

Si₃N₄ 세라믹의 가공성을 고려한 예비소결온도 선정

이재우 (두원공과대학 기계학과)

Presintering Temperature for Improving the Tool Life in Machining of Si₃N₄ Ceramics

Jae-Woo Lee(Mech. Eng. Dept., Doowon Technical College)

ABSTRACT

The setting of a presintering temperature is carried out on the basis of the Vickers hardness of the presintered compact in the method for producing a ceramic sintered compact comprising presintering a formed compact composed of a ceramic powder and a sintering assistant, then machining the presintering compact and subsequently sintering the machined compact. The Presintering temperature is preferably set at a temperature so as to provide 213-230 Hv Vickers hardness of the compact for presintering. Furthermore, the presintering temperature is preferably within the range of 1,300-1,450 °C.

Key Words : Si₃N₄ ceramic(Si₃N₄ 세라믹), Presintering(예비소결), Vickers hardness(빅커스 경도), Temperature(온도), 절삭(machining)

1. 서론

세라믹 소결체는 가공이 곤란하기 때문에, 그 기계가공은 다이아몬드 스톨을 사용한 연삭가공이 주로 행해지고 있다. 그러나 가공 여유가 많은 것이나 복잡형상의 제품은 연삭가공에 많은 시간과 가공비용이 소요된다는 문제가 있다. 이 때문에, 다량의 결합제를 첨가하는 방법이나 정수압 프레스 성형법(CIP법)에 의하여 성형된 벌크를 성형가공하는 방법에 의하여 성형체를 제작하고, 소결하기 전의 상태인 성형체에 대하여 최종 제품에 가까운 형상으로 절삭가공을 실시한 후에 완전 소결하고, 완전 소결체를 연삭가공하는 방법이 주로 행해지고 있다. 그러나 전자의 경우는, 첨가하는 결합제 양이 탈지 가능한 범위로 제한되기 때문에, 성형체의 강도에 제한이 있어서 절삭가공에 견딜 수 있는 소재 강도가 얻어지기 어렵고, 또한 후자의 경우에도 마찬가지로 소재 강도가 충분하지 않기 때문에, 모든 경우에 핸들링성이 나쁘다는 문제가 있다. 또한 주입 성형법과 같이 결합제를 사용하지 않고 성형한 성형체는 특히 강도가 약하여 절삭가공이 불가능하다. 따라서 성형체를 미리 예비 소결하여, 절삭가공이 가능한 정도의 소재강도를 부여한 상태에서

절삭가공을 행하고, 그 후에 완전소결을 행하고서 약간의 가공여유에 대한 다이아몬드 스톨을 사용한 연삭가공을 행하는 방식이 많이 사용되고 있다. 그러나 예비소결의 조건에 따라서는 예비 소결체의 소재 강도가 과대하게 되어서 절삭공구의 마멸이 너무 커지는 등, 오히려 가공성이 나빠지는 문제가 있었다. 이 때문에 미리 예비 실험을 행하고, 가공성이 좋은 최적 예비 소결조건을 결정할 필요가 있다. 그러나 이와 같은 예비실험에서 가공 적절성의 판단은, 예비소결체의 수축율에 의하여 행해지지만, 측정 지점, 원료 성분의 편석 등에 의하여 가공성의 판단에 변동이 생기는 경우가 많다. 또한 이러한 예비실험 결과의 판단은 담당자의 주관에 따라 결정되기 때문에, 사람에 따라서 그 판단이 각양각색으로 된다. 이 때문에 적절한 예비 소결의 조건이 설정되지 않고, 안정된 최종 제품이 얻어지지 않는 문제가 많이 발생하였다. 본 연구는 이러한 상기의 문제를 해결하기 위한 것으로, 기존의 예비 소결 기술에서 로트 차이 등에 의해 일어나는 변동에 용이하게 대응할 수 있는 적절한 예비 소결조건을 결정하기 위한 방안을 도출하고자 한다. 본 연구에서는 세라믹 분말과 소결 원료 조건을 달리하

는 각종의 Si_3N_4 성형체를 예비 소결한 후에 초경 공구를 사용하여 절삭가공을 행하고, 이어서 완전 소결하는 세라믹 소결체의 제조 방법에 있어서, 예비 소결체 절삭시의 공구수명의 관점에서, 적절한 예비 소결온도의 설정을 행하고자 한다.

2. 실험 방법 및 피삭재

2.1 피삭재

비표면적 $10.7\text{m}^2/\text{g}$ (로트 A)의 Si_3N_4 분말(이미드 법 분말 SN-E10) 96.5%, 소결제로서 Y_2O_3 (99.9% 함유) 2.5%, 분산제(SNEX7347c) 0.09% 및 물 42%를, 10리터의 모노 포트에 Si_3N_4 분말과 함께 넣고, 64시간 볼밀 분쇄 및 혼합을 행하였다. 이어서, Al_2O_3 파이버 1%를 첨가하여, 다시 2시간 혼합을 행하고, 3000g의 슬러리를 제조하였다.

얻어진 슬러리를, 폴리테트럴 오로에틸렌(테프론)제의 $\phi 50\text{mm}$ 의 통형의 금형에 유입하고, $\phi 50 \times 50\text{mm}$ 의 성형체를 제조하였다. 이 성형체를 폴리브덴 케이스에 세트하고, 질화 붕소 분말 중에 넣은 상태에서, 질소가스 분위기 중에서, 초기압을 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 가압하면서, Table 1-Table 2에서 보이는 예비 소결온도에서 1시간 동안 예비소결을 행하였으며, 이후 이것을 로트 1이라 한다.

얻어진 각 시험편에 대하여, 빅커스 경도, 밀도, 수축률을 측정하였다. 빅커스 경도는 마이크로 빅커스 경도시험기를 사용하여, 시험 하중 300g으로 10회 측정하고, 평균을 산출하였다.

Table 1 Properties of presintered ceramics of lot No. 1

Lot No. 1	test 1	test 2	test 3	test 4
presintering temp., $^{\circ}\text{C}$	1000	1100	1200	1300
Vickers hardness, Hv	58	60	68	74
density, g/cm^3	1.92	1.96	1.97	2.01
shrinkage rate, %	0.44	0.51	0.55	0.89

Table 2 Properties of presintered ceramics of lot No. 1

Lot No. 1	test 5	test 6	test 7	test 8
presintering temp., $^{\circ}\text{C}$	1350	1400	1450	1500
Vickers hardness, Hv	102	225	286	328
density, g/cm^3	2.06	2.12	2.18	2.31
shrinkage rate, %	1.12	2.85	3.24	4.36

비표면적 $10.2\text{m}^2/\text{g}$ 의 Si_3N_4 분말을 사용한 이외에는 로트 1과 동일한 조건으로 하여 시험편을 제조한 것을 로트 2라 하고, Table 3에 나타내었으며, 비표면적 $11.2\text{m}^2/\text{g}$ 의 Si_3N_4 분말을 사용한 이외에는 로트 1과 동일한 조건으로 하여 시험편을 제조한 것을 로트 3이라 하고, Table 4에 나타내었다.

Table 3 Properties of presintered ceramics of lot No. 2

Lot No. 2	test 9	test 10	test 11	test 12	test 13	test 14
presintering temp., $^{\circ}\text{C}$	1300	1400	1450	1500	1550	1600
Vickers hardness, Hv	73	160	213	242	289	362
density, g/cm^3	1.98	2.06	2.08	2.15	2.20	2.42
shrinkage rate, %	1.48	3.16	3.28	4.83	5.12	6.03

Table 4 Properties of presintered ceramics of lot No. 3

Lot No. 3	test 15	test 16	test 17	test 18	test 19	test 20
presintering temp., $^{\circ}\text{C}$	1250	1300	1350	1400	1450	1500
Vickers hardness, Hv	98	165	230	265	298	328
density, g/cm^3	1.99	2.03	2.14	2.17	2.20	2.26
shrinkage rate, %	0.31	1.17	3.15	3.19	3.30	3.68

소결제로서 Y_2O_3 를 5%로 하고, Al_2O_3 를 3%로 한 슬러리를 사용하고, 예비소결온도를 달리한 것이 이외에는, 로트 1과 동일하게 성형하여, 표 5의 시험편을 제조하였으며, 이것을 로트 4라 한다.

Table 5 Properties of presintered ceramics of lot No. 4

Lot No. 4	test 21	test 22	test 23	test 24	test 25	test 26
presintering temp., $^{\circ}\text{C}$	1200	1250	1300	1350	1400	1450
Vickers hardness, Hv	120	158	228	252	298	365
density, g/cm^3	2.00	2.03	2.08	2.14	2.20	2.30
shrinkage rate, %	0.40	0.71	1.24	1.92	2.24	5.25

2.2 실험 방법

선삭실험에서 사용한 공구재료는 초경(K01) 공구로서, 공구 형상은 -5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8 로 일정하게 하였다.

CNC 선반에서 외경 선삭을 수행하였으며, Table 6은 선삭조건을 보여 주는데, 절삭속도의 영향을 조사하기 위하여 절삭속도를 3 종류로 변화시켰으며, 이송량 및 절삭깊이는 일정하게 유지하였고, 공구 경사면상에 생성된 절삭칩을 진공청소기로 흡인하였다.

Table 6 Cutting conditions in turning

Cutting speed V	30, 60, 90 m/min
Feed rate F	0.1 mm/rev.
Depth of cut D	0.5 mm

절삭을 행한 후에 공구 마멸면을 주사식 전자현미경 및 광학현미경으로 관찰하였으며, 공구의 경사면 마멸은 발생되지 않았으므로 여유면 마멸만을 공구 현미경으로 측정하였으며, 공구수명은 공구여유면의 최대마멸폭(VB)이 0.3 mm에 달하는 시간을 기준으로 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 로트 1 예비소결체의 절삭

Fig. 1은 로트 1의 시험편을 절삭한 경우의 공구 수명선도를 보인다. 1450℃에서 예비소결한 예비소결체를 제외하고는 모든 예비소결체가, 수명선도의 경사는 거의 1에 가깝다. Fig 2는 로트 1의 경우에 예비 소결온도에 따른 공구 수명의 변화를 보인다. 성형체 및 1400℃에서 예비소결한 예비소결체의 공구 수명이 가장 길고, 그 외의 온도에서 예비소결한 예비소결체는 모두 짧은 공구 수명을 보인다. 1400℃에 비해 50℃ 낮은 1350℃의 예비소결체를 절삭한 경우는 1400℃ 예비소결체에 비하여 공구 수명이 현저히 짧다. 따라서 공구 수명의 관점에서 적절한 예비소결 온도의 범위는 매우 좁다고 할 수 있다.

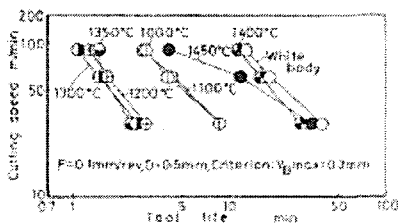


Fig. 1 Tool life curves of cemented carbide tools in machining of presintered ceramics

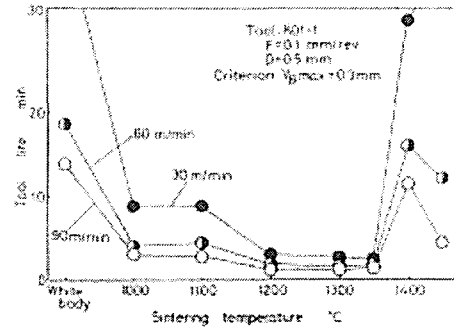
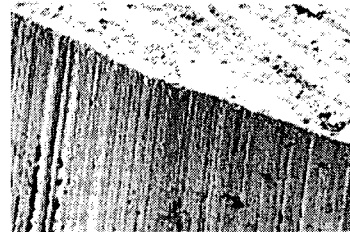


Fig. 2 Tool life of cemented carbide tools in machining of ceramics presintered at different temperature

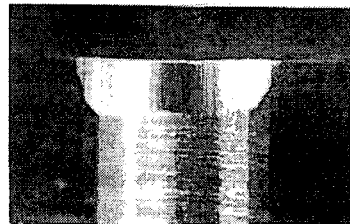
Fig. 3은 여러 온도에서 예비소결한 예비소결체를 절삭한 경우의 초경공구의 마멸 형태를 보인다. 1350℃의 예비소결체를 절삭한 경우의 공구 여유면은 가는 홈상의 흔적이 많은 마멸 상태를 보이나, 가장 좋은 피삭성을 보인 1400℃에서 예비소결한 예비소결체를 절삭한 공구의 마멸면은 큰 홈상의 마멸 상태를 보인다.



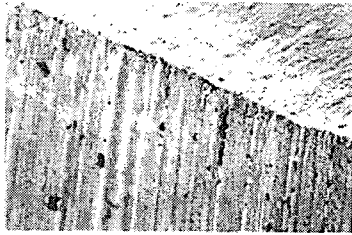
(a) wear pattern of tool in machining the green body



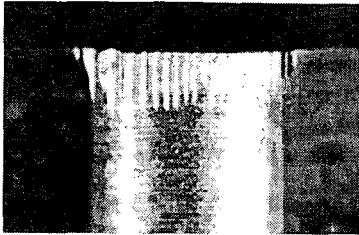
(b) magnification of worn surface of (a)



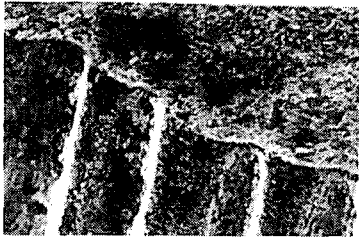
(c) wear pattern in machining ceramic presintered at 1100℃



(d) magnification of woread surface of (c)



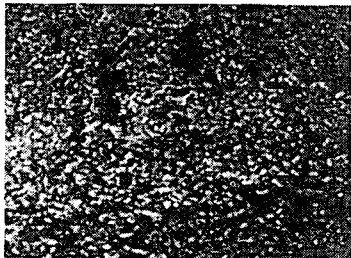
(e) wear pattern in machining ceramic presintered at 1400℃



(f) magnification of woread surface of (e)



(g) wear pattern in machining ceramic presintered at 1450℃



(h) magnification of woread surface of (g)

Fig. 3 Typical wear pattern of cemented carbide tools in machining of ceramics presintered at different temperature

3.2 제조 조건을 달리한 경우의 경도와 공구 여유면 마멸

Table 7에서는, 빅커스 경도 213-230 Hv인 경우의 공구 수명이 15분 이상으로 되며, 이 보다 경도가 높거나 낮은 경우의 공구 수명은 짧아짐을 알 수 있다.

Table 7 Relationship between Tool life and Vickers hardness, Hv

Lot No. 1	test 1	test 2	test 3	test 4		
Vickers hardness, Hv	58	60	68	74		
Tool life, min	4.0	4.3	2.3	2.2		
Lot No. 1	test 5	test 6	test 7	test 8		
Vickers hardness, Hv	102	225	286	328		
Tool life, min	2.3	16.2	12.3	1.2		
Lot No. 2	test 9	test 10	test 11	test 12	test 13	test 14
Vickers hardness, Hv	73	160	213	246	289	362
Tool life, min	2.3	3.8	15.6	11.7	7.3	0.5
Lot No. 3	test 15	test 16	test 17	test 18	test 19	test 20
Vickers hardness, Hv	98	165	230	265	298	328
Tool life, min	2.2	4.2	15.2	11.9	8.6	1.1
Lot No. 4	test 21	test 22	test 23	test 24	test 25	test 26
Vickers hardness, Hv	120	158	228	252	298	365
Tool life, min	2.4	3.6	15.8	12.1	7.9	0.4

4. 결론

예비소결체의 빅커스 경도로부터, 예비소결체 절삭시의 공구 수명을 판단할 수 있으며, 빅커스 경도가 213-230 Hv인 경우의 공구 수명이 15분 이상으로 되며, 이 보다 경도가 높거나 낮은 경우는 공구 수명이 짧아진다.

참고문헌

1. 이재우, "저순도 알루미늄 예비소결체 선삭시의 공구 마멸," 한국정밀공학회지, 제22권, 제1호, pp. 39-46, 2005.