

저순도 알루미나 예비소결체의 절삭유제에 따른 세라믹, CBN, 다이아몬드공구의 가공 특성 평가

이재우[#]

Evaluation of Wet Machining Characteristics of the Presintered Low Purity Alumina with the Ceramic, CBN and Diamond Tools

Jae-Woo Lee[#]

ABSTRACT

In this study, presintered and full sintered low purity alumina ceramics were machined with various tools to clarify the effect of cutting fluid in machinability. The main conclusions obtained were as follows. When the presintered ceramics were wet machined with sintered diamond tool, the tool wear becomes extremely large, and higher cutting speed can be used than in the case of full sintered ceramics. The productivity of wet cutting with the sintered diamond tool is much higher than that of dry cutting. In the case of the CBN and ceramic tools, the tool wear were smaller at wet cutting than at dry cutting, especially exhibiting considerably larger grooved tool wear in wet cutting with ceramic tool.

Key Words : Alumina(알루미나), Presintered Ceramic(세라믹 예비소결체), Cutting(절삭), Tool(공구), Wear(마멸), Machinability(절삭성)

1. 서론

세라믹은 소결시의 수축 때문에 소결후의 형상, 치수를 정확히 예측하는 것이 극히 어려우므로, 최종 공정으로써 기계가공이 일반적으로 행해진다. 완전 소결된 세라믹은 높은 경도와 취성을 가지기 때문에 연삭과 같은 입자 가공이 주로 행해지고 있으나, 가공능률이 매우 낮고 복잡한 형상 창성이 어려우며, 표면 손상의 발생에 의해 강도저하를 일으키게 된다.¹ Ueda², Nakai³ 및 Iijima⁴ 등은 소결 다

이아몬드 공구를 사용하여 완전 소결된 세라믹의 선삭 가공에 대한 연구 결과를 보고하였으나, 공구 수명이 짧고, 가공 능률이 매우 낮아서 실용화가 곤란하다. 또한 Watanabe⁵ 등은 다이아몬드 코팅 절삭 공구를 사용하여 알루미나 세라믹의 선삭을 행하였으며, 무 코팅의 소결 다이아몬드 공구에 비해 다소 높은 공구 성능을 보고한 바 있다. 그러나 다이아몬드 코팅 소결 다이아몬드공구의 성능 향상은 세라믹과 공구와의 화학 반응을 억제함에 따른 것이므로, 다른 화학 조성의 세라믹에 대해서도 그러

접수일: 2006년 7월 18일; 게재승인일: 2006년 12월 6일

[#] 교신저자: 두원공과대학 기계과

E-mail e@doowon.ac.kr Tel. (031) 670-7136

한 효과가 있는지는 본 논문에서 나타내고 있지 않다. Kitagawa⁶ 등은 세라믹의 선삭시에 공작물의 플라즈마 토치에 의한 가열이 일부 세라믹의 절삭에 유효하다는 보고를 하였으나, 이 경우 공구 마멸은 비록 1/8 정도로 감소하지만, 실용화 하는데는 공구 수명이 짧다. 또한 알루미늄과 지르코니아와 같이 열충격에 비교적 민감한 세라믹은 플라즈마 토치 가열에 의한 절삭성 향상을 기대하기 어렵다. 질화규소 세라믹의 고온 절삭은, Uehara⁷ 및 Akasawa⁸ 등에 의하여 연구되었었다. 또한, Koenig⁹ 등은 CBN 공구로써 질화규소 세라믹의 레이저 원용 선삭에 대하여 보고하였다. 그러나 열적인 보조 에너지의 지원을 받은 선삭은 짧은 공구수명 및 나쁜 표면상태 때문에 제거 체적을 크게 하는 것은 바람직하지 않다. 만약에 절삭온도를 세라믹의 선삭에서 낮출 수 있다면 공구 수명을 실용적인 수준으로 높일 수 있다고 판단된다. Wang¹⁰은 CBN 공구로써 액화 질소를 사용하여 냉각된 세라믹의 선삭 가공을 행하고 공구수명의 향상을 보고하였다. 그러나 이 방법은 복잡한 냉각장치를 필요로 하며, 복잡한 형상의 정밀가공에 적용하는 데는 문제가 있다.

Halcomb¹¹ 등은 소결이 행해지지 않은 성형체의 선삭가공에 관한 연구결과를 보고한 바 있으며, 세라믹 공구를 사용하여 공구수명을 향상시키고, 가공능률을 증가시킬 수 있는 방안을 제시하였다. 그러나 이 연구에서는 상용 공구가 아닌 특수형상의 공구를 사용하였으며, 성형체는 강도가 약하기 때문에, 가공속도, 가공능률, 부품의 척킹 및 치수정밀도 등에 문제가 있다. 이러한 여러 가지 문제 때문에 다양한 분야에서 세라믹을 활용하기가 어려웠다.

그러나, 세라믹을 예비 소결 상태에서 기계 가공한다면 가공 능률이 크게 향상되고, 더욱이 복잡한 형상으로 가공할 수 있을 것으로 판단된다.¹² 각종 초경합금공구를 사용한 예비소결체의 건식 절삭에서의 공구마멸 특성에 관한 연구¹²⁻¹⁴는 본 저자에 의하여 보고된 바 있다. 이어서 세라믹공구, CBN 및 다이아몬드 공구를 사용한 예비소결체의 건식 절삭에서의 공구마멸 특성에 관한 연구¹⁵도 본 저자에 의하여 보고 되었었다. 본 연구에서는 여러 온도에서 예비 소결한 저순도 알루미늄 세라믹 예비소결체의 절삭유제에 따른 세라믹, CBN, 다이아몬드공구의 가공 특성을 평가하였다.

2. 실험방법 및 피삭재

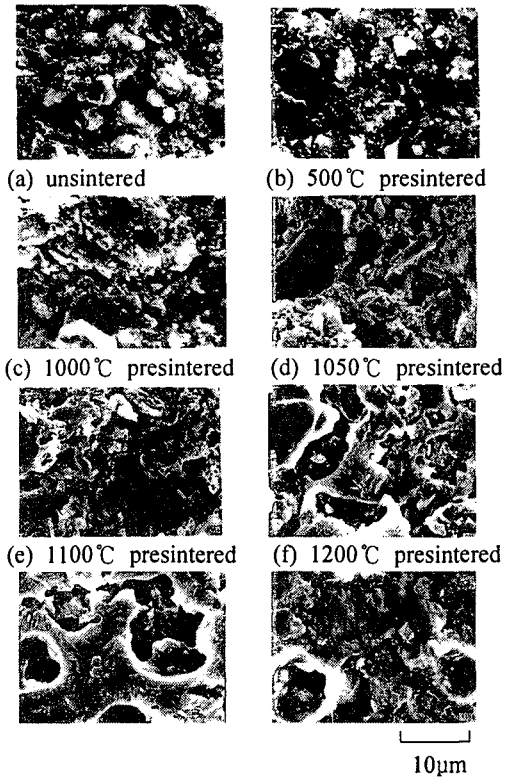
2.1 피삭재

사용된 피삭재는, Al₂O₃(약78%), SiO₂(약16%), CaO, K₂O를 주성분으로 하는 저순도 알루미늄 세라믹이며, 외경(50mm), 내경(15mm), 길이(300mm)로 압출성형하여 건조시킨 성형체, 여러 온도에서 예비소결한 예비소결체 및 완전소결체를 사용하였다. 알루미늄 세라믹의 예비소결온도 및 기계적, 물리적 성질을 Table 1에 나타내었다. 예비소결체는 각각의 온도에서 1시간 유지하였으며, 완전소결체는 1300℃의 완전소결온도에서 2시간 유지하였다. 수축률의 측정은 실험에 사용한 소결체를 일정한 형상으로 가공한 후에 그것을 완전소결하여, 그 때 생긴 축방향의 치수 차로로부터 구한 것으로서, 축방향과 반경 방향에서의 수축률의 차는 그다지 나타나지 않았다. Table 1로부터 알루미늄 세라믹의 여러 특성은 1000℃까지는 그다지 변화가 없지만, 1000℃ 이상이 되면 예비소결 온도에 따라 큰 변화를 보여주고, 수축률도 마찬가지로 1000℃ 이상에서 상당히 작아짐을 알 수 있다.

Fig. 1에 성형체 및 각종 예비소결체의 파단면 사진을 나타낸다. 1000℃ 이하에서 예비소결한 소결체는 예비소결온도가 높을수록 입자의 접합·합체가 진행되고 있고, 1100℃ 이상에서 예비소결한 소결체는 예비소결온도가 높을수록 액상 소결이 진전되어 결정의 성장이 현저하게 보이며, 결정의 성장과 함께 공극의 체적이 감소하고, 1250℃에서 예비소결된 소결체는 기공이 거의 폐기공으로 되어 있으며, 크게 성장된 결정을 보인다. 또한 1000℃ 이하에서 예비소결한 소결체는 입체파괴

Table 1 Characteristics of the Al₂O₃ ceramics presintered at various temperatures

Sintering Temp. °C	Vickers hardness GPa	Shore hardness H _s	Bending Strength MPa	Bulk density kg/m ³	Porosity %	Moisture rate %	Shrinkage rate %
white body	-	0.38	9.00	-	40.12	21.40	13.5
500	1.18	22	11.86	1850	38.14	20.44	12.6
600	2.01	24	13.52	1860	38.58	21.24	12.2
800	3.45	28	13.72	1820	40.16	21.92	12.6
1000	6.83	33	35.08	1830	41.22	22.44	12.1
1050	8.69	42	37.83	1830	40.07	21.73	12.3
1100	9.93	48	57.82	1850	37.33	19.37	10.1
1150	10.76	52	100.06	1920	27.79	12.91	10.7
1200	11.17	54	154.35	2150	16.16	6.73	7.3
1250	14.25	89	240.82	2400	1.38	0.15	1.5
1300 full-sintered	16.54	105	287.92	2840	0.12	0.04	-



(g) 1250°C presintered (h) 1300°C full-sintered
 Fig. 1 Fractured surfaces of unsintered, presintered and full-sintered Al₂O₃ ceramics

현상을 보이며, 1050°C 이상에서 예비소결한 소결체는 입내파괴 현상을 나타낸다.

Table 1에서 보인 바와 같이, 800°C ~ 1050°C에서 예비소결한 경우의 체적밀도가 500°C 및 600°C에서 예비소결한 경우보다 낮은 것은, 800°C ~ 1050°C의 예비소결온도에서는 입자의 조대화, 접합 및 합체가 500°C 및 600°C에서 예비소결한 때보다 더욱 진전되며, 개기공(open porosity) 상태에서의 입자의 조대화, 국부적인 접합 및 합체는 Table 1에서 나타난 바와 같이 오히려 기공율을 증가시킬 수 있기 때문으로 판단된다.¹⁶ 예를 들면 500°C에서 예비소결한 경우의 흡수율이 20.44%였고, 1000°C에서 예비소결한 경우의 흡수율이 22.44%였는데, 이와 같은 흡수율의 증가도 그러한 상황을 입증하는 것으로 판단된다.

2.2 절삭실험

절삭 방식은 습식 및 건식에서 외경 선삭을 실시하였으며, 습식 절삭에서는 수용성 절삭유(KS W2)를 1:50의 비율로 희석하여 매분 7ℓ의 유량으로 경사면 측으로부터 주입하였다. 또한, 건식 절삭의 경우는 공구 경사면상으로 배출된 절삭칩을 진공청소기로 흡인하였다.

실험에 사용된 공구는 TiC 첨가의 Al₂O₃계 세라믹공구, Si₃N₄계 세라믹공구, SiC계 세라믹공구, CBN공구, 소결다이아몬드공구(S.D.1, S.D.2)를 사용하였고, 공구의 형상은 Table 2에 보인다. 모든 선삭실험은 Table 3에서 보이는 절삭 조건에서 행하였다. 공구의 경사면 마멸은 발생되지 않았으므로 여유면 마멸만을 일정한 시간(T)마다 공구 현미경으로 측정하였고, 마멸기구를 확인하기 위하여 주사전자현미경으로 공구의 마멸부를 촬영하였다. 절삭칩의 배출상태를 확인하기 위하여, 105mm의 마크로 렌즈를 부착하여, 500pps에서 512×512픽셀의 분해능으로 고속 촬영을 행하였다. 또한 공구동력계(Kistler 9257A)에서 출력된 절삭분력을 charge amplifier에서 증폭한 후 A/D 컨버터를 이용하여 데이터 수집을 행하였고, 이 데이터를 통계처리 하여 절삭력을 구하였다.

Table 2 Geometries of used tools

Tool	Geometry	Chamfer
Al ₂ O ₃ ceramic (TiC added)		0.15mm, -20°
Si ₃ N ₄ ceramic	-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8	
SiC ceramic		
CBN		
S.D.1	-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8	0.07mm, -20°
S.D.2	-5, -5, 15, 15, 15, 15, 0.8	none

Table 3 Turning conditions

Cutting speed, V (m/min)	30 to 120
Feed, f (mm/rev.)	0.1
Depth of cut, t (mm)	0.5

3. 실험 결과 및 고찰

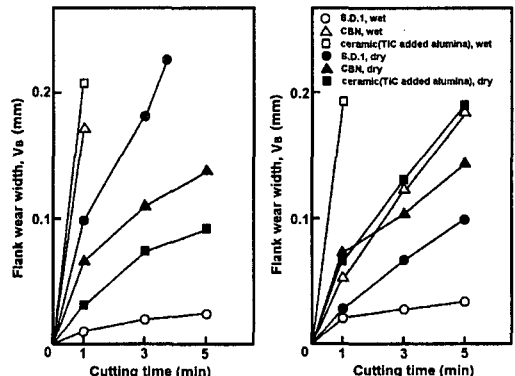
세라믹 공구, CBN 공구 및 소결다이아몬드 공

구를 사용하여 습식 및 건식절삭을 행하여 습식 절삭의 영향을 조사하였으며, 그 결과를 Fig. 2의 공구마멸진행선도에 보인다. 1000℃와 600℃에서 각각 예비소결한 세라믹을 소결다이아몬드공구(S.D.1)로 습식 절삭하면 마멸진행이 건식절삭에 비해 대단히 늦어지고, 그 효과는 고온에서 예비소결한 피삭재의 경우가 더욱 크다. 이것에 비하여, CBN공구 및 세라믹공구로 절삭한 경우는 반대로 습식절삭 한때가 마멸진행 속도가 상당히 빨라지며, 이 경향은 CBN 공구에서는 고온에서 예비소결한 피삭재에서, 세라믹 공구에서는 모든 피삭재에서 현저히 크게 나타난다. 습식 절삭에 비하여 건식 절삭에서 소결 다이아몬드공구의 마멸이 더 큰 것은 건식 절삭에서 절삭 온도가 순간적, 국부적으로 상당히 높아지는 것이 생각되어진다. 세라믹 공구와 CBN 공구를 사용하여 습식 절삭 한 경우에 건식 절삭에 비하여 공구 마멸이 더욱 커지는 것은, 세라믹 공구에서는 건식 절삭에서 생성된 공구마멸 억제층¹⁵이 생성되지 않고, 세라믹 공구와 CBN 공구를 사용한 건식 절삭에 비하여 습식 절삭에서 절삭칩의 배출성이 현저히 나빠서 절삭칩이 피삭재와 공구 여유면의 사이로 침입하여 공구의 여유면을 마멸시키기 때문으로 판단되며, 상세한 원인에 대해서는 후술한다.

Fig. 3에 소결다이아몬드공구의 마멸형태를 보인다. (a)가 건식절삭, (b)가 습식절삭한 경우의 마멸형태이다. 사진에서, 건식 절삭한 때는 마멸에 의하여 절삭날과 여유면이 크게 후퇴하였음을 알 수 있다. 다이아몬드공구를 사용하여 가소결온도가 높은 피삭재를 절삭하는 때는 절삭온도가 높기 때문에 다이아몬드의 탄화에 의하여 내마멸성이 나빠진 때문으로 판단된다.

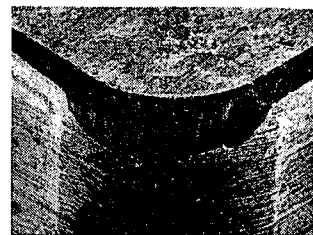
Fig. 4에 습식 및 건식 절삭한 때의 CBN 공구와 각종 세라믹공구의 마멸형태를 보인다. CBN 공구를 사용하여 건식 절삭한 경우에는, 공구의 마멸부는 (a)와 같이 입자 단위의 요철(凹凸)면으로 되어 있으나, 습식 절삭하면 (b)와 같이 피삭재의 회전 방향으로 미세한 홈패임 현상을 나타내며, 여유면 마멸이 단시간에 크게 형성되어 있다. 한편 Fig. 4(c)는 세라믹 공구를 사용한 건식 절삭의 공구 마멸형태를 보이는 것으로, 저자에 의하여 이미 보고¹⁵된 바와 같이 공구의 마멸을 억제하는 부착층이 형성되었으나, 습식 절삭에서 TiC가 첨가된 Al₂O₃ 세라믹공구는 (d)와 같이 건식

절삭시에 관찰된 공구마멸면의 부착층이 전혀 생성되지 않고, 단시간에 깊은 홈상의 마멸 형태를 보이며, 특히 경계부분의 마멸이 크다. 다른 세라믹 재종의 경우에도 습식 절삭에서 이러한 마멸 형태를 보이는지를 조사한 결과, (e), (f)와 같이 TiC가 첨가된 Al₂O₃ 세라믹공구와 마찬가지로 단시간에 큰 홈패임 형태의 마멸을 나타내었다. 세

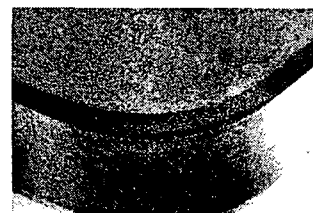


(a) 1000℃ presintered (b) 600℃ presintered

Fig. 2 Wear progress curves of various tools in wet machining of ceramics presintered <V=120m/min, f=0.1 mm/rev, t=0.5mm>



(a) dry cut



(b) wet cut

Fig. 3 Typical tool wear pattern in machining of the ceramics presintered with the sintered diamond tool, S.D.1

<Workpiece: 1000℃ presintered, V=120m/min, f=0.1mm/rev, t=0.5mm, T=5min>

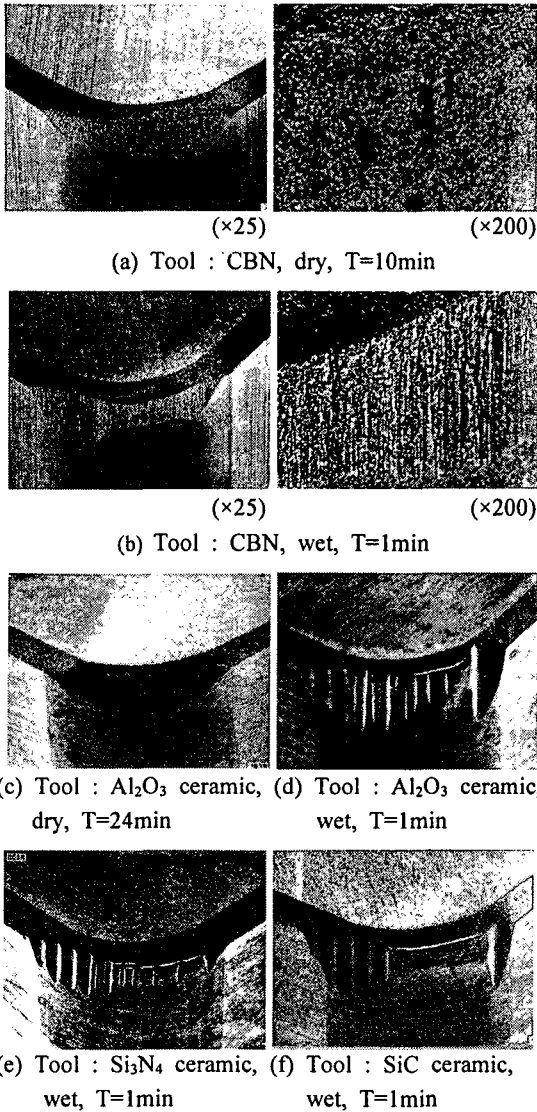


Fig. 4 Effect of cutting fluid on tool wear in machining of the ceramics presintered at 1000°C with CBN and ceramic tools
 $\langle V=120\text{m/min, } f=0.1\text{mm/rev., } t=0.5\text{mm} \rangle$

라믹 예비소결체의 각 입자간의 결합력은 낮으나, 입자 자체의 경도는 세라믹 공구의 입자 경도와 그다지 차이가 없으며, 세라믹 공구는 인성이 낮기 때문에 절삭날에서의 마멸 및 칩핑이 발생하기 쉽고, 절삭시에 생성되는 절삭칩이 절삭날의 마멸 발생부로부터 집중적으로 칩입하여 공구의 여유면을

찰과하기 때문에 깊은 홈형상의 마멸이 발생하는 것으로 판단된다.

Fig. 5(a)는 홈상 마멸부를 확대한 사진을 나타내며, 이 정도의 확대 사진에서는 매끈한 마멸면을 나타내어서 홈상의 마멸부는 마치 절삭칩에 의한 어브레시브 마멸이 주된 마멸 기구인 것으로 보인다. 그러나 Fig. 5(b)는 홈상 마멸부를 더욱 확대한 사진을 나타내는 것으로, 마멸부에는 많은 미세 균열이 형성되었음을 알 수 있다. Fig. 5(c), (d)는 홈상의 마멸부를 크게 확대한 사진으로 소성 유동의 흔적이 보이고, (e)에는 홈형상의 마멸부에서 많은 입자가 탈락되었음을 나타낸다. 따라서 Fig. 5를 종합하여 보면, 마멸된 절삭날을 통하여 공구의 여유면으로 쉽게 칩입된 절삭칩은 균열과 소성 유동을 일으켜서 공구 여유면의 강도를 약화시키고, 이어서 공구의 구성 입자를 거시적 또는 미시적으로 탈락시키면서 큰 마멸을 일으키는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 건식절삭과 습식절삭에서의 절삭칩의 배출상태를 고속 촬영한 사진이다. 건식절삭에서는 (a)와 같이 공구경사면으로부터 절삭칩이 힘있게 배출됨에 비하여, 습식 절삭에서는 (b)와 같이 수분을 흡수하여 점토상으로 된 절삭칩이 공구경사면으로부터 밀려 나오는 상태로 된다.

Fig. 7은 이 때 배출된 절삭칩의 SEM 사진을 보이는 것으로, (a)가 건식절삭에서의 절삭칩, (b)가 습식 절삭에서의 절삭칩을 나타낸다. 습식 절삭의 경우는 건식절삭에 비해 절삭칩의 크기가 상당히 작아진다. 건식 절삭에서는 절삭날 선단에서의 절삭시의 파괴가 거시적인데 비하여, 습식 절삭에서는 피삭재의 수분 흡수에 의하여 절삭날 선단에서의 절삭시의 파괴가 미시적인 때문이라 판단된다.

이러한 영향은 절삭가공표면 및 Fig. 9의 절삭력에도 나타나 있다. Fig. 8(a), (b)에 건식절삭과 습식절삭 한 때의 가공 표면을 보인다. 건식 절삭 한 때의 가공 표면은 요철(凹凸)이 많은 면을 보여주고 있으나, 습식절삭에서는 Fig. 8(b)와 같이 검은색으로 나타나는 평탄한 부분이 많은 가공표면을 보인다.

Fig. 9는 절삭날 초기 상태의 Al₂O₃ 세라믹공구를 사용하여, 동일 절삭 조건에서 건식 절삭과 습식 절삭한 경우의 절삭력을 각각 나타낸다. 습식 절삭에서는 건식절삭에 비해 절삭력의 3분력 전체

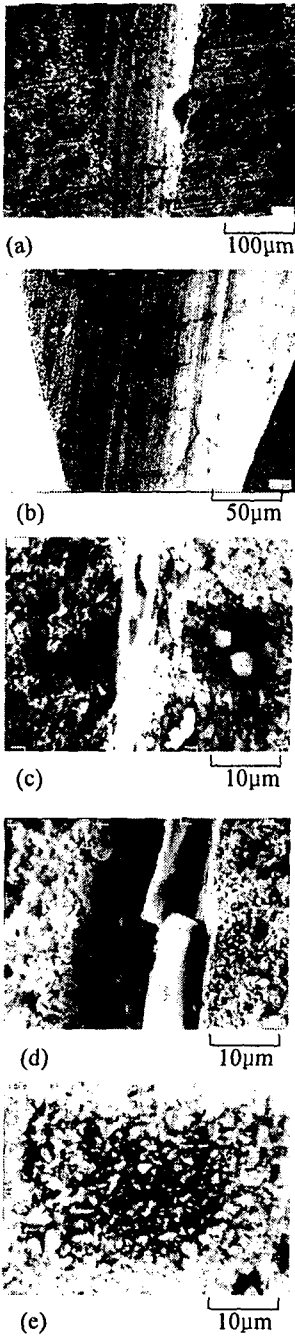


Fig. 5 High magnification of the grooved flank face of Al_2O_3 ceramic tool after machining of the ceramics presintered at $1000^\circ C$
 < $V=120m/min$, $f=0.1mm/rev.$, $t=0.5mm$, wet cutting, $T=1min$ >

가 커지고, 특히 배분력이 약 5배에 달한다.

상기의 Fig. 6~Fig. 9에서 보이는 결과로부터 본 연구에서 도출된 절삭 모델을 Fig. 10에 나타

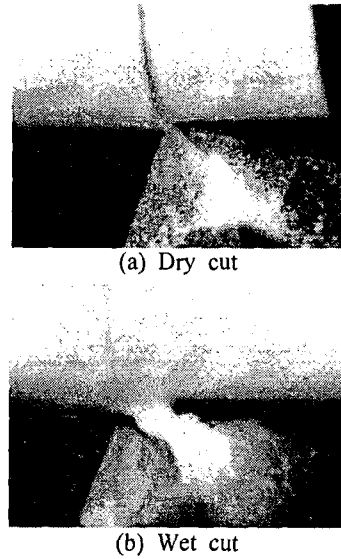


Fig. 6 Photographs of discharging chips in dry and wet machining of the ceramics presintered

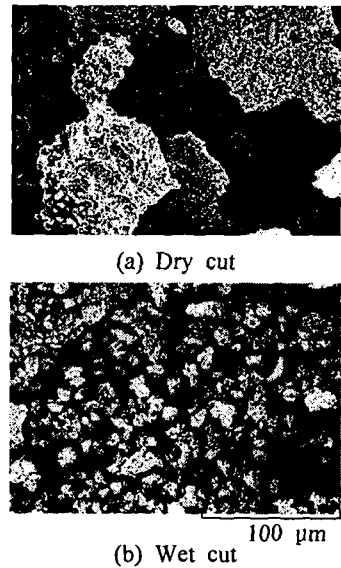


Fig. 7 Shapes of chips in dry and wet machining of the ceramics presintered
 <workpiece : $1050^\circ C$ presintered, tool : Al_2O_3 ceramic, $V=120 m/min$, $f=0.1 mm/rev.$, $t=0.5mm$ >

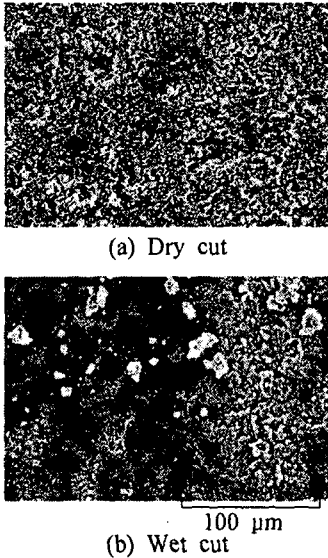


Fig. 8 Comparison of finished surfaces in dry and wet machining of the ceramics presintered <workpiece : 1050°C presintered, tool : Al₂O₃ ceramic, V=90m/min, f=0.1mm, t=0.5mm, dry cut>

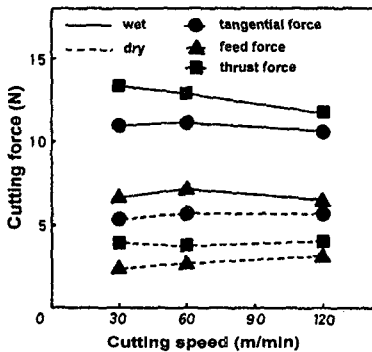


Fig. 9 Comparison of cutting force in dry and wet machining of the ceramics presintered with the new Al₂O₃ ceramic tools unworn <workpiece : 1050°C presintered, f=0.1mm, t=0.5mm>

낸다. 즉, 건식절삭에서는 절삭시의 피삭재에서의 파괴가 거시적이므로 공구여유면과 피삭재와의 접촉이 적은 상태로 되고, 또한 Fig. 10(a)와 같이 절삭칩의 배출성도 좋기 때문에 공구 여유면으로의 절삭칩의 침입량도 적어진다. 그러나, 습식절삭의

경우는 피삭재의 수분 흡수에 의하여 절삭시의 파괴가 미시적으로 되어 공구의 여유면과 피삭재와의 접촉 면적이 크고, 또한 절삭칩이 수분을 흡수함에 따라 Fig. 10(b)와 같이 절삭칩의 배출성이 나빠지므로 절삭날을 통하여 공구여유면으로 침입되는 절삭칩이 증가하여, 공구여유면 마멸이 현저히 커지는 것으로 판단된다. 따라서, CBN공구 및 세라믹공구를 사용하여, 특히 가소결 온도가 높은 피삭재를 가공하는 경우에 Fig. 10에서 보이는 절삭 상태의 영향을 크게 받는 것으로 판단된다. 더욱이 세라믹공구에서는 건식 절삭에서 형성된, 공구마멸을 억제하는 마멸면에서의 부착물층이 습식 절삭에서는 생성되지 않은 것도 습식 절삭에서의 공구 마멸이 현저히 커지는 원인의 하나로 생각된다.

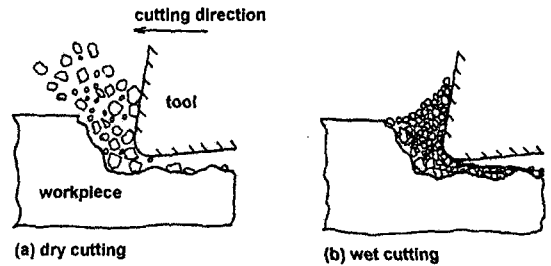


Fig. 10 Schematic models of the chips formation process in dry and wet machining of the ceramics presintered

4. 결론

각종 공구를 사용하여 저순도 알루미늄 세라믹의 예비소결체를 습식 및 건식에서 절삭 실험한 결과, 다음과 같은 결론이 얻어졌다.

1) 1000°C와 600°C에서 각각 예비소결한 세라믹을 소결다이아몬드공구(S.D.1)로 습식 절삭하면 마멸 진행이 건식절삭에 비해 대단히 늦어지고, 그 효과는 고온에서 예비소결한 피삭재의 경우가 더욱 크다.

2) 습식 절삭의 경우는 피삭재의 수분 흡수에 의하여 절삭칩의 배출성이 나빠져서 피삭재와 공구의 여유면 사이로 절삭칩이 침입하여 공구의 여유면을 마멸시키기 쉬우며, 또한 절삭시의 파괴가 더욱 미시적으로 되어서 건식 절삭에 비하여 절삭시의 절삭칩의 크기가 작아지고, 따라서 습식 절

삭에서의 절삭면이 건식 절삭에 비하여 더욱 고운 면으로 된다.

3) CBN공구로 절삭한 경우는 건식 절삭에 비하여 습식절삭에서의 마멸진행 속도가 상당히 빨라지며, 이 경향은 CBN 공구에서는 고온에서 예비소결한 피삭재에서 현저히 크게 나타난다.

4) 세라믹 공구를 사용한 모든 피삭재의 습식 절삭에서는 건식 절삭에서 형성된 마멸 억제층이 생성되지 않고, 공구의 여유면 사이로 절삭칩의 칩입이 용이하여 큰 홈형상의 마멸을 일으킴에 따라서 공구수명이 현저히 짧다.

5) 습식절삭에서는 건식절삭에 비해 절삭력의 3분력 전체가 커지고, 특히 배분력이 약 5배에 달한다.

참고문헌

1. Ha, S. B., Choi, W. and Lee, J. C., "A study on the Surface Roughness & Bending Strength for Zirconia Ceramic Grinding," J. of the KSPE, Vol. 17, No. 5, pp. 131-136, 2000.
2. Ueda, K., "Application of Fracture Mechanics in Micro-cutting of Engineering Ceramics," Annals of the CIRP, Vol. 32, No. 1, pp. 83-88, 1983.
3. Nakai, T., "Machining of Ceramics," Kogyo-Jairyo, Vol. 32, No. 12, pp. 34-42, 1978.
4. Iijima, N. and Takeyama, H., "Study on Machining Performance of Sintered Diamond Tool and Its Wear Mechanism (1st Report)-Mechano-physical Wear Mechanism of Sintered Diamond Tool," Journal of JSPE, Vol. 50, No. 7, pp. 1100-1107, 1984.
5. Watanabe, M. and Yoshikawa, M., "Cutting of Ceramic Materials by Diamond Coated Cutting Tools," Journal of JSPE, Vol. 56, No. 9, pp. 1735-1740, 1990.
6. Kitagawa, T., Kubo, A. and Maekawa, K., "Plasma Hot Machining for Difficult-to-cut Materials (3rd Report)-Application to Glasses and Engineering Ceramics," J. the Ceramic Society of Japan, Vol. 55, No. 6, pp. 1059-1065.
7. Uehara, K. and Takeshita, H., "Cutting Ceramics with a Technical of Hot Machining," Annals of the CIRP, Vol. 35, No. 1, pp. 55-58.
8. Akasawa, T., Takeshita, H. and Uehara, K., "Hot Machining of Ceramics," Annals of the CIRP, Vol. 36, No. 1, pp. 37-40.
9. Koenig, W. and Wagemann, A., "Machining of Ceramic Components: Process-Technological Potentials," NIST Spec. Publ. No. 847, pp. 3-20, 1993.
10. Wang, Z., "Cryogenic PCBN Turning of Ceramics," Wear, Vol. 195, No. 1, pp. 1-6, 1993.
11. Halcomb, D. L. and Rey, M. C., "Ceramic Cutting Tools for Machining Unsintered Compacts of Oxide Ceramics," Ceramics Bulletin, Vol. 61, No. 12, pp. 1311-1314, 1982.
12. Lee, J. W., "Tool Wear in Turning of the Presintered Low Purity Alumina," J. of the KSPE, Vol. 22, No. 1, pp. 39-46, 2005.
13. Lee, J. W., "Presintering Temperature for Improving the Tool Life in Machining of Si₃N₄ Ceramics," Proceedings of the KSPE Spring Annual Conference, pp. 456-459, 2005.
14. Lee, J. W., "Tool Life in Cutting of the Presintered Low Purity Alumina," Proceedings of the KSPE Spring Annual Conference, pp. 1268-1271, 2004.
15. Lee, J. W., "Tool-Wear Characteristics of the Ceramic, CBN and Diamond Tools in Turning of the Presintered Low Purity Alumina," J. of the KSPE, Vol. 23, No. 1, pp. 80-88, 2006.
16. Yu, K. S., Kim, Y. S. and Kim, S. J., "Physical Ceramics," Bando Publishing Company, pp. 469-483, 1997.