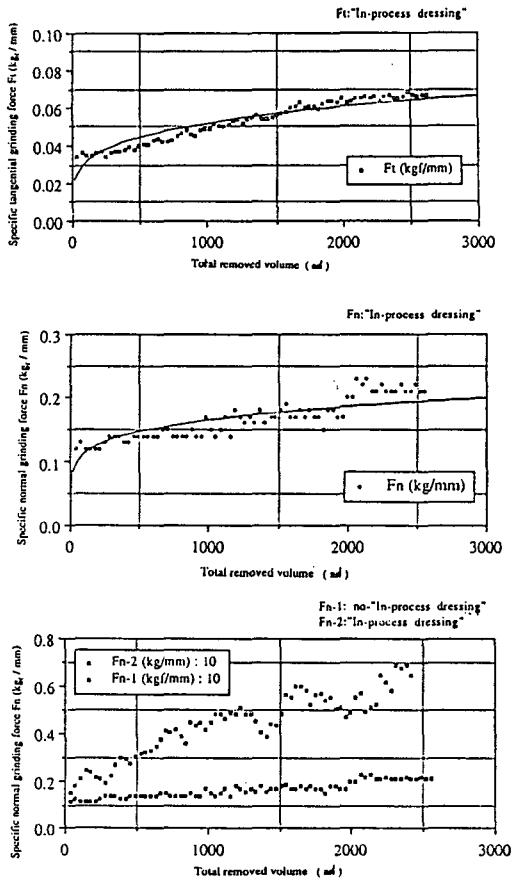


Fig. 5 Effect of "In-process dressing" on the grinding force in the case of no-initial dressed condition

*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

는 것을 알 수 있었다. 한편 ID를 가하지 않는 경우의 연삭 저항 변화 추이를 통하여 연삭 숫돌 입자의 마멸과 탈락, 그리고 결합제가 자연스럽게 탈락한 후의 숫돌 입자 돌출 현상이 주기적으로 발생하고 있음을 발견할 수 있어, 다이아몬드 휠과 같은 소위 초지립(超砥砬)연삭 공구에 있어서도 연삭 숫돌 입자의 자생 작용이 이뤄짐을 확인해 볼 수 있었다. (b), (c)로 부터 ID를 가하는 경우에 있어서도 법선 연삭 저항 성분(이후 Fn이라 약칭함)이 접선 연삭 저항 성분(이후 Ft이

라 약칭함)보다 약 3배 정도 큰 값을 나타냄을 알 수 있었으며, 또한 고경도 가공물의 특성상 연삭 숫돌 입자의 절입에 의한 치핑 발생시 소요되는 Fn값의 변화폭이 상대적으로 커짐도 알 수 있었다. 세라믹스의 연삭 가공에 있어서는 Fn값이 주요한 고찰 요인이 되므로 이후 이 저항 성분을 대상으로 하여 주로 언급하고자 한다.

Fig. 6에 건시과 습식 방식 차에 따른 ID 효과의 경향을 비교해 나타내 보았다. (a)로 부터 동일하게 ID를 가하더라도 절입량 10 μm/pass에서 비교적 중절입량이라 할 수 있는 20 μm/pass로 증가하게 되면 Fn값이 약 2.5-3.0 배 증가함을 알 수 있었으며, ID의 도입 여부에 무관하게 습식 방식으로 절입량 20 μm/pass를 가하는 경우에 건식 방식으로 절입량 10 μm/pass를 가하는 경우보다 총 제거 체적량이 누적되어가도 Fn의 상승폭이 적음을 찾아볼 수 있었다. 이는 연삭유를 강하게 주입할 시 chip의 배출이 용이해지는 한편 연삭 열의 과다한 발생이 상당히 억제되어 다이아몬드 지립의 열화 현상이 상당히 억제되어 질 수 있기 때문인 것으로 사료된다. 가공전 초기 드레싱을 하고 동일한 절입량 10 μm/pass를 가하는 경우, 총 제거 체적량이 누적되어갈 때 ID 도입 여부와 건식과 습식 방식 차에 따른 Fn값의 경향을 (b)에 나타내 보았다. 총 제거 체적량이 약 3,500mm^{3}에 달했을 때 건식의 경우 ID에 무관하게 모두 Fn값이 습식의 경우에 비해 약 2배 정도 커짐을 알 수 있었고, 총 제거 체적량이 누적되어갈수록 증가되어져 가는 Fn값의 변화 폭이 비교적 심해짐을 알 수 있었다. 또한, ID를 가하더라도 건식의 경우 약 2,500㎟의 총 제거 체적량을 전후로 Fn값의 비교적 상당한 증가 현상을 보이는 것은 숫돌의 눈막힘 현상이 심해짐을 나타내 주는 것으로서 세라믹스의 고능률적 연삭 가공을 위해선 역시 습식의 가공 방법을 채택하는 것이 바람직하다는 것을 제시해준다고 하겠다.

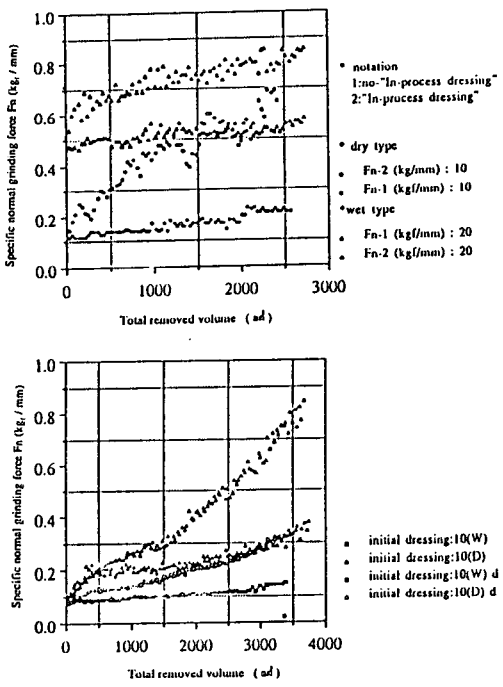


Fig. 6 Effect of "In-process dressing" on the grinding force in the case of initial dressed condition
*Experimintal condition :
grinding speed; 1,700 m/min
table speed; 6 m/min
cross-feed rate; 4 mm/pass
depth of cut; 10, 20 micron/pass
down-cut & dry, wet type

Fig. 7은 가공전에 초기 트루잉과 드레싱을 한후 다양하게 절입량을 변화시켜가며 습식으로 연삭하는 경우에, ID에 의한 Fn값 억제 정도가 어떻게 변화되어지는 가에 대하여 알아본 것이다. 절입량 5 μm/pass의 경우엔 ID에 의한 Fn값 증가 억제 효과가 큰 절입량의 경우들에 비해 오히려 적은 한편, 비교적 그 증가율이 커 총 제거 체적량 약 3,500㎟정도에 달해서는 초기에 비하여 약 50% 정도 큰 값이 되어졌으며, ID를 도입한 가공 중에서도 Fn값 변화 폭이 다른 경우에 비해 뚜렷이 나타났다. 이는 절입량이 상당히 적어지게 되면 ID에 의한 재드레싱 효과가 나타난다고 하기보다 부착한 드레서에 의한 다이아몬드 연삭 숫돌 입자의 마멸 현상이 가공물 제거에 의한 것에 비해 무시하지 못할 정도로 크게 작용되어질 수 있다는 것을 보여주는 것이라 하겠다. 이에 비해 절입량 10, 20 μm/pass의 경우엔 ID에 의한 Fn값 억제 효과가 뚜렷이 나타나고 있음을 알 수 있었으며, 절입량을 크게 가할수록 가공 초기에 있어 ID를 도입한 경우 당분간 큰 Fn값을 나타내고 있음도 확인할 수 있었는데 이것도 앞의 경우에서와 같은 이유로 인한 것으로 사료된다. 특히, ID를 도입하더라도 20 μm/pass의 비교적 큰 절입 가공에 있어선 총 제거 체적량 약 1,500mm^3 이후로 다른 경

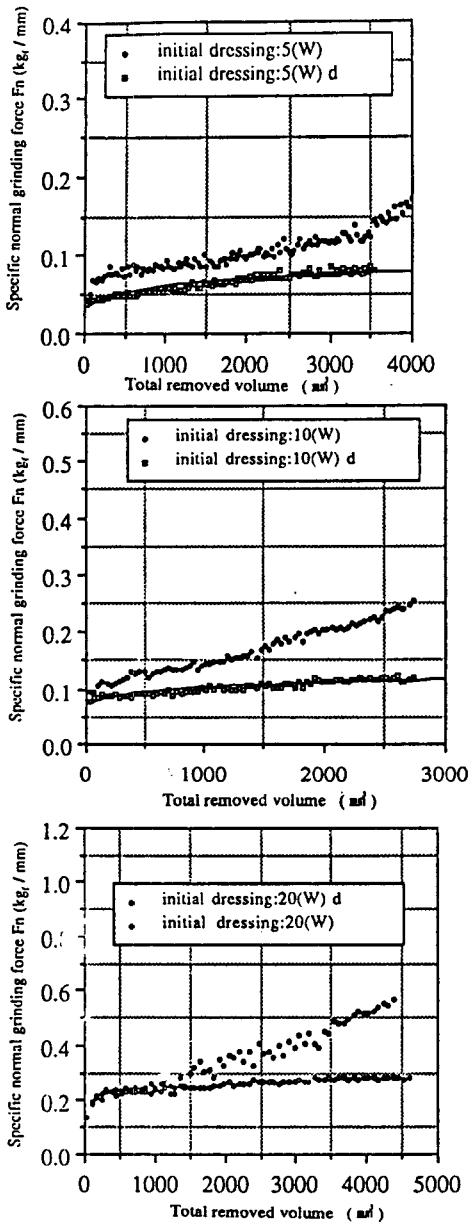


Fig. 7 Effect of "In-process dressing" on the grinding force for various depth of cut in the case of initial dressed condition
*Experimental condition
grinding speed; 1,700 m/min
table speed; 3 m/min
cross-feed rate; 4 mm/pass
down-cut & wet type

우들에 비해 Fn값의 증가폭이 두드러지긴 하였으나, ID를 도입하지 않은 경우에 비하여 총 제거 체적량 4, 500mm³ 이후가 되더라도 50%이상 효율적인 Fn값 상승 억제 효과를 얻을 수 있어 중절입량일수록 그리고 총 제거 체적량이 크게 늘어날수록 유용하게 도입 활용할 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 8은 20 ㎛/pass의 큰 절입량을 가하며 총 제거 체적량을 5,000mm³ 정도로 많이 누적시켜 나갈 때, ID용 드레서의 폭을 공작물 너비의 1/5과 2/5두 경우로 부착시키면 Fn값 상승 억제 효과의 경향이 어떻게 나타나는 가에 대해 알아본 것이다. 후자의 경우 전자의 경우에 비하여 약 25% 정도 더 큰 억제 효과를 얻을 수 있었지만 상대적으로 그 상승 폭과 변화 폭이 비교적 두드러지게 나타남을 찾아볼 수 있었다. 공작물 너비의 1/5인 폭을 갖는 드레서를 공작물의 양 단에 부착하는 경우에 있어선 한 쪽에 부착하는 경우에 비해 약 30% 정도 더 큰 Fn값 억제 효과를 얻을 수 있는 한편, 그 상승 폭과 변화 폭이 거의 나타나지 않음도 알수 있어 이 경우가 보다 나은 ID 도입 방법이라 생각되어진다.

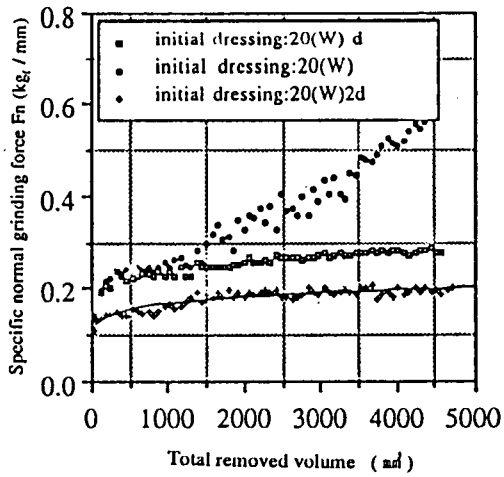


Fig. 8 Effect of "In-process dressing" type on the grinding force in the case of initial dressed condition

Fig. 9는 연삭 주속도와 테이블 이송 속도를 변화시키는 경우에 대해 ID에 의한 Fn값 상승 억제 효과의 경향을 알아본 것이다. 어느 경우에 있어서도 ID에 의한 재드레싱 효과를 충분히 얻을 수 있었고, 테이블

이송 속도를 6 m/min에서 10 m/min로 높이면 Fn값이 약 35-45% 정도로 커졌으며, 연삭 주속도를 1,700 m/min에서 1,400 m/min로 낮추면 Fn값이 약 20-30 % 정도 커졌다.

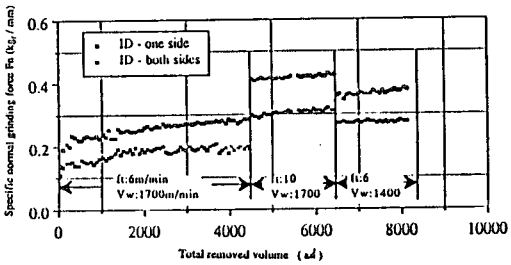


Fig. 9 Effects of table speed & grinding speed on the efficiency of "In-process dressing"
*Experimental condition :
depth of cut; 20micron/pass
cross-feed rate; 4mm/pass
grinding speed; 1,400, 1,700 m/min
table speed; 6, 10 m/min
duwn-cut & wet type

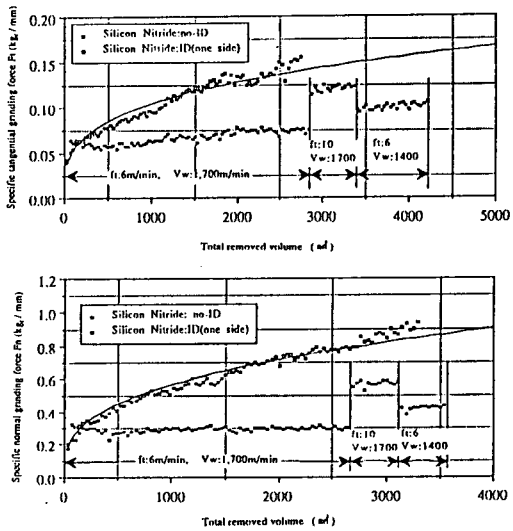


Fig. 10 Effects of table speed & grinding speed on the efficiency of "In-process dressing"
*Experimental condition :
depth of cut; 10 micron/pass
cross-feed rate; 4 mm/pass
grinding speed; 1,400, 1,700 m/min
table speed; 6, 10 m/min
down-cut & wet type

Fig. 10은 Silicon Nitride ceramics에 대해 연삭 주속도와 테이블 이송 속도의 가공 조건을 변화시켜가며 가공할 시, ID에 의한 Fn, Ft값 상승 억제 효과를 알아본 것이다. Fn, Ft값들 모두 동일 조건으로 Alumina ceramics를 가공하는 경우에 비하여 더 우수한 상승 억제 효과가 나타나고 있음을 발견할 수 있었다. 이는 경도가 높은 세라믹스 공작물일수록 더 우수한 ID효과를 기대할 수 있다는 것을 보여주는 것이라 하겠다. 테이블 이송 속도를 6 m/min에서 10 m/min로 높이면 Fn값은 약 2배, Ft값은 약 70% 커졌으며, 연삭 주속도를 1,700 m/min에서 1,400 m/min로 낮추면 Fn, Ft값들 모두 약 35% 정도 커졌다.

2.3.3. 가공후의 기계적 특성치 비교

평면 연삭 실험후 Multi-cutting M/C으로 절단하고 래핑 가공을 하여 굽힘 강도 시험편으로 완성하고, 간이 굽힘 강도 측정 시스템을 이용하여 기계적 특성치를 구해보았다. 이 데이터들을 Weibull plotting 해 봄으로써 공작물 시험 집단군의 표준 편차 값과 신뢰도를 알아보았다.

Fig. 11은 ID를 도입하지 않은 경우와 공작물의 한 단 및 양 단에 드레서를 부착한 ID방법을 도입한 경우와 공작물에 대한 굽힘 강도 측정 결과치 들을 Weibull plotting하여 비교해 나타내 본 것이다. 직선

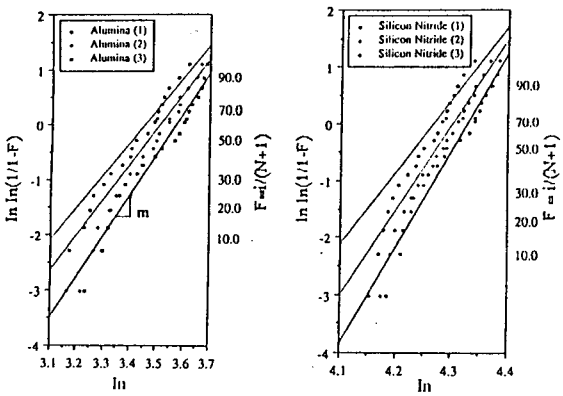


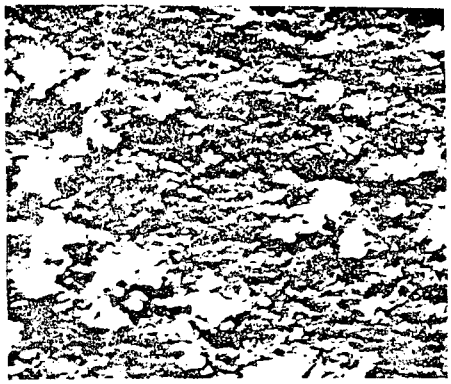
Fig. 11 Weibull plotting of bending bending strength values for comparison of "In-process dressing" effect

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

기울기 m값이 클수록 그 값들의 표준편차가 적은 것으로서 우수한 기계적 특성치들을 보이는 것이라 하겠다. 두 가지 소재 모두 역시 ID를 도입했던 집단들이 상대적으로 큰 m값을 보여 도입하지 않은 집단에 비해 우수한 기계적 특성치들을 발휘함을 알 수 있었고, ID를 도입한 경우도 양 단에 드레서들을 부착하는 경우가 한 단에만 드레서를 부착하는 경우에 비해 큰 m값을 보여 상대적으로 더 우수한 경향을 나타냄을 알 수 있었다. 이는 ID를 도입하지 않고 고능률화를 추구하는 연삭가공을 수행하게 되면 공작물 가공면 층에 깊이 가공결함이 존재하게 되므로, 래핑과 같은 후연마 가공에 의해선 완벽하게 크랙이나 가공 변질층들이 제거되어질 순 없음을 보여주는 것이다. 따라서 고능률적 제거 가공을 위한 세라믹스의 평면 연삭에 있어선 In-process 측정 등을 통한 다이아몬드 휠 가공면 상의 연삭 숫돌 입자 마멸 거동을 주시해가며 자주 반복적인 드레싱을 실시해주거나, ID기법을 도입하여 지속적인 드레싱 효과가 유지되어질 수 있도록 하는 것이 가공 결함을 최대한 억제시키고 가공성을 향상시키게 함으로써, 결국 시험편이나 제품의 기계적 특성치를 최대화할 수 있도록 하는 방법이라 생각되어진다. 한편 동일 가공 조건으로 국산 Alumina ceramics와 일산 Silicon Nitride ceramics 소재를 가공했을 때, ID도입 여부나 도입 방법에 따른 Alumina ceramics 각 경우의 특성치 시험 결과치 보다 Silicon Nitride ceramics의 경우에 그 표준편차값이 더 우수하게 나타나는 것은 소재 제조 기술 수준의 차이에 따른 소재 자체의 신뢰성이 반영되는 결과라고 사료되어진다.

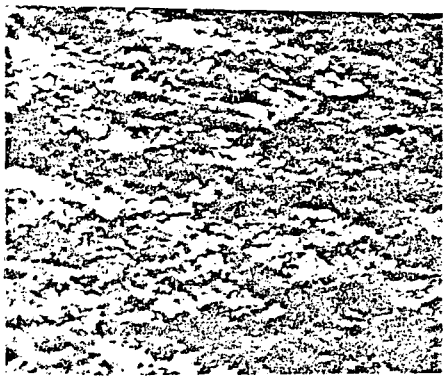
2.3.4. 다이아몬드 연삭 숫돌 입자와 가공면에 대한 고찰

다이아몬드 연삭 숫돌 입자가 트루잉, 드레싱 과정을 통해 절인이 형성되고 결합체 층으로 부터 돌출되어진 후, 가공이 진행되어진 후에 마멸되어지게 되는 주기의 상태를 Fig. 12에 비교해 나타내 보았다. 연삭 가공 시간이 계속 누적되어짐에 따라 절인의 마멸과 숫돌 입자의 탈락이 이뤄짐을 확연히 알아볼 수 있었으며, 따라서 주기적으로 숫돌 가공면을 재조정할 필요가 있음을 알 수 있다. 이는 고능률적 가공의 수행에 있어 가장 장애가 되는 공구의 눈막힘 현상 방지와 마멸 현상을 극소화시키는 작업이 필수적으로 요구됨을 잘 나타내 보이는 것이라 하겠다.



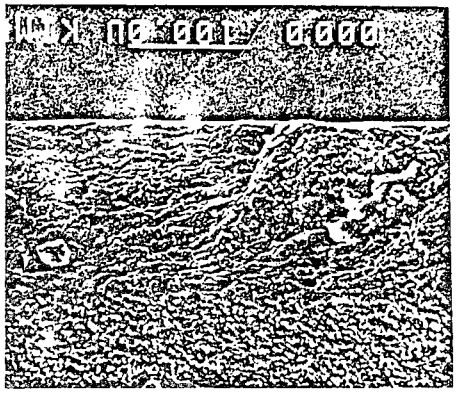
(a) Diamond grain with no-wear condition in the case of "In-process dressing"

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

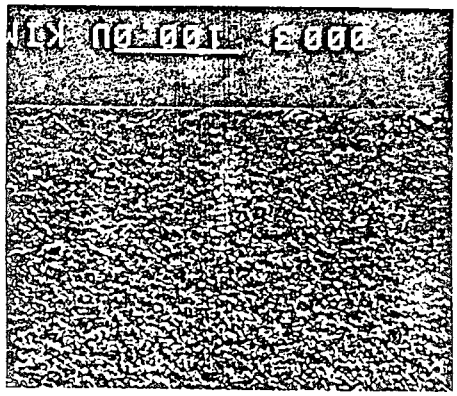


(c) Diamond grain with wear condition (2 step) in the case of no-"In-process dressing"

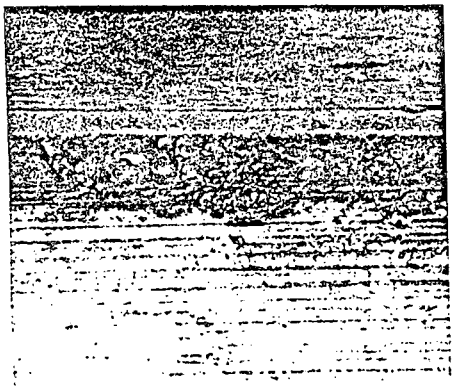
Fig. 12 Photographs for comparison of diamond wheel surface with various conditions (×80)



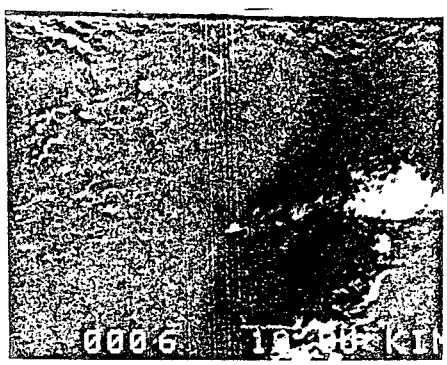
(a) In the case of no-"In-process dressing" (Alumina workpiece)



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



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

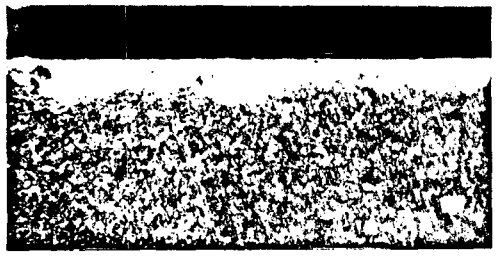


(b) In the case of "In-process dressing" (Silicon Nitride workpiece)

Fig. 13 SEM photographs of variable ground surface layers (×750)

ID 적용 여부에 무관하게 각각 절입량 10μm/pass로 총 제거 체적량 약 1,000mm^3 정도를 가공한 후에, 그 가공면 하의 가공 변질층을 SEM 촬영하여 Fig. 13에 나타내 보았다. ID를 실시하지 않은 경우엔 가공 변질층이 상당히 발생되었음을 알 수 있었고, Silicon Nitride ceramics에 비하여 Alumina ceramics의 경우에 상대적으로 더 깊이 까지 발생되었음을 비교하여 볼 수 있었다. ID를 도입한 경우엔 가공 변질층을 아직 거의 찾아볼 수 없었으며, 특히 Silicon Nitride ceramics의 경우엔 더 높은 배율로 확대해보아도 거의 찾아볼 수 없었다. 이는 두 소재의 경도 및 강도치의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

절입량을 20 μm/pass로 크게 하고 총 제거 체적량을 약 3,000mm^3 정도로 많이 진행시켜 보았을 때, ID를 도입하지 않은 경우엔 다이아몬드 지립의 절인이 상당히 마멸되어진 후라서 시편 가공면 상에 여러가지 형의 파괴 등 가공 결함들이 많이 발생되어지고 있음을 Stereoscopic microscope를 이용하여 확인해 볼 수 있었으며, 이를 Fig. 14에 나타내 보았다. 가공 결함들의 크기및 깊이를 볼 때 래핑 등의 후 연마 가공으로 완벽히 제거하기 힘들고 크랙 선단의 침투 깊이가 상당할 것으로 추정되어 고품위의 가공면을 도출하여 고신뢰도의 높은 기계적 특성치를 얻기 힘들 것이라는 것을 재고찰해볼 수 있었다. 상대적으로 ID를 도입한 경우엔 가공 결함의 발생을 거의 찾아볼 수 없는 고품위의 연삭 가공면을 창출해 냄을 재확인해 볼 수 있었다.



(a) in the case of no-"ID" defected ground surface layer

(b) in the case of "ID" ground surface layer without defects

Fig. 14 Photographs of various ground surface layers (×260)

3. 결 론

다이아몬드 연삭 공구의 눈 막힘 현상 억제와 숫돌 입자 절인부의 계속적인 유지 및 생성 효과를 ID 기법을 도입함으로써 충분히 얻을 수 있는 지를 고경도 세라믹스 재를 대상으로 한 고능률적 평면 연삭 가공 실험을 수행함으로써 측정한 연삭 저항 성분을 주로 하여 확인해 보았으며, 과연 실제 부품화 가공에 적용해 볼 수 있는 가의 여부를 알아보았다. 그리고 이를 정량적으로 평가해보기 위한 방법으로서 굽힘 강도용 시험편을 단순한 형의 부품으로 선정하여 가공 조건을 다양하게 변화시킨 연삭 실험을 수행한 후, 이들 Al_2O_3 및 Si_3N_4 세라믹스 시험편들에 대한 굽힘 강도 값들을 측정하고 결과들을 Weibull plotting 해 봄으로써, ID 효과에 의한 가공 결함 억제 현상이 확연하게 나타나는 경향을 찾아내어 재고찰해 볼 수 있었다.

본 실험적 연구를 수행함으로써 얻을 수 있었던 주요한 몇 가지 결과들을 항목별로 정리하여 나타내 보면 다음과 같다.

① Si_3N_4 세라믹스의 연삭 분력비, Fn/Ft는 ID의 도입 여부에 관계없이 일반 금속재인 S45C에 비하여 약 3-4 배 정도 큰 값을 보였다.

② Stick type honing stone을 드레서 공구로 이용하여 부착시키는 ID방법을 도입해 봄으로써, 다이아몬드 연삭 공구의 지속적인 재드레싱 효과를 충분히 얻을 수 있었다.

③ ID를 도입하는 경우와 가공전 드레싱을 실시한 후 ID를 도입하는 경우에 가공의 초기 영역에 있어 상대적으로 더 불안정하고 큰 Fn값을 나타냈다.

④ ID의 도입시 연삭유를 강하게 주입하는 습식형 가공일수록, 절입량을 20 μm/pass 이상으로 비교적 크게 가하는 가공일수록 총 제거 체적량이 증대할 때 연삭저항의 상승 억제 효과를 상대적으로 더 많이 얻을 수 있었다.

⑤ ID용 드레서의 너비는 공작물 너비의 약 2/5 정도가 적합하며, 한 측에 부착하는 경우보다는 양 단에 1/5씩 대칭되도록 부착하는 경우에 30% 정도 더 큰 효과를 얻을 수 있었다.

⑥ 가공 후 제작한 굽힘 강도 측정용 시험편의 특성치들은 ID를 도입했던 경우에 적은 표준편차값으로써 더 크게 나타남을 알 수 있었으며, 국산 Al_2O_3 세라믹스 보다 일산 Si_3N_4 세라믹스의 경우에 상대적으로 더 적은 표준편차를 보였다.

참고문헌

1. ニューセラミツクス懇談會：セラミツクスの超精密加工, 日間工業新聞社, 1983.
2. 강재훈, 이재경, 화인 세라믹스의 고능률적 평면 연삭가공을 위한 실험적 연구(1), 한국정밀공학회지, Vol. 7, No. 4, p. 40~54, 1990.
3. 정윤교, 강재훈, 파인 세라믹의 연삭가공 특성, 한국정밀공학회지, Vol. 7, No. 2, p. 105~112, 1990.
4. 汁郷康生, セラミツクス研削用ダイヤモンドホイール, セラミツクス加工研究會例會資料, (第二回), p. 1~13, 1987.
5. 中川威雄, 鈴木 清, 鑄鐵ボンドダイモンド砥石による セラミツクスの 高能率研削加공, セラミツクス加工研究會例會資料, (第四回), p. 10

~15, 1987.
6. 高木純一郎, ダイヤモンドホイールの切れ味の評價, セラミツクス加工研究會例會資料, (第二回), p.25~35, 1987.
7. 紫坂敏郎, 燒結ぜい材料の加工損傷に關する研究(第一報), 日本精密工學會誌, Vol. 56, No. 3, p.129~134, 1987.
8. 木本寬外 2名, ガラスおよび多結晶セラミツ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.2482~2489, 1985.
9. 강재훈, 이재경, 초지립연삭공구의 최적조정법에 관한 연구, '90 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, p.58~67