

B-C-N계 초경질 박막 합성기술 현황

김종국, 변응선 | 한국기계연구원

1. 머리말

최근 들어 환경·에너지 기술에 관한 관심이 고조되고 있는데, 이의 정의를 간단히 서술하면 다음과 같다. 환경부하를 최소화하는 재료개발에 관련된 기술로부터 폐기물의 처리 및 재자원화하는 기술을 총칭하여 환경재료기술이라고 한다. 또한 새로운 청정 에너지원의 개발이나 기존 에너지원의 소비를 최소화하는데 관련된 재료기술을 에너지재료기술이라고 부른다.

지난 세기, 인류는 고도의 산업화 사회를 이룩함으로써 각종 문명의 이기를 누리게 되었지만 그 부작용으로 환경문제가 인류의 생존 자체를 위협하게 되는 상황에 직면하게 되었다. 21 세기는 경제적으로 성장으로부터 삶의 질 향상에 주력하게 될 것이며, 이는 환경문제를 해결하는 것이 최우선 과제인 것으로 받아들여지고 있다.

이 글에서는 인류의 삶의 질 향상과 관련하여 환경·에너지 재료 기술 분야 중에서 신개념의 에너지 재료 기술로서, tribology 특성 혁신을 통한 기계산업의 에너지 투입을 근본적으로 절감하고자 하는 B-C-N계 초경질 박막재료 기술개발의 개요 및 이의 연구개발 현황을 간략히 설명하고자 한다.

기계공업의 근간을 이루는 핵심기계 부품들은 모두 접촉, 지지 등의 상대운동을 하면서 상호작용을 하기 때문에 부품 표면에 다양한 형태의 손실이 발생하는데, 영국의 JOST보고서에 의하면 마찰, 마모상태를 개선함에 따라 영국 국가예산의 10%가 절약이 가능하다고 추산한 바 있다. 또 미국의 DOE의 조사보고서에 의하면 미국의 총에너지 소비량의 53%를 절감할 수 있으며 이 분야의 R&D비용에 대비한 에너지 절감비용은 약 62배에 달하는 것으로 평가하고 있다. 독일의 경우 연구기술성에서 8개 분야의 tribology project비용으로 0.8억 마르크를 추정하고 이의 경제적 효과로 62.5억 마르크에 상당하는 에너지를 절감할 수 있다고 분석한 바 있다.¹⁾ 그러므로 마모억제 기술은 보수유지, 파손에 의한 비용절감, 수명증대에 의한 투자비 절약, 손실 감소에 의한 에너지 절감, 가동율·효율향상, 인건비 및 각종비용의 절감과 아울러 자원을 절약할 수 있는 획기적인 기술 분야임은 재론의 여지가 없다. 그러나 윤활이나 재료선택만으로 획기적인 개선을 기대할 수 없으므로, 다른 대안으로서 표면처리 또는 코팅을 통한 특성향상을 추구하고 있으며, 이는 경제적인 측면에서도 우위성을 가지고 있다.

먼저, 이 글에서 중점적으로 설명하고자 하는 B-C-N계 박막기술의 배경에 대해 간략히 설명하면 다음과 같다. B-C-N계 재료란 탄소를 중심으로 주변원소인 붕소, 질소를 조합한 재료를 말하며, 이들의 결

합형태 여하에 따라 같은 원소로부터 다른 수많은 뛰어난 기능 구현이 가능하다. 즉, BN, CxNy, B-C-N 등의 열역학적 평형 또는 비평형상들의 합성은 구성원소 및 전자결합상태의 하이브리드성으로 인해 혁신적인 새로운 기능을 이끌어내는 점에 특징이 있어 기술선진국들이 연구·개발에 몰두하고 있는 분야로서, 21세기 신소재 개발 경쟁의 우위를 결정할 수 있는 중요한 분야로 알려져 있다. 바꾸어 말하면, B-C-N계 물질의 대부분은 전기적, 기계적 및 화학적 특성이 극한값 및 그와 유사한 값을 가지고 있어, 이를 산업적으로 응용할 경우, 고경도·저마찰 tribo-material, 고출력·고온용 반도체 소자 등 그 파급효과는 매우 크다는 것을 의미한다. 따라서 현재 이의 박막합성 및 응용에 관한 활발한 연구가 진행되고 있으나, 현재까지 일부 실용화 되었거나 실용화에 근접한 것은 다이아몬드와 DLC (Diamond Like Carbon) 박막 정도이다. 하지만 이들 박막은 카바이드 형성원소인 Fe, Co 등에 의해 쉽게 분해 되어버리므로 비철계 금속의 가공에 한정되어 있다. Zinc blended 결정구조를 가지고 있는 cubic boron nitride (cBN)의 경우 실험실 규모로는 많은 합성연구 결과가 발표되고 있으나,²⁾ 실용화를 위해서는 밀착력, 박리 등의 문제가 선결되어야 한다. 이외에 β -C₃N₄, BC₂N, BCN 등의 초경질 박막이 이론적 계산에 의해 예측되었으나,³⁴⁾ 아직까지 합성결과가 보고 되고 있지 않다. 이는 열역학적으로 평형상이 아닌 비평형상들을 합성하는데 있어 기존의 합성공정으로는 충분치 않음을 의미하는 것이다.

따라서 최근 기존공정의 한계를 극복하고 효율적인 비평형상의 합성을 위한 많은 연구가 진행되고 있는데, 그것은 새로운 공정의 개발을 통한 것이다. Laser ablation⁵⁶⁾, MBE, ion implantation, kinetic bonding method⁷⁾ 등이 그 예로서 대부분 입사이온의 에너지를 조절하는데 초점을 두고 있다. 일본의 경우 Frontier Carbon Technology (FCT) 프로그램에 의해 탄소나노튜브를 비롯해 B-C-N 박막합성 및 응용연구를 수행하고 있으며, 이 연구 프로그램은 탄소계 고기능 재료기술, 전기적 고기능 재료 개발, 기계적 고기능 재료 개발 등의 3대 분야로 구성되어 있다.⁸⁾ 국내의 경우 KIST에서 B-C-N계 막의 구조제어 연구, B-C-N 복합막 합성을 위한 PACVD 공정개발^{9,10)} 등의 연구를 수행한 바 있으나 실질적인 B-C-N 박막의 합성에는 근접하지 못하였다.

이 글에서는 그동안 한국기계연구원 재료기술연구소의 기본사업 연구비 지원으로 수행된 연구과제의 개요 및 이의 연구결과를 중심으로 B-C-N계 박막기술 연구현황에 대해 설명하고자한다.¹¹⁻¹³⁾

2. 연구과제의 개요

한국기계연구원은 국무총리실산하 산업기술연구회 (1999년 3월 설립, 산업기술 분야의 정부출연 연구기관-7개 소관연구기관 및 2개 부설연구기관)에 대한 과학기술 연구개발 관련 지원과 관리를 담당하는 국무총리실 산하기관) 소속의 정부출연 연구소로서, 1976년 발족한 이래 기계·재료관련 연구개발, 시험평가 및 기술지원을 종합적으로 수행함으로써 국가 과학기술은 물론 관련 산업계의 발전에 수많은 기여를 해 왔으며, 현재 대덕연구단지 내에 기계분야로 특화된 본원과 재료분야에 집중하는 창원의 재료기술연구소로 구성 운영되고 있다.

기본사업이란 출연연구기관의 고유기능 및 일류화·전문화를 위한 중·장기 발전계획에 따라 수행하

는 기관고유 영역의 사업으로서 정부의 과학기술 정책방향에 부합되고 타 연구주체의 연구개발과 중복 되지 않는 기관특화의 고유 연구개발 사업이다. B-C-N계 초경질 박막 합성기술 연구과제는 환경·에너지 재료기술 분야에 속하며, 다음과 같은 연구목표를 가지고 2000년부터 3개년간 진행되었다.

최종연구목표는 tribology 특성혁신을 위한 B-C-N 초경질 박막재료를 개발하는 것으로서 경도 50 GPa 이상, 밀착력(L_c) 40 N 이상, 그리고 마찰계수 0.15 이하의 B-C-N 박막합성 공정을 개발하고, 이를 기존 공구와 절삭성능 비교를 통해 실용화 기초자료를 확보하는 것을 그 연구내용으로 하고 있다.

3. 연구개발 수행 내용 및 결과

3.1 Dual Cs 이온 스퍼터링 장치

B-C-N 박막을 합성하기 위하여 그림 1과 같은 Cs 이온 스퍼터링 장치를 사용하였다. 그림에서 보는 바와 같이 Cs 이온 증착장치는 크게 진공용기부, 배기부, 가스공급부, 스퍼터 장치 및 전원공급부, 시편 이송 및 가열부로 구성되어 있다. 진공용기부는 공정용 메인 진공용기와 시편 이송용 load-lock 진공용기 및 게이트 밸브로 구성되어 있다. 공정에 사용되는 가스는 Ar, N₂ 가스 및 Cs 증기이며 각각의 기체량은 유량조절기(MFC)로 조절된다. 특히 상온에서 고체인 Cs은 약 70 °C 이상에서 기화되므로 Cs 용기와 가스 공급라인을 모두 외부 열선을 이용하여 140 °C로 가열할 수 있도록 하였고, 미세 leak 밸브를 라인 중간에 설치하여 공급량을 조절할 수 있도록 하였다. 보론과 탄소 공급원으로 각각 2 kW 용량의 RF. 카본 스퍼터와 보론 스퍼터 건을 장착하였다. 타겟에는 직경 2인치 크기의 고순도 보론 및 탄소(99.99%, 일본 고순도화학)를 사용하였다. 시편은 최대 2인치 크기를 장착할 수 있으며, 마그넷 바를 이용, load-lock 진공용기에서 공정용 메인 진공용기내로 이송된 후, 10~300 rpm의 속도로 회전 가능하도록 제작되었다.

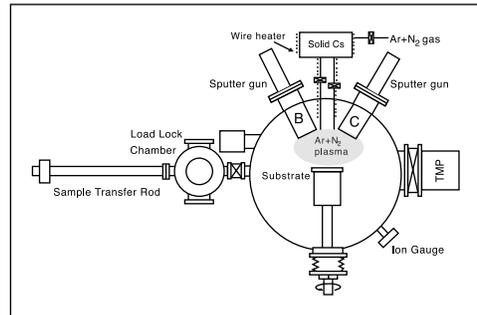


그림 1. Cs 이온 스퍼터링 장치의 개략도

3.2 B-C-N 박막의 합성

B-C-N 박막은 초기 진공도 5×10^{-6} torr, 동작 진공도 5×10^{-3} torr에서 증착하였다. 기관은 기계적 특성 및 트라이볼로지 특성 평가를 위해 2인치 크기의 Si 웨이퍼(100방향)를 사용하였고, 스퍼터 타겟으로부터 50 mm 떨어진 위치에 장착하였다. B-C-N 박막의 제작 조건은 표 1에 나타내었다. 시편장입 및 플라즈마 세정이 끝난 후, 먼저 고상의 Cs을 증발시키기 위하여 Cs 용기를 외부에 설치된 히터를 이용하여 140 °C로 가열하여 기화시킨 다음, 이송가스인 Ar 가스를 15 sccm 흘려가며 반응기내로 도입시켰다. 동시에 반응가스인 N₂를 15 sccm 반응기내로 유입시키고, 각각의 실험조건에 의해 탄소 및 보론 타겟에 RF. 파워를 인가하여 플라즈마를 발생시켰다. 이때의 공정압력은 5×10^{-3} torr가 되도록 배기라인에 설치된 버터플

라이 밸브를 이용하여 조절하였다.

표 1. B-C-N 박막의 합성조건

Substrate	2 in Si wafer (100)
Boron source	99.9 % boron target
Carbon source	99.99 % graphite target
Nitrogen source	N ₂ , 10 sccm
Cesium source	99.9 % solid Cs, 140 °C
Carrier gas	Ar, 50 sccm
Boron sputter gun power (R.F.)	50 - 250 W
Carbon sputter gun voltage (R.F.)	30 - 240 W
Substrate temperature	Room temperature
Working pressure	5x10 ⁻³ torr

3.3 B-C-N 박막의 기계적 특성

B-C-N 박막의 기계적 특성에 미치는 공정인자의 영향을 상세히 조사하기 위하여, 공정압력을 5×10⁻³ torr, 기판온도를 상온으로 고정시킨 상태에서 탄소와 보론의 스퍼터 파워만을 각각 별도로 변화시키며 박막을 합성하고 그 기계적 특성을 상호 비교하였다.

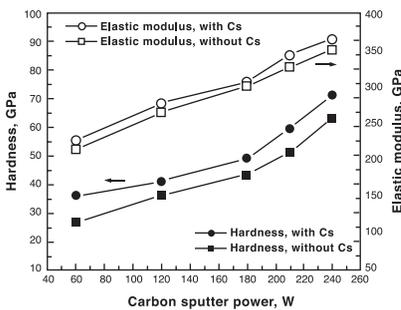


그림 2. B-C-N 박막의 경도에 미치는 탄소 스퍼터 파워의 영향

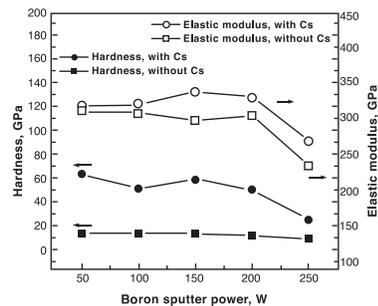


그림 3. B-C-N 박막의 경도에 미치는 보론 스퍼터 파워의 영향

그림 2는 보론 스퍼터 파워를 150 W로 일정하게 하고 탄소 파워를 30에서 240 W까지 변화시켜 제작한 박막의 경도 및 탄성계수이다. 탄소 스퍼터 파워의 증가에 따라 경도의 경우 35 GPa에서 71 GPa까지 그리고 탄성계수의 경우 226 GPa에서 363 GPa 까지 직선적으로 증가하였다. 한편 스퍼터 과정에 Cs를 첨가하지 않은 박막의 경우, 전반적으로 Cs를 첨가한 박막에 비해 약 5~10 GPa 낮은 값을 보이고 있다. 하지만 Cs를 첨가하지 않은 경우 탄소 스퍼터 파워가 120 W에서, 그리고 Cs를 첨가한 경우는 180 W 이상에서 경도가 40 GPa 이상의 초경질 박막의 합성이 가능함을 알 수 있다.

그림 3은 탄소 스퍼터링 파워를 180 W로 일정하게 유지하고 보론 파워를 각각 50, 100, 150, 200, 250 W로 변화시켜 제작한 B-C-N 박막의 경도 및 탄성계수 측정 결과이다. 탄소 파워의 경우와는 다르게 보론 스퍼터 파워의 증가에 따라 경도 및 탄성계수는 감소하는 것을 볼 수 있다. Cs를 첨가하지 않은 박막의 경도는 64 GPa에서 26 GPa로 서서히 감소하였다. 한편 Cs를 첨가하지 않고 합성한 박막의 경도는 50 W에서 138 GPa, 250 W에서 106 GPa로 완만히 감소하였지만 그 감소폭은 크지 않았다. 그렇지만 탄소 스

퍼터 파워의 경우와 비교해서 보론 스퍼터 파워를 변화시켜 제작한 박막의 경우가 Cs을 첨가하지 않은 경우에 있어서 경도 저하폭이 대단히 큼을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 탄성계수에 있어서도 동일한 경향을 보이고 있다.

3.4 B-C-N 박막의 조성 및 결정성 분석결과

B-C-N 박막의 합성조건에 따른 조성 및 깊이 방향의 조성변화를 조사하기 위하여, 스퍼터링을 병용한 AES 분석을 행하였다. 분석 후에는 미리 측정된 상대 감도계수를 이용하여, 정량분석을 수행하였다. AES 분석결과를 요약하면, 표면부근을 제외하고는 박막중의 각 원소의 깊이 방향 분포는 거의 균일하였다. 스퍼터링 초기에 산소가 박막표면에 존재하는 것은 시료가 대기 중에 노출되었을 때 흡착된 수분과 오염에 의한 것으로 생각되며, 플라즈마 중에 첨가한 Cs은 극미량이거나 검출한계 이하로써, 박막 내에는 혼입되거나 다른 원소와 결합을 형성하지는 않은 것으로 판단된다. 기타 다른 합성조건으로 제작한 시료에 대해서도 동일한 분석을 수행하였으며, 보론을 기준으로 B-C-N 박막의 조성은, 탄소는 0.5~4.4 범위, 탄소는 0.9~1.2 범위였다. 한편 Cs을 첨가하지 않고 스퍼터하여 합성한 박막의 경우, 탄소의 조성비가 Cs을 첨가한 경우에 비해 낮았다. 본 연구에서 합성한 박막 중 경도 40 GPa 이상을 가지는 박막은 BC_{2.4-3.2}N 조성 범위에서 나타남을 알 수 있었다.

또한 B-C-N 박막의 합성조건에 따른 결정성을 조사한 결과, B-N 결합에 C가 첨가되어 나타나는 B-C-N 혼성 결합 및 sp³ C-N 결합이 주 결합 형태였다. 탄소 파워가 증가함에 따라, B-C-N 혼성 결합은 증가하였으며 이물퍼스화 되었다. 보론 파워가 증가함에 따라, B-C결합은 소멸하고, sp² B-N결합은 증가하였다.

앞 절의 기계적 특성과 결정성 분석결과를 연관지어 상호연관성을 고찰한 결과, 다음과 같이 정리할 수 있다. 박막의 경도 및 탄성계수는, 혼성 B-C-N 결합과 sp³ C-N 결합에 의해 형성되며, 탄소 스퍼터 파워의 증가에 따라, 혼성 B-C-N 결합이 촉진되어 증가하였으며, 보론 파워 증가에 따라, 혼성 B-C-N 결합 내에 B-N 결합 분율이 증가되어 감소하였다. Cs 이온은 B-C-N 결합의 무질서도를 증가시키는 역할을 하며 경도 및 탄성계수를 증가시켰다.

3.5 B-C-N 박막의 밀착력에 미치는 공정인자의 영향

합성된 B-C-N 박막의 밀착력을 측정하기 위해 통상 박막의 밀착력 측정에 많이 사용되고 있는 스크래치 시험법을 이용해 밀착력을 측정하였다. 모재는 WC-Co을 이용하였으며 최대하중 100 N까지 일정속도로 하중을 증가시키며 scratching한 결과를 그림 4에 나타내었다. 탄소파워가 50 W에서 250 W로 증가함에 따라 밀착력의 척도인 임계 하중은 약 10 N에서 45 N으로 크게 증가하였으며 이후에는 다소 감소하였다. 보론 파워의 경우도 마찬가지로 파워가 증가함에 따라 증가하였으나 그 증가폭은 탄소파워에

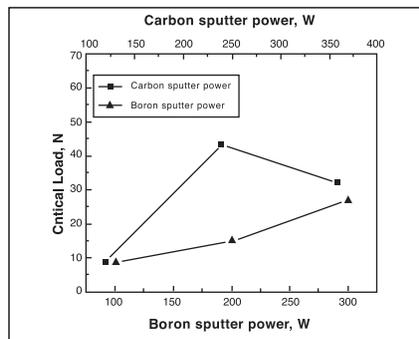


그림 4. 증착조건에 따른 BCN박막의 밀착력변화

비해 미약하였고 300 W까지 계속 증가하는 양상을 보였다. 본 실험 범위 내에서 탄소 파워 250 W, 보론 파워 300 W일 경우 가장 높은 밀착력을 얻을 수 있었다.

3.6 B-C-N 박막의 tribology

B-C-N박막을 연구하는 주된 목적중의 하나는 높은 경도, 낮은 마찰계수 및 마모계수를 가지는 박막을 합성하는데 있다. 최근, Micro Electro-Mechanical System(MEMs)의 능동소자, 고집적 자기 디스크, 저장매체 인터페이스 등 첨단 산업분야의 각종 기계 장치 등의 고성능화, 소형화를 목표로 한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 고성능화, 소형화가 진행 될수록 이의 미소한 마모나 마찰력의 변동은 매우 큰 문제를 야기 시키게 된다. 이와 같은 tribology needs에 적용하기 위한 B-C-N박막의 tribology 특성연구는 대단히 중요한 연구 분야임을 알 수 있다.

본 연구에서는 앞 절의 연구결과를 기초로 해서 B-C-N박막의 기계적 성질에 대해 주된 영향을 주는 스퍼터링 파워가 박막의 마찰계수에 미치는 영향을 조사하고, 박막의 결정성과 마찰계수와의 상관관계를 고찰하였다. B-C-N 박막의 tribology 시험에는 ball-on-disc type의 시험기를 이용하여, 시험하중 0.98 N, 회전 선속도 0.07 m/s의 조건하에서 30,000회까지 시험을 행하였다. 상대재료로는 직경 3 mm의 99.9 % 루비볼을 사용하여 상온의 실험실 분위기에서 시험하였다. 시험 중 시료와 상대재료인 루비볼 사이에 발생하는 마찰력을 A/D converter를 이용하여 연속적으로 컴퓨터에 기록하고, 이로부터 마찰계수를 계산하였다.

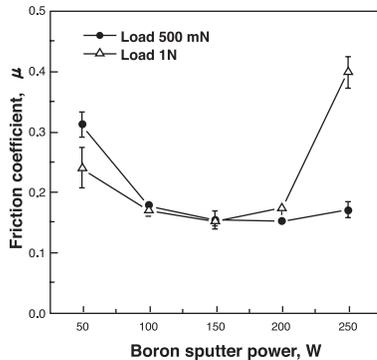


그림 5. 보론 스퍼터 파워 변화에 따른 B-C-N박막의 마찰계수 변화

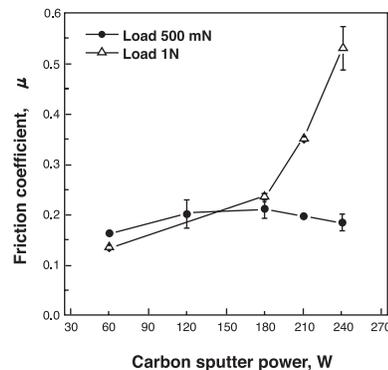


그림 6. 탄소 스퍼터 파워 변화에 따른 B-C-N박막의 마찰계수 변화

그림 5에 보론 스퍼터 파워 변화에 따른 B-C-N박막의 마찰계수 변화를 나타내었다. 마모하중 500mN 및 1 N 모두 파워의 증가에 따라 마찰계수는 서서히 감소하지만, 200 W 이상에서는 다소 증가하는 결과를 보여주고 있다. 이 증가경향은 500 mN의 경우는 그다지 크지 않았으나 1 N의 경우는 0.15~0.15 범위에서 0.39로 급격히 증가하였다. 또 낮은 보론 스퍼터 파워에서는 마모하중 1 N에서의 마찰계수가 500 mN에서의 마찰계수보다 낮은 값을 보였다. 하지만 스퍼터 파워의 증가에 따라 그 차이는 서서히 감소하여 150 W 이상에서는 유사한 값을 보였다. 그림 6은 탄소 스퍼터 파워를 달리하여 합성한 박막의 마찰계수 변화를 보여주고 있다. 마모하중 500 mN의 경우, 탄소 스퍼터 파워 60 W부터 180 W 범위에서는

파워의 증가에 따라 마찰계수는 증가하였으나, 그 이상에서는 감소하였다. 하지만 마모하중 1 N의 경우 스퍼터 파워 60 W부터 180 W 범위에서는 파워의 증가에 따라 마찰계수는 서서히 감소하는 경향을 보이다가 180 W 이상에서 급격히 증가하였다. 또 낮은 탄소 스퍼터 파워에서는 마모하중이 500 mN에서 1 N으로 증가함에 따라 마찰계수는 약 0.12로 감소하였지만 180 W 이상에서는 대단히 높은 마찰계수를 보이고 있다.

이상의 결과와 시험 후 마찰흔 관찰결과 및 앞 절의 기계적 특성과 결정성을 종합하여 고찰하면 다음과 같이 요약할 수 있다. B-C-N 박막의 트라이블로지 특성을 평가한 결과, 박막의 마찰계수는 0.13~0.15 범위였다. 탄소 스퍼터링 파워가 낮은 경우, 박막은 경도 약 35.9 GPa 정도로 낮기 때문에 연질상에 의한 윤활작용에 기인하여 약 0.13의 낮은 마찰계수를 나타내었다. 하지만 탄소 스퍼터 파워의 증가에 의해 혼성 B-C-N 결합의 형성이 촉진되고 이에 기인한 경도의 증가에 의해 상대적으로 경도가 낮은 루비 볼에서의 마모가 극심하게 일어나 약 0.5의 높은 마찰계수를 보였다. 보론 스퍼터링 파워에 의한 마찰계수 변화를 보면, 스퍼터링 파워가 낮은 경우 sp^3 C-N, 혼성 B-C-N 결합과 동시에 소량의 sp^3 B-N 또는 B-C 결합으로 구성되어 높은 경도를 갖게 되나, 파워의 증가에 의해 박막에 도달하는 보론의 양이 증가하게 된다. 따라서 보론 양이 증가하게 됨에 따라 sp^3 B-N 결합이 증가하게 되고 경도는 감소하게 된다. 따라서 이 연질상이 윤활제로서의 역할을 하기 때문에 마찰계수가 감소하는 것으로 판단된다. 또 스퍼터링 파워 200 W 이상에서는 더욱 연질상의 분율이 증가되므로 박막은 시험초기부터 완전히 마모되고 급격한 마찰계수의 상승을 초래하였다. 가장 마찰계수가 낮고 마모량이 적은 박막의 조성은 $BC_{2.1}N$ 이었다.

3.7 BN/BCN/ta-C 복합박막 및 다층박막의 절삭시험

최근 금속의 절삭이나 소성가공과 관련된 산업에서는 생산성 향상과 원가절감을 위하여 다양한 표면 처리 방법이 적용되고 있다. 이는 고품질의 박막을 물리적, 화학적 방법으로 공구나 금형 표면에 증착시켜 내마모성, 내식성 및 내열성을 향상시키는 것으로, 기존의 작업환경보다 훨씬 가혹한 절삭, 마모조건 하에서 고속 절삭가공이나 정밀 소성가공의 생산성을 향상시키는데 큰 기여를 하고 있다.

본 연구에서는 앞의 연구결과를 토대로 BN/BCN/ta-C 복합막 및 이의 다층박막을 볼엔드밀 상에 증착하였으며, 이의 절삭성능을 시험하였다. 절삭성능을 조사 연구하기 위해 사용된 절삭 시험기는 최대 회전속도 42,000인 고속가공기 (RFM760)를 사용하였으며, 절삭조건은 일반적으로 사용되고 있는 절삭조건과 동일한 조건으로 실시하였다. 시험에 사용된 볼엔드밀의 직경은 대구택(주)가 주로 생산하고 있는 $\varnothing 8$ mm의 SBE2080이었으며, 상용품과 절삭성능을 비교하기 위한 코팅층은 다음과 같이 세 가지를 선정하여 SBE2080위에 코팅하였다.

- 1) ta-C/TiC interlayer/WC-Co (DLC 코팅공구라 부름)
- 2) BN/BCN/ta-C/TiC interlayer/WC-Co (BCN 복합막이라 부름)
- 3) (BN/BCN/ta-C) 3층 반복/TiC interlayer/WC-Co (BCN 다층막이라 부름)

피삭재는 Al 6061 판재를 사용하였으며, 절삭조건은 절삭속도 140 m/min, 회전수 7136 rpm, Feed rate

1427, 이송량 0.2 mm/tooth, 피치 1.0 mm, 절입량 1.5 mm, 절삭 거리 33 m로 하였으며, 마이크로팅재, 코팅공구 모두 동일한 조건에서 시험을 수행하였다.

절삭시험 후의 공구 형상 관찰 결과 (그림 7), 인선부위의 마모가 코팅하지 않은 공구에 비해 현저히 감소함을 확인하였다. 인선부의 마모량은 비코팅공구 > BN/BCN/ta-C 복합막 > BN/BCN/ta-C 다층막 순이었다.

그림 8, 9는 마이크로팅 공구의, 그림 10, 11은 BN/BCN/ta-C 복합박막 코팅공구의 절삭후 공구 중심과 인선부의 마모 및 피삭재 용착상태를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 마이크로팅 공구는 공구 중심부의 마모와 피삭재의 용착이 심하게 일어난 반면, 복합박막 코팅공구는 이에 비해 마모가 거의 관찰되지 않았으며, 피삭재의 용착도 적게 일어났음을 알 수 있다. 이를 통해 본 연구에서 개발한 BN/BCN/ta-C 복합막의 공구에의 응용가능성을 확인 할 수 있었다.

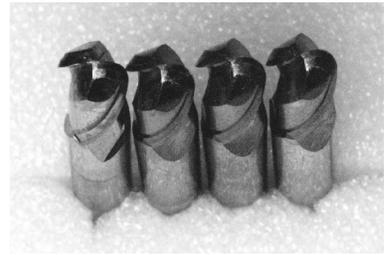


그림 7. 절삭시험후의 공구형상. 마이크로팅재, ta-C 코팅, BN/BCN/ta-C 복합박막 코팅, BN/BCN/ta-C 복합막의 3층 다층박막 코팅 공구 (좌에서 우로)

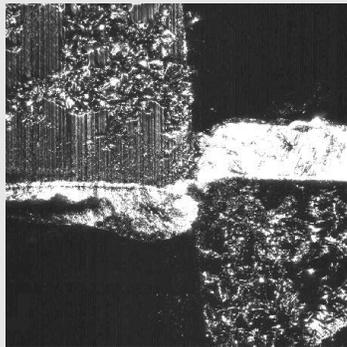


그림 8. 마이크로팅재 절삭후 공구중심

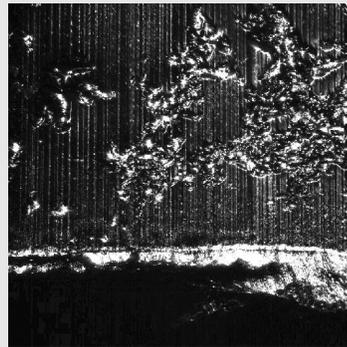


그림 9. 마이크로팅재 절삭후 인선부

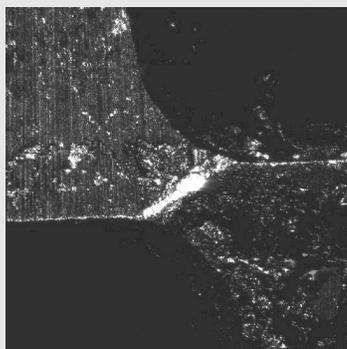


그림 10. 다층박막 공구의 절삭후 공구중심

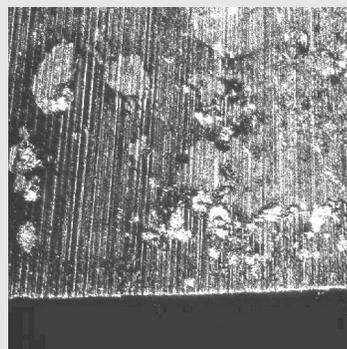


그림 11. 다층박막 공구의 절삭후 인선부

4. 결론

본 연구에서는 Cs 이온 스퍼터링법을 이용하여 비평형 B-C-N 박막을 합성하고, 박막의 경도 및 탄성 계수에 미치는 공정인자의 영향을 고찰하였다. 또 이들이 박막의 tribology 특성에 미치는 영향을 조사하고, 이를 기존 공구와 절삭성능 비교를 통해 실용화 기초자료 확보하는데 주력하였다. 이상의 결과로부터 산업적으로 응용 가능한 60 GPa이상의 높은 경도와 약 0.15의 낮은 마찰계수를 가지는 $B_{10}C_{24}N_{12}$ 박막의 합성할 수 있었으며, 이를 실 공구에 적용하여 응용가능성을 확인할 수 있었다. 현재 예상되는 실용화 가능한 분야로는 고속가공용 절삭공구, 고품위 베어링, 핵심부품의 내마모 박막, MEMs 용 능동소자의 내마모, 초유햄 박막 및 초고온, 극저온, 초고속, 우주·항공분야 등 극한 핵심부품 등이 있다. 이러한 적극적인 마모억제 기술의 활용은 새로운 응용분야를 창출할 수 있을 뿐만 아니라, 각종 기계부품의 보수유지, 파손에 의한 비용절감, 수명증대에 의한 투자비 절약, 손실 감소에 의한 에너지 절감, 가동율·효율향상, 인건비 및 각종비용의 절감과 아울러 자원을 획기적으로 절약할 수 있을 것으로 기대된다.

이와 같은 연구결과의 활용을 통해 얻을 수 있는 예상효과를 개괄적으로 기술하면 다음과 같다. 기계류 부품의 보수유지, 파손방지에 의한 비용절감, 수명증대에 따른 투자비 절약, 마찰손실 감소에 의한 에너지 절감, 가동율·효율향상, 인건비 및 각종 비용의 절감과 아울러 자원을 절약할 수 있기 때문에 산업발전에 매우 큰 영향을 미칠 것이다. 일본의 경우 1966~1968년 사이에 연간 2조엔이 마찰, 마모, 유햄부 적합에 의해 손실이 발생하였다고 추산하였는데 이로부터 우리나라와 기술격차를 고려하고 경제규모가 일본의 약 1/3이라고 추정하면 우리나라의 경우도 국가예산의 10% 범위의 연간 약 47조원의 손실이 발생하리라 예상할 수 있다. 한 개의 작은 과제 수행으로 국내 모든 기술 분야의 경제손실을 감당하기는 어렵지만 이와 같은 작은 연구·개발 노력들이 꾸준히 지속된다면 이 기술의 파급효과는 매우 클 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 권오관, 기계와 재료 Vol. 1, No. 2, 29(1989)
- [2] E. Byon, S. Lee, G. Lee, E. Lee, J-H Yoon, K. Sugimoto, C Sung and S-R Lee, Metals and Mater. Vol. 6 No. 5, 467 (2000)
- [3] M. L. Cohen : Phys. Rev., B32 (1985), 7988
- [4] M. L. Cohen : Solid State Comm., 92 (1994), 45
- [5] S. Weissmantel, G. Reisse, B. Keiper, A. Weber, U.Falke and M. Roder, Applied Surface Science, 127-129, 444 (1998)
- [6] Y. Wada, Y. K. Yap, M. Yoshimura, Y. Mori and T. Sasaki, Diamond Relat. Mater., 9 (2000) 620
- [7] J. Ishikawa, Rev. Sci. Instrum. 67(3), 1410 (1996)
- [8] 左藤 純一, 탄소계 고기능 재료기술에 관한 검토보고서, 탄소계 고기능 재료기술 연구회 뉴다이

아몬드 포럼 (1995)

- [9] 백영준, 과학기술처 연구보고서 UCE1427-5846-1 (1996)
- [10] 백영준, 과학기술부 연구보고서 UCN1854-6538-1 (1999)
- [11] E.S. Byon, S.R. Lee, K.H. Lee, J.H. Yoon, S.Y. Kim, Proceeding of ICMCTF 99 USA (1999) 99
- [12] Eungsun Byon, Jong-Kuk Kim, Sunghun Lee, Jun-Hee Han, Katsuhisa Sugimoto, Proceeding of FSE 2001 conference, Oct. 28- Nov. 1 2001 Nogoya, Japan (2001) 272
- [13] Eungsun Byon, Sunghun Lee, Jong-Kuk Kim, Gunhwan Lee, Koohyun Lee, Proceeding of 2001 KAPRA & KPS/DPP Workshop, Jeju KOREA (2001) 14



김 종 국

- 한국기계연구원 표면연구부 선임연구원
- 관심분야 : 저에너지 금속 플라즈마 및 이온을 이용한 표면처리
고에너지 금속 이온 빔을 이용한 금속 주입
금속이온주입을 이용한 생체재료 표면개질
진공아크 및 스파터링 공정을 이용한 박막형성
PDP의 보호막 코팅
- E-mail : kjongk@kmail.kimm.re.kr



변 응 선

- 한국기계연구원 표면연구부 선임연구원
- 관심분야 : 초경질 박막 합성(c-BN, B-C-N, DLC, Ti-Si-N, TiN)
Metal Plasma Source Ion Implantation에 의한 표면개질
이온주입법을 이용한 생체재료 표면개질
나노구조 지능형 Glass 코팅공정 개발
- E-mail : esbyon@kmail.kimm.re.kr