

〈기술논문〉

세라믹 및 초경합금 성형체의 피절삭성

이 재 우*

(1997년 2월 27일 접수)

Machinability of Ceramic and WC-Co Green Compacts

Jae-Woo Lee

Key Words : Ceramic Green Compacts(세라믹 미소결 성형체), Machinability(피절삭성), Cutting Condition(절삭조건), Tool Wear(공구마멸), Surface Roughness(표면거칠기)

Abstract

Machining pressed compacts of ceramic and WC-Co materials can be the most cost effective way of forming the bodies prior to sintering when the required number of pieces is small. In this study, in order to clarify the machinability for turning, the Si_3N_4 and the WC-Co green compacts unsintered were machined under different cutting conditions with various tools. Absorbing chips by vacuum hose decreases tool wear. The tool wear becomes larger in the order of the ceramic, CBN and cemented carbide tools in machining the Si_3N_4 green compacts. In machining the WC-Co green compacts, the tool wear becomes larger in the order of the ceramic, cemented carbide and CBN tools. The land of cutting edge does not affect tool wear. When machining with cemented carbide tool, the tool wear in equal cutting length is nearly identical in spite of the increase of cutting speed, and the roughness of machined surface was the best in the cutting speed of 90 m/min. The tool wear decreases with the increase of rake angle and relief angle and with the decrease of nose radius. The machined surfaces become worse with the increase of feed rate and depth of cut, and with the decrease of rake angle and relief angle. The tool wear is not affected by the feed rate and depth of cut.

1. 서 론

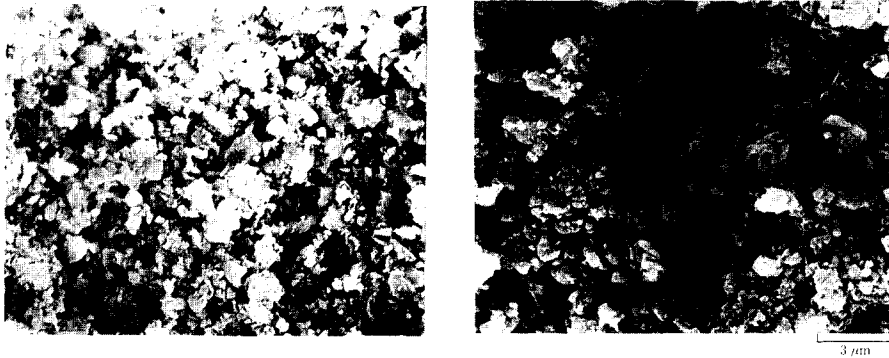
세라믹은 최근의 과학기술의 진보에 동반하여 우수한 성질을 가진 신소재로서 주목을 받고 있다. 특히, 기계공업에 있어서도 용도개발이 활발히 이루어지고 있고, 다종 소량생산에서 복잡한 형상을 가진 부품에도 적용하려는 요구가 높아지고 있다.

그러나 세라믹 및 초경합금은 소결시의 수축때문에 소결후의 형상·치수를 정확히 예측하는 것이 극히 어려우므로, 최종공정으로써 기계가공이 일반

적으로 행해지고 있지만, 완전소결품(full sintered)은 높은 경취성을 가지기 때문에 가공방법으로써 연삭⁽¹⁾과 같은 입자가공이 주체로 되어, 가공능률이 매우 낮고, 복잡한 형상창성이 어려우며, 연삭시는 표면손상의 발생에 의해 강도저하를 일으키게 된다.^(2,3) 완전소결한 세라믹의 절삭가공에 관해서는 수변의 연구^(4,5)보고가 행해져 왔으나, 공구수명이 짧고, 가공속도가 매우 늦어 일반의 부품가공에 적용하는 것이 곤란하다. 이러한 여러 가지 난점때문에 다양한 분야에서 활용하는데는 많은 제약이 있어서, 가공문제 해결이 시급히 요구되어 왔다.

이러한 난가공성 문제를 해결하기 위하여 세라믹

*회원, 두원공업전문대학 기계과

(a) Si_3N_4 green compact

(b) WC-Co green compact

Fig. 1 SEM photomicrographs of fractured surfaces of Si_3N_4 and WC-Co green compacts

과 초경합금의 소결전 성형체를 고능률 절삭가공한 후, 소결을 행하고 연삭 등의 최종가공을 행하는 가공방법⁽⁶⁾이 국내외의 산업현장에서는 오래 전부터 많이 활용되고 있다. 또한 부품의 요구정밀도가 그다지 높지 않은 경우는 성형체의 절삭후에 소결하는 것만으로 제품을 완성하는 경우도 있다. 그러나 이러한 성형체는 강도가 약하여 절삭시의 핸들링이 어렵기 때문에 성형체의 핸들링을 용이하게 하기 위한 강도향상이迫切되고 있다.⁽⁷⁾ 세라믹 및 초경합금의 성형체를 절삭가공하면, 가공능률이 크게 향상되고 복잡한 형상으로 가공이 가능하며, 최종 기계가공을 위한 가공여유를 최소화할 수 있어서, 특히 다품종 소량생산의 경우에 생산성 향상 및 생산비 절감에 큰 효과⁽⁶⁾가 있다. 또한 절삭에 의해 성형체 각부의 밀도차를 작게 할 수 있어 소결시의 균열생성 등의 결함도 감소시킬 수 있다고 생각된다. 한편, 성형체의 절삭가공후의 표면거칠기는, 완전소결시의 재료수축때문에 작아질 것으로 예상된다. 그러나 완전소결후에 최종 기계가공을 행하지 않는 경우는 성형체 절삭면의 성상이 소결체의 강도에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 소결후에 최종 기계가공을 행하는 경우에도 성형체 절삭면에 생성된 표면결함이 최종 제품의 신뢰성에 중대한 영향을 미칠 수 있다.

한편 연삭마멸(abrasive wear)이 주마멸기구로 되는 경취재료의 절삭에서는 반드시 경도가 높은 공구가 공구수명이 길 것이라는 일반적인 상식과는 다른 현상⁽⁸⁾이 나타나는 경우가 있다. 그러나 세라믹 및 초경합금 성형체의 절삭에 관한 연구보고가 거의 없는 관계로 산업현장에서는 적절하지 않은 공구 및 절삭조건에서 성형체의 절삭을 행하는 경

우가 많이 있어서 이에 대한 연구가 시급히 요구되어 왔다.

따라서 본 연구에서는 Si_3N_4 성형체를 선삭가공하여, 공구마멸속도 및 표면거칠기에 미치는 공구재종, 공구형상 및 절삭조건에 영향을 검토하였고, WC-Co 성형체의 절삭에서는 공구마멸에 미치는 공구재종의 영향을 고찰하였다.

2. 피삭재 및 실험방법

피삭재로 사용된 Si_3N_4 성형체는 소결첨가제로서 Al_2O_3 - Y_2O_3 를 첨가한 90 wt%의 Si_3N_4 분말을 이용하여 압력 78 MPa에서 $\phi 50 \times (\text{길이}) 200$ mm로 금형프레스를 행한 후, 294 MPa의 정수압으로 가압하고 건조시킨 것이며, WC-Co 성형체는 W 86%, Co 7%, C 6%의 분말을 Si_3N_4 성형체와 동일한 방법으로 성형한 것이다. 각 피삭재의 파단면을 SEM으로 관찰한 조직을 Fig. 1에 보여주며, 피삭재의 물리적 및 기계적 성질을 Table 1에 보여준다. 평균 입자직경은 Si_3N_4 성형체가 약 $0.25 \mu\text{m}$ 이며, WC-Co 성형체가 약 $0.34 \mu\text{m}$ 로서 WC-Co 성형체의 평균입자크기가 다소 높다. 또한 Si_3N_4 성형체는 결정입자가 균일하게 분포되어 있고 조직이 치밀함을 알 수 있으며, WC-Co 성형체는 결정입자의 분포가 균일하지 않고, 조직이 Si_3N_4 성형체에 비해 치밀하지 않음을 알 수 있다. WC-Co 성형체의 이러한 조직형태가 모든 WC-Co 성형체에서 반드시 나타나는 현상은 아니나, 이러한 형태는 프레스성형시의 압력, 수분, 온도, 결정입자형상 및 크기, 결합체의 조성, 금형의 형상, 주입구의 크기 및 형상에 따라, 절삭공구용을 제외하곤

Table 1 Mechanical and physical properties of materials machined

| Properties | Material | Si ₃ N ₄ green compact | WC-Co green compact |
|----------------------|-------------------|---|------------------------|
| Density | g/cm ³ | 3.0 | 2.5 |
| Vickers hardness, HV | GPa | 0.35 | 0.30 |
| Shore hardness, HS | | 17 | 15.5 |
| Flexural strength | MPa | 10 | 8 |
| Moisture content | % | 0.7 | 0.7 |
| Grain size | μm | 0.25 | 0.34 |

Table 2 Materials and geometries of tools used

| Tool material | | Tool geometry | Chamfer |
|----------------------------|------------------|---|---------------------------|
| Carbide, K01 | Type ㉑ | -5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8 | None |
| | Variation of ㉑ | Rake angle(°), α = -35, -25, -5, 10 Relief angle(°), γ = 5, 15 | ① None ② 0.065 mm, 20° |
| | Type ㉒ Type ㉓ | -5, -5, 5, 5, 15, 15, 2.0 Round too, R=4.0 mm, α = -5°, γ = 5° | None None |
| Carbide, P10 | | -5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8 | None |
| Alumina ceramic(TiC added) | | -5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8 | ① 0.065 mm, 20° ② None |
| CBN(Ceramic bonded) | | -5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8 | ① 0.06 mm, 20° ② None |
| High speed steel tool, SKS | | -5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.2 | None |

마멸성 부품용에는 일반적으로 많이 나타나는 현상이라 할 수 있다. Si₃N₄ 및 WC-Co 성형체의 결정입자들은 각각 분리되어 있지 않고, 여러 개의 결정입자들이 결합된 형태로 나타나 있다. Si₃N₄ 성형체의 결정입자는 WC-Co 성형체의 입자에 비해 경도가 높지만, Table 1에서 Si₃N₄ 성형체의 경도가 높게 되어 있는 것은 결정입자의 경도차에 따른 영향 보다, 조직의 치밀성이 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 항절강도는 Si₃N₄ 성형체가 다소 높은 값을 보여주고 있다. Table 2는 실험에 사용된 공구의 재종 및 형상을 나타낸다. 실험에 사용된 공구재종은 고속도강공구, 초경 K01과 P10, 세라믹 및 CBN 공구로서, 초경공구 K01의 경우는 공구형상의 영향을 조사하기 위하여 공구의 경사각 및 여유각을 마이크로 다이아몬드공구 연삭기로 변

화시켰다. 사각형 공구의 경사각 및 여유각을 나타내는 공구형상을 Fig. 2에 보여주며, 실험에 사용된 모든 공구의 윗면경사각과 옆면경사각은 동일하고, 또한 앞면여유각과 옆면릴리프각도 동일하였다. 또한 공구형상의 영향을 검토하기 위한 실험 이외에는 초경공구, CBN 및 세라믹공구의 형상을 -5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8로 일정하게 하였다. 시편의 초경공구에는 모따기가 되어있지 않고 CBN 및 세라믹공구는 모따기가 되어 있다. 공구 절삭날의 모따기 영향을 조사하기 위한 실험에서는 마이크로 다이아몬드공구 연삭기를 사용하여 초경공구 K01의 절삭날에 모따기를 행하고, CBN 및 세라믹공구는 모따기를 제거하여 각각 표준공구와의 절삭성을 비교하였다. 공구마멸형태의 관찰은 주사전자 현미경으로 행하였으며, 공구경사면의 마멸은 발생

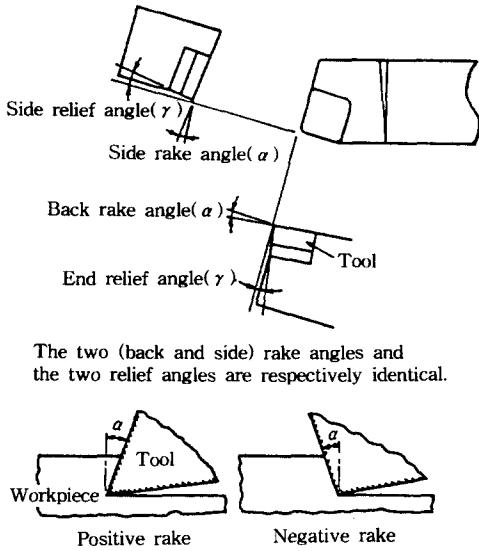


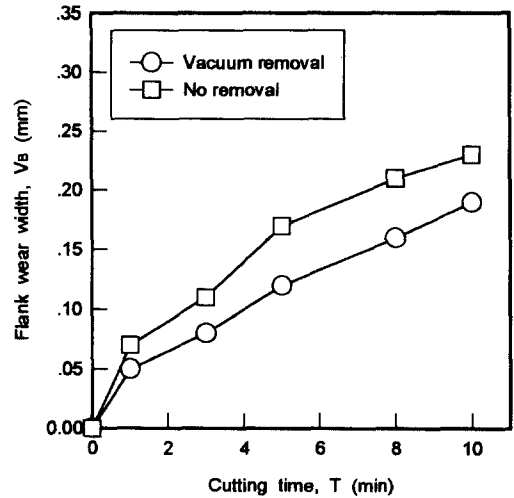
Fig. 2 Tool geometry showing rake angle and relief angle

Table 3 Cutting conditions

| | |
|------------------|-----------------------|
| Cutting speed, V | 40, 90, 140 m/min |
| Feed rate, f | 0.05, 0.1, 0.2 mm/rev |
| Depth of cut, d | 0.2, 0.5, 1.0 mm |

되지 않았으므로 공구여유면 마멸만을 공구현미경으로 측정하였다. 절삭은 CNC 선반에서 행하였으며, 절삭조건은 Table 3에서 보여주는 바와 같다. 세라믹 성형체는 강도가 부족하기 때문에 CNC 선반의 척에 특수한 고정구를 설치하여 수동으로 피삭재를 고정하였다.

절삭칩은 이중테이프에 부착하여 금증착을 행한 후 주사전자현미경으로 관찰하였으며, 절삭후의 절삭면을 신중히 처리하여 주사전자현미경으로 관측하였다. 피삭재는 건식에서 외경선삭을 행하였으며, 진공흡인기에 의한 절삭칩을 흡인의 영향을 조사하기 위한 실험이외에는, 모든 경우에 공구경사면상에 생성된 절삭칩을 공구경사면상에 설치한 호스와 연결된 진공흡인기로 흡인하였다. 또한 표면거칠기는 촉침식 표면거칠기 측정기로 측정하였다.



V = 90 m/min, f = 0.1 mm/rev, d = 0.5 mm

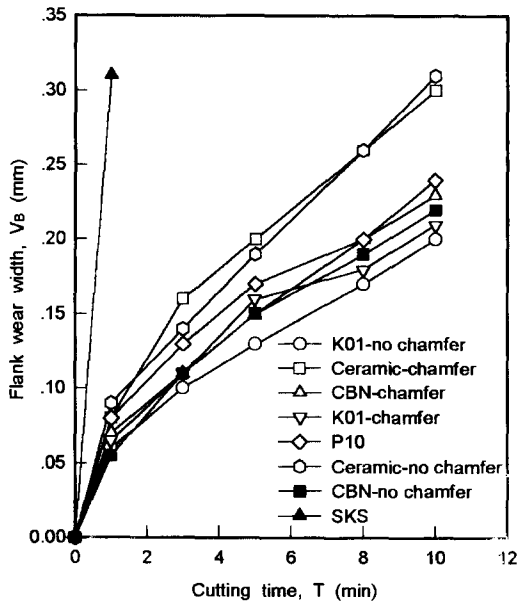
Fig. 3 Effect of vacuum chip removal on tool wear in machining of Si₃N₄ green compact with cemented carbide tool, K01

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공구마멸에 미치는 공구재종의 영향

Fig. 3은 Si₃N₄ 성형체를 절삭하였을 때 절삭칩의 진공흡인이 초경공구의 마멸속도에 미치는 영향을 보여준다. 진공흡인을 행하지 않은 경우는 진공흡인을 행한 경우에 비해 마멸이 다소 빨라짐을 알 수 있다. 진공흡인을 행하지 않은 경우는 경사면상으로 배출된 절삭칩이 공구여유면과 피삭재 사이로 침입되어 공구여유면을 활과하면서 공구여유면을 마멸시키기 때문에 공구마멸속도가 커지는 것으로 생각된다. 따라서 다음의 모든 실험에서는 진공흡인기를 사용하여 절삭칩을 흡인하였다.

Fig. 4는 각종재료의 공구를 사용하여 Si₃N₄ 성형체를 절삭한 경우의 공구마멸진행선도를 보여준다. 우선 시판되고 있는 고속도강공구, 초경공구 K01 및 P10(모따기 없음), 세라믹공구(모따기 있음) 및 CBN 공구(모따기 있음)의 마멸진행속도를 비교하면 초경공구 K01, CBN, 세라믹공구 및 고속도강공구의 순으로 공구의 마멸진행속도가 느리며, 초경공구 P10은 CBN 공구와 유사한 마멸진행속도를 보여준다. 고속도강공구는 경도가 낮기 때문에 공구의 마멸속도가 현저히 빠른 것으로 생각된다. 그러나 CBN 및 세라믹공구는 초경공구보다 내마멸성이 크지만 공구의 마멸진행속도는 초경공구



V=90 m/min, f=0.1 mm/rev, d=0.5 mm

Fig. 4 Wear progress curves of various tools in machining of Si₃N₄ green compact

K01보다 빠르며, 특히 세라믹공구는 초경공구 K01에 비해 현저히 나쁜 성능을 보여준다. 초경공구 P10은 K01에 비해 경도가 낮기때문에 마멸진행 속도가 K01에 비해 빠르게 나타난 것으로 생각된다. 한편 시판의 CBN 및 세라믹공구는 절삭날의 칩핑 및 파손을 방지하기 위하여 절삭날에 모따기가 행해져 있으므로, 초경공구에 비해 CBN 공구 및 세라믹공구의 성능이 나쁜 원인이 공구의 모따기에 의한 것인지를 확인하기 위하여 CBN 및 세라믹공구의 모따기를 제거하여 동일조건에서 실험한 결과를 Fig.4에서 동시에 보여주고 있는데 그다지 변화가 있음을 알 수 있다. 또한 시판의 초경공구는 모따기가 되어있지 않지만, 초경공구 K01은 세라믹공구와 동일한 칩핑의 모따기를 행하여 얻어진 결과도 그다지 변화를 보여주지 않는다. 따라서 세라믹 성형체의 절삭에서는 공구의 모따기는 그다지 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다. CBN 공구 및 세라믹공구의 마멸속도가 초경공구 K01에 비해 빠른 원인에 대해서는 후술한다.

Fig. 5는 Si₃N₄ 세라믹 성형체를 절삭한 때의 각



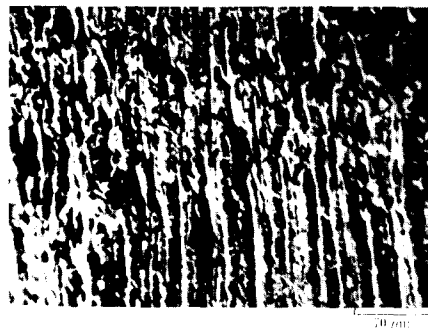
(a) Tool : K01, T=6 min



(b) Tool : Ceramic, T=6 min



(c) Tool : CBN, T=7 min



(d) Higher magnification of round mark zone of (c)

V=90 m/min, f=0.1 mm/rev, d=0.5 mm, Micrograph (a) exhibits nose side view, but (b) and (c) exhibit nose radius views

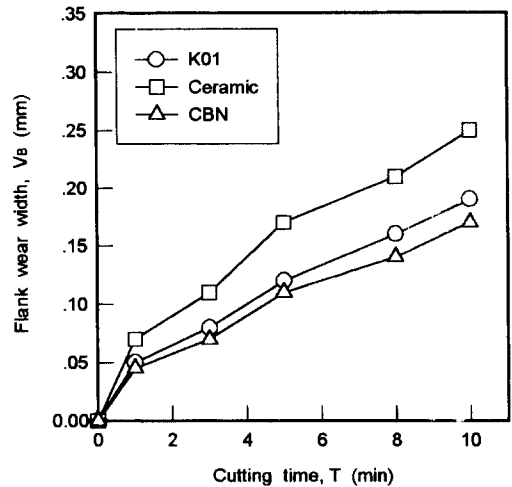
Fig. 5 Typical wear patterns of various tools in machining of Si₃N₄ green compact

중 공구의 마멸형태를 보여주는 SEM 사진이다. 초경공구 K01은 공구여유면상에 균일한 형태의 마멸이 일어나 있음을 알 수 있으며 절삭날은 예리함을 그대로 유지하고 있고, 마멸에 의한 공구여유면의 후퇴량도 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 초경공구에서는 절삭날이 예리함을 유지하게 때문에 절삭칩의 침입이 어려워 공구수명이 CBN 및 세라믹공구에 비해 현저히 길어지는 것으로 생각된다. 한편 세라믹공구는 초기의 절삭날이 대부분 손재하지 않으며, 깊은 홈상의 마멸이 일어난 것을 알 수 있다. 세라믹공구는 결정입자의 경도는 매우 높지만 인성이 초경공구에 비해 낮기 때문에 절삭날이 쉽게 손상을 받게 되고, 절삭날의 손상지점으로 절삭칩이 집중적으로 침입하여 공구여유면을 활과하기 때문에 깊은 홈상의 마멸형태를 보여주는 것으로 생각된다. 세라믹 성형체의 경도 및 강도는 소결후에 비해 현저히 낮지만 성형체의 입자자체의 경도는 세라믹공구에 비해 현저히 낮지는 않다. 더욱이 피삭체와 공구여유면 사이로 침입한 절삭칩이 절삭방향으로 공구여유면을 활과할 때 공구 입자간의 결합력이 초경공구보다 세라믹공구가 낮기 때문에 더욱 마멸이 촉진되는 것으로 된다. 한편 CBN 공구의 마멸형태는 절삭날이 상당히 후퇴하여 있음을 알 수 있고, 특히 경계부분에서 깊은 마멸을 보여준다. Fig. 5 (d)는 CBN 공구의 여유면 마멸부 확대된 사진을 보여 주는데, 절삭칩의 활과에 의해 절삭방향으로 상당수의 가는 흠이 생성되어 있는 것을 알 수 있다. 이외 같이 CBN 공구에서도 세라믹공구와 마찬가지로 절삭날의 손상과 절삭칩의 침입에 의한 마멸이 주 마멸기구인 것으로 생각되며, CBN 공구의 마멸진행속도가 세라믹공구에 비

해 낮아지게 된 것은 CBN 공구의 내마찰성이 세라믹공구에 비해 현저히 높아서 마멸이 억제되기 때문으로 생각된다.

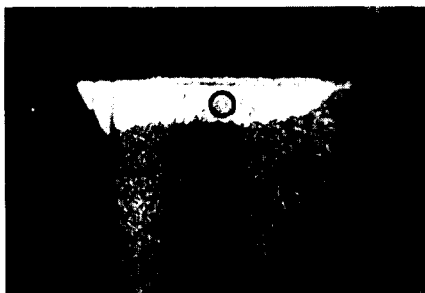
Fig. 6은 WC-Co 성형체를 절삭하였을 때의 각종 공구의 마멸진행선도를 보여준다. 이 경우에는 CBN 공구의 마멸진행속도가 가장 느리고 세라믹공구의 마멸진행속도가 가장 빨라지게 된다. 세라믹공구의 마멸진행속도가 가장 빠른 것은 Si₃N₄ 성형체의 절삭시의 같은 원인에 의한 것으로 생각된다.

Fig. 7은 WC-Co 성형체를 절삭하였을 때의 DBN 공구의 마멸형태를 보여준다. 이 경우는 Si₃N₄ 성형체를 절삭할 때에 비해 절삭날의 손상이 작고, 여유면 마멸부의 확대사진을 보면 절삭방향의 흠은



V=90 m/min, f=0.1 mm/rev, d=0.5 mm

Fig. 6 Wear progress curves of various tools in machining of WC-Co green compact



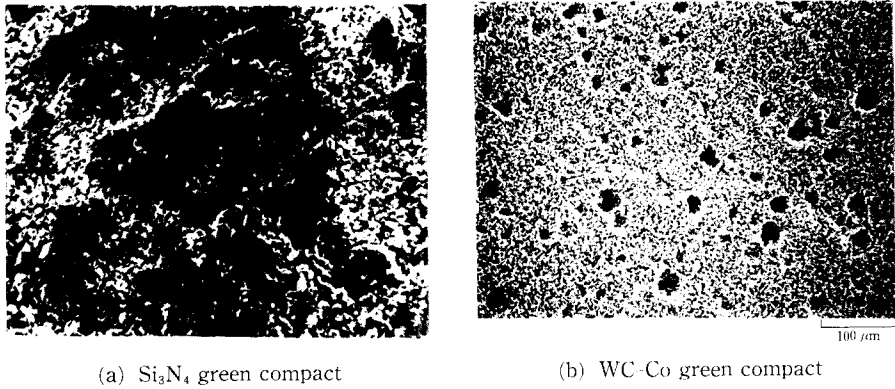
(a) Tool: CBN, T=6 min



(b) Higher magnification of round mark zone of (a)

V=90 m/min, f=0.1 mm/rev, d=0.5 mm Micrograph (a) exhibits nose-radius view

Fig. 7 Typical wear pattern of CBN tool in machining of WC-Co green compact



(a) Si₃N₄ green compact

(b) WC-Co green compact

V=90 m/min, f=0.1 mm, d=0.5 mm, Cutting time=1 min

Fig. 8 Finished surfaces in machining of Si₃N₄ and WC-Co green compacts with cemented carbide tool, K01

그다지 나타나지 않고, 요철(凹凸)이 많은 마멸면을 보여준다. 따라서 WC-Co 성형체의 절삭에서 CBN 공구의 마멸속도가 가장 느린 것은 WC-Co 성형체의 결정입자는 Si₃N₄ 성형체의 결정입자에 비해 경도가 낮기 때문에 절삭날에서의 충격이 작아 절삭날의 손상이 작아지고, 따라서 절삭칩의 침입이 비교적 적게 되며, WC-Co 성형체의 결정입자 경도에 비해 CBN의 경도가 상당히 높기 때문에 초경공구에 비해 CBN 공구의 마멸속도가 늦어지는 것으로 생각된다. 이 경우 CBN 공구는 공구입자의 연삭마멸(abrasive wear)보다 공구 결정입자의 국부적인 탈락에 의한 마멸이 주로 일어나는 것으로 생각된다.

Fig. 8은 Si₃N₄ 성형체와 WC-Co 성형체를 초경공구 K01로서 절삭한 경우의 절삭면의 SEM 사진을 보여준다. 세라믹 성형체의 절삭면은 평탄한 부분이 많은 형태를 보여주고 있으나, WC-Co 성형체의 절삭면은 전체적으로 요철(凹凸)이 많음을 보여주고 있다. Fig.1에서 보여준 표면조직에서 세라믹 성형체는 입자가 균일하게 분포되어 있었으나, 초경합금의 성형체는 결정입자의 분포가 균일하지 않고 집중적으로 뭉려있는 형태를 보여 주었다. 초경합금의 절삭면에서 요철이 많이 나타나는 것은 국부적으로 밀도가 낮은 부분이 존재하여 그 부분이 절삭시에 쉽게 탈락되기 때문으로 생각된다.

3.2 공구마멸 및 표면거칠기에 미치는 절삭조건 의 영향

Fig. 9는 절삭속도를 변화시켜 Si₃N₄ 성형체를 절

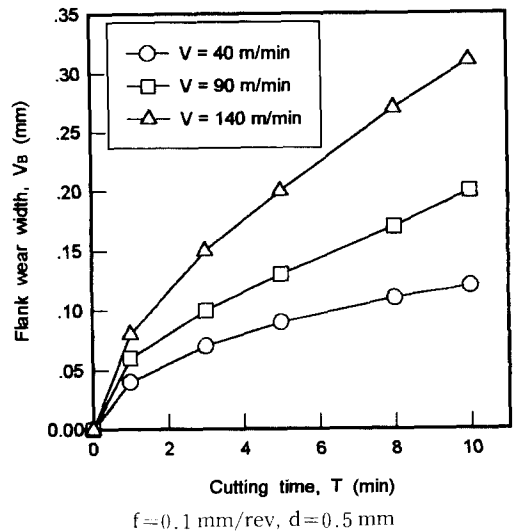


Fig. 9 Effect of cutting speed on wear rate of cemented carbide tool, K01 in machining of Si₃N₄ green compact

삭한 경우의 초경공구 K01의 마멸진행선도를 보여 준다. 절삭속도가 빨라짐에 따라 공구마멸진행속도는 현저히 빨라짐을 나타내고 있다. Fig. 9의 공구 여유면 마멸폭으로부터 절삭거리 400 m에서의 공구 여유면 마멸폭을 환산해 보면 모든 절삭속도에서의 여유면 마멸폭이 약 0.12 mm로서 거의 유사한 마멸크기를 보여 주었다. 이것은 Si₃N₄ 성형체의 절삭에서는 저속보다 고속의 절삭속도에서 가공하는 것이 생산성 및 공구마멸의 관점에서는 유리하다는 것을 뜻한다. Si₃N₄ 성형체의 강도는 매우 낮기 때문에 절삭속도 140 m/min에서도 공구마멸에는 열적인 영향이 미치지 않고, 높은 절삭속도에서도

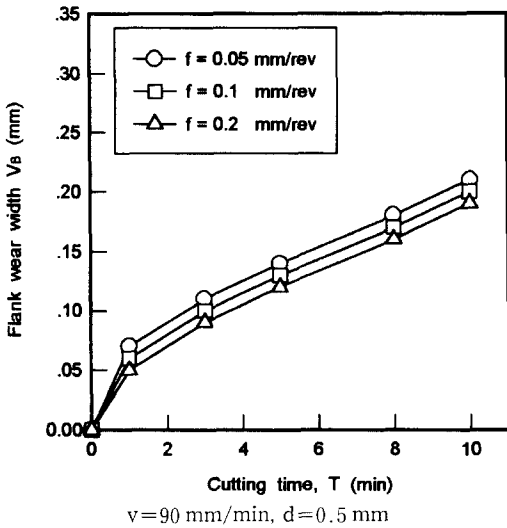


Fig. 10 Effect of feed rate on wear rate of cemented carbide tool, K01 in machining of Si₃N₄ green compact

낮은 절삭속도에서와 마찬가지로 연삭마멸이 공구의 주 마멸기구로 되기때문에 공구마멸진행속도는 절삭속도에 관계없이 절삭거리에 비례하는 것으로 생각된다.

Fig. 10은 이송속도를 변화시켜 Si₃N₄ 세라믹 성형체를 절삭한 경우의 초경공구 K01의 마멸진행선도를 보여준다. 이 경우 공구마멸진행속도는 이송속도의 영향을 그다지 받지 않는 것으로 된다.

Fig. 11은 절삭속도와 이송속도를 변화시켜 초경공구로 Si₃N₄ 세라믹 성형체를 절삭한 경우의 절삭면의 표면거칠기를 보여준다. 절삭속도를 변화시킨 경우는 절삭속도 40 m/min 및 140 m/min에 비해 90 m/min에서의 표면거칠기가 현저히 작게 나타난다. 절삭속도 40 m/min에서는 미세한 절삭칩이 공구경사면에 부착되는 현상이 나타났다. 이러한 절삭칩이 공구여유면으로 침입하여 표면거칠기가 크게 된 것으로 생각된다. 또한 절삭속도 140 m/min에서는 비교적 큰 규모의 절삭칩이 많이 생성되는 것으로부터 절삭시의 균열생성속도 및 균열전진속도가 커짐에 따라 파괴규모가 증대되기 때문에 표면거칠기가 커지게 된 것으로 생각된다. 따라서 Fig. 9에서 절삭속도가 높아지는 경우에 동일절삭거리에서의 공구마멸이 커지지 않는 것은 절삭속도가 빨라짐에 따라 절삭칩의 크기가 증대되고 절삭칩과 공구와의 충돌속도가 커지게 되어 절삭칩의 배출성이 좋아지게 된것도 하나의 원인으로 사료된다.

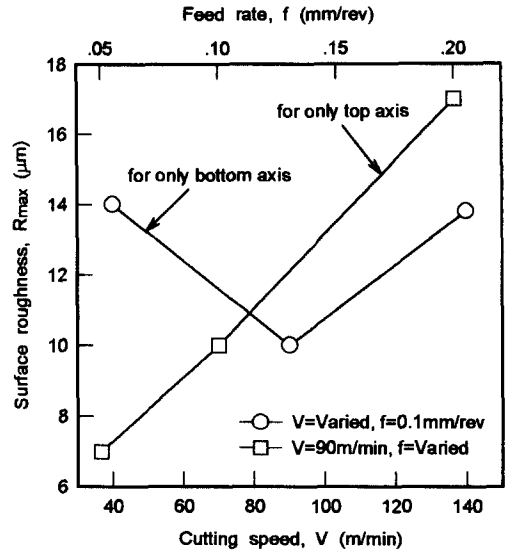
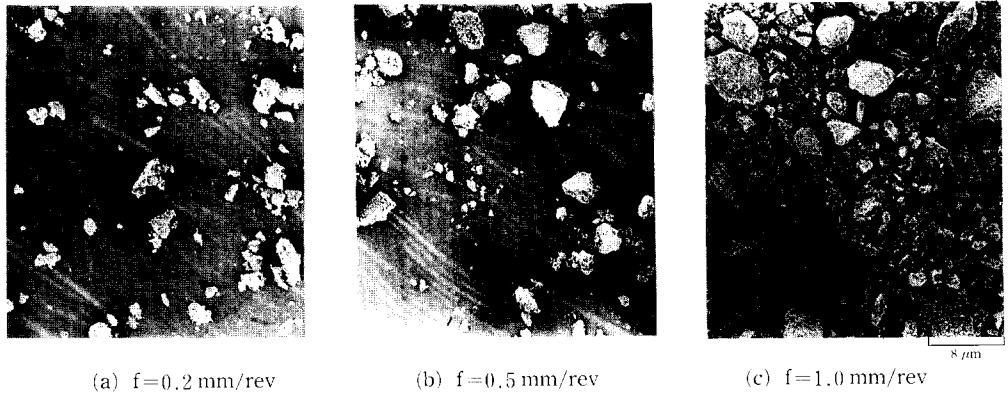


Fig. 11 Effect of cutting speed and feed rate of surface roughness in machining of Si₃N₄ green compact

다. 한편 이송속도를 변화시킨 경우는, 이송속도가 커짐에 따라 절삭면의 표면거칠기가 증대됨을 보여준다.

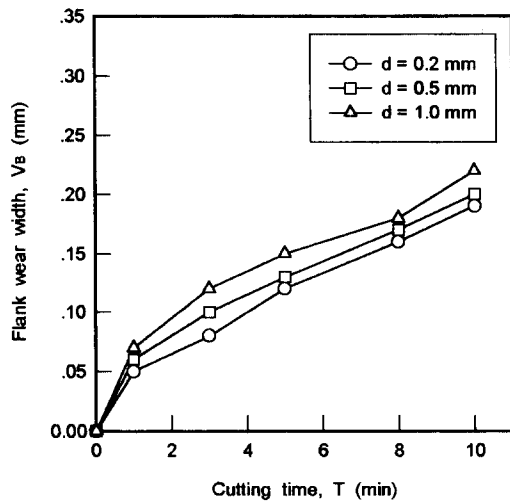
이송속도를 변화시킨 경우, 절삭칩형태의 SEM 사진을 Fig. 12에 보여준다. 이송속도가 증가됨에 따라 절삭칩의 크기가 현저히 커짐을 보여준다. 이것으로부터 이송속도가 증가됨에 따라 표면거칠기가 커지는 것은 이송속도가 커짐에 따라 이론 표면거칠기가 증대되는 영향보다 오히려 이송속도의 증가에 따라 절삭시의 파괴규모가 커지기 때문으로 생각된다. 이송속도가 큰 경우에 다소 큰 절삭칩이 일부 존재하고 절삭칩의 크기 변동이 심한 것으로부터, 세라믹 성형체는 강도가 약하기 때문에 파괴규모는 크더라도 절삭칩의 생성 및 배출시에 절삭칩이 더욱 파쇄되는 현상이 일어나기 때문에 이송속도가 증가됨에 따라 전체의 절삭칩이 커지는 양상이 아니라 일부의 큰 절삭칩이 존재하는 것으로부터 절삭규모의 크기를 예측할 수 있는 것으로 사료된다.

Fig. 13은 절삭깊이를 변화시켜 Si₃N₄ 성형체를 절삭한 경우의 초경공구 K01의 마멸진행선도를 보여준다. 절삭깊이가 증대됨에 따라 공구마멸이 다소 크게 되어 있으나 그 차는 그다지 크지 않다고 할 수 있다. 따라서 생산성과 공구마멸의 관점에서



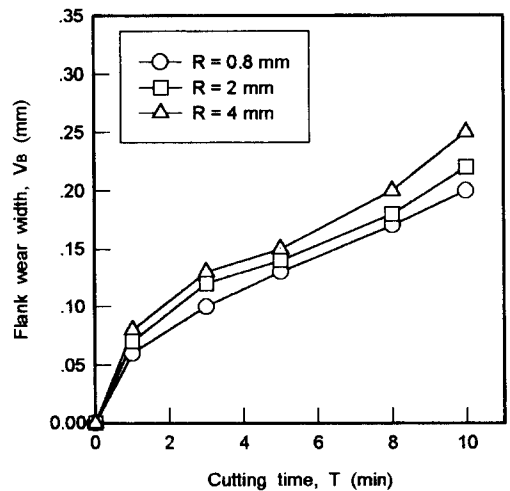
V=90 mm/min, d=0.5 mm, Tool=K01, Cutting time=1 min

Fig. 12 SEM photographs of chips formed under different feed rates in machining of Si₃N₄ green compact



V=90 m/min, f=0.1 mm/rev, Tool=K01

Fig. 13 Effect of depth of cut on tool wear rate in machining of Si₃N₄ green compact



V=90 m/min, f=0.1 mm/rev, d=0.5 mm

Fig. 14 Effect of nose radius on wear rate of cemented carbide tool in machining of Si₃N₄ green compact

는 절삭깊이를 크게 하는 것이 유리하다고 할 수 있다. 세라믹 성형체의 강도가 매우 낮기 때문에 절삭동력도 강재에 비해 매우 낮을 것이며, 이러한 정도의 절삭깊이의 변화로는 절삭동력 및 절삭속도의 차는 거의 나타나지 않는 것으로 생각할 수 있으며, 따라서 공구마멸기구의 변화가 일어나지 않으므로 절삭깊이의 변화에 따른 공구마멸진행속도의 변화가 그다지 나타나지 않는 것으로 생각된다.

Fig. 14는 초경공구 K01의 노우즈반경을 변화시켜 Si₃N₄ 성형체를 절삭한 경우의 공구마멸진행속도를 보여준다. 노우즈반경이 커질수록 공구마멸이 다소 크게 나타난다. 이것은 노우즈반경이 커짐에

따라 피삭재와 공구와의 접촉면적이 커지고, 피삭재와 절삭공구날과의 경계부가 좁아지기 때문에 절삭칩의 침입에 따른 영향이 크게 나타나는 것으로 생각되어진다.

절삭깊이 및 초경공구 K01의 노우즈반경을 변화시켜 Si₃N₄ 세라믹 성형체를 절삭한 경우의 절삭면의 표면거칠기를 Fig. 15에 보여준다. 절삭깊이가 커짐에 따라 표면거칠기는 현저히 증대되며, 노우즈반경의 변화에 따른 영향을 거의 나타나지 않는다고 할 수 있다. 절삭깊이가 커짐에 따라 표면거칠기가 커지게 되는 것은 절삭깊이가 커질수록 피삭재에 대한 공구의 충격에너지가 커지기 때문에

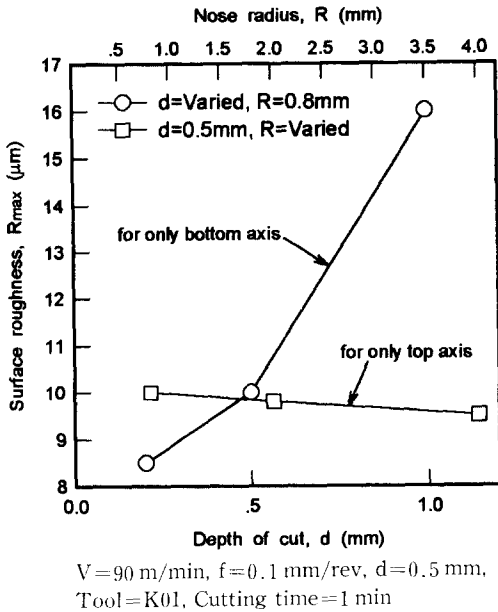


Fig. 15 Effect of depth of cut and nose radius on surface roughness in machining of Si_3N_4 green compact

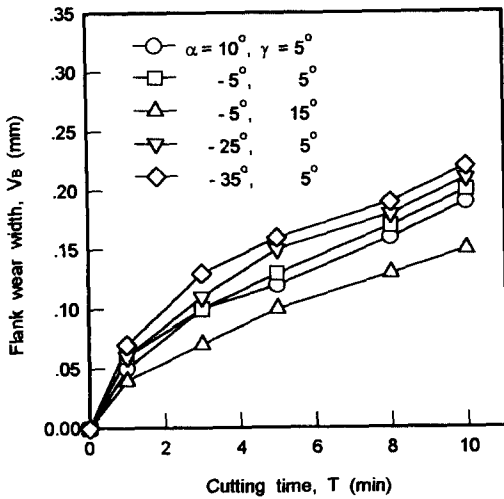
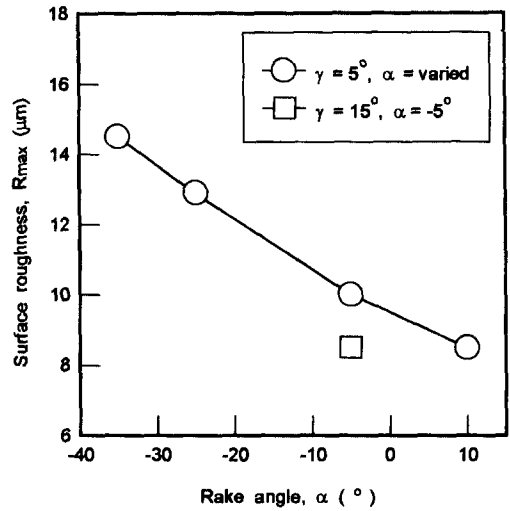


Fig. 16 Effect of tool geometry on wear rate of cemented carbide tool, K01 in machining of Si_3N_4 green compact

절삭면의 하부방향으로 균열이 진전되어 절삭면의 일부가 절삭칩과 함께 떨어져나가기 때문으로 생각된다.

Fig. 16은 초경공구 K01의 경사각과 여유각을 변화시켜 Si_3N_4 성형체를 절삭한 경우의 공구마멸진



$V=90$ m/min, $f=0.1$ mm/rev, $d=0.5$ mm, Cutting time=1 min

Fig. 17 Effect of rake and relief angles of cemented carbide tool on surface roughness in machining of Si_3N_4 green compact

행선도를 보여준다. 공구경사각이 -방향으로 커짐에 따라 공구마멸이 다소 증대됨을 보이고 있으나 그다지 큰 변화는 없다고 할 수 있다. 공구경사각이 -방향으로 커짐에 따라 피삭재와 공구여유면 사이로 절삭칩의 침입이 용이해지기 때문에 공구마멸이 다소 증대되는 것으로 생각되어진다. 한편 공구경사각을 -5° 로 하고 여유각을 15° 로 크게 한 경우는 동일 경사각에서 여유각이 5° 인 경우에 비해 마멸진행속도가 다소 늦어지고 있다. 이것은 피삭재와 공구여유면과의 접촉이 적어지기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 17은 초경공구 K01의 경사각 및 여유각을 변화시켜 Si_3N_4 성형체를 절삭한 경우의 절삭면의 표면거칠기를 보여준다. 여기서, 경사각이 -방향으로 커질수록 표면거칠기는 나빠지고 있으며, 또한 -5° 의 경사각에서 여유각이 큰 경우의 표면거칠기가 양호하게 된다. 여유각이 큰 경우에 표면거칠기가 양호하게 되는 것은 공구여유면과 피삭재와의 접촉면적이 작아지기 때문으로 생각되며, 공구경사각은 -방향으로 커질수록 절삭시의 균열생성의 방향이 하향하기 때문에 공구경사각이 +방향으로 커질수록 표면거칠기가 작아지는 것으로 생각된다.

4. 결 론

Si_3N_4 및 WC-Co 성형체의 절삭실험을 행한 결과, 다음과 같은 결론이 얻어졌다.

(1) 절삭칩의 진공흡인은 공구마멸을 저하시키는 효과가 있다.

(2) Si_3N_4 성형체의 절삭에서는 세라믹공구, CBN, 초경공구 K01의 순으로 공구마멸이 크다.

(3) WC-Co 성형체의 절삭에서는 세라믹공구, 초경공구 K01, CBN의 순으로 공구마멸이 크다.

(4) 공구절삭날의 모따기는 공구마멸에 영향을 미치지 않는다.

(5) 초경공구를 사용한 경우, 절삭속도가 달라져도 동일 절삭거리에 대한 마멸크기는 유사하며, 표면거칠기는 절삭속도 90 m/min에서 가장 양호하다.

(6) 이송속도 및 절삭깊이는 초경공구의 마멸진행속도에 그다지 영향을 미치지 않으나, 이송속도 및 절삭깊이가 커질수록 표면거칠기는 나빠진다.

(7) 초경공구의 노우즈반경이 증대되면 공구마멸이 다소 커지게 되나, 표면거칠기는 그다지 변화되지 않는다.

(8) 초경공구의 경사각이 -방향으로 커질수록 공구마멸은 다소 커지며, 표면거칠기는 현저히 나빠진다. 또한 여유각의 증대에 따라 공구마멸은 다소 작아지며, 표면거칠기는 양호하게 된다.

참고문헌

(1) 허성중, 김원일, 1993, "WC-Co의 고능률적

연삭가공 조건에 관한 연구," 대한기계학회논문집, Vol. 17, No. 3, pp. 721~730.

(2) Li, K. and Liao, W., 1996, "Surface/Subsurface Damage and the Fracture Strength of Ground Ceramics," *J. Materials Processing Technology*, Vol. 57, pp. 207~220.

(3) Strakna, T. J., Jahanmir, S., Allor, R. L. and Kumar, K. V., 1996, "Influence of Grinding Direction of Fracture Strength of Silicon Nitride," *Trans, ASME, J. Eng. Mat. Tech.*, Vol. 118, pp. 335~342.

(4) 飯島 昇, 竹山秀彦, 柏瀬雅一, 1984, "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器具," *精密機械*, Vol. 50, No. 7, pp. 1100~1107.

(5) 渡邊政嘉, 吉川昌範, 1990, "ダイヤモンドコージェティング切削工具によるセラミックスの切削," *日本精密工學會誌*, Vol. 56, No. 9, pp. 1735~1740.

(6) Halcomb, D. L. and Rey, M. C., 1982, "Ceramic Cutting Tools for Machining Unsintered Compacts of Oxide Ceramics," *Ceramic Bulletin*, Vol. 61, No. 12, pp. 1311~1314.

(7) Tanaka, H., Fukai, S., Uchida, N. and Uematsu, K., 1994, "Effect of Moisture on the Structure and Fracture Strength of Ceramic Green Bodies," *J. American Soc.*, Vol. 77, No. 12, pp. 3077~3080.

(8) 布施久康, 1986, "CBNの工具摩耗器具," 昭和1986年 精密工學會 春季大會 學術講演會講演論文集, pp. 733~734.