

저순도 알루미나 세라믹 예비소결체의 선삭에서 공구 마멸에 미치는 절삭 조건의 영향

Effect of Cutting Condition on the Tool Wear in Turning of the Presintered Low Purity Alumina Ceramics

이재우^{1,✉}
Jae Woo Lee^{1,✉}

1 두원공과대학 산학협력단 (Department of Industry-Academic cooperation, Doowon Technical College Univ.)
✉ Corresponding author: e@doowon.ac.kr, Tel: 031-670-7136

Manuscript received: 2009.12.14 / Accepted: 2010.3.2

In this study, presintered low purity alumina ceramics were machined with various tools to clarify the effects of the tool material, cutting condition and tool geometry on machinability. The main conclusions obtained were as follows. (a) The wear of tungsten carbide tool becomes smaller with the increase of the feed and clearance angle, and with the decrease of rake angle, especially exhibiting considerably smaller wear with both the decrease of rake angle and the increase of clearance angle. (b) So far as turning the ceramic presintered at low temperature, the diamond tool shows the best performance with higher feed. (c) The effect on the tool wear of the feed, clearance angle and rake angle becomes smaller in turning the ceramic presintered at higher temperature. (d) The tool wear is not severely affected by the depth of cut.

Key Words: Alumina Ceramics (알루미나 세라믹), Tool (공구), Wear (마멸), Turning (선삭), Tungsten Carbide Tool (초경 합금공구), Cutting (절삭)

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 Ueda,² Nakai³ 및 Iijima⁴ 등은 소결 다이아몬드 공구를 사용하여 완전 소결된 세라믹의 선삭 가공에 대한 연구 결과를 보고하였으나, 공구수명이 짧고, 가공 능률이 매우 낮아서 실용

화가 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 그러한 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 하기에는 공구수명이 짧다. 또한 알루미나와

지르코니아와 같이 열충격에 비교적 민감한 세라믹은 플라즈마 토치 가열에 의한 절삭성 향상을 기대하기 어렵다. 질화 규소 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 절삭 온도를 세라믹의 선삭에서 낮출 수 있다면 공구 수명을 실용적인 수준으로 높일 수 있다고 판단된다. Wang¹⁰ 은 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, 가공 능률을 증가시킬 수 있는 방안을 제시하였다. 그러나 이 연구에서는 상용 공구가 아닌 특수 형상의 공구를 사용하였으며, 성형체는 공작물의 강도가 약하기 때문에, 가공속도, 가공능률, 부품의 척킹 및 치수 정밀도 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 용이하게 가공할 수 있을 것으로 판단된다.¹² 각종의 초경합금공구를 사용한 예비소결체의 건식 절삭에서의 공구마멸 특성에 관한 연구¹² 는 본 저자에 의하여 보고된 바 있다. 이어서 세라믹공구, CBN 및 다이아몬드 공구를 사용한 예비소결체의 건식 절삭에서의 공구마멸 특성에 관한 연구¹³ 도 본 저자에 의하여 보고 되었었다. 본 연구에서는 각종 재종의 절삭 공구를 사용하여, 여러 온도에서 예비 소결한 저순도 알루미늄 세라믹 예비소결체를 절삭 가공하고, 공구 마멸에 미치는 공구 형상, 이송 속도 및 절삭 깊이의 영향을 검토하였다.

사용된 피삭재는, Al₂O₃(약 78%), SiO₂(약 16%), CaO, K₂O 를 주성분으로 하는 저순도 알루미늄 세라믹이며, 외경(50mm), 내경(15mm), 길이(300mm)로 압출성형하여 건조시킨 후에 여러 온도에서 예비소결한 예비소결체를 사용하였다. 알루미늄 세라믹의 예비소결온도 및 기계적, 물리적 성질을 Table 1 에 나타내었다. 예비소결체는 Table 1 에서 보이는 여러 온도에서 1 시간 유지하였으며, 완전소결체는 1300℃의 완전소결온도에서 2 시간 유지하였다. 수축률의 측정은 실험에 사용한 소결체를 일정한 형상으로 가공한 후에 그것을 완전소결하여, 그 때 생긴 축방향의 치수 차로부터 구한 것으로서, 축방향과 반경 방향에서의 수축률의 차는 그다지 나타나지 않았다. Table 1 로부터 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. 1 에 성형체, 각종 예비소결체 및 완전소결체의 파단면 사진을 나타낸다. 1000℃ 이하에서 예비소결한 소결체는 예비소결온도가 높을수록 입자의 집합 및 합체가 더욱 진행되고, 1300℃에서 완전 소결한 소결체는 기공이 거의 폐기공으로 되어 있으며 크게 성장된 결정을 보인다. 또한 1000℃ 이하에서 예비소결한 소결체는 입계파괴 현상을 보이며, 1300℃에서 완전 소결한 소결체는 입내파괴 현상을 나타낸다.

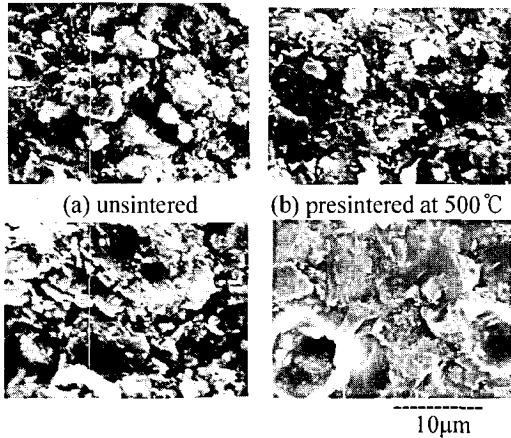
Table 1 에서 보인 바와 같이, 800℃~1000℃에서 예비소결한 경우의 체적밀도가 500℃ 및 600℃에서 예비소결한 경우보다 낮은 것은, 800℃~1000℃의 예비소결온도에서는 입자의 조대화, 집합 및 합체가 500℃ 및 600℃에서 예비소결한 때 보다 더욱 진전되며, 개기공(open porosity) 상태에서의 입자의 조대화, 국부적인 집합 및 합체는 Table 1

Table 1 Characteristics of Al₂O₃ 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 %
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
1300 full-sintered	16.54	105	287.92	2840	0.12	0.04	-

2. 실험 방법

2.1 피삭재



(a) unsintered (b) presintered at 500°C
(c) presintered at 1000°C (d) full-sintered at 1300°C
Fig. 1 Fractured surfaces of unsintered, presintered and full-sintered Al₂O₃ ceramics

에서 나타난 바와 같이 오히려 기공율을 증가시킬 수 있기 때문에 판단된다. 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 선삭 가공 방법

절삭은 CNC 선반을 사용하여 건식에서 외경 선삭하였으며, 경사면상에 생성된 절삭칩을 진공 청소기로 흡인하였다. Table 2에 선삭 조건을 보이고, Table 3에 선삭 조건 및 사용된 공구의 공구 재종 및 공구 형상을 보인다. 공구 형상을 변화시킨 실험에서는 경사각(α)을 +10°, -5°, -25°, -35°, -45°로 변화시켰으며, 여유각(γ)을 5° 및 15°로 변화시켰다.

Table 2 Turning conditions

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

Table 3 Materials and geometries of tools used in turning

Tool material	Tool geometry	Chamfer
Tungsten carbide, K01		none
Ceramic (TiC added)	-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8	0.15mm -20°
Sintered diamond		0.07mm -20°

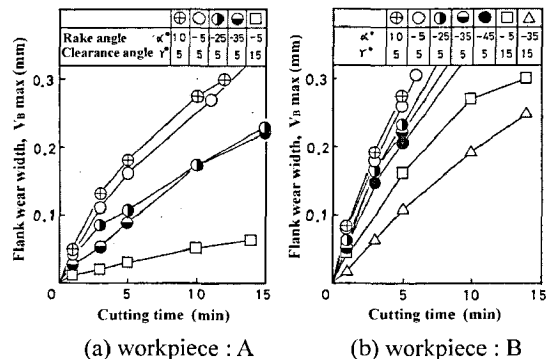
공구 형상의 영향을 파악하기 위한 실험 이외에는 모든 실험에서 -5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8인 형상을 가지는 절삭 공구를 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 공구 형상의 영향

초경 공구를 사용하여 절삭 공구의 경사각(α)을 +10°, -5°, -25°, -35°, -45°로 변화시키고, 여유각(γ)을 5°, 15°로 변화시켜 절삭을 행한 때에 경사면 마멸은 발생하지 않았으며, 여유면 마멸의 진행선도를 Fig. 2 에 보인다. 경사각이 마이너스 방향으로 커질수록, 또한 여유각이 커질수록 절삭공구의 여유면 마멸의 진행 속도가 느려짐을 알 수 있다. 이 경향은 경도가 낮은 피삭재인 500°C에서 예비소결한 예비소결체를 절삭하는 경우에 더욱 현저하게 나타난다. 한편, 800°C에서 예비소결한 예비소결체를 절삭하는 경우에 경사각을 마이너스 방향으로 크게 하고, 더욱이 여유각도 크게 한 공구($\alpha=-45^\circ, \gamma=15^\circ$)로 절삭 실험을 행한 때는 마멸 진행이 상당히 느려진다.

Fig. 3 은 경사각이 -5°, 여유각이 5°인 초경 합금 공구를 사용하여 절삭한 때의 공구의 마멸면의 확대 사진을 보인다. 공구의 여유면 마멸면은 홈패임(groove) 흔적이 현저하게 나타나고, 이것은 절삭 시에 피삭재와 공구의 여유면 사이로 침입한 절삭칩이 공구의 여유면과 마찰하면서 소결에 의해 제조된 공구의 구성 입자를 절삭 방향으로 탈락시키기 때문으로 판단된다.



(a) workpiece : A (b) workpiece : B
Fig. 2 Effect of tool geometry on the tool wear in turning with tungsten carbide tools (workpiece A: presintered at 500°C, B: presintered at 800°C, V=60m/min, f=0.1mm/rev., t=0.5mm)

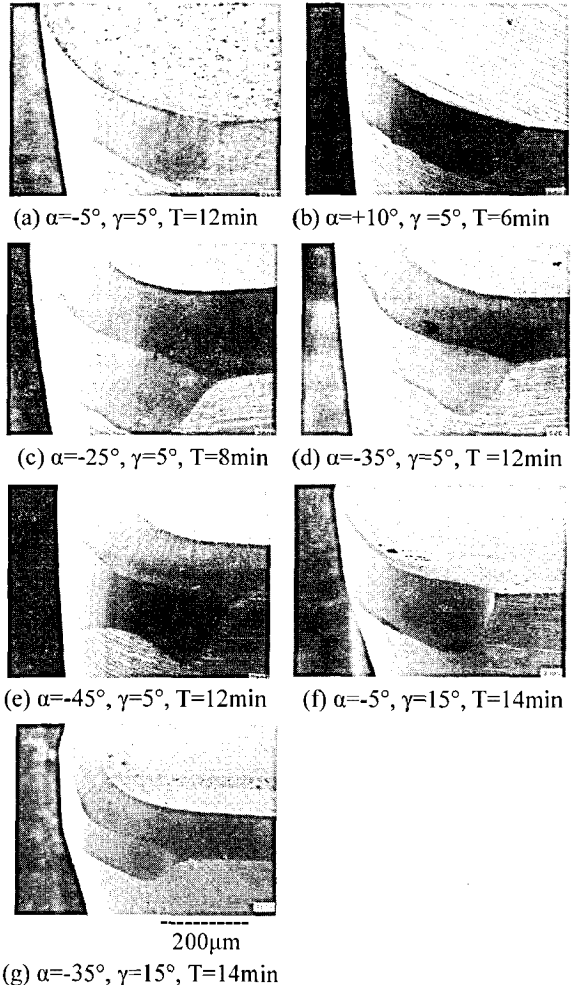
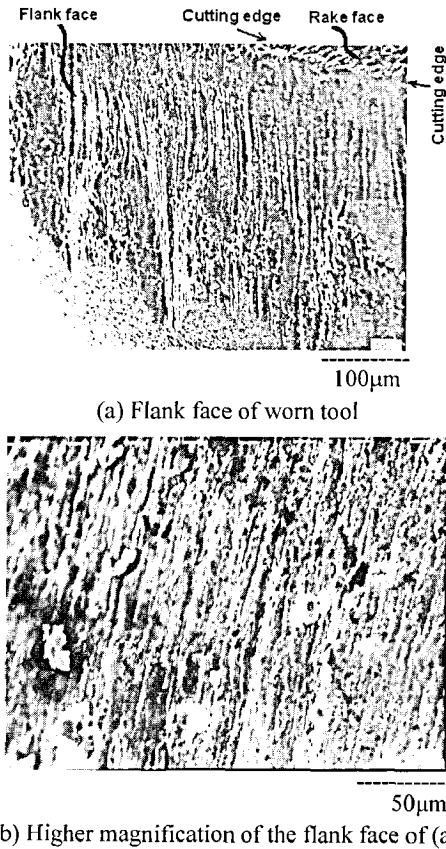


Fig. 3 Photo of the flank face of tungsten carbide tool after turning of the ceramics presintered at 800 °C ($V=120\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/rev.}$, $t=0.5\text{mm}$, $T=12\text{min}$, $\alpha=-5^\circ$, $\gamma=5^\circ$)

Fig. 4 에 공구 형상을 변화시킨 여러 절삭 공구의 마멸 형태를 나타낸다. 경사각이 +10°, -5°의 공구에서는 Fig. 4(a),(b)와 같이, 여유면이 거의 균일하게 마멸되어 있다. 그러나, 경사각이 -25°, -35°의 공구는 각각 (c),(d)와 같이 공구와 피삭재와의 경계 부분의 마멸이 크게 되었다. 이것은 마이너스 방향의 경사각을 가진 공구는 피삭재와 공구의 여유면 사이로 절삭칩이 침입하기 쉬운 절삭 상태에 놓이기 때문에, 절삭 시에 공구의 경사면에 놓인 절삭칩이 공구와 피삭재의 경계부로 용이하게 침입하여 여유면을 연삭 마멸(abrasive wear) 시키기 때문으로 판단된다.

한편, 여유각을 크게 한 공구의 마멸 형태를 Fig. 4(f),(g)에 나타내는데, 여유각과 함께 경사각을 크게 한 공구에서는 공구의 경계 부분의 마멸이 현저히 크다. 여유각을 크게 하면 공구와 피삭재

Fig. 4 Typical wear patterns of tungsten carbide tools in turning with different tool geometry (workpiece: presintered at 800 °C, $V=60\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/rev.}$, $t=0.5\text{mm}$)

와의 마찰 면적이 적어져서 연삭 마멸이 줄어들고, 여유각과 함께 경사각을 크게 하면 여유각과 경사각의 상기의 효과가 모두 나타나는 것으로 보인다.

Fig. 5 는 여유각을 5°로 하고, 경사각을 -5° 및 -45°로 한 때에 절삭 시에 생성되는 절삭칩의 형태를 보이고, Fig. 6 은 여유각을 5°로 하고, 경사각을 -5° 및 -45°로 한 때의 절삭면을 나타내며, 또한, Fig. 7 은 Fig. 6 의 절삭면에 대한 표면거칠기 프로파일을 보인다. Fig. 5 에서 마이너스 방향으로 작은 경사각을 가진 공구로 절삭한 때의 절삭칩은 미세한 크기이나 경사각이 마이너스 방향으로 큰 경우에는 큰 피상의 절삭칩을 나타낸다. Fig. 6 에서 경사각

-5°, 여유각 5°인 경우에는 Fig. 6(a)와 같이 미려한 절삭면을 보임에 반하여, 경사각이 마이너스 방향으로 큰 경우에는 절삭면에 손상이 발생된 흔적이 있고, 절삭 시의 이송 마크도 현저하게 나타난다.

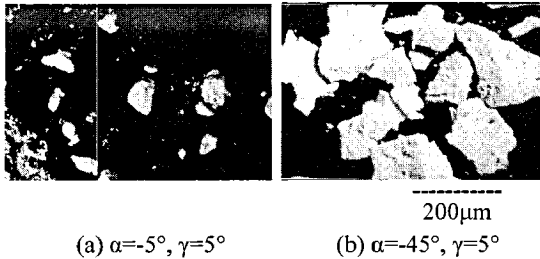


Fig. 5 Shapes of chips in turning with tungsten carbide tools of different tool geometry (workpiece: presintered at 800°C, V=60m/min, f=0.1mm/rev., t=0.5mm, T=1min)

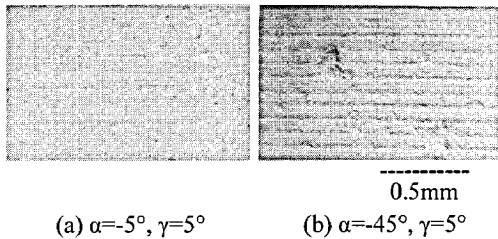


Fig. 6 Machined surface in turning with tungsten carbide tools of different tool geometry (workpiece: presintered at 800°C, V=60m/min, f=0.1mm/rev., t=0.5mm, T=1min)

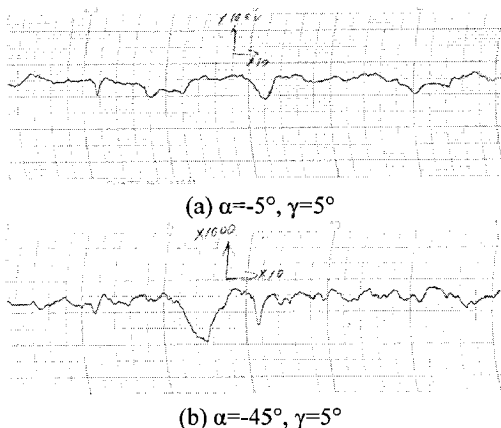


Fig. 7 Surface roughness profile in turning with tungsten carbide tools of different tool geometry (workpiece: presintered at 800°C, V=60m/min, f=0.1mm/rev., t=0.5mm, T=1min)

Fig. 7의 절삭면의 표면거칠기 프로파일에서 경사각 -5°, 여유각 5°인 경우에는 최대표면거칠기 (Rmax)가 7 μm 이고, 동일 여유각에 경사각을 -45°로 한 때의 최대표면거칠기가 17 μm 로서, 절삭 공구의 경사각이 마이너스 방향으로 클수록 절삭시의 파괴가 거시적으로 발생되어 절삭칩이 커지고, 큰 절삭칩은 절삭 시에 피삭재와 절삭공구의 여유면 사이로 침입되기 어렵기 때문에, Fig. 2의 공구의 여유면 마멸진행선도와 Fig. 4의 공구 마멸 형태에서 보이듯이 경사각이 클수록 절삭 공구의 여유면 마멸이 작아지는 것으로 판단된다.

3.2 이송 및 절삭깊이의 영향

초경 합금 공구, 세라믹 공구 및 소결 다이아몬드 공구를 사용하여 이송 속도를 변화시킨 절삭 시험을 행하였다.

Fig. 8에 초경 합금 공구를 사용하여 이송 속도를 0.04, 0.1, 0.25mm/rev.로 변화시킨 때의 공구 마멸 진행선도를 보인다. 800°C에서 예비소결한 예비소결체와 500°C에서 예비소결한 예비소결체를 절삭한 경우 모두 이송 속도를 높이면 마멸 진행이 느려진다. 특히, 경도가 낮은, 500°C에서 예비소결한 예비소결체를 절삭한 경우에 그 경향이 현저히 나타난다.

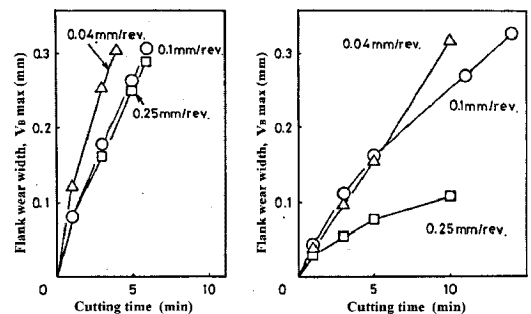
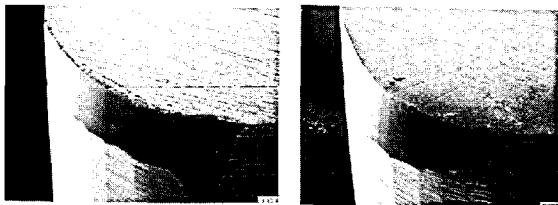


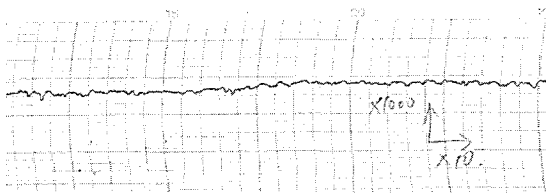
Fig. 8 Effect of feed on the tool wear in turning with tungsten carbide tools (V=60m/min, t=0.5mm, α=-5°, γ=5°)

Fig. 9에 이송 속도를 변화시킨 때의 초경 합금 공구의 마멸 형태를 보인다. 이송 속도가 가장 느린 0.04mm/rev.인 때는 Fig. 9(a)와 같이 공구의 경계 부분의 마멸이 크지만, 이송 속도가 0.25mm/rev.로 커지면 (b)와 같이 경계 부분의 마멸이 작아진다.

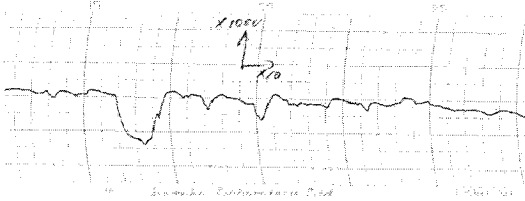
또한, Fig. 10 에 이송 속도를 변화시킨 때의 절삭면의 표면거칠기 프로파일을 보인다. Fig. 10 에서, 이송 속도가 증가하면 절삭 시의 파괴가 더욱 거시적으로 발생하는 것으로 보이며, 이로 인하여 이송 속도가 높은 경우에 생성된 큰 피상의 절삭칩이 피삭재와 공구의 여유면 사이로 침입하기 어려우므로, 이송 속도가 낮은 경우에 비하여 절삭공구의 여유면 마멸진행 속도가 늦어지는 것으로 판단된다.



(a) $f=0.04\text{mm/rev.}$, $T=4\text{min}$ (b) $f=0.25\text{mm/rev.}$, $T=6\text{min}$
 Fig. 9 Typical wear patterns of tungsten carbide tools with different feeds (workpiece: presintered at 800°C , $V=60\text{m/min}$, $t=0.5\text{mm}$, $\alpha=-5^\circ$, $\gamma=5^\circ$)



(a) $f=0.04\text{mm/rev.}$



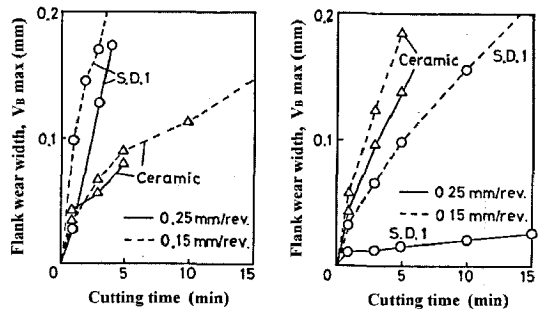
(b) $f=0.25\text{mm/rev.}$

Fig. 10 Surface roughness profile in turning with tungsten carbide tools of different tool geometry (workpiece: presintered at 800°C , $V=60\text{m/min}$, $t=0.5\text{mm}$, $T=1\text{min}$, $\alpha=-5^\circ$, $\gamma=5^\circ$)

한편, Fig. 11 에 소결 다이아몬드 공구(S.D.1)와 TiC 첨가 알루미늄 세라믹 공구를 사용하여, 이송을 0.1, 0.25mm/rev.로 변화시켜 1000°C 에서 예비소결한 예비소결체와 600°C 에서 예비소결한 예비소

결체의 절삭을 행한 때의 공구 마멸 진행선도를 나타낸다. 모든 피삭재에서 이송 속도를 올릴수록 마멸 진행은 느려진다. 특히 600°C 에서 예비소결한 예비소결체를 소결 다이아몬드 공구를 사용하여 절삭한 경우에, 마멸 진행속도가 대단히 느려진다.

Fig. 12 는 이송속도를 달리하여 600°C 에서 예비 소결한 소결체를 절삭한 때의 세라믹 공구의 마멸 형태를 보이는데, 이송 속도가 낮을 때는 Fig. 12(a)와 같이 공구의 코너부에도 큰 흠형상의 마멸이 생성되어 있으나, 이송 속도가 높은 경우에는 Fig. 12(b)와 같이 공구의 코너부에는 큰 흠형상의 마멸이 발생되지 않고, 피삭재와 절삭공구의 경계부에 큰 흠형상의 마멸이 생성되었다. Fig. 13 은 그 때의 절삭칩의 형태를 보이는데, 이송 속도가 높은 경우의 절삭칩이 현저히 크다는 것을 알 수 있다. 세라믹 공구는 초경 합금 공구에 비하여 경도는 높으나 인성이 낮기 때문에 절삭날의 손상이 쉽게 발생하므로, 이송 속도가 낮아서 절삭칩이 미세하면 손상된 절삭날을 통하여 피삭재와 공구의 여유면 사이로 상대적으로 미세한 절삭칩의 침입이 용이하여 Fig. 12(a)와 같이 공구의 코너부에 큰 흠형상의 마멸이 발생하는 것으로 판단된다. 이송 속도를 증가시키면 절삭 시의 파괴 규모가 더욱 거시적으로 일어나서 절삭 시에 생성되는 절삭칩이 더욱 커지는 효과가 있으며, 이에 따라서 피삭재와 공구의 여유면 사이의 절삭칩의 침입이 억제되어 Fig. 11 에서 보이는 바와 같이 공구 마멸 진행속도가 늦어지는 것으로 판단된다.



(a) workpiece: 1000°C presintered (b) 600°C presintered
 Fig. 11 Effect of feed on the tool wear in turning with ceramic and sintered diamond tools ($V=60\text{m/min}$, $t=0.5\text{mm}$, $\alpha=-5^\circ$, $\gamma=5^\circ$)

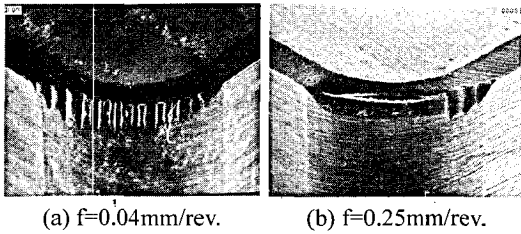


Fig. 12 Typical wear patterns of TiC added alumina ceramic tools in turning with different feed (workpiece : presintered at 600 °C, V=60m/min, t=0.5mm, T=5min, $\alpha=-5^\circ$, $\gamma=5^\circ$)

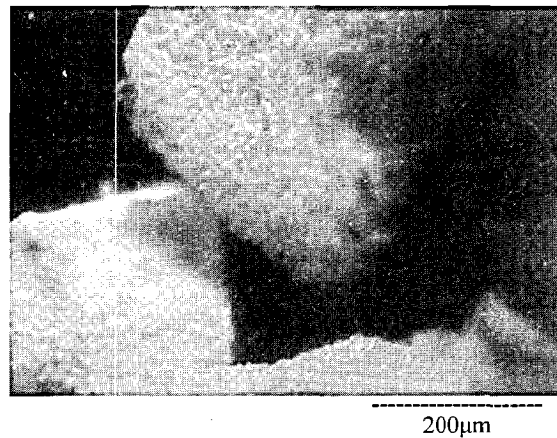
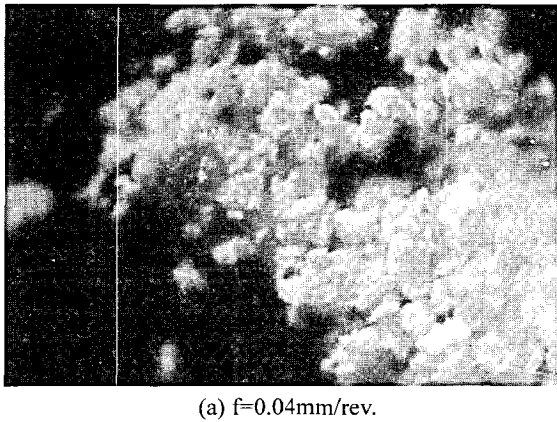


Fig. 13 Difference in the shapes of chips due to different feeds in turning with TiC added alumina ceramic tool (workpiece: presintered at 600 °C, V=60m/min, f=0.1mm/rev., t=0.5mm, T=1min, $\alpha=-5^\circ$, $\gamma=5^\circ$)

Fig. 14 는 이송 속도를 달리하여 600 °C에서 예비소결한 예비소결체를 절삭한 때의 소결 다이아

몬드 공구의 마멸 형태를 보인다. 이송 속도가 낮을 때는 절삭날의 손상이 심하고 큰 여유면 마멸을 보이나, 이송 속도가 빠를 경우에는 절삭날의 손상이 보이지 않고, 이송 속도가 0.04mm/rev.인 경우에 비하여 여유면 마멸도 현저히 작다. 이송 속도가 낮아서 절삭칩의 크기가 작아지면 경도가 높은 소결 다이아몬드 공구라 하더라도 피삭재와 공구의 여유면 사이로 침입한 절삭칩에 의한 연삭 마멸이 활발하게 일어나는 것으로 보인다. 그러나 이송 속도가 증가하여 절삭칩의 크기가 커지면,

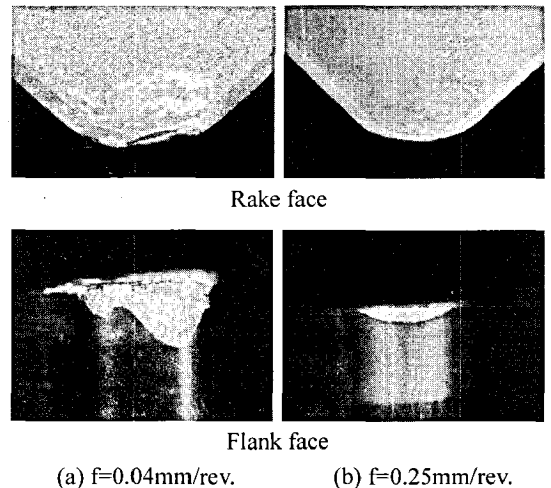


Fig. 14 Typical wear patterns of diamond tools in turning with different feeds (workpiece: presintered at 600 °C, V=60m/min, f=0.1mm/rev., t=0.5mm, T=15min, $\alpha=-5^\circ$, $\gamma=5^\circ$)

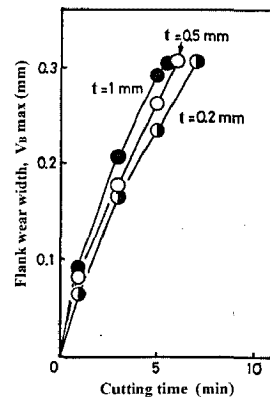


Fig. 15 Effect of the depth of cut on the tool wear in turning with tungsten carbide (Workpiece: presintered at 800 °C, V=60m/min, f=0.1mm/rev., $\alpha=-5^\circ$, $\gamma=5^\circ$)

피삭재와 공구의 여유면 사이로 절삭칩이 침입하기 어려우므로, 절삭칩에 의한 공구 여유면에 대한 흠패임 현상이 줄어들어서 피삭재와 공구 여유면과의 마찰에 따른 마멸이 주류를 이루므로 경도가 높은 소결 다이아몬드 공구의 마멸이 현저히 감소되는 것으로 판단된다.

Fig. 15 에는 800℃에서 예비소결한 예비소결체를 피삭재로 하여 절삭 깊이를 변화시킨 때의 공구 마멸 진행선도를 보인다. 절삭 깊이를 크게 하면, 마멸 진행속도가 다소 느려지지만 가공 능률을 고려할 때 절삭 깊이의 감소에 따른 공구 마멸의 감소 효과를 기대하기는 어렵다.

4. 결론

1) 절삭 공구의 경사각이 마이너스 방향으로 커질수록 또한 이송 속도가 증가할수록 절삭칩이 커지고, 절삭칩이 클수록 피삭재와 공구 여유면 사이로의 절삭칩의 침입이 억제되어 공구의 마멸 진행 속도가 느려진다. 이러한 경향은 경도가 낮은 피삭재 일수록 현저하게 나타난다. 경사각을 마이너스 방향으로 크게 함과 동시에 여유각도 크게 한 공구($\alpha=-45^\circ$, $\gamma=15^\circ$)로 절삭한 때의 공구는 마멸 진행이 상당히 느려진다.

2) 소결 다이아몬드 공구를 사용하여 경도가 낮은 피삭재를 높은 이송 속도에서 절삭하는 경우에는 공구의 마멸 진행이 현저히 느려지고, 이 경우가 본 연구의 실험 조건 중에서는 가장 우수한 성능을 나타낸다.

3) 절삭 깊이가 작아짐에 따라서 마멸 진행속도는 다소 느려지나, 가공 능률을 고려할 때 절삭 깊이의 감소에 따른 공구 마멸의 감소 효과를 기대하기는 어렵다.

참고문헌

- 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.
- Ueda, K., "Application of Fracture Mechanics in Micro-cutting of Engineering Ceramics," Annals of the CIRP, Vol. 32, No. 1, pp. 83-88, 1983.
- Nakai, T., "Machining of Ceramics," Kogyo-Jairyō, Vol. 32, No. 12, pp. 34-42, 1978.
- 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.
- 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.
- 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, 1989.
- Uehara, K. and Takeshita, H., "Cutting Ceramics with a Technical of Hot Machining," Annals of the CIRP, Vol. 35, No. 1, pp. 55-58, 1986.
- Akasawa, T., Takeshita, H. and Uehara, K., "Hot Machining of Ceramics," Annals of the CIRP, Vol. 36, No. 1, pp. 37-40, 1987.
- Koenig, W. and Wagemann, A., "Machining of Ceramic Components: Process-Technological Potentials," NIST Spec. Publ. No. 847, pp. 3-20, 1993.
- Wang, Z. Y., Rajurkar, K. P. and Murugappan, M., "Cryogenic PCBN Turning of Ceramics," Wear, Vol. 195, No. 1-2, pp. 1-6, 1996.
- 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.
- 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.
- Lee, J. W., "Evaluation of Wet Machining Characteristics of the Presintered Low Purity Alumina with the Ceramic, CBN and Diamond Tools," J. of the KSPE, Vol. 24, No. 2, pp. 33-40, 2007.