한국정밀공학회지 제22권 제1호 (2005년 1월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 22, No. 1, January 2005.

저순도 알루미나 예비소결체 선삭시의 공구 마멸

이재우#

Tool Wear in Turning of the Presintered Low Purity Alumina

Jae-Woo Lee#

ABSTRACT

In this study, unsintered, presintered and full-sintered low purity alumina ceramics were machined with various tools to clarify the machinability and the optimum cutting conditions. The main conclusions obtained were as follows. (1) Machined with alloy steel tool, the machinability of the presintered ceramics becomes better with the decrease of presintering temperature, but that of unsintered ceramics(white body) was extremely poor. (2) In the case of carbide, K01, the tool life in machining the white body was the longest, and the machinability of presintered ceramics becomes poorer with the increase of the presintering temperature. (3) The K01 tools exhibit longer life than the P10 tools in machining both the white body and the ceramics presintered at 1450℃ or higher temperatures, but the P10 tools shows longer tool life than the K10 tools in machining of the ceramics presintered at temperatures below 1450℃.

Key Words : Alumina(알루미나), Presintered Ceramic(세라믹 예비소결체), Cutting(절삭), Tool Life(공구수명), Wear(마멸)

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 행해지므로, 가공능률이 매우 낮고 복잡한 형상 창성이 어려우며, 연삭시는 표면 손상의 발생에 의해 강도저하를 일으키게 된다.[1] 완전 소결된 세라믹의 절삭가공에서는 공구수명이 짧고, 가공 속도가 매우 늦어서 일반의 부품가공에 적용하기 어렵다.[2] 또한 소결이 행해지지 않은 성형체의 절삭가공은 공작물의 강도가 약하기 때문에, 가공속도, 가공능률, 부품의 척킹 및 치수 정밀도 등에 문제가 있다.[3] 한편 머시너블 세라믹은 절삭성이 좋은 반면에,[4] 일반적인 구조용 세라믹의 대체용으로 사용될 수 없는 경우가 많다. 이러한 여러 가지 문제 때문에 다양한 분야에서 세라믹을 활용하기에는 많은 제약이 있어서, 엔지니어링 세라믹의 가공 문제 해결이 시급하다.

접수일: 2004년 6월 22일; 게재승인일: 2004년 10월 7일
교신저자: 두원공과대학 기계과
E-mail e@doowon.ac.kr Tel. (031) 670-7136

그러나, 세라믹을 예비 소결 상태에서 기계 가공한다면 가공 능률이 크게 향상되고, 더욱이 복잡한 형상으로 가공할 수 있다고 생각된다.[5] 그래서 본 연구에서는 여러 온도에서 예비 소결한 저순도 알루미나 세라믹에 대하여 각종 공구를 사용한 절삭 가공을 행하고, 마멸 형태 및 공구 수명 등을 비교 검토하였다.

2. 실험방법 및 피삭재

2.1 피삭재

사용된 피삭재는, Al_2O_3(약78%), SiO_2(약16%), CaO, K_2O를 주성분으로 하는 저순도 알루미나 세라믹이며, 외경(50mm), 내경(15mm), 길이(300mm)로 압출성형하여 건조시킨 성형체, 여러 온도에서 예비소결한 예비소결체 및 완전소결체를 사용하였다. 알루미나 세라믹의 예비소결온도 및 기계적, 물리적 성질을 Table 1에 보인다. 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 차로부터 구한 것으로서, 축방향과 반경 방향에서의 수축률의 차는 그다지 나타나지 않았다. Table 1로부터 알루미나 세라믹의 여러 특성은 1000℃까지는 그다지 변화가 없지만, 1000℃ 이상이 되면 예비소결 온도에 따라 큰 변화를 보여주고, 수축률도 마찬가지로 1000℃ 이상에서 상당히 작아지게 된다.

Fig. 1에 성형체 및 각종 소결체의 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 입계파괴 현상을 보이며, 1050℃ 이상에서 예비소결한 소결체는 입내파괴 현상을 나타낸다.

Table 1 Characteristics of Al_2O_3 presintered at various temperatures

Sintering Temp. ℃	Vickers hardness GPa	Shore hardness H_s	Bending Strength MPa	Bulk density kg/m^3	Porisity %	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	-

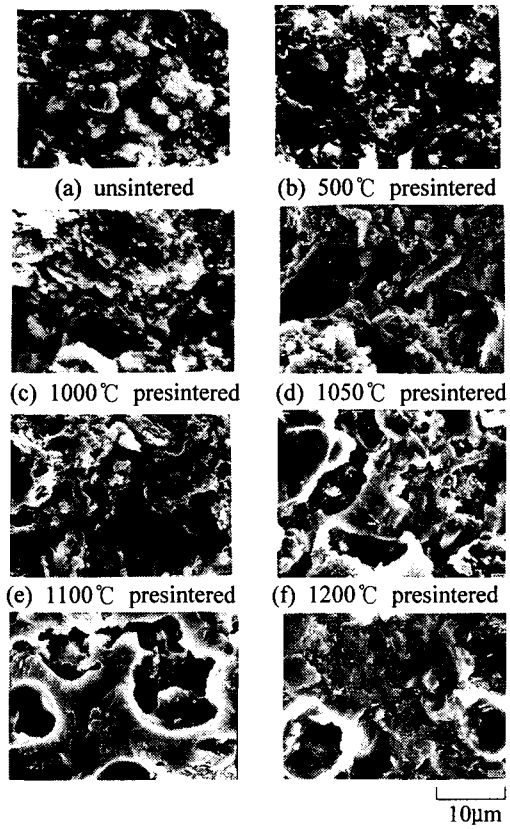


Fig. 1 Fractured surfaces of unsintered and presintered Al_2O_3 ceramics

2.2 절삭실험

절삭 방식은 건식 및 습식의 외경 선삭을 행하였으며, 건식 절삭의 경우는 공구 경사면상으로 배출된 절삭칩을 진공청소기로 흡인하였다. 습식

절삭의 경우는 수용성 절삭유(KS W2)을 1:50의 비율로 희석하여 매분 7ℓ의 비율로 경삭면측으로 주입하였다.

실험에 사용된 공구는 합금공구강 공구(STS2), 초경합금공구(K01, P10) 및 소결다이아몬드공구(S.D.)를 사용하였고, 합금공구강 공구의 형상은 −5, −5, 5, 5, 15, 15, 0.2이었으며, 초경합금 공구 및 소결다이아몬드공구의 형상은 −5, −5, 5, 5, 15, 15, 0.8이었다. 소결다이아몬드 공구의 경우는 폭 0.07mm, 각도 −20°의 모따기가 형성되어 있다. 모든 선삭실험은 Table 2에서 보이는 절삭조건에서 행하였다. 공구의 경사면 마멸은 발생되지 않았으므로 여유면 마멸만을 공구 현미경으로 측정하였으며, 공구수명은 공구여유면의 최대마멸폭(V_B)이 0.3mm에 달하는 시간을 기준으로 하였으며, 초경합금 공구, K01과 P10의 공구 수명을 비교하기 위한 실험에서는 공구여유면의 최대마멸폭(V_B)이 0.15mm에 달하는 시간을 공구 수명의 기준으로 하였다.

Table 2 Turning conditions

Cutting speed, V (m/min)	3 to 120
Feed, f (mm/rev)	0.1
Depth of cut, t (mm)	0.5

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 절삭저항

Fig. 2에 1100℃에서 예비소결한 피삭재, 완전소결체 및 구조용 탄소강재(SM45C)의 절삭저항을 나타낸다. 예비소결체 및 SM45C를 절삭한 때는 초경공구 K01을 사용하여 건식에서 절삭하였으며, 완전소결체는 소결다이아몬드공구를 사용하여 습식에서 절삭하였다. Fig. 2에서, 예비소결체의 절삭저항은 구조용 탄소강재에 비하여 대단히 작음을 알 수 있으며, 주분력에서 약 1/20 정도를 나타낸다. 한편, 완전소결체의 절삭저항은 주분력에서만 구조용 탄소강의 1/4정도로 되며, 이송분력 및 배분력은 구조용 탄소강에 비해 그다지 작지 않다. 예비소결체의 경도 및 강도가 완전소결체에 비해 매우 낮기 때문에 3분력 모두 1/10의 크기를 보이며, 예비소결체의 절삭칩 생성 시의 파괴가

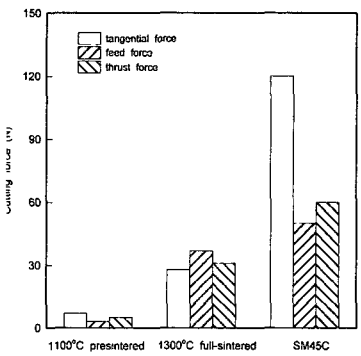


Fig. 2 Cutting force in machining of Al_2O_3 and SM45C <tool=K01 (presintered Al_2O_3 and SM45C, dry cut), S.D.(full-sintered Al_2O_3, wet cut),
<V=30m/min, f=0.1mm/rev, t=0.5mm>

완전소결체의 절삭에 비해 매우 용이하게 일어남을 나타낸다.

3.2 합금공구강공구의 마멸과 공구 수명

Fig. 3에 합금공구강공구(STS2)를 사용하여, 성형체 및 예비소결체를 절삭한 때의 공구수명선도를 나타낸다. 이 경우, 성형체의 절삭성이 가장 나쁘게 된다. 예비소결체를 절삭한 경우는 500℃에서 예비소결한 피삭재의 절삭성이 가장 좋으며, 예비소결 온도가 높아짐에 따라 절삭성은 나쁘다.

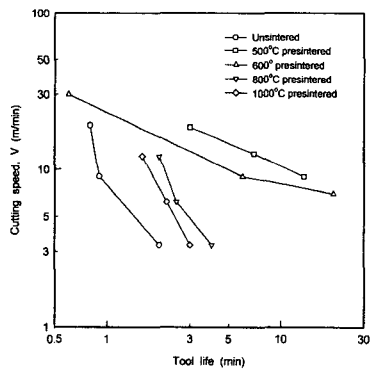
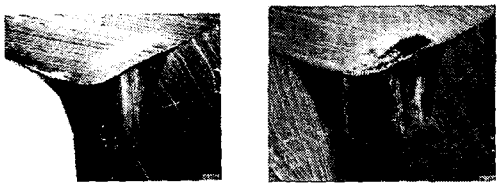


Fig. 3 Tool life curves of alloy steel tools(STS2) in dry machining of unsintered and presintered ceramics
<f=0.1mm/rev, t=0.5mm, criterion: V_B=0.3mm>

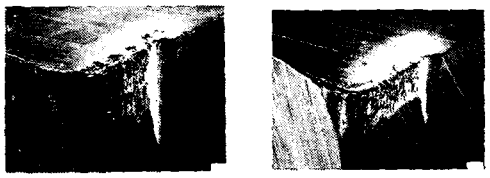
이와 같이 피삭재에 따라 절삭성이 달라지는 원인에 대해서는 후술한다.

Fig. 4에 이 때의 공구마멸형태의 일례를 나타낸다. 성형체를 절삭한 때는 (a)와 같이 코너부의 마멸이 크다. 한편, 예비소결체를 절삭한 때는 주로 깊은 홈상의 마멸 형태를 보이며, 600℃ 이상에서 예비소결한 피삭재에서는 Fig. 4 (c),(d),(e)와 같이 경계부분의 마멸이 크다. 성형체는 원료 입자간의 결합력이 매우 약한 상태이므로, 절삭시에 배출성이 나쁜 입자 단위의 미세한 절삭칩이 생성되어 공구의 코너부를 집중적으로 마멸시키며, 600℃ 이상에서 예비소결한 피삭재는 입자간의 결합력을 보유하기 때문에 괴상의 절삭칩이 생성되고, 이러한 괴상의 절삭칩은 코너부보다는 칩입이 용이한 경계부에서 큰 마멸을 일으키는 것으로 보인다.



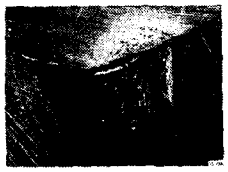
(a) workpiece : unsintered
V=9m/min, T=1min

(b) 500℃ presintered,
V=12m/min, T=8min



(c) 600℃ presintered
V=12m/min,T=11min

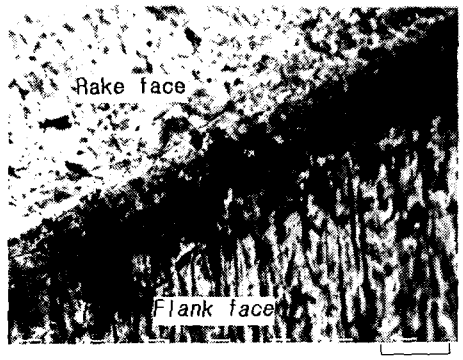
(d) 800℃ presintered
V=6m/min, T=3min



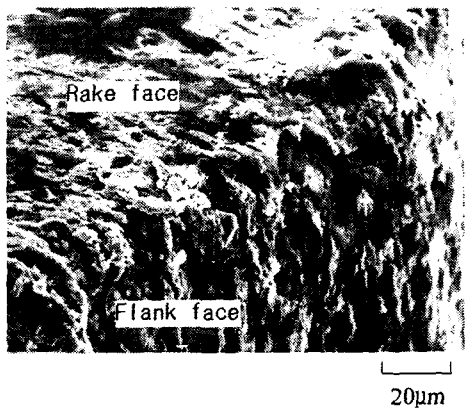
(e) 1000℃ presintered
V=6m/min, T=2min

Fig. 4 Typical wear patterns of alloy steel tools in dry machining of unsintered and presintered ceramics

Fig. 5는 성형체 및 예비소결체를 절삭한 공구의 절삭날 부분을 확대한 사진을 보이며, Fig. 6은 절삭 가공면의 주사식 전자현미경 사진을 나타낸다. Fig. 5(a)에서 보이는 바와 같이, 성형체를 절삭한 공구는 절삭날의 손상이 작으며, 예리한 상태를 유지하지만, 여유면에서는 가는 홈패임(ploughing wear) 흔적을 많이 관찰할 수 있다. 한편, 600℃에서 예비소결한 피삭재를 절삭한 공구는 (b)와 같이 절삭날의 손상이 현저하고, 홈패임의 흔적도 크다. 이러한 홈패임은, 절삭시에 공구의 여유면과 피삭재 사이로 칩입한 절삭칩이 공구의 여유면으로 절입함에 의하여 발생하며, 절삭칩이 작을수록 홈패임이 예리하고, 그 간격이 작아



(a) workpiece:unsintered, V=9m/min, T=1min



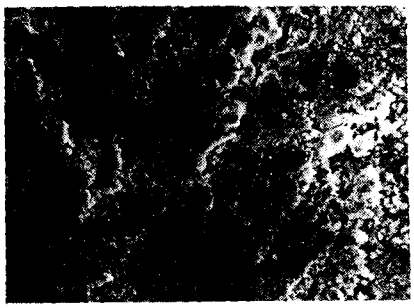
(b) 600℃ presintered, V=12m/min, T=11min

Fig. 5 SEM photographs of the weared cutting edge of alloy steel tools in dry machining of unsintered and presintered ceramics

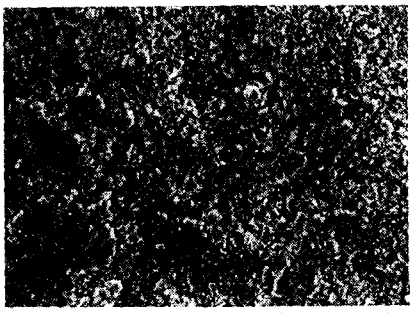
진다.

또한 성형체의 절삭면은 Fig. 6(a)와 같이 평탄부가 많은데 비하여, 예비소결체의 절삭면은 (b)와 같이 입자단위의 요철(凹凸)면을 나타낸다. 성형체는 원료 입자 사이의 결합력이 약해 미시 파괴에 의해 절삭이 행해지므로 절삭면의 하방으로의 균열이 진전·성장하기 어렵고, 예비소결체에서는 소결이 상당히 진행되어 어느 정도의 결정입자간 결합력과 강도를 가지므로, 절삭시에 거시파괴가 일어나고 거시적 균열이 절삭면의 하방으로 진전하기 때문에 절삭면의 요철이 커지는 것으로 사료된다.

한편 성형체를 절삭하는 경우, 성형체의 입자간의 결합력이 약하기 때문에, 절삭시의 공구절삭날 부분에서는 소결체가 입자 단위로 파괴되고, 파괴시에 생성된 미소한 분말이 소결체와 공구여유면사이로 침입하기 쉽게되어 공구여유면을 마멸시키기 때문에 여유면마멸은 의외로 크게 된다. 한편, 예비소결체는 성형체 보다도 경도가 높아, 공구 절삭날부분의 마멸은 성형체를 절삭한 때 보다 크게 되지만, 절삭시에 거시적 파괴로 되어, 공구의 여유면과 소결체와의 접촉이 적게 되고, 절삭칩의 배출성이 좋아서 공구여유면으로 침입되는 절삭칩도 적어지기 때문에, 이것을 종합한 여유면마멸의 진행속도는 성형체를 절삭한 경우 보다 늦어지는 것으로 판단된다. 또한 예비소결체의 절삭에서는, 피삭재의 경도가 공구수명에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보인다.



(a) workpiece: unsintered



(b) 600℃ presintered

Fig. 6 Finished surfaces in dry machining of unsintered and presintered ceramics with alloy steel tools
<V=6m/min, f=0.1mm/rev, t=0.5mm>

3.3 초경공구의 마멸과 공구수명

초경공구 K01을 사용하여, 성형체 및 예비소결체를 절삭한 결과를 Fig. 7의 공구수명선도에 보인다. 이 경우, 성형체의 절삭성이 가장 좋고, 예비소결체에서는 예비소결온도가 높을 수록 절삭성이 나빠진다.

Fig. 8은 공구마멸형태를 보이는데, 초경공구로써 성형체 및 예비소결체를 절삭한 때는 공구 여유면이 거의 균일하게 마멸된다.

Fig. 9는 초경공구 K01을 사용하여 절삭한 경우의 공구의 절삭날부를 확대한 사진을 보인다. 사진에서 보이는 바와 같이, 절삭날은 고온에서 예비소결한 피삭재의 경우도 손상이 적고, 예리한

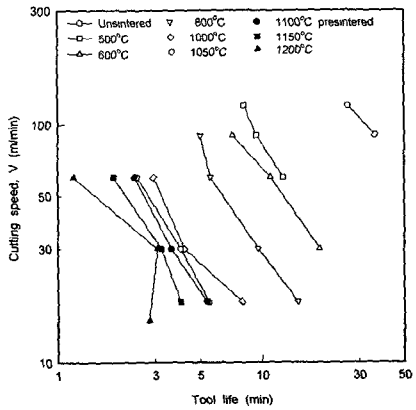
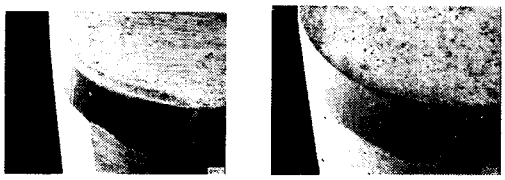
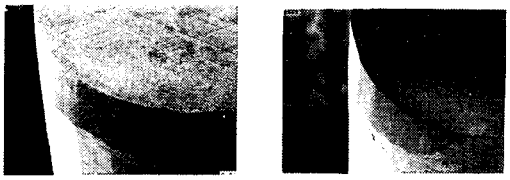


Fig. 7 Tool life curves in dry machining of unsintered and presintered ceramics with cememted carbide tools of K01 grade
<criterion: V_B=0.3mm>



(a) workpiece:unsintered V=90 m/min, T=36 min

(b) workpiece:600℃ presintered V=60 m/min, T=12 min



(c) 1000℃ presintered V=60 m/min, T=3 min

(d) 1200℃ presintered V=18 m/min, T=3min

Fig. 8 Typical wear patterns of the K01 grade tools after dry machining of unsintered and presintered ceramics

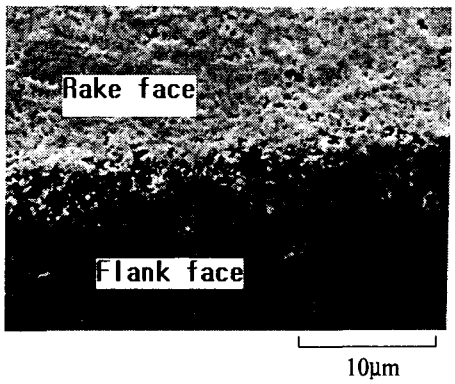


Fig. 9 SEM photographs of the weared cutting edge of K01 tool in dry machining of the ceramic presintered at 1100℃
<V=30m/min T=5min>

상태를 유지하였다. 또한, 초경공구 K01로 절삭한 때는, 예비소결온도가 높은 피삭재의 절삭 가공면에도 Fig. 10과 같이 평탄부가 관찰되었으며, 합금공구강재 공구를 사용하여 600℃의 온도에서 예비 소결한 피삭재를 절삭한 경우인 Fig. 6(b)의 절삭면에 비하여 평탄부의 면적이 더욱 넓다. 초경

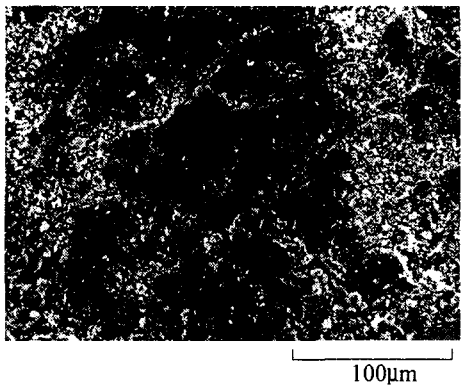


Fig. 10 Finished surface in dry machining of the ceramic presintered at 1100℃ with cemented carbide tool, K01
<V=18m/min, f=0.1mm/rev, t=0.5mm>

공구 K01로 절삭한 때는 상기와 같이 절삭날이 예리하게 유지되기 때문에, 성형체의 경우에도 절삭칩이 공구와 소결체 사이로 침입하기 어렵게 되고, 더욱이 공구 절삭날부에서의 파괴는 예비소결 온도가 높은 소결체에서도 미시적 파괴로 된다. 따라서, 성형체와 예비소결체는 거의 동일한 절삭상태로 되기 때문에, 경도가 높은 소결체일수록 절삭성은 나빠지게 된다.

초경합금 P10과 K01 공구의 수명을 비교하기 위하여 절삭을 행한 결과를 Fig. 11의 공구수명선도에 보인다. 단 이 경우는 공구 수명의 기준을 공구여유면의 최대마멸폭(V_B)이 0.15mm에 달하는 시간을 기준으로 하였다. 초경합금 K01로 절삭을 행한 때는 피삭재의 경도가 높을수록 피삭성이 나빠지고 있으나, 초경합금 P10으로 절삭한 경우는 800℃ 이하에서 예비소결한 피삭재와 성형체는 거의 동등한 수명 선상에 놓이게 되어, 유사한 피삭성을 보인다. 또한, 초경합금 K01과 초경합금 P10을 비교하면, 성형체 및 1150℃ 이상에서 예비소결한 피삭재를 절삭한 경우는 초경합금 K01의 수명이 길지만, 1150℃ 이하의 온도에서 예비 소결한 피삭재를 절삭한 때는 반대로 초경합금 P10의 수명이 길어진다.

Fig. 12에 초경합금 P10의 마멸형태의 일례를 보인다. 성형체를 절삭한 때는 Fig. 12(a)와 같이 여유면이 거의 균일하게 마멸되어 있다. 한편, 600℃ 및 800℃의 온도에서 예비소결한 피삭재의 절삭에서는 (b)와 같이 경계부분의 마멸이 크게 되

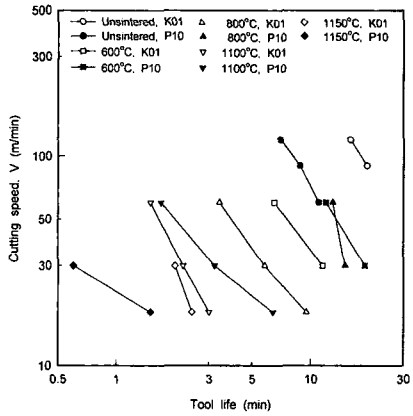
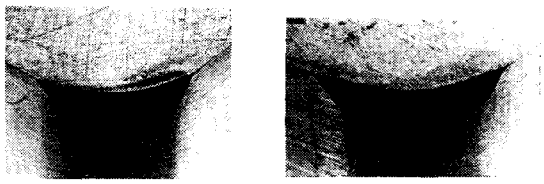


Fig. 11 Tool life curves in dry machining of unsintered and presintered ceramics with the cememted carbide tools, K01 and P10 <criterion: V_B=0.15mm>



(a) workpiece : unsintered V=90m/min, T=10min

(b) 800℃ presintered V=30m/min, T=30min

(c) 1100℃ presintered V=30m/min, T=5min

Fig. 12 Typical wear patterns of the P10 tools after machining of unsintered and presintered ceramics

어 있다. 그러나 1100℃ 이상의 온도에서 예비소결한 피삭재를 절삭한 경우는 (c)에서 보이는 바와 같이 균일한 마멸 형태로 되고, 마멸면은 요철(凹凸)이 있는 면으로 된다.

Fig. 13에는 P10 공구로 절삭한 후의 절삭날을 확대한 사진을 보인다. 초경공구 P10에서는 절삭날의 손상이 크고, 절삭날이 둥글게 마멸되어 있

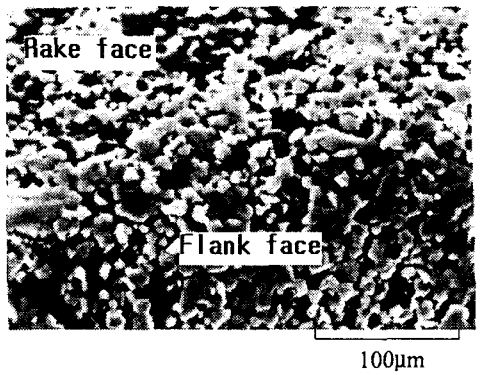


Fig. 13 SEM photographs of the weared cutting edge of P10 tool in dry machining of the ceramic presintered at 800℃ <V=30m/min, T=30min>

으며, Fig. 9에서 보여준 바와 같이 절삭날이 예리하게 유지되는 초경공구 K01의 경우와는 현저히 상이한 마멸 형태를 나타내었다. K01 초경공구가 P10 공구에 비하여 WC 함유량이 높기 때문에 기계적 손상에 대해서는 P10 재종보다 우수하고, 동일한 절삭 조건에서 더욱 예리한 절삭날을 유지하는 것이 가능하다. 이것은 절삭날의 마멸 상태에도 나타나 있지만, 이것이 초경공구 K01과 초경공구 P10의 공구수명에 영향을 미치고 있는 것으로 보인다.

이와 같은 차이는 절삭 가공면에도 나타나 있다. Fig. 14에는, 초경 공구 K01을 사용한 Fig. 10에서의 경우와 동일한 피삭재 및 절삭조건에서, 초경공구 P10을 사용하여 절삭한 때의 절삭면을 확대한 사진을 보인다. Fig. 10에서 보인 바와 같이, 초경공구 K01로 절삭한 경우의 절삭 가공면은 평탄한 부분이 많은데 비하여, P10으로 절삭한 절삭 가공면은 Fig. 14에서 보이는 바와 같이 요철(凹凸)이 많은 형태를 보이고 있다. P10 공구를 사용한 경우의 절삭면이 K01로 절삭한 경우보다 절삭면의 요철이 많은 원인은, P10 공구의 절삭날의 마멸 형태가 K01 공구에 비해 예리성이 낮으므로, 절삭시의 절삭날 선단에서의 절삭칩의 파괴가 더욱 거시적으로 일어난 때문으로 판단된다.

성형체를 절삭하는 때에는 전술한 바와 같이 공구 여유면으로의 절삭칩의 침입이 공구 수명에 큰 영향을 미친다. 초경공구 K01은 절삭 중에 절삭날이 예리하게 유지되기 때문에 절삭칩이 여유면으로

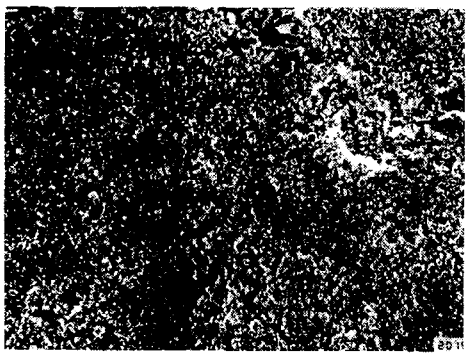


Fig. 14 Finished surface in dry machining of the ceramic presintered at 1100℃ with P10 tool
<V=18m/min, T=5min>

침입하기 어렵지만, 초경공구 P10은 절삭날이 마모되어 둥글게 되기 때문에 절삭날로부터 여유면으로 절삭칩의 침입량이 많아져서, 여유면에서의 마멸이 촉진되는 것으로 판단되다. 따라서 성형체를 절삭하는 경우에는 초경공구 K01이 적합하다. 한편 1100℃ 이하의 온도에서 예비소결한 피삭재를 절삭하는 경우에는 절삭날이 둥글게 마멸되는 공구의 경우가 절삭시에 더욱 거시적 파괴로 되어, 피삭재와 공구 여유면과의 접촉이 적어지기 때문에 공구수명은 오히려 길어지게 된다. 따라서 1100℃ 이하의 온도에서 예비소결한 피삭재를 절삭하는 경우에는, 초경공구 P10을 사용하는 것이 바람직하다. 또한 1150℃ 이상의 온도에서 예비소결한 피삭재를 절삭하는 때에는 피삭재의 경도가 상당히 높기 때문에, 초경 공구 P10에 비해 경도가 높은 초경 공구 K01의 경우가 유리하므로, 공구수명이 길어진 것으로 판단된다.

4. 결론

각종 공구를 사용하여 저순도 알루미나 세라믹의 성형체 및 예비소결체를 절삭 실험한 결과, 다음과 결론이 얻어졌다.

1) 합금공구강공구(STS2)를 사용하여, 성형체 및 예비소결체를 절삭한 때는, 성형체의 절삭성이 가장 나쁘고, 예비소결체를 절삭한 경우는 500℃에서 예비소결한 피삭재의 절삭성이 가장 좋으며, 예비소결온도가 높아짐에 따라 절삭성은 나쁘다.
2) 초경공구, K01을 사용하여, 성형체 및 예비소결체를 절삭한 경우에는, 성형체의 절삭성이 가장 좋고, 예비소결체에서는 예비소결온도가 높을수록 절삭성이 나빠진다.
3) 초경공구 K01과 P10을 사용하여 절삭하는 때에, 성형체의 절삭에서는 초경공구 K01이 적합하며, 1100℃ 이하의 온도에서 예비소결한 피삭재를 절삭하는 경우에는 초경공구 P10의 공구수명이 길어지고, 1150℃ 이상의 예비소결체를 절삭하는 때에는초경공구 K01의 경우가 공구수명이 길어진다.

참고문헌

1. Ha, S., Choi, W. and Lee, J., "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. 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.
3. 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.
4. Jang, S., Cho, M., Cho, W. and Lee, J., "Evaluation of R-curve Behavior Analysis and Machinability of Si_3N_4-hBN Machinable Ceramics," J. of the KSPE, Vol. 21, No. 1, pp. 61-70, 2004.
5. Lee, J. W., "Tool Life in Cutting of the Presintered Low Purity Alumina," Proceedings of the KSPE Spring Annual Conference, pp. 1268-1271, 2004.