



다이아몬드 공구 내부 냉각법에 의한 세라믹스의 피삭성에 관한 연구

A Study on the Machinability of Ceramics by Low Temperature Cooling Diamond Tool

김 정 두*
Kim, Jeong-Du

Abstract

New Materials such as fine ceramics have attracted much attention as structural materials. The industrial needs of machining such materials will be emphasized more and more in the future.

The objective of this study is to supply useful knowledges for improvement by cooled cutting of sintered diamond tool. This study treats with experimental analysis of tool wear, surface roughness and thermal stress which will lead to the machinability of fine ceramics.

1. 서 론

세라믹스는 경량으로 내마멸성, 내열성, 화학안정성이 우수하다고 알려져 있으며, 기계구조용 부품, 전자기계 특성을 이용한 전자부품 등에 그 활용도는 점차 증가추세에 있다. 특히 세라믹스를 기계구조용 부품으로 사용할 경우 세라믹스 자체의 신뢰성이 요구됨과 동시에 고정도, 고능률 가공이 필요하게 된다[1]. 현재의 일반적인 세라믹스가공은 다이아몬드 스톨을 사용한 방법으로서 적절한 다이아몬드 스톨의 선택, 연삭조건의 설정을 하면 세라믹스의 가공은 가능하지만 경제성, 가공능률, 가공형상등이 한정되는 문제점이 있다[2-3]. 세라믹스의 산업화 응용을 가속화하기 위하여서는 가공능률이 높고 가공의 유연성이 뛰어난 절삭가공의 가능성에 대하여 검토하는 것은 충분한 의의가 있다고 생각된다. 현재 이 분야의 연구는 초기단계라고 볼

수 있으며 공구재료, 가공조건, 가공기계 등 광범위하게 검토되어야 할 요소가 많으나, 공구재료의 관점에서 볼 경우 경도와 강도가 높은 다이아몬드가 최적이라는 연구결과가 다수 발표되었다[4-8]. 그러나 다이아몬드면에 높은 절삭열이 미칠 경우 경도의 약화와 함께 공구수명이 크게 단축되는 것으로 보고되고 있으며 공구수명의 연장을 위하여서는 절삭열의 억제가 가장 중요한 문제로 제기되고 있다[9-13].

따라서 본 연구에서는 가공중 절삭열을 억제시키는 방안으로 극저온 내부 냉각공구 시스템을 제작하고, 냉매로 액화질소를 순환공급하면서 이 때 난삭재인 세라믹가공의 피삭성을 실험적으로 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

공구의 저온 냉각을 얻기 위한 매체수단으로 액화질소(77K)를 사용하였으며, 실험용으로 제

* 機械(機械工作 및 工作機械)技術士, 工博. 韓國科學技術大學, 生産機械工學科 副教授.

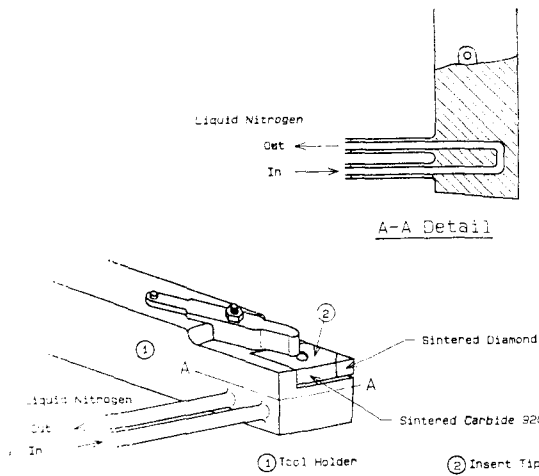


Fig. 1. Schematic Illustration of Liquid Nitrogen Cooled Cutting Tool Type

작한 냉각절삭장치는 Fig. 1 과 같다. 액화질소의 공급을 위하여 용기에 배출장치(discharger)를 설치하고, 감압된 질소가스를 3.0 psi 로 액체 질소 용기에 유도시키면 용기내의 압력을 상승시키게 되고, $\phi 6$ mm의 순환 파이프를 통하여 액체상태로 인선에 공급시킨다. 절삭온도의 측정을 위하여 Fig. 2에서 보는 바와 같이 다이아몬드 공구면에 $\phi 1.1$ mm의 구멍을 방전가공하고, 여기에 열전대를 설치하였다.

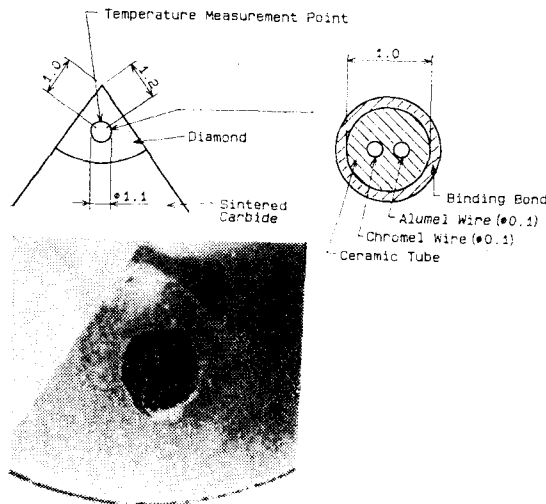


Fig. 2. Hole Making for Measuring Temperature in Diamond Tool

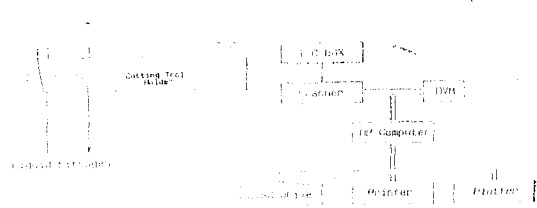


Fig. 3. Schematic diagram of the data acquisition system

열전대는 $-270^{\circ}\text{C}\sim 1370^{\circ}\text{C}$ 의 범위까지 측정할 수 있는 K-type를 사용하였으며, $\phi 1.0$ mm의 세라믹 튜브에 열전대의 직경 $\phi 0.1$ mm의 크로멜(chromel)과 알루멜(alumel)을 사용하였다. Fig. 3은 절삭온도 측정용 Data Acquisition System에 대한 개략도를 나타낸 것이다. 열전대는 절삭공구의 절삭 측정점으로부터 연결되고, 또한 기준온도 설정부(Reference Junction Thermo couple box)에 연결시키며, 그 출력이 스캐너(scanner)에 의하여 디지털전압메타(digital voltmeter)에 연결되고 최종 결과는 Hp 컴퓨터에 입력되고 시간적으로 제어된다. Hp 컴퓨터에서는 2개의 구간으로 정밀하게 곡선회기(curve fitting)된 열전대 측정자료에 의하여 온도로 환산되고 디스크 드라이버에 데이터가 저장되고 프린터 및 플로터에 온도 측정결과가 출력된다.

피삭재는 capstan 용으로 사용되는 화인 알루미나 세라믹으로 Al_2O_3 96%, 규격 $\phi 125 \times \phi 150 \times 40$ 이며 화학적 및 물리적 특성은 Table 1과 같다.

소결 다이아몬드 공구는 드로우어웨이 CNMG 형으로 초경 P20 도재에 다이아몬드 팁을 부착하였으며, 공구의 물리적 성질은 Table 2와 같다. 또한 공구의 설치각은 $0^{\circ}, 0^{\circ}, 5^{\circ}, 5^{\circ}, 15^{\circ}, 15^{\circ}$, 0.8로 하였다. 절삭실험은 공구의 인선을 냉각시킨 경우와 상온상태의 경우로 구분하여 실시하였다. 본 실험에 사용된 선반은 CNC 정밀 선반(FANUC OT, KD)으로 주축동력은 7.5kW 이고, 절삭속도는 G96기능에 의한 주축일정 제어로 6 m/min-95 m/min의 범위를 이용하였으며 이송속도는 0.1 mm/rev의 범위를, 절삭깊이는 0.3 mm를 주어 외경절삭하였다. 절삭저항은 AST식 절삭공구 동력계로 측정하였고, 가

Table 1. Chemical and Physical Composition

Composition			Alumina Al ₂ O ₃
Gas permeability			Impervious
Chemical Composition	SiO ₂	%	3
	Al ₂ O ₃	%	96
	CaO	%	0.7
	MgO	%	0.3
Grain Density(g/cm ³)			3.7
Color			White
Compressive Strength(25°C) (kgf/cm ²)			21000
Flexural Strength(kgf/cm ²)			3200
Tensile Strength(kgf/cm ²)			1950
Hardness	Moh's Scale		9
	Rock-w. 45W		78
Thermal Conductivity (400°C) (kcal/mh°C)			6.2
Grain Size(μm)			5.0

Table 2. Physical properties of Diamond Tool

Abrasion Resistance Factor	250	
Knoop Hardness (kg/mm ²)	7200	
Diamond Grain	85%	
Boundary	15%	
	Cobalt	3%
	Void	4%
	Diamond Bridge	8%
	Diamond	Cobalt
Young's Modulus(TPa)	1.05	0.15
Grain size(μm)	8	6
Thermal conductivity (w/mk)	1800	60
Coefficient of thermal elongation(1/k)	1.2×10 ⁶	1.4×10 ⁶
Thermal shear strength (GPa)	3.8	

공면의 조도는 이동식 축침 표면거칠기(Hommel-P5Z)에 의하여 측정되었고, 공구마멸면은 공구현미경(Carl Zeiss 제 Tool Microscope)과 SEM(JEOL JSM 820)에 의하여 측정되었으며, 이때

프랭크면 마멸폭의 기준은 0.3 mm 로 관찰하였다. 세라믹 가공면을 SEM 촬영하기 위하여 Bio-Rad 제 SEM 피복 시스템기의 진공상태(10⁻⁴ mbar/par)에서 105 초동안 0.3 nm 로 골드피복(gold coating)하였다. 한편 capstan 세라믹 피삭재의 정밀한 설치를 위하여 유압 척의 소프트 조오를 수시로 가공하여 세라믹스 고정상의 정밀도를 높이도록 하였다.

3. 세라믹 절삭기구의 특성

일반적으로 연질, 연성인 금속의 경우 절삭형태는 소성변형을 주체로 한 절삭기구라 보겠으나, 경질, 취성을 갖는 세라믹스의 경우에는 마크로 파괴가 발생된다. 따라서 세라믹스를 선형 파괴역학에 의한 절삭기구 형태로 검토하여 보면 절삭깊이가 작을 때에는 소규모 파괴가, 절삭깊이가 클 때에는 대규모 파괴가 발생한다.

Fig. 4은 SEM의 연속관찰에 의한 세라믹스의 절삭기구형태이다. 여기에서 (1)은 Primary crack formation으로서 포텐셜 에너지 해방을(G)의 한계가 세라믹스의 파괴인성(G_c)의 한계를 넘은 상태로서 1식의 조건이 되며 인선근방으로부터 전방으로 균열이 생성된다.

$$G \geq G_c \quad (1)$$

(b)는 Primary crack arrest로 균열길이 a의

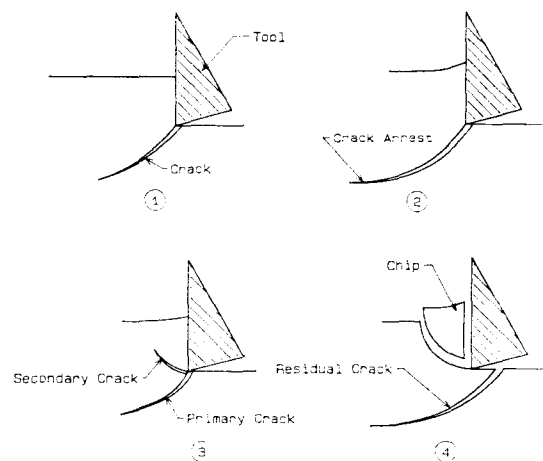


Fig. 4. Schematic Illustration of Mechanism of Material Removal Process with Residual Crack¹⁾

증가에 대하여 G 도 증가하는 경우로서 $dG/da \geq 0$ 가 되어 균열은 성장을 계속하게 된다. 여기에서 불안정 전반에 의한 재료는 제거되고, 이것에 대하여 $dG/da < 0$ 의 경우, $G \geq Ga$ 로 되는 범위에서는 균열은 (3)과 같은 2식 형태로 되어 성장을 정지하고, 계속하여 (4)와 같이 다듬질면에 균열이 잔류하는 형태로 된다.

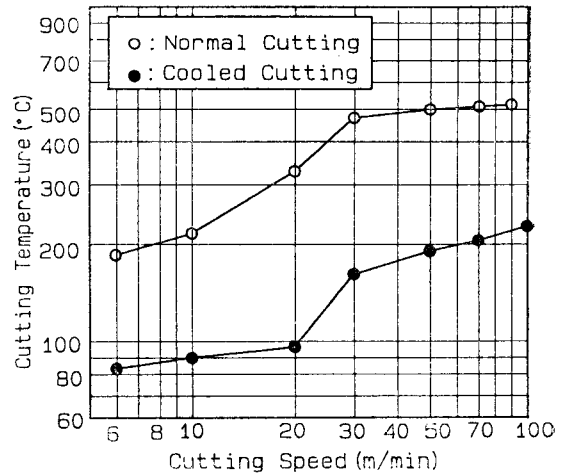
$$G < Ga \quad (2)$$

여기에서 G_a 는 균열 정류파괴 인성이다. 이상의 균열진행은 공구이송 속도보다 빠르며, 세라믹스의 절삭에 있어서 균열 진전이(1)에서 시작되고 (4)에서 끝날때 까지 반드시 (2)(3)을 경유한다고는 할 수 없고 (1)(2)에서 (4)로, 또는 (1)에서 갑자기 (4)로 이행되는 경우도 있다. 이처럼 균열면 상부의 재료가 신속히 제거되면 (1)의 진전후에 마크로 균열은 과도하게 하방으로 향하지 않고 양호한 절삭면을 얻을 수 있게 된다. 또한 마크로 균열의 전하방에 대한 진전(1)이 처음부터 발생되지 않는가 또는 발생되었다 하여도 미소량에 머문다면 한층 양호한 절삭면을 얻을 수 있을 것이다. 따라서 세라믹스의 가공용 다이아몬드 공구는 재종의 개선은 물론 공구의 냉각조건 등을 포함한 가공방법의 개선이라 보겠다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 극저온 냉각과 절삭온도 관계

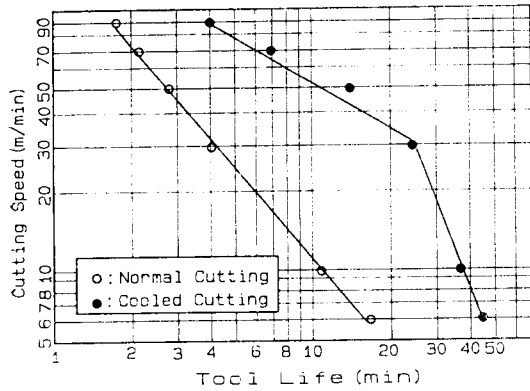
Fig. 5은 소결 다이아몬드 공구의 절삭온도 측정결과를 나타낸 것으로서 인선 선단으로부터 1.0 mm와 1.2 mm의 부분을 $\phi 0.1$ mm 직경의 알루미늄과 크롬멜선에 의하여 측정된 것이다. 본 실험에서와 같이 열전대 삽입방식 위치의 온도 측정 결과는 최선단의 공구마멸되는 부분의 온도보다 다소 낮은 측정치가 나타나리라는 것이 예상되나, 다이아몬드의 열전도율이 대단히 양호한 것을 고려한다면, 어느 경우에서나 상온 절삭과 냉각절삭의 경향분석에는 이 결과가 기초자료가 되리라 추정된다. 여기에서 볼 때 냉각 절삭의 효과가 두드러지고 있으며, 상온 절삭에 비하여 큰폭의 온도차를 보이고 있다. 한편, 절



Feed : 0.1 mm/rev
Depth of Cut : 0.3 mm/rev
Tool : Sintered Diamond(0,0,5,5,15,15,0,8)

Fig. 5. Relation of Cutting Speed and Cutting Temperature

삭온도의 분포형태는 저온영역과 고온영역으로 대별하고 있으며 그 경계선은 20 m/min~30 m/min 내외의 범위 임이 관찰되고 있다. Fig. 6은 냉각절삭 상태에서의 플랭크 마멸을 기준으로 한 공구수명을 상온절삭과 비교검토한 것이다. 여기에서 상온절삭에서는 Taylor의 공구수명식이 성립되고 있으나 냉각절삭에서는 절삭속도가 30 m/min 이하의 조건에서는 공구 수명은 절삭속도의 증가와 더불어 둔화되고 있으나, 그 이상에서는 급격한 공구 수명의 감소를 나타내고 있다. 그러나 전체적인 공구 수명값은 냉각 절삭의 경우가 상온절삭의 경우에 비하여 큰 폭으로 연장된다는 것을 알 수 있고 큰 절삭속도 범위에서 그 경향은 두드러진다고 보겠다. 그 이유로서 고찰하여 보면, 소결다이아몬드 공구는 C_0 를 결합조제로 한 경우 다이아몬드 공구의 열팽창율은 1.2×10^{-6} 이고 C_0 는 14.0×10^{-6} 으로 크게 다르며 따라서 절삭온도 상승에 따른 다이아몬드 입자간의 브리지부가 큰 열응력을 받게 된다. 여기에서 절삭온도에 의한 공구조직내의 인장 열응력에 대하여 고찰하면 Fig. 7과 같이 고려할 수 있으며, 표면으로부터 1개의 다이아몬드 입자폭의 입계층을 고려한 입계온도를 균일하다고 가정하면 다음과 같다. 여기에서 열팽창



Depth of Cut : 0.3mm/rev, Feed : 0. mm/rev
 Tool : Sintered Diamond Tool(0,0,5,5,15,15,0,8)
Fig. 6. Effect of Cooled Cutting upon Tool Life

변위를 C_0 가 X_{c0} , 다이아몬드 브리지를 X_d 라 하고 온도상승에 의한 C_0 는 다이아몬드 측의 구속을 X_{c0}' 만큼 압축된다면, 다이아몬드 브리지는 C_0 의 열팽창에 의하여 X_d' 만 늘어나기 때문에 이들의 변위관계는 다음과 같다[15].

$$X_{c0} - X_{c0}' = X_d + X_d' \quad (1)$$

C_0 와 다이아몬드의 열팽창율을 각각 α_{c0} 및 α_a 로 하고, 입계층 두께를 D , 입계전체의 온도상승을 ΔT 라 하면 각 상의 자유열팽창량은 각각 다음 식과 같다.

$$X_{c0} = \alpha_{c0} \times \Delta T \times D, \quad X_d = \alpha_a \times \Delta T \times d \quad (2)$$

또 C_0 와 다이아몬드의 영율을 각각 E_{c0} 와 E_a , 인장열응력을 각각 σ_{c0} 및 σ_a 라고 하면,

$$X_{c0}' = D \times \sigma_{c0} / E_{c0}, \quad X_d' = D \times \sigma_a / E_a \quad (3)$$

C_0 와 다이아몬드 단면적을 각각 A_{c0} 와 A_a 로 하면, 브리지의 개수가 n 개인 경우, 1개의 브리지에 대하여 C_0 의 점유면적은 $1/n$ 이 되고, 힘의 균형은 다음과 같이 된다.

$$\sigma_{c0} \times A_{c0} \times 1/n = \sigma_a \times A_a \quad (4)$$

식 (1)과 식 (4)에서 브리지에 작용하는 전단열응력(GPa)은 다음과 같다.

$$GPa = \frac{E_{c0} \times A_{c0} \times E_a \times (\alpha_{c0} - \alpha_a) \times \Delta T}{E_{c0} + A_{c0} + n \times A_a \times E_a} \quad (5)$$

식 (5)에서 전단열응력값은 다이아몬드 입자, 브

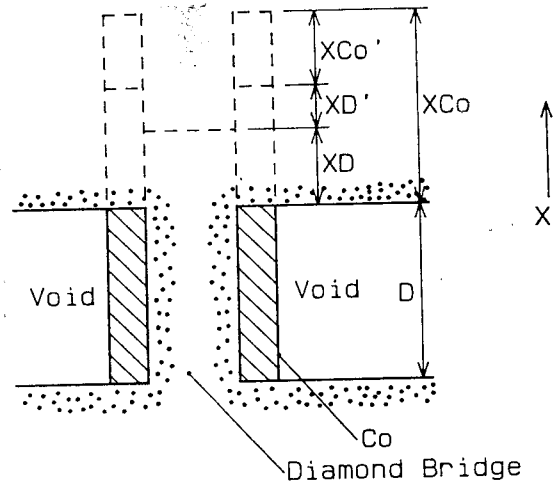
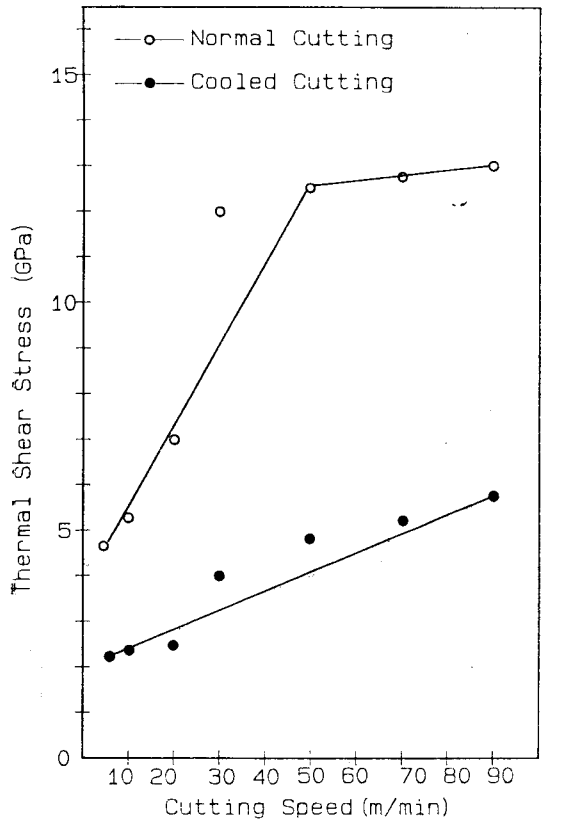


Fig. 7. Model of Diamond Bridge and Cobalt¹⁵⁾

리지, C_0 및 공간부의 성분비, 재료의 정수 또는 온도상승 등에 의하여 결정된다. Fig. 8은 절삭가공중 실측된 절삭온도 Fig. 5을 기초로 하여 전단열응력을 구한 것이다. C_0 의 열팽창에 의해서 브리지에 생기는 인장응력은 절삭중의 상온, 냉각조건과 절삭속도에 의하여 결정되고, 브리지 입계에 용량비율이 증대함에 따라 감소하여 진다. 이 결과에서 냉각조건과 절삭속도에 따라 온도의 급격한 변화가 이루어지고 상온절삭에 의한 가공은 4.8 GPa로부터 13.0 GPa 분포로 형성됨에 따라 다이아몬드의 열 파괴응력 3.8 GPa를 훨씬 초과하게 되고 브리지는 파단된다. 따라서 다이아몬드에 의한 세라믹의 절삭가공중에는 외력을 받는 입계형상에 의한 응력집중도 생기기 때문에 절삭온도의 상승과 더불어 열팽창은 공구의 손상에 큰 영향을 받는다고 예측할 수 있다.

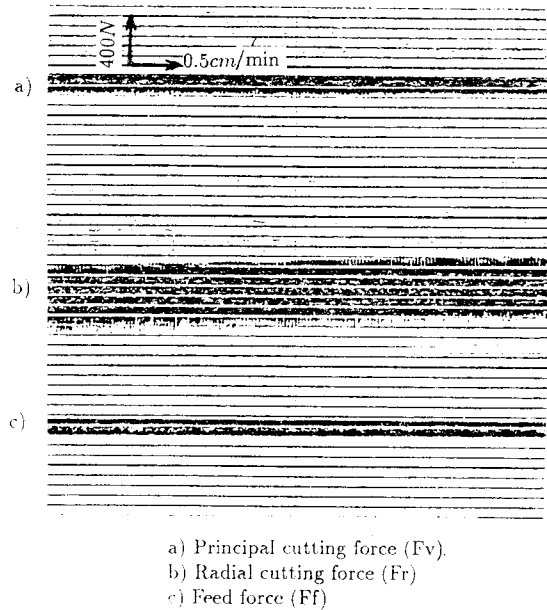
4.2 공구의 냉각과 마찰면 관계

Fig. 9은 세라믹 재료의 절삭력 형식으로 배분력이 가장 크게 나타나므로서, 금속절삭에서의 주분력이 가장 크게 나타나는 것과는 대조를 이루고 있다. Fig. 10는 소결 다이아몬드 공구와 알루미늄 세라믹스의 절삭중의 마찰계수로 절삭시간 10초 후의 배분력과 주분력 크기를 검출하여 계산된 결과 값이다. 여기에서 절삭속도

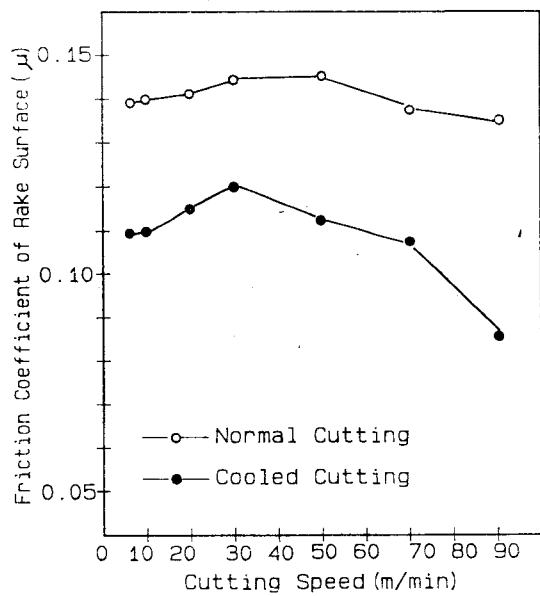


Feed : 0.1mm/rev Depth of Cut : 0.3mm/rev
 Tool : Sintered Diamond(0, 0, 5, 5, 15, 15, 0, 8)
Fig. 8. Thermal Tensile Stress at variable Cutting Speed

가 증가하면 배분력이 감소하여 마찰계수가 작아지고 또한 마찰접촉에 의한 공구의 전단응력과 주응력 역시 작아진다. 그러나 다이아몬드 공구는 4.1에서도 설명하였듯이 열응력에 의한 공구의 손상이 예측되며, 따라서 상온절삭에서는 절삭개시에 미세공구파손과 함께 절삭력의 증가를 유발시키게 되므로 언제나 냉각절삭에 비하여 큰 마찰계수를 나타낸다고 보겠다. 또한 절삭의 경우는 연속적인 마찰의 영향과 응력이 부과되기 때문에 소결 다이아몬드 처럼 피로파괴가 생기는 것을 고려할 수 있다. 여기에서 세라믹 절삭기구의 특성으로 볼 때 저속 영역에서는 포텐셜에너지의 한계가 세라믹의 파괴인성 한계를 넘는 상태로서 Fig. 4의 절삭 칩 형태의 (1) 단계에서 (2)(3) 단계를 거치나, 높은 절삭



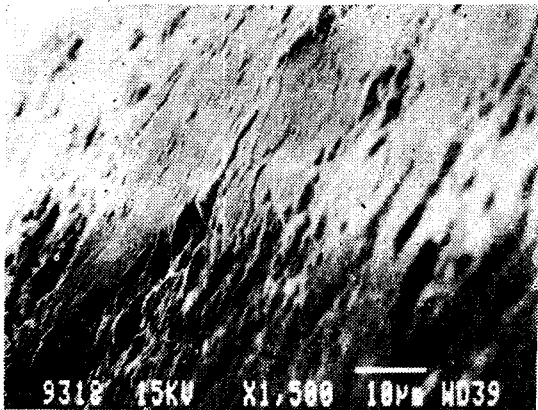
a) Principal cutting force (Fv)
 b) Radial cutting force (Fr)
 c) Feed force (Ff)
 Cutting speed : 30 mm/min Feed : 0.1 mm/rev
 Depth of cut : 0.3mm Tool : Sintered diamond
Fig. 9. Cutting force patterns of ceramics in cooled cutting



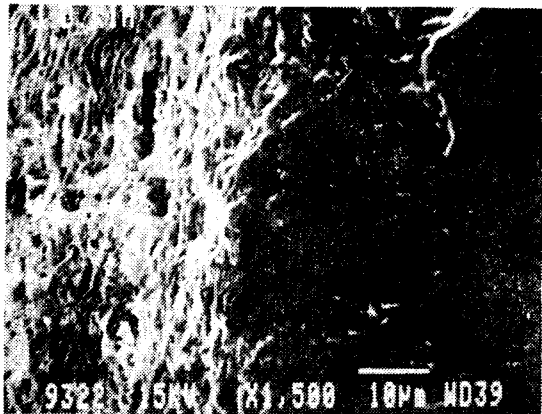
Feed : 0.1mm/rev Depth of Cut : 0.3 mm/rev
 Tool : Sintered Diamond(0, 0, 5, 5, 15, 0, 8)
Fig. 10. Relation of Cutting Speed and Friction Coefficient Between Sintered Diamond and Alumina Ceramic

속도 영역에서는 (1) 단계에서 (4) 단계로 이어지기 때문에 절삭저항의 감소와 함께 마찰계수가 격감된다고 보겠다.

Fig. 11은 소결다이아몬드 공구의 절삭속도 30 m/min 조건에서 상온 및 냉각절삭시에 나타난 공구의 선단 상면부분이다. 상온절삭(a)에 의한 공구상면을 보면 마찰영역의 접촉 개시부에 다이아몬드 입계파괴와, 그것에 따른 입자의 유리도 관찰된다. 이러한 공구의 미세조직 열화는 마찰속도의 증가에 따라 전 접촉영역으로 확인되고 그 정도도 심하게 나타나고 있다.



a) Normal cutting, cutting time : 1min

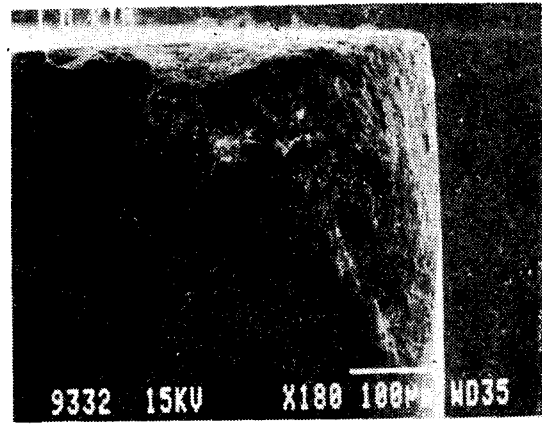


b) Cooled cutting, cutting time : 5min

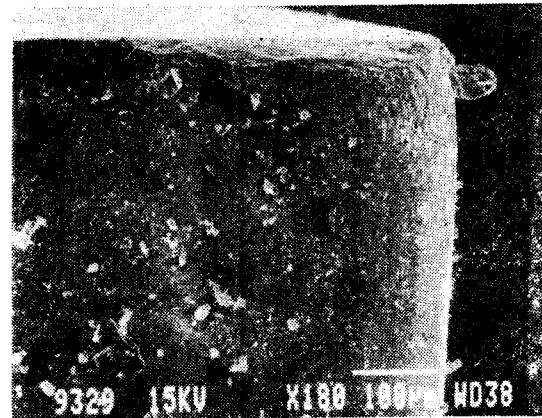
Cutting speed : 30m/min Depth of cut : 0.3mm
Feed : 0.1mm/rev Tool : Sintered diamond

Fig. 11. Patterns of contact rake surface of sintered diamond specimen in normal and cooled cutting.

한편 냉각절삭(b)에 의한 마찰면은 상온절삭 1분에 비하여 절삭시간 5분으로 마찰시간은 길지만 마찰방향에 따라 생긴 입계열화는 극히 적게 나타나고 있다. 이것은 마찰계수가 감소하고, 마찰접촉에 있어서 응력장의 최대 주응력이 경감되기 때문에 냉각효과에 의하여 미세조직의 열화도 감소하기 때문이라고 생각된다. 최대 전단 응력에 의한 조직의 열화는 확인된 현미경 사진으로 관찰하여 볼 때 현저한 조직의 변화가 인



a) Normal cutting, cutting time : 1min



b) Cooled cutting, cutting time : 5min

Material cut : alumina ceramic

Tool : sintered diamond

Tool geometry : 0, 0, 5, 5, 15, 15, 0, 8

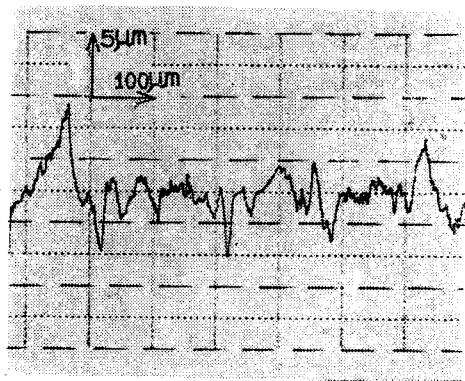
Depth of cut : 0.3 mm Feed : 0.1 mm/rev

Cutting speed : 30 m/min

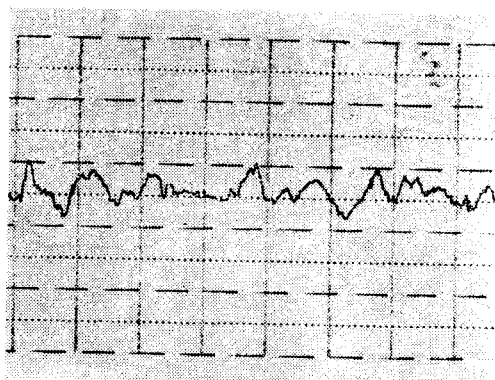
Fig. 12. Typical flank wear patterns of sintered diamond tool

식되므로, 최대 전단응력보다는 공구의 절삭열이 공구마멸에 미치는 주된 영향이라고 보겠다.

Fig. 12은 상온절삭과 냉각절삭에 있어서의 공구면에 대한 플랭크 마멸면의 SEM 사진이다. 상온절삭에 있어서는 절삭속도 30 m/min의 경우에 마멸면은 1분 절삭 상태에서 확산되고 아울러 공구수명은 짧아지게 된다. 그 영향은 바로 가공면의 표면거칠기로 나타나며 Fig. 13에서 잘 증명하여 주고 있다. Fig. 14은 상온절삭조건에서 절삭속도 30 m/min로 가공한 경우로서 4분 이상의 절삭시간에 도달하면 다이아몬드 공구는 흑연으로 변태하고 본래의 기계적 성질을 잃게 된다. 진공중에서 보다 공기중에서 변태온



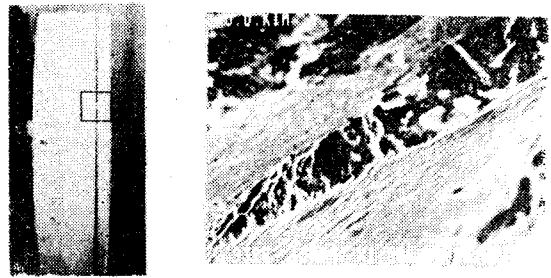
a) Normal cutting



b) Cooled cutting

Cutting speed : 30 m/min Feed : 0.1 mm/rev
Depth of cut : 0.3 mm

Fig. 13. Results of surface roughness



Cutting speed : 30 m/min Depth of cut : 0.3 mm
Feed : 0.1 mm/rev Cutting time : 4 min
Tool : Sintered diamond tool(0,0, 5,5,15, 15, 0, 8)

Fig. 14. Typical patterns of graphitization of ceramics in machining

도가 낮고 그 현상을 쉽게 발견할 수 있는 것은 산소의 분위기에서는 $C+O \rightleftharpoons Co$ 가 되고, $C+2O \rightleftharpoons CO_2$ 의 화학반응에 따라 흑연으로 변태가 이루어지기 때문이다[16]. 따라서 공구는 탄화현상이 발생한 시점으로부터 공구파손형태를 나타내며 공구마멸의 발달과 함께 절삭열은 현저한 공구의 유리손상과 밀접한 관계가 있다고 사료된다. 특히 세라믹스의 절삭칩은 전성과괴에 의하여 생성되기 때문에 균열형 칩이 되지만[17] 절삭온도를 극저온으로 낮추면 열응력의 억제와 동시에 공구면에 미치는 응력분포가 확산되므로 공구파손 억제에 영향이 있는 것으로 생각된다.

5. 결 론

세라믹스의 소재를 소결 다이아몬드 공구로 절삭하기 위하여 상온절삭과 액화질소에 의한 극저온 냉각분위기 상에서 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 공구면에 나타나는 절삭온도는 절삭속도 30 m/min 조건에서 상온에서는 480°C로, 냉각절삭에서는 95°C의 절삭온도에 도달되어 액화질소에 의한 뚜렷한 냉각효과가 기대된다.
- 2) 세라믹 가공에 대한 다이아몬드공구의 손상은 절삭온도의 상승과 더불어 열팽창에 의한 것이다.
- 3) 공구마멸에 미치는 주된 영향은 냉각절삭의 마찰계수가 감소하고 응력장의 최대 주

응력이 경감되기 때문에 냉각효과에 의한 미세조직의 열화가 감소하기 때문이다.

- 4) 다이아몬드 공구는 상온절삭시 절삭온도의 상승과 더불어 산화 및 탄화되고, 본 실험에서 그의 현상을 증명하였다.
- 5) 세라믹스를 극저온 상태에서 절삭하면 세라믹스 가공면의 균열이 크게 발달하고 절삭부분의 피치가 크게되며 공구면에 미치는 응력분포가 확산되므로 공구의 파손억제에 영향이 있는 것으로 사료된다.
- 6) 세라믹스 가공에서의 배분력은 주분력 및 이송분력에 비하여 현저히 크게 나타나고 있으며, 배분력은 절삭시간의 경과와 더불어 증가하지만, 냉각절삭으로 절삭력의 둔화현상을 나타내고 있다. 이것은 공구의 전성적인 유리손상과 밀접한 관계가 있으며, 공구의 극저온 냉각으로 유리손상의 억제에 효과가 있음을 증명하였다.

후기

본 연구는 1988년도 산학협동 재단의 연구비 지원과 부국정밀(주)의 matching fund에 의하여 수행되었으며 동 재단 및 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 中井哲男, 세라믹스의 切削加工, 세라믹스, Vol. 21 No. 8, 1986, pp. 683~688.
- [2] K. Mizutani, K. Yamaguchi and Y. Tanaka, Chippings on the Corners of Works in Grinding of Ceramics, JSPE, Vol. 53 No. 9, 1987, pp. 123~129.
- [3] 三宅雄止, 竹内久雄, 放電加工 가능한 세라믹스, 세라믹스, Vol. 21, No. 8, 1986, pp. 719~725.
- [4] W. Bühler, Bessere Sicht mit Diamant, IDR, Vol. 19, Nr. 3, 1985, pp. 131~135.
- [5] 古川昌範, 다이아몬드와 세라믹스 加工, 機械의 研究, 第38卷, 第10號, 1986, pp. 19~26.
- [6] N. Narutaki, Machinability of Pre-Sintered Ceramics, JSPE, Vol. 52, No. 11, 1986, pp. 48~53.
- [7] K. Steinmetz, Neu-und Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Polykristallinen Diamant und Polykristallinen Bornitrid Scheidstoffe, Harte Werkstoffe VDI-ADB, 1987, pp. 1~27.
- [8] 鶴龍則彦, 難削材의 切削加工, 月刊工業, 1988, pp. 44~53.
- [9] K. Uehara, H. Takeshita, Cutting Ceramics with a Technique of Hot Machining, Annals of the CIRP, Vol. 35, No. 1, 1986, pp. 55~58.
- [10] T. Akasawa, H. Takeshita, and K. Uehara, Hot Machining with Cooled Cutting Tools, Annals of the CIRP, Vol. 36, No. 1, 1987, pp. 37~40.
- [11] K. Th. Preger, Kühl-Zerspannung, Werkstatt und Betrieb, Vol. 93, Jahrg, No. 8, 1960, pp. 479~482.
- [12] K. Uehara and S. Kunagai, Characteristics of Tool Wear in Cryogenic Machining, Annals of CIRP, Vol. 18, No. 2, 1970, pp. 273~277.
- [13] S. Okamoto and M. Doi, On Cutting with Internally Cooled Cutting Tool, JSPE, Vol. 27, No. 32, 1975, pp. 27~32.
- [14] 木會弘隆, 切削加工, 工業材料, 第37卷 第2號 1989, pp. 42~50.
- [15] N. Iijima, H. Takeyanza and M. Kashiwase, Study on Machining Performance of Sintered Diamond Tool and Its Wear Mechanism, JSPE, Vol. 50, No. 7, 1984, pp. 42~48.
- [16] S. Kalpakjian, Manufacturing Processes for Engineering Materials, Addison-Wesley Publishing Company, 1984, pp. 490.
- [17] T. Sugita, K. Ueda and T. Hashimoto, Fracture Mechanics Study on Microcutting of Ceramics, JSPE, Vol. 51, No. 10, 1985, pp. 116~121.