

저순도 알루미나 세라믹 가소결재의 피삭성

이 재 우

두원공업전문대학 기계과

ABSTRACT

In this study, unsintered, pre-sintered and sintered low purity alumina ceramics were machined with various tools to clarify the machinability, the optimum tool materials and the optimum cutting conditions. The main conclusions obtained were as follows. (1) Machined with alloy steel tool, the machinability of the pre-sintered ceramics becomes better with the decrease of pre-sintering temperature, but that of unsintered ceramics(white body) was extremely poor. (2) In the case of carbide tool K01, the tool life in machining white body was the longest, and the machinability of pre-sintered ceramics becomes poorer with the increase of the pre-sintering temperature. (3) In the case of ceramic tool, the 1000-1100 °C pre-sintered ceramics showed the best machinability within a certain cutting speed range. So far as dry machining, the above combination and conditions showed the highest productivity. (4) When the pre-sintered ceramics were wet machined with sintered diamond tool, the tool life becomes extremely long, and higher cutting speed can be used than in the case of full-sintered ceramics. The productivity of wet cutting is much higher than that of dry cutting.

Key words : pre-sintered alumina ceramics, machinability, optimum tool material, optimum cutting condition, tool life

1. 서 론

세라믹스는 우수한 특성 때문에, 많은 분야에서 적용 범위가 넓어져 가고 있으며, 기계공업에 있어서도 용도개발이 활발히 진행되어 가고 있고, 다종소량 생산에서 복잡한 형상을 가진 부품에도 적극 적용 시킬려는 요구가 강해지고 있다. 그러나 세라믹스는, 특히 구조용 부재로써 사용하는 경우, 성형·소결만으로는 소요의 형상 및 치수정도가 얻어지지 않는 경우가 많기 때문에, 부품의 기계가공이 필수 불가결하다.

현재 완전 소결한 세라믹스의 기계가공은 연삭등의 지립가공이 주체로 되기 때문에, 가공능률이 매우 낮으므로, 소결품의 가공여유는 가능한한 작게 할 필요가 있으나, 성형·소결상의 제약 때문에 만족되기 곤란하다. 한편, 완전 소결한 세라믹스의, 다이아몬드공구 사용에 의한 절삭가공에 관해서는 수편의 연구^{1), 2)}가 보고된 바 있으나, 아직 가공 방법으로써 충분히 확립 되었다고는 할 수 없고, 가공속도도 낮고, 공구 수명도 극히 짧게 되어 일반의 부품가공에 적용하기는 곤란한 실정이다.

이것에 대하여, 세라믹스를 가소결 상태에서 절삭 가공하면 가공 능률을 크게 향상 시키고, 더우기 복잡한 형상으로 가공하는 것이 가능하다고 생각한다. 그래서 본 연구에서는 각종

의 다른 온도에서 가소결한 저순도 알루미늄 세라믹의 절삭가공을 행하여, 피삭성, 최적공구, 최적절삭조건등을 검토 했다.

2. 피삭재 및 실험방법

피삭재는 Al₂O₃(약78%), SiO₂(약16%), CaO, K₂O를 주성분으로 하는 세라믹으로써, 압력 30 kg/cm²로, 35x300 mm의 형상으로 압출 성형하여 건조시킨 미소결재(white body), 각종의 온도에서 가소결한 가소결재 및 완전소결재를 이용했다. 피삭재의 소결온도 및 기계적, 물리적성질을 Table 1에 보여준다. 가소결재는 각기의 온도에서 1시간 유지시키고, 완전소결재는 1300 °C에서 2시간 유지 시켰다. Table 1에서 보여주는 바와 같이 피삭재의 각종 특성은, 1000 °C 까지는 온도에 따른 변화가 작으나, 1000 °C이상으로 되면, 온도에 따라 큰 변화를 보여준다. Table중의 수축률은 실험에 사용한 피삭재를 완전 소결하여, 그 때 생긴 축방향의 길이 차이로 부터 구한것이며, 수축율도 1100 °C이하에서 급히 낮아지고 있다.

가소결재의 조직변화는 대략 다음과 같은 경향이였다. 1100 °C 이하의 가소결재에서는 가소결 온도가 높은 가소결재 일수록 입자의 접합·합체가 진행되어 있는 상태이고, 1100 °C이상에서는 가소결온도가 높은 가소결재일

Table 1 Characteristics of work materials

Sintering temp. °C	Shore hardness	Bending strength MPa	Density g/cm ³	Bulk density g/cm ³	Porosity %	Moisture content %	Shrinkage rate %
500	22	11.86	3.01	1.86	38.14	20.44	12.6
600	24	13.52	3.01	1.82	38.58	21.24	12.2
800	28	13.72	3.06	1.83	40.16	21.92	12.6
1000	33	35.08	3.12	1.83	41.22	22.44	12.1
1050	42	37.83	3.10	1.85	40.27	21.73	12.3
1100	48	57.82	3.07	1.92	37.33	19.37	10.1
1150	52	100.06	2.97	2.15	27.79	12.91	10.7
1200	54	154.35	2.86	2.40	16.16	6.73	7.3
1250	--	--	--	--	--	--	--
1300	105	287.92	2.84	2.84	0.12	0.04	--

수록 현저한 결정성장이 얻어지고, 결정성장과 동시에 공극의 체적이 감소하고, 1250 °C 가소 결재에서는 기공이 거의 폐기공으로 되어 있다.

절삭방식은 건식 및 습식 외경선삭으로 하고, 건식절삭의 경우는 경사면으로 나온 절삭 칩을 진공청소기로 흡인 하였다. 습식 절삭의 경우는 수용성 절삭액(KS W2 상당)을 1:50의 비율로 희석하고, 매분 7 리터의 비율로 공구

경사면측으로 부터 주입하였다. Table 2는 절삭조건을 보여주며, Table 3은 사용한 공구의 공구 재종 및 공구 형상을 보여준다. 또한 초경공구에 대하여는 공구형상의 영향을 조사하기 위하여, 경사각을 +10°, -5°, -25°, -35°, -45° 로, 여유각을 5°, 15° 로 변화시켜 실험을 행하였다. 공구 형상변화를 위한 가공은 공구연삭기로 연삭한 후, 마이크로 폴리셔(#400 다이아몬드 지석)로 다듬질 하였다.

Table 2 Cutting conditions

Cutting speed	V	Varied from 3 to 120 m/min
Feed rate	F	0.1 mm/rev.
Depth of cut	D	0.5 mm

Table 3 Materials and geometries of tools used

Tool material		Tool geometry	Chamfer
K01	Carbide (for cast iron)	-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8	--
Ceramic	TiC added		0.15 mm -20°
CBN	Ceramic bonded		0.15 mm -20°
S. D. 1	Sintered diamond		0.07 mm -20°
S. D. 2	Sintered diamond	-5, -5, 15, 15, 15, 15, 0.8	--
N. D.	Natural diamond	-10, -10, 5, 5, 15, 15, 0.5	--
SKS 2	Alloy tool steel	-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.2	--

3. 실험결과 및 고찰

3-1 절삭저항

Fig. 1에 세라믹의 가소결재, 완전소결재의 절삭저항을 보여주며, 비교를 위해 SM45C 강재의 절삭저항도 나타내었다. 완전소결재를 절삭한 경우는 소결 다이아몬드공구를 사용하여 습식으로 선삭을 행했다. Fig. 1로 부터, 가소결재의 절삭저항은 SM45C에 비해 대단히 작고, 주분력이 약 1/20 정도로 되어 있다. 한편, 완전소결재의 절삭저항은 주분력만이 SM45C의 약 1/4정도로 되어 있고, 이송분력, 배분력

은 SM45C에 비해 그다지 작지 않다.

3-2 각종공구의 수명과 공구마모

3-2-1 합금공구강

Fig.2에 합금공구강공구(SKS2)를 사용하여 미소결재(white body) 및 가소결재를 절삭한때의 공구수명선도를 보여준다. 이 경우, 미소결재의 피삭성이 가장 나쁘다. 가소결재를 절삭한 경우는 500 °C 가소결재의 피삭성이 가장 좋으며, 가소결 온도가 높게 됨에 따라 피삭성은 나쁘게 된다. 미소결재를 절삭하는 경우, 미

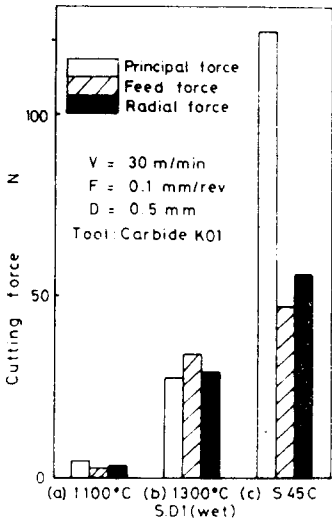


Fig. 1 Cutting force in machining ceramics and SM45C

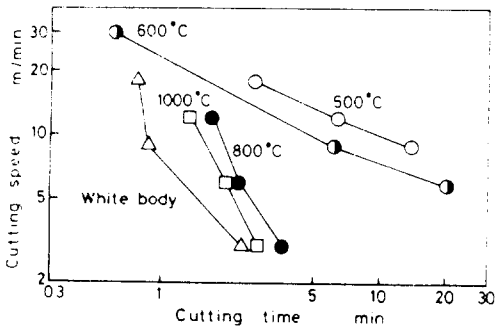


Fig. 2 Tool life curves of alloy tool steel (SKS2) in machining of ceramics

소결재의 입자간의 결합력이 약하기 때문에, 공구날 부분에서는 피삭재가 입자단위로 파괴되고, 파괴시 생긴 미소한 분말이 피삭재와 공구 여유면 사이로 침입하여 여유면을 찰과하기 때문에 여유면 마모는 의외로 커지게 된다.

한편, 가스결재는 미소결재 보다도 경도가 높지만, 절삭시의 파괴규모가 크게 되기 때문에, 공구여유면과 피삭재와의 접촉이 적게되어, 공구여유면으로 침입되는 절삭칩도 적게 되기 때문에, 이것을 총합한 여유면마모의 진행속도는 미소결재를 절삭한 경우 보다도 늦어지게

된 것 이라 사료된다.

3-2-2 초경공구

초경공구 K01을 사용하여, 미소결재 및 가스결재를 건식절삭 한때의 결과를 Fig. 3에 보여준다. 이경우, 미소결재의 피삭성이 가장 좋고, 가스결재에서는 가스결온도가 높을 수록

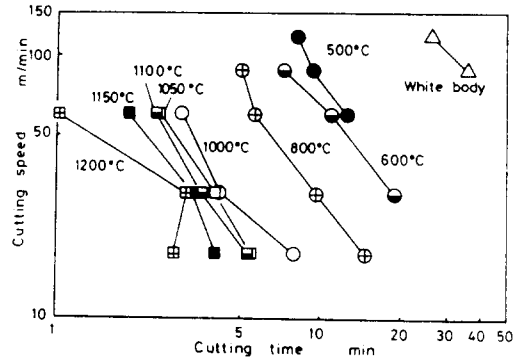


Fig. 3 Tool life curves of carbide tool (K01) in machining of ceramics D=0.5 mm, F=0.1 mm/rev, Criterion : $V_{MAX}=0.3$ mm, Dry cutting

피삭성이 나쁘게 되어 있다. 초경공구에서는 공구여유면이 거의 균일하게 마모하였으며, 또한 공구날 부분은 고온도에서 가스결한 피삭재를 절삭한 때에도 손상이 적고, 예리한 상태를 유지하였다. 따라서, 초경공구의 날부분에서는 가스결온도가 높은 피삭재를 절삭한 때에도 절삭시의 파괴규모가 작고, 미소결재와 거의 마찬가지로 절삭칩이 미세 분말상으로 된다. 그러나, 절삭날의 예리함이 유지되기 때문에, 피삭재와 공구여유면 사이에 절삭칩이 침입하기 힘들고, 절삭칩의 침입에 의한 마멸이 조장될 가능성이 적게된다. 따라서 경도가 높은 피삭재일 수록 피삭성이 나쁘게 된다고 생각된다.

3-2-3 세라믹공구

Fig. 4에 TiC첨가의 세라믹공구로 미소결재 및 가스결재를 건식절삭 한때의 공구수명선도를 보여준다. 이 경우는 미소결재 및 800 °C이

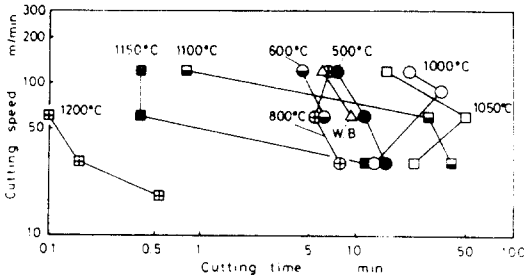


Fig. 4 Tool life curves of ceramic tool (TiC added) in machining of ceramics

D=0.5 mm, F=0.1 mm/rev., Criterion : $V_{BMAX}=0.2$ mm, Dry cutting

하의 가소결재의 피삭성이 동일 정도로써, 그다지 좋지 않으나, 1000-1100 °C 가소결재의 피삭성이 대단히 좋게 된다. 또한, 이 경우의 수명선도에는 수명이 극대로 되는 절삭속도가 존재하고, 그것은 1000 °C 가소결재에서 90-120 m/min, 1050 °C 가소결재에서 60 m/min, 1100 °C 가소결재에서 30-60 m/min로 나타났으며, 따라서 가소결 온도가 높은 피삭재일수록 낮게 되어 있다. 이것은, 800 °C 이하의 가소결재를 절삭한 경우에는 절삭칩이 미소분말상으로 되어있는데 반하여, 1000 °C 이상의 가소결재의 경우에는 절삭시의 파피가 크고, 피상의 철삭칩으로 되어, 절삭칩의 배출성이 좋게된것이 원인의 하나로 생각되어진다. 또한, 1000 °C 이상의 가소결재를 절삭한 때의 공구마모면전역에 부착물이 관찰되었다. 이 부착물을 원소 분석 한즉, 피삭재의 구성성분인 Si, Ca 등이 검출되었다. 공구수명선도를 참조하면, 이 부착물은 공구 마모를 억제하는 효과가 있는 것으로 생각되어진다. 또한, Al_2O_3 계 세라믹공구외에 Si_3N_4 계 세라믹공구로 1000 °C 이상의 가소결재를 절삭한 때도 피삭재성분이 공구에 부착하여, 공구수명이 대단히 길게 되는 경우가 있었다.

한편, 1000 °C 이상의 가소결재를 절삭한 때는 어느속도 이상으로 되면 절삭 개시 1분 이내에 공구가 박리상으로 손상을 일으켜, 절삭

이 불가능하게 된다.

3-2-4 CBN 공구 및 다이아몬드공구

CBN 공구, 천연다이아몬드공구 (N.D.)를 이용하여 1000 °C 가소결재 및 600 °C 가소결재를 건식 절삭한 때의 결과를 Fig. 5 에 보여준다. Fig.에는 비교를 위해 전술한 세라믹공구의 결과도 동시에 나타내었다. 우선, CBN 공구로 절삭한 경우, 1000 °C 가소결재의 피삭성이 600 °C 가소결재 보다도 좋게 나타나 있다. 이 경향은 세라믹 공구와 마찬가지로, 1000 °C 가소결재를 절삭한 때는 세라믹공구의 경우가 CBN공구 보다도 고속역에서 공구수명이 상당히 길게 되어 있다. 한편, 천연다이아몬드공구로 절삭한 때는 CBN 공구, 세라믹공구와는 반대로 1000 °C 가소결재의 경우가 600 °C 가소결재 보다도 피삭성이 나쁘고, 절삭속도의 영향도 크게 나타나 있다. 이와같이 CBN 공구로 가소결 온도가 높은 피삭재를 절삭하는 때는 세라믹 공구와 마찬가지로 대규모 파피에 의한 재료제거가 중심이 됨에 따라, 공구여유면에서의 접촉도 적어지게 되어 공구마모가 적어지게 된 것 이라 사료 된다.

Table 3 에는 나타나 있지 않지만, 소결다이아몬드공구(S.D.2)를 사용한 때도 천연다이아몬드공구와 동일한 경향을 보여 주었다. 이와같이 다이아몬드공구를 사용하여 가소결온도

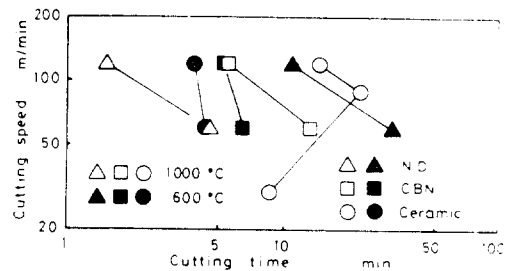


Fig. 5 Tool life curves of CBN, diamond and ceramic tools in machining of pre-sintered ceramics

D=0.5mm,F=0.1mm/rev.,Criterion: $V_{BMAX}=0.15$ mm, Dry cutting

가 높은 피삭재를 고속에서 절삭하는 경우에 공구마모가 빨라지는 것은, 절삭온도가 순간적, 국부적으로 상당히 높게 되어 흑연화가 일어나는 것이 생각되어 진다. 그 외의 원인으로서는 다이아몬드공구로 절삭한 다듬질면은 광택이 있으며, 평탄한 면이 대부분인 것으로 부터, 공구날과 피삭재와의 접촉이 많다는 것과, 더욱이 다이아몬드공구로 절삭한 때의 절삭칩은 가소결 온도가 높은 피삭재에서도 대부분 미세분말상으로써, 이 절삭칩은 공구에 부착하기 때문에, 여유면으로 침입될 가능성이 있다는 것 등이 생각 되어진다.

한편, 소결다이아몬드공구를 사용하여, 더욱 고온에서 가소결한 피삭재 및 완전소결재(1300℃)를 습식 절삭한 경우의 공구마모진행선도를 Fig. 7 에 보여준다. 가소결재에서는 가소결 온도가 높을 수록 초기마모가 크게 되어 있지만, 마모량은 전체적으로 적다. 그러나, 완전소결재를 절삭한 경우에는 S.D.2 에서는 단시간에 결손이 일었으며, S.D.1 에서도, 가소결재의 절삭시와 비교하면 마모진행이 빨라지게 된다. 이와 같이 소결다이아몬드공구로 가소결재를 습식절삭하는 때에는 고온에서 가소결한 피삭재의 경우에도 완전소결재 보다도 고속에서 절삭이 가능함을 알 수 있다.

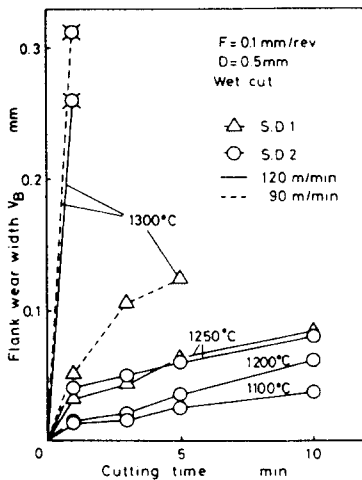


Fig. 7 Wear progress curves in machining of ceramics with sintered diamond tools

4. 결론

저순도 알루미늄이나 세라믹의 미소결재, 가소결재, 완전소결재의 절삭실험을 행한 결과, 다음과 같은 결론이 얻었다.

(1) 합금공구강으로 세라믹 가소결재를 절삭하는 경우에는, 가소결온도가 낮을수록 피삭성이 양호하다. 그러나, 미소결재는 피삭성이 상당히 나쁘다.

(2) 초경공구 K01 로써 절삭한 때에는 미소결재의 경우가 공구수명이 가장 길고, 가소결재의 경우는 가소결온도가 높음에 따라 피삭성은 나빠지게 된다.

(3) 세라믹 공구의 경우에는, 1000-1100℃ 가소결재의 건식절삭에서 공구수명이 대단히 길어지게 되는 절삭속도가 있다. 건식절삭에서는 이 경우가 가장 고능률로써 가공 가능하다.

(4) 소결다이아몬드공구로 습식절삭을 행한 즉, 고온에서 가소결한 피삭재에서도 공구수명이 극히 길고, 완전소결재 보다도 고속에서 절삭 가능하다. 이 경우의 가공능률은 건식절삭 보다 상당히 높다.

참고문헌

1. 飯島 昇, 竹山秀彦 : 焼結ダイヤモンド工具の切削性能と摩耗解析(第1報)--焼結ダイヤモンド工具の力學的損傷機構, 精密機械, 50, 7 (1984) 1100
2. 飯島 昇, 竹山秀彦 : 焼結ダイヤモンド工具の切削性能と摩耗解析(第2報)--焼結ダイヤモンド工具の熱化學的損傷機構, 精密機械, 50, 9 (1984) 7469