

다중 코팅된 Si_3N_4 -TiC 세라믹의 특성

김동원* · 천성순

한국과학기술원 재료공학과

*금성 일렉트론

Characteristics of Multilayer Coated Si_3N_4 -TiC Ceramic

D.W. Kim* and John S. Chun

Dept. of Mat. Sci. & Eng., KAIST, Taejon 305-701

* Gold Star Electron Ltd., Seoul 137-140

요 약 화학증착법에 의해 Si_3N_4 -TiC 복합재료 위에 코팅된 TiC 박막은 TiN 박막에 비하여 우수한 미세구조와 열충격저항, 계면결합을 가지고 있는 것으로 나타났다. 화학증착법에 의한 TiN 박막은 TiC 박막에 비해 강철과의 마찰계수가 작고 화학적으로 안정하였다. 실험결과는 코팅된 절삭공구가 우수한 내마모성을 갖고 있는 것으로 나타났다. 또한, 다중 코팅된 절삭공구는 단일 코팅된 공구보다 우수한 내마모성을 보였다.

Abstract TiC coating formed on Si_3N_4 -TiC composite ceramic by chemical vapor deposition (CVD) has an improved microstructures, better thermal shock resistance and interfacial bonding than TiN coating does. TiN coating formed by CVD, however, has lower friction coefficients against steels and better chemical stability. The experimental results indicate that the coated insert is superior to the uncoated one in flank and crater wear resistance. And the multilayer coating shows an improved wear resistance than the monolayer coating.

1. 서 론

현재 세계적으로 사용되는 절삭공구는 대부분은 steel이나 cemented carbide로 되어 있고, 일부분으로 요업체 절삭공구 등이 사용되고 있다. 이들 재료 중에서 cemented carbide는 낮은 경도, 소성변형, 고온화산 등이 발생하므로 공구의 수명을 단축시킨다. 따라서 이와같은 단점을 보완하기 위해 요업체 재료가 최근 주목을 받고 있다. 그 중에서도 본 실험에 사용된 Si_3N_4 -TiC 요업체 재료는 다른 요업체 재료에 비해 고온에서 기계적 성질과 내열성 내충격성, 내마모성, 내산화성 등이 우수하여 절삭공구 뿐만 아니라 가스터빈, 고온구조재료써 주목을 받고 있다[1]. 따라서 이 재료는 주철이나 초합금을 절삭할 때 우수한 성능을 나타낸다. 그러나 요업체 절삭공구 중에서 경도가 낮은 편에 속하며, Fe, Mn, O와 Si_3N_4 가 화학적 반응을 일으켜서 steel을 절삭할 때 심한 마모가 발생하기 때문에 우수한 성능을 나타내지 못하고 있는 실정이다[2]. 따라서 이러한 단점을

보완하기 위해 공구의 표면에 보호피막을 입히는 것이 필수적이다.

본 연구에서는 각 증착층들의 미세구조, 미소경도, 열충격저항, steel과의 마찰계수를 측정하였으며, 최종적으로 절삭시험을 통하여 증착층들의 내마모성을 조사, 규명하였다.

2. 실험 방법

TiC, TiN 및 Ti(C,N) coating층은 각각 TiCl_4 - CH_4 - H_2 , TiCl_4 - N_2 - H_2 및 TiCl_4 - CH_4 - N_2 - H_2 가스 혼합물을 사용하여 화학증착법에 의해 증착되었다. 이에 대한 실험장비는 D.W.Kim et al.[3] 논문에서 잘 설명되었다. 본 연구에서 사용된 substrate는 Si_3N_4 -TiC composite ceramic공구로서, 이들의 조합비율은 무게비로 62% Si_3N_4 , 30% TiC, 6% Y_2O_3 , 2% Al_2O_3 이었다. 시편의 크기는 14.8mm × 14.8mm × 4.8mm로 직접 절삭공구로 사용가능한 시편이다.

증착층의 표면형상은 주사전자 현미경(SEM)을 사용하여 관찰하였으며 증착층의 우선방위는 X-

ray Diffractometer(XRD)를 사용하였으며, 증착층의 화학적 분석을 위해 Auger Electron Spectroscopy(AES)와 Electron Spectroscopy for Chemical Analysis(ESCA)를 사용하였다. 각 증착층의 미소 경도를 측정하기 위해 Vickers 미소경도계로 25 g의 load를 사용하여 측정하였다. 또한 증착층의 마찰계수는 LFW-1 wear tester를 사용하여 측정하였으며, dry조건하에서 AISI 4140 steel을 against metal로 사용하였다.

최종적으로 절삭작업은 American사의 선반을 사용해서 turning operation을 하였으며, 절삭공구의 마모를 측정하기 위해 flank wear(V_B)와 crater wear(K_7)는 각각 tool makers microscope와 Talor-Hobson사 Talysurf를 사용하여 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

(1) Si_3N_4 -TiC ceramic tool의 특성

Si_3N_4 계는 고온에서의 기계적 성질과 내열성, 내충격성, 내마모성, 내산화성이 우수하여 가스터어빈이나 고온구조재료써 주목을 받고 있다. Si_3N_4 계 절삭공구는 다른 ceramic에 비해 고온경도가 좋고 파괴인성값이 크며, 열충격저항값이 좋기 때문에 고속절삭 및 interrupted cutting performance가 우수한 것으로 알려져 있다[1].

본 실험에 사용된 Si_3N_4 -TiC composite ceramic은 Si_3N_4 에 30wt.% TiC을 첨가함에 따라 첨가된 TiC particle이 crack-front pinning역할이나 main crack tip에 microcracking이 나타남으로 인해 energy dissipation 역할을 하여 파괴 인성값($6.8MNm^{-3/2}$)을 50%정도 증가시키는 것으로 알려져 있다[4]. 또한 Si_3N_4 matrix에 TiC를 첨가함에 따라 열팽창 계수값을 증가시킬 수 있다. 즉 순수한 hot pressed Si_3N_4 의 경우 $3.0 \times 10^{-6}/K$ 에서 Si_3N_4 -30wt.% TiC의 경우 $4.0 \times 10^{-6}/K$ 로 증가한다. 이와같은 Si_3N_4 -TiC ceramic 모재의 열팽창계수 값이 증가하여, coating층(TiC : $7.4 \times 10^{-6}/K$)의 열팽창계수값에 근접할수록, coating층과 substrate간의 열팽창 차이로 기인된 열적 응력 값을 줄일 수 있다. 이것은 hard coating에서 가장 중요시되는 adhesion에 상당한 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다.

이와같은 특성을 갖는 Si_3N_4 -TiC ceramic tool은 주철을 절삭할 때 높은 절삭 속도에 사용 가능하며, 이로 인하여 높은 생산성을 나타낸다. 반면에 Si_3N_4 -TiC의 경도로 주철보다도 강한 재료를 절

삭하기에는 경도가 약해서 flank wear가 발생하기 쉬우므로 경도가 우수한 coating층(TiC, Al_2O_3)을 입혀 표면경도를 증가시켜야 한다[5]. 또한 steel을 절삭할 때 피삭재 내에 존재하는 Fe, Mn 등과 Si_3N_4 가 반응하여 심한 crater wear를 나타낸다. 그러므로 이를 방지하기 위해 Fe, Mn과 반응성이 적은 coating층(TiN, TiC)을 입혀 crater wear를 방지하여야 한다. 이렇게 화학증착법에 의해 Si_3N_4 -TiC ceramic위에 hard coating층을 입힘으로써 주철이외에 steel까지 사용범위를 넓힐 수 있다.

(2) TiC와 TiN coating층의 미세구조 및 기계적 성질

증착변수에 따른 증착층의 미세구조, 화학적 조성, 기계적 성질등의 변화를 관찰하여, 증착층의 가장 바람직한 미세구조 및 기계적 성질 등을 나타낼 때의 증착조건을 잡는 것은 매우 중요하다.

탄화물과 질화물의 비금속/금속비를 변화시킴으로써 밀도, 격자상수, 색, 경도 및 파괴응력 등과 같은 성질들을 조절하여 가장 바람직한 물리적, 기계적 성질들을 얻을 수 있다. Stoichiometry 조성일 때 TiC 및 TiN coating층이 우수한 기계적 성질을 가지므로[6], stoichiometry조성이 나타낼 때의 구간을 증착조건으로 선정하는 것이 바람직하다. TiC coating층의 경우, AES 성분분석에 의해 $M_{C/Ti}$ (mole ratio of CH_4 to $TiCl_4$ in the input) 값이 1.15에서 1.61 범위에 있을 때 stoichiometric TiC coating층이 얻어졌다[3]. 이 때에 미세구조는 Fig. 1(a)에서 관찰되듯이 equiaxed 구조를 나타냈으며, XRD 분석결과에 의하면 random orientation을 나타내었다[3]. 반면에 TiN coating층의 경우에는 AES 분석결과에 의하면 $M_{N/Ti}$ (mole ratio of N_2 to $TiCl_4$ in the input) 값이 24.5에서 27.3 범위에 있을 때 stoichiometric TiN coating층이 얻어졌다. 이 경우에는 TiC coating층의 미세구조와는 달리 Fig. 1(b)에서 볼수 있듯이 columnar구조를 이루고 있으며 XRD 분석에 의하면 (220) preferred orientation(우선방위)를 나타내고 있었다[3]. Coating층의 비금속/금속비의 변화에 따른 coating 층의 미소경도를 알아보면, Fig. 2에서 관찰되듯이, TiC 및 TiN coating층의 미소경도는 각각 stoichiometry 조성에서 최대 경도값을 나타냈으며, TiC coating층의 경우에는 $2650kg/mm^2$ 이며 TiN coating층의 경우에는 $1700kg/mm^2$ 의 미소경도값을 나타내었다.

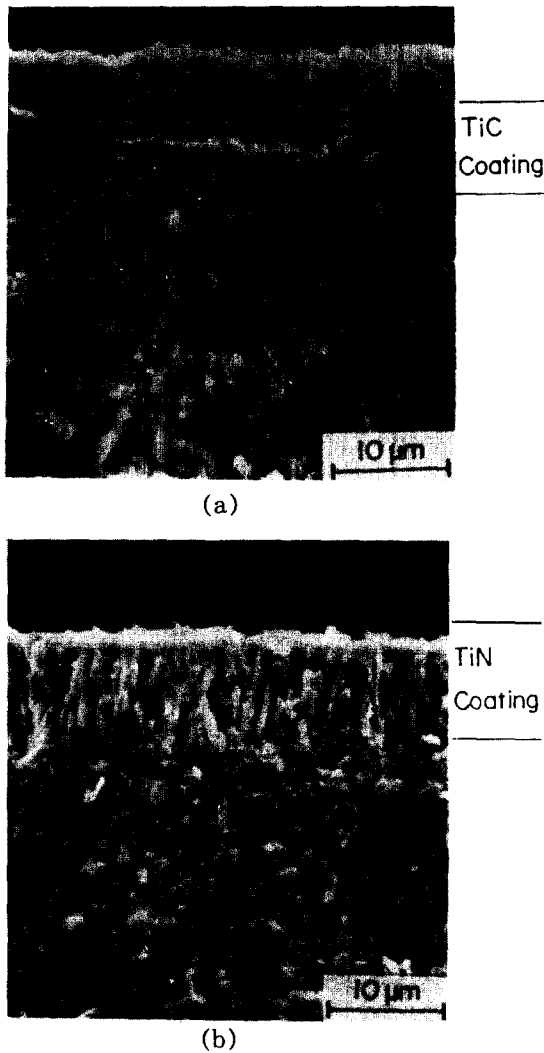


Fig. 1 Typical electron micrographs of fracture surface of TiC and TiN coating (a) TiC coating, (b) TiN coating.

Hard coating에서 adhesion은 substrate와 coating층 사이의 열팽창차에 기인한 열적응력에 의해 심한 영향을 받기 때문에 adhesion을 좋게 하기 위해서는 열적응력을 줄여야한다. 이같은 열적응력의 biaxial type을 고려하여 coating층의 표면이 받는 최대응력[7]을 구하여 보면 Si₃N₄-TiC ceramic에 증착된 TiC의 경우에는 1070 MPa정도이며 TiN의 경우에는 1300MPa로 산출되었다 [3]. 이와같은 열적응력차가 서로 다른 열충격저항을 나타내는데 열충격저항을 냉각속도에 따른

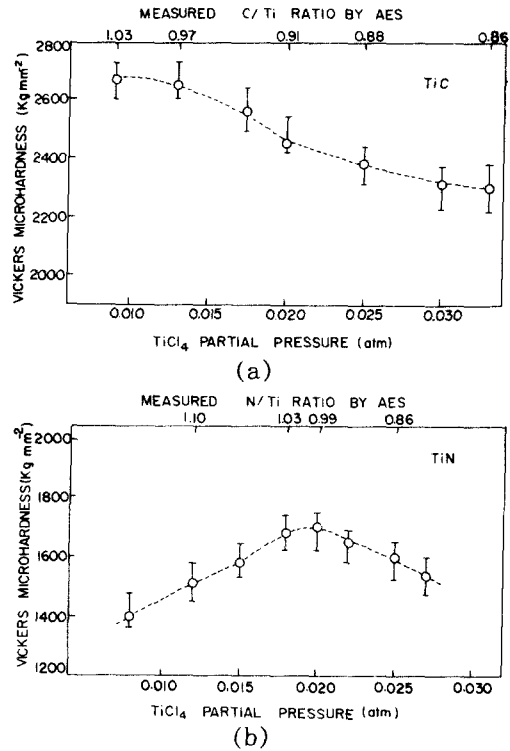


Fig. 2 Variation of Vickers microhardness as a function TiCl₄ partial pressure : (a) TiC deposition (total flow rate : 1700cc/min, T_{dep} : 1373K, P_{CH₄} : 0.015atm), (b) TiN deposition (total flow rate : 1700cc/min, T_{dep} : 1348K, P_{N₂} : 0.49atm).

thermal crack의 정도로써 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 알수 있듯이, TiC coated cemented carbide, TiN coated cemented carbide, TiC coated Si₃N₄-TiC ceramic에서는 비교적 표면 crack을 나타내지 않았으나 TiN coated Si₃N₄-TiC ceramic에서는 267K/hour이상의 냉각속도에서 비교적 심한 surface crack을 나타내었다. 이와같은 열적으로 기인된 표면 crack이 coated tool에서 failure를 조장하는 역할을 하므로[8], 되도록 표면 crack을 방지하여야 한다. 따라서 TiN coated Si₃N₄-TiC ceramic에서는 surface crack를 줄이기 위해 133K/hour이하로 냉각시켜야 한다. 또한 substrate(열팽창계수 : 4.0 × 10⁻⁶/K)와 TiN coating층(열팽창계수 : 9.2 × 10⁻⁶/K)사이에 열팽창계수가 중간되는 intermediate layer TiC(열팽창계수 : 7.4 × 10⁻⁶/K) 혹은 Ti(C,N)을 증착시킴으로써 열적으로 기인한 surface crack을 방지할 수 있다. 즉 이

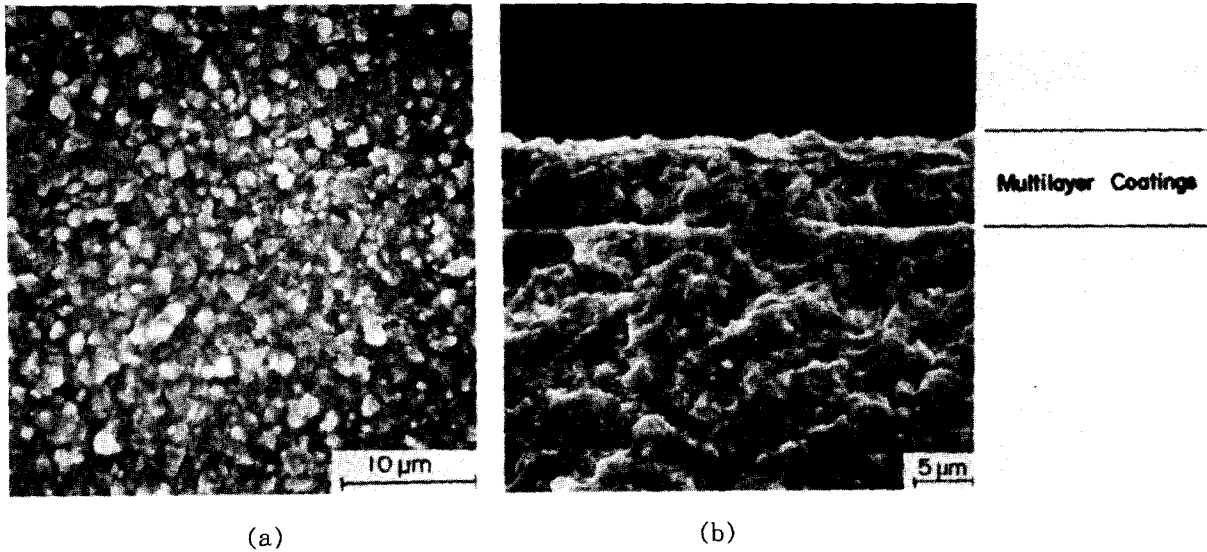


Fig. 3 Typical scanning electron micrographs of the surface morphology and fractured surface of TiC/Ti(C,N)/TiN coating : (a) surface morphology, (b) fractured surface.

와같은 multilayer coating을 함으로써 열적 gradient에 기인한 열충격저항을 증진시킬 수 있다.

공구와 피삭재(steel)간의 마찰계수를 LFW-1 마모시험장치를 사용하여 구하여 보면 dry condition하에서 Si_3N_4 -TiC는 0.58이며 TiC coating 층은 0.44이며 TiN coating층은 0.33으로 산출되었으며 이와 같은 마찰계수차가 마모에 상당한 영향을 미치는 것을 보고되었다[9]. 즉, 마찰계수가 증가하므로써 심한 마찰열이 발생하는데 이것은 재료의 표면경도를 낮출뿐 아니라, 피삭재와 공구 사이의 성분원소들의 확산을 촉진시켜 adhesive 및 diffusion wear를 일으킨다. 그러므로 마모를 줄이기 위해 피삭재와 마찰계수가 적은 공구를 선택하는 것은 중요하다.

지금까지 연구한 TiC 및 TiN coating층에서 얻을 수 있는 각각의 우수한 성질들을 복합시키기 위해 Si_3N_4 -TiC ceramic표면에 multilayer coating [TiC/Ti(C,N)/TiN]을 함으로써, monolayer coating보다 더욱 우수한 내마모성을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

Multilayer coating층의 미세구조를 알아보기 위해 주사전자 현미경 사진을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 관찰되듯이, coating층들 전부가 equiaxed조직을 이루고 있음을 알 수 있다. 또한

multilayer coating층의 화학적 성분 및 조성을 분석하기 위해 AES에 의해 depth profile결과를 Fig. 4에 나타내었다. AES분석 결과에 의해 알 수 있듯이, Si_3N_4 -TiC ceramic substrate위에 TiC, Ti(C,N), TiN coating층들이 존재함을 알 수 있으며, coating층/coating층 및 coating층/substrate사이에 성분원소의 interdiffusion에 의한 interface를 확인할 수 있었다. TiC coating층 및 TiN coating층들을 조성분석하여 본 결과에 의하면 각각의 coating층들이 거의 stoichiometric compound를 이루고 있음을 알 수 있었다[3].

(3) Multi-coated Si_3N_4 -TiC ceramic tool의

마모특성.

실제로 절삭시험을 통하여 Si_3N_4 -TiC insert와 coated insert간에 내마모성을 비교하여, coating층의 효과를 고찰하여 보기로 하자.

우선 주철을 절삭할 때 내마모성에 대하여 알아보면 다음과 같다. 상대적인 내마모성을 측정하기 위해 절삭시험 조건을 다음과 같이 일정하게 하였다.

Work material : FC35 type cast iron

(3.1wt.%C, 0.7wt.%Si, 0.75wt.%Mn, 0.17wt.%P, 0.08wt.%S)

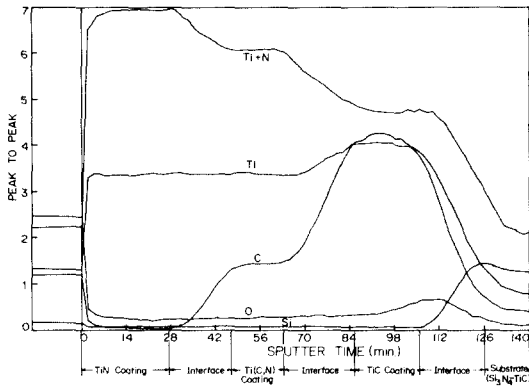


Fig. 4 AES sputter depth profiles of TiC/Ti(C,N)/TiN coatings on Si₃N₄-TiC ceramics.

Cutting speed : 350m/min
 Feed rate : 0.2mm/rev
 Depth of cut : 1.5mm
 Cutting fluid : Dry

주철을 5분동안 절삭할 때 crater wear의 경우 uncoated insert의 maximum crater depth(K_T)가 0.029mm이며 coated insert의 경우에는 0.020-0.023mm(K_T)정도로 나타났다. 또한 flank wear의 경우 coated insert의 내마모성이 uncoated insert (Si₃N₄-TiC ceramic)에 비해 1.5배 정도 우수하였으며 이에 대한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 위의 결과로 부터 주철을 절삭할 때에는 crater wear가 거의 발생하지 않으며 flank wear가 주된 마모기구임을 알 수 있다. 이와 같이 crater wear가 아주 적게 발생하는 이유는 주철과 같은 취약한 재료가 피삭재로 사용될 때는 chip의 형태가 crack type으로 발생하여 crater면에 피삭재의 성분 원소인 Fe, Mn들이 부착되기 어려워져서, adhesive나 diffusion wear가 일어나지 않기 때문인 것으로 생각된다. 또한 S.T. Buljan등[10]은 Si₃N₄-TiC세라믹과 주철간에는 거의 화학적 반응이 발생하지 않기 때문에 crater wear가 적게 일어난다고 보고하였다.

다음에는 steel을 절삭할 때 발생하는 마모에 관해 알아보기로 하자. 이 경우의 절삭시험조건은 다음과 같다.

Work material : SM48C steel
 (0.5wt.%C, 0.24wt.%Si, 0.84wt.%Mn, 0.11wt.%Cr, 0.18wt.%P)

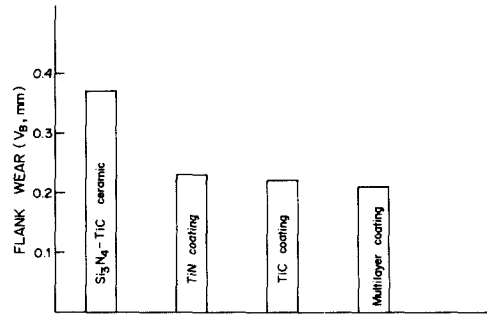


Fig. 5 Comparison of flank wear for Si₃N₄-TiC ceramic, Si₃N₄-TiC/TiC, Si₃N₄-TiC/TiN, and Si₃N₄-TiC/multilayer coating.

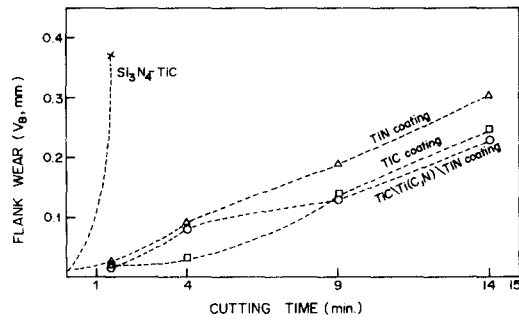


Fig. 6 Average flank wear with time for different tools (cutting speed : 250m/min, feed rate : 0.3mm/rev, depth of cut : 1.55mm, work material : SM48C, cutting fluid : dry).

Cutting speed : 250m/min
 Feed rate : 0.3mm/rev
 Depth of cut : 1.5mm
 Cutting fluid : Dry

Fig. 6에는 Si₃N₄-TiC 및 coated ceramic들이 steel을 절삭할 때 나타나는 flank wear거동을 절삭시간에 따라 나타내었다. 실험결과에서 관찰되듯이 Si₃N₄-TiC ceramic에 비해 TiN coated insert의 경우 내마모성이 약 9배 정도 증가하였으며, TiC 및 multilayer coated insert의 경우에는 내마모성이 약 12배 정도 증가하였다.

이와같이 coated insert의 경우 uncoated insert에 비해 내마모성이 증가하는 이유에 대해 고찰하여 보기로 하자. Flank wear는 주로 abrasive wear와 diffusion wear에 의해 발생되는데[11], TiC coated ceramic의 경우, TiC층의 표면경도

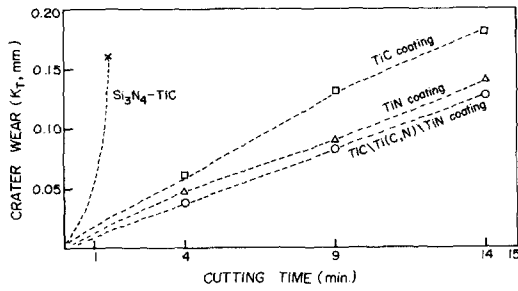


Fig. 7 Crater wear with time for different tools(cutting speed : 250m/min, feed rate : 0.3mm/rev, depth of cut : 1.5mm, work material : SM48C, cutting fluid : dry).

(2650kg/mm²)가 Si₃N₄-TiC 표면경도(1500kg/mm²)보다 훨씬 크기 때문에 abrasive wear가 매우 적게 발생하며, 또한 steel/TiC coating층의 마찰계수(0.44)가 steel/Si₃N₄-TiC의 마찰계수(0.58)보다 적으므로 마찰열이 덜 발생하여 diffusion wear도 발생한다. 따라서 TiC coated ceramic의 경우에는 Si₃N₄-TiC ceramic에 비해 flank wear가 덜 발생하게 된다.

TiN coated ceramic의 경우에는, steel/TiN층의 마찰계수(0.33)가 steel/Si₃N₄-TiC의 마찰계수에 비해 훨씬 적으므로 마찰열에 의한 diffusion wear가 적게 발생하며, 또한 thermal softening도 덜 발생하여 TiN층의 고온경도가 Si₃N₄-TiC의 고온경도보다 크게 되므로 abrasive wear가 덜 발생한다. 따라서 TiN coated ceramic의 경우에는 Si₃N₄-TiC ceramic에 비해 flank wear가 덜 발생한다.

Fig. 7에는 steel을 절삭할 때 나타나는 crater wear거동을 절삭시간에 따라 나타내었다. Si₃N₄-TiC ceramic에 비해, TiC coated ceramic의 내마모성이 약 8배 정도 증가 하였으며, TiN 및 multi-layer coated ceramic의 경우에는 약 12배 정도 내마모성이 증가하였다. Crater wear는 adhesive와 diffusion wear에 의해 주로 발생된다[11]. 따라서 steel과 insert와의 마찰계수 및 Fe와의 반응성 정도가 crater wear에 가장 큰 영향을 미친다.

Si₃N₄-TiC ceramic에서 crater wear가 심하게 나타나는 이유는 steel을 절삭할 때 steel내에 존재하는 Fe, Mn등과 같은 원소들이 공구의 crater face에 부착되어 심한 adhesive wear를 발생시키며, 또한 피삭재와의 마찰계수차가 크므로 마찰열

에 의해 diffusion wear가 발생하기 때문이다. 실제로 절삭시험후 공구의 crater면에 존재하는 성분원소들을 확인하기 위해 ESCA 분석을 하였다. Si₃N₄-TiC ceramic의 경우는 1분 30초 절삭후에, coating층들은 9분 절삭후에 나타난 표면상태의 ESCA spectrum을 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8 (a)와 (b)의 경우에는 X-ray source로 Mg을 사용하여 Mn2P(652eV) peak와 Fe(A) (659eV)

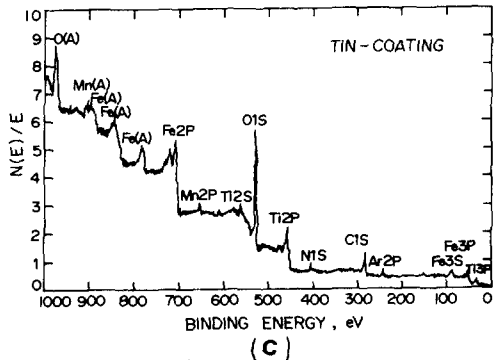
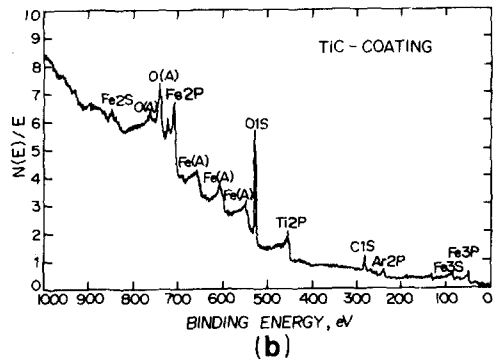
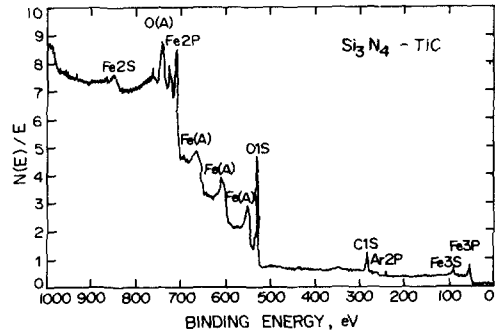
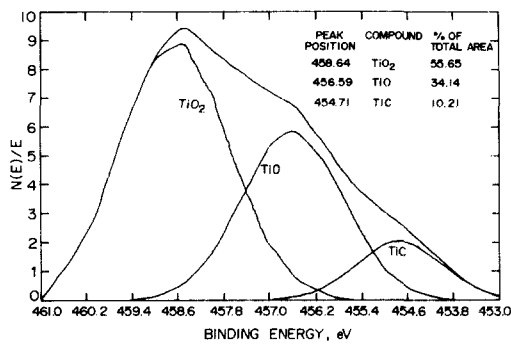
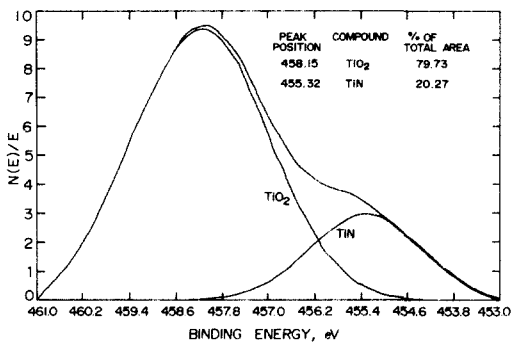


Fig. 8 ESCA spectrum of Si₃N₄-TiC, TiC coating, and TiN coating after cutting (a)Si₃N₄-TiC, (b)TiC coating, (c)TiN coating.



(a)



(b)

Fig. 9 ESCA specturm of the 2P peak of TiC and TiN coating after sputter cleaning (a)TiC coating, (b) TiN coating.

peak가 증첩되기 때문에 Mn원소의 존재를 확인하기 어려웠으나, Al X-ray source를 사용한 Fig. 8(C)에서는 Mn2P와 Fe(A) peak가 증첩되지 않아서 Mn원소의 존재를 확인할 수 있었다. 따라서 steel내에 존재하는 Fe 및 Mn 원소들이 crater wear를 촉진시키는 원소임을 알 수 있었다. 또한 Fig. 8을 자세히 관찰하여 산화물 존재를 확인하면 Si₃N₄-TiC ceramic insert의 경우에는 Fe₂O₃의 산화물만이 존재하였으나, coated insert의 경우에는 Fe₂O₃ 이외에 titanium oxide층이 존재함을 알 수 있었다. 이와같은 현상을 확인하기 위해 절삭 후 coated insert에 대한 Ti2P peak의 ESCA spectrum을 narrow scanning하여 Fig. 9에 나타내었다. TiC coating의 경우에는 Fig. 9(a)에서 관찰되듯이 Ti 화합물은 TiO₂, TiO 및 TiC형태로 존재하였으며, TiN coating의 경우에는 Fig. 9(b)에서 알 수 있듯이 TiO₂와 TiN의 Ti화합물이 존재함을 확인할 수 있었다. 결국, coated insert의 경우에는 TiC 및 TiN coating층 이외에 titanium oxide층은

TiC 및 TiN coating층과 함께 존재하여 고온에서 고체 윤활제 역할을 하며, 또한 피삭재내의 Fe원소가 insert내로 확산하지 못하도록 diffusion barrier 역할을한다고 보고 되었다[9]. 따라서 diffusion이나 adhesive wear가 발생하지 않도록 억제하여 주는 역할을 한다. 즉, coated insert의 경우가 uncoated insert에 비해 crater wear가 덜 발생하는 이유는 TiC 및 TiN coating층들이 Si₃N₄-TiC ceramic에 비해 steel과의 마찰계수 및 Fe와의 용해도가 적으며, 절삭할 때 TiO₂층이 각각의 coating층과 함께 존재하여 윤활제 및 diffusion barrier역할을 하기 때문이다.

마지막으로 monolayer coating층과 multilayer coating층 간에 내마모성을 비교 분석하여 보면 다음과 같다. 실제로 절삭작업을 할때 flank 및 crater wear가 동시에 발생하며, 이중 심하게 일어나는 마모에 의해 공구수명이 감소된다. Fig. 6과 Fig. 7에서 관찰한 바에 의하면, TiN coating층은 flank wear에 의해, TiC coating층은 crater wear에 의해 우선적으로 마모되어 공구수명이 단축된다. 그러나 multilayer coating [TiC/Ti(C,N)/TiN]층의 경우에는 flank wear는 TiC coating층에 의해 crater wear는 TiN coating층에 의해 마모가 억제되기 때문에 monolayer coating층에서와 같이 우선적인 마모에 의해 공구가 파손되지 않는다. 즉, multilayer coating층의 경우에는 각 monolayer coating층들의 우수한 내마모성 특성이 복합되기 때문에 monolayer coating층에 비해 더 우수한 내마모성을 갖는다. 이와같이 화학증착법에 의한 hard coating은 ceramic tool표면의 기계적 성질을 개선시킬수 있는 바람직한 표면처리 기술로 생각된다.

4. 결 론

1. Si₃N₄-TiC ceramic에 증착된 TiC층이 TiN층에 비해 미소경도 열충격저항, 미세구조가 우수한 반면에, TiN층은 TiC층에 비해 steel과의 마찰계수가 적고, chemical stability가 우수하였다.
2. Steel을 절삭할 때, flank wear resistance가 uncoated ceramic에 비해, TiC coated insert의 경우에는 약 12배 정도 증가하였으며, TiN coated insert의 경우에는 약 9배 정도 증가 하였다. 또한 crater wear resistance는 uncoated ceramic에 비해 TiN coated insert의 경우 약 12배 정도 증가하였으며, TiC coated insert의 경

우 약 8배 정도 증가 하였다.

3. Coated insert의 경우 내마모성이 uncoated insert에 비해 증가하는 이유는 경도가 크며, steel과의 마찰계수 및 용해도가 낮으며, TiO₂ 층이 coating층과 함께 존재하여 고체윤활제 및 diffusion barrier로 작용하기 때문이다.
4. Multilayer coated insert의 경우, monolayer insert보다 더욱 우수한 내마모특성을 나타내는데 그 이유는 각 monolayer층의 우수한 내마모성 특성이 복합되어 나타나기 때문이다.

참 고 문 헌

- 1) M.Fukuhara, K.Fukazawa, and A.Fukawa, *Wear*, 102, 195(1985).
- 2) G.J.Tennenhouse, A.Ezis, and F.D.Runkle, *J. Am. Ceram. Soc.*, 68, C30 - C31(1985).
- 3) D.W.Kim, Y.J.Park, J.G.Lee, and J.S.Chun, *Thin Solid Films*, 165, 149(1988).
- 4) T.I.Mah, M.G.Mendiratta, and H.A.Lipsitt, *Ceramic Bulletin*, 60, 1229(1980).
- 5) C.J.Kang, D.W.Kim, C.O.Park, and J.S.Chun, *Materials and Manufacturing Processes*, 5, 63 (1990).
- 6) L.E.Toth, "Transition Metal Carbides and Nitrides", Academic Press, New York and London, pp.178(1971).
- 7) B.M.Kramerm, *Thin Solid Films*, 108, 117 (1983).
- 8) M.Lee and M.H.Richman, *Metals Technology*, 538(1974).
- 9) R.F.Bunshah, *Thin Solid Films*, 107, 21 (1983).
- 10) S.T. Buljan and V.K.Sarin, "Design and wear resistance of silicon nitride based composites", 2nd Int. Conf. Science. Hard Materials, New York, pp. 873(1983).
- 11) J.P.Chubb and J.Billingham, *Wear*, 61, 283 (1980).