

WC-Co 인서트의 절삭 성능에 미치는 TiAlN계 나노 다층막 코팅의 영향

임희열^{1,2} · 박종극^{2*} · 김경배³ · 최두진¹ · 백영준⁴

¹연세대학교 공과대학 세라믹공학과, 서울 120-749

²한국과학기술연구원 박막재료연구센터, 서울 136-791

³한국야금 생산기술연구소, 청주 361-290

⁴한국과학기술연구원 미래기술연구본부, 서울 136-791

(2004년 8월 23일 받음)

본 연구에서는 나노 두께를 갖는 두 층을 반복적으로 증착하여 나노 다층 구조를 갖는 질화물이 코팅된 절삭공구의 기계적 성능과 절삭성능의 향상에 대해 고찰하였다. 이러한 질화물계 나노 다층막에 대한 재료는 격자상수와 결정구조에 따라 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계와 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계를 선택하여, UBM sputtering 증착법을 이용하여 초경(WC-Co) 인서트(insert)위에 증착하였다. 공정 변수들인 증착온도, 압력, 기판 바이어스 전압, 기판회전 속도 등을 조절하여 다른 주기 값을 갖는 일정한 두께의 다층막들을 증착 시켰고, 주기에 따른 초격자 형성, 경도 값과 절삭성능을 관찰 하였다. 증착된 다층막들은 그 주기 값에 따라 경도 값이 다르게 나타났으며, 경도 값이 상대적으로 높았던 특정 주기의 다층막이 코팅된 절삭 공구의 경우, 기존의 상용화된 제품에 비해 frank wear로 비교한 절삭 성능이 20 % 이상 향상됨을 관찰하였다.

주제어 : TiAlN, 나노 다층막, 초격자, 경도, 절삭성능

I. 서 론

현재 각종 산업용 부품산업이나 기계공업의 발전은 절삭공구산업의 발전과 함께 급격한 신장을 보이고 있다. 이것은 각종 부품산업에 있어서 절삭공구의 발전이 산업에 큰 핵심 기술임을 보여주고 있다. 절삭가공기술은 그 쓰임에 있어서 점점 더 고속도화, 고능률화, 고정밀화를 요구하고 있으므로, 우수한 내마모성과 내구성, 고경도 등을 갖는 절삭공구의 개발이 한층 더 요구되고 있다. 최근 산업의 고도화와 함께 주목을 받고 있는 공구재료는 알루미늄계, 질화규소계, 탄화물계, 질화물계, 다이아몬드 등이다. 이 중에서도 TiAlN과 같은 질화물계 단일막을 초경(WC-Co) 인서트(insert)위에 코팅한 절삭 공구가 근래에 광범위하게 사용되고 있으나, 현재 이러한 단일막 코팅에 의한 공구의 고강도와 수명연장에는 그 성능의 한계를 드러내고 있기 때문에 이러한 특성을 높이기 위해 여러 관점으로 많은 시도들이 이루어지고 있다. 그 중에서 최근에 2가지 재료를 응용하여 나노 다층막의 형태로 코팅 층을 형성하는 연구가

진행되고 있는데, 이와 같은 미세구조의 나노화에 의해 다층막의 경도 값이 각각 다층막을 구성하는 단일막의 경도 값에 비해 50 % ~ 100 % 정도 향상될 수 있음이 최근 보고되고 있다 [1]. 이것은 미세구조변화에 의해 소재의 물성을 크게 변화시킬 수 있다는 가능성을 보인 것으로써, 제품생산 시, 기존의 생산 공정 장비를 그대로 이용할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 소재의 가장 큰 응용분야 중의 하나는 절삭 공구와 같은 높은 경도와 내마모적 특성을 요구하는 분야인데, 아직 국내에서는 이의 응용에 대한 보고가 제대로 진행되어 있지 않다.

그러므로 본 연구에서는 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계, $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계의 나노 다층막을 WC-Co 절삭 공구에 증착하여, 공구성능, 공구수명 향상 관점에서의 응용가능성을 살펴보고자 하였다.

II. 실험 방법

본 실험에서는 PVD(Physical Vapor Deposition)의 한 종류인 UBM(Unbalanced Magnetron) 스퍼

티링(sputtering) 법을 이용하여 나노 두께를 갖는 다층막을 증착시켰는데, 절삭공구에 대한 응용에 중점을 두어, 절삭공구 응용 시 가장 중요한 부분인 초경 인서트의 edge나 corner 부분을 균일하게 코팅하기 위해, 시편을 공전, 자전 시킬 수 있는 지그 회전 방식(Jig rotation system)을 이용하였다. 본 실험에서는 $Ti_{0.5}Al_{0.5}$, Cr, $Ti_{0.85}Al_{0.15}$, Al의 금속 타겟을 이용하여 스퍼터링 법으로 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N$ -CrN 계, $Ti_{0.84}Al_{0.16}N$ -AlN계의 나노 다층 구조 질화물 박막을 증착하였는데, 이 때 서로 다른 금속 타겟을 대향으로 배치하고 이들 금속 타겟 사이에서 기판이 장착되어 있는 지그를 회전시킴으로써, 서로 다른 질화물을 반복적으로 증착하여 다층 구조를 갖는 박막을 얻었다.

박막 증착 전 Ar 이온 세정으로 기판의 불순물을 제거하였고, 다층막의 주기(Λ)는 기판이 장착되어 있는 지그의 회전 속도 변화로 조절하였다. 기판으로는 Si(100) wafer와 TiAlN 단일막을 2 μm 정도 두께로 초경(WC-Co) 인서트(insert)위에 증착한 것을 사용하였는데, 증착 시, 지그에 이들 기판을 동시에 장착하여 구조, 경도 분석은 Si wafer를, 절삭 성능은 인서트를 이용하여 행하였다. 증착 시, 챔버 내부의 기본 압력은 3.0×10^{-5} torr이고, 증착온도는 400 $^{\circ}C$ 로 유지했으며, 공정 기체(Ar + N_2)의 유량은 6:4의 비율로 일정하게 유지되었다. 또한 기판 바이어스 전압은 -100 V와 -150 V로 조절하였고, 증착 압력은 2~8 mtorr까지 조절하였다. 타겟은 종류별로 지름이 3 inch 인 것을 사용하였고, 타겟 Power는 각각의 재료마다 sputter yield의 차이가 있기 때문에 같은 증착 속도를 나타내도록 조절하였다. 기판과 타겟과의 거리는 7 cm로 모두 일정하게 유지하였다. 증착된 시편의 성능 평가 및 분석은 XRD(MAC Science사의 M03XHF22 모델)와 HRTEM(Hitachi사의 H-9NAL모델, 300kV)을 이용하였다. XRD는 low angle측정으로 박막의 전체적인 다층막 구조를 볼 수 있으며 이러한 결과로 다층막의 주기를 판별할 수 있었다 [2-3]. 또한 high angle XRD를 이용하여 초격자의 형성여부를 판단할 수 있었고 [3], HRTEM에 의한 격자배열을 관찰함으로써 초격자의 형성을 직접 관찰할 수 있었다. 또한 기계적 물성인 경도에 대한 측정은 MTS사의 Nanoindenter XP모델을 이용하여 나노압입 시험을 하였다. 실질적인 절삭성능 시험은 Niigata사의 2-UBM 모델과 PCV620을 이용하여

시험이 진행된 초경 인서트의 면을 관찰 하였다. 절삭성능 시험 시 피삭재물은 SCM440(강)이었고, 절삭속도는 $V : 216$ m/min, 주축회전수는 $N : 430$ rpm, 날당 이송량은 $f : 0.186$ mm, 테이블 이송은 $F : 80$ mm/min, 절삭 깊이는 $d : 2.0$ mm의 조건으로 진행하였다.

III. 결과 및 고찰

본 실험에서 $Ti_{0.5}Al_{0.5}$, $Ti_{0.85}Al_{0.15}$ 의 금속 타겟을 이용하여 스퍼터링 법으로 증착한 질화물내의 Ti:Al 비율은 WDS를 이용하여 분석해 본 결과, 각각 54:46, 84:16으로 나타났다. 이로 부터 본 연구에서 증착한 두 종류의 나노 다층 박막을 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N$ -CrN, $Ti_{0.84}Al_{0.16}N$ -AlN으로 나타내었다.

3.1 Low-angle XRD

기판인 Si(100) wafer에 증착한 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N$ -CrN 계와 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N$ -AlN계 다층막에 대한 low angle XRD peak를 그림 1에 나타내었다. low angle XRD peak 위치로부터 다음 식을 이용하여 증착된 나노 다층 구조 박막의 주기 값을 구할 수 있는데, 이 주기 값들을 그림 1에 나타내었다.

$$\sin^2 \theta = \left(\frac{n\lambda}{2\Lambda} \right)^2 + 2\delta$$

여기서 θ , λ , Λ , δ 는 각각 low angle peak 위치, 사용한 x선 파장, 나노 다층막의 주기 값, 증착된 막의 평균 굴절률의 실수부(real part)를 의미한다.

그림 1에서 주기가 작아질수록 low angle에서의 peak 강도가 작아지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 주기가 작아짐에 따라 상대적으로 다층막의 계면에서 intermixing 영역의 크기가 증가하므로 peak 강도가 작아지게 되는 것으로 판단된다 [2-3].

3.2 High-angle XRD

기판인 Si(100) wafer에 증착한 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N$ -CrN 계와 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N$ -AlN계 다층막에 대한 high angle XRD peak를 그림 2에 나타내었다. 초격자 형성여부는 위성 peak의 존재, 혹은 high angle peak들의 위치로부터 판단할 수 있는데, 그림 2에

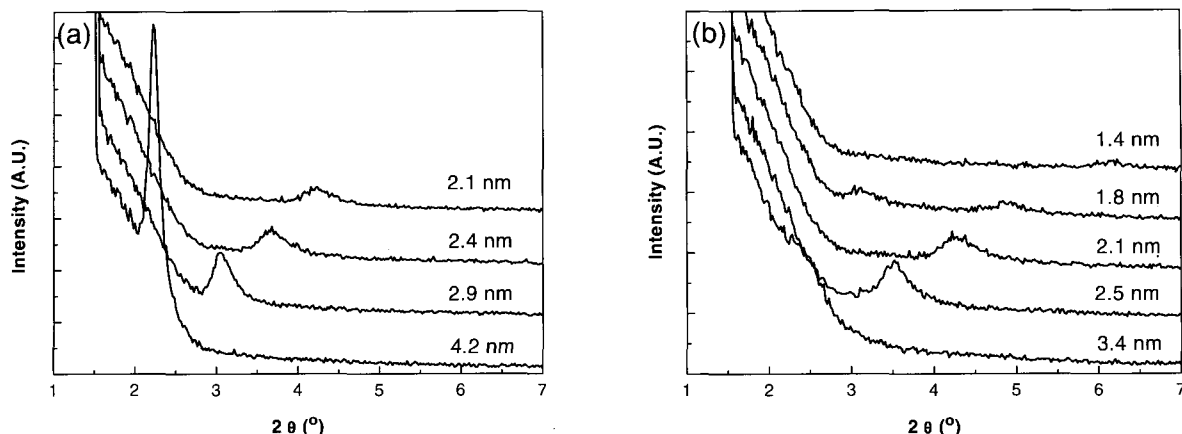


그림 1. (a) -150 V 기판 바이어스 전압 하에서 증착된 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계 나노 다층막의 low-angle XRD pattern, (b) -100 V 기판 바이어스 전압 하에서 증착된 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계 나노 다층막의 low-angle XRD pattern.

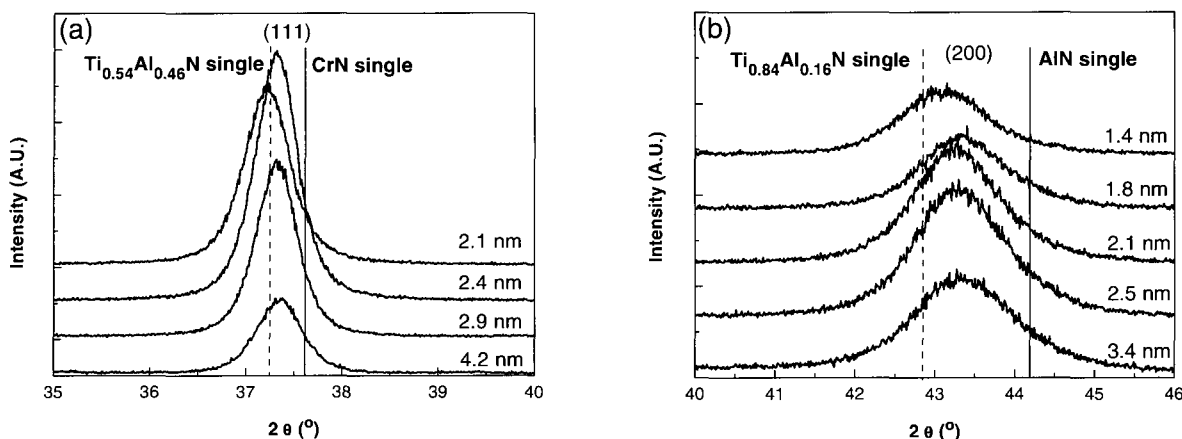


그림 2. (a) -150 V 기판 바이어스 전압 하에서 증착된 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계 나노 다층막의 high-angle XRD pattern, (b) -100 V 기판 바이어스 전압 하에서 증착된 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계 나노 다층막의 high-angle XRD pattern.

서 볼 수 있듯이 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계와 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계 다층막의 경우, 그 Bragg peak이 각각의 물질인 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N$ 와 CrN의 단일막, $Ti_{0.84}Al_{0.16}N$ 와 AlN의 단일막의 Bragg peak 사이에 존재함으로써 초격자 형성을 확인할 수 있었다 [4]. 지그의 회전수가 점점 빨라짐에 따라 peak이 저각 쪽으로 이동하는 것을 그림 2에서 볼 수 있는데, 이것은 주기가 작아짐에 따라 막에 작용하는 압축응력에 의해 막에 수직인 방향으로의 면간거리가 확장되면서 저각 쪽으로 peak이 이동하는 것으로 판단된다 [5].

3.3 다층 구조와 초격자 형성

기판인 Si(100) wafer에 증착한 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계와 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계 다층막에 대한 HRTEM 사진과 회절 패턴(diffraction pattern)을 그림 3에

나타내었다. HRTEM 그림으로 전체적인 다층 구조 형성과 격자 일치도를 직접 관찰 할 수 있었다. (a)는 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계중에서 2.4 nm의 주기값을 갖는 시편의 사진이고, (b)는 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계중에서 2.5 nm의 주기값을 갖는 시편을 선택한 그림이다. 이것은 HRTEM에서 볼 수 있는 다층막의 실제 주기값이 앞의 3.1에서 low angle XRD에 의한 식으로 계산된 값과 일치하는 것을 보여주며, high angle XRD에서 보여준 초격자의 형성 여부에 대한 실질적인 A, B층의 격자 일치도 lattice fringe를 통해 관찰할 수 있었다. 또한, 회절 패턴으로부터 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계와 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계 다층막들은 모두 Cubic구조로 안정화되었음을 알 수 있었다.

3.4 다층막의 주기에 따른 경도 변화

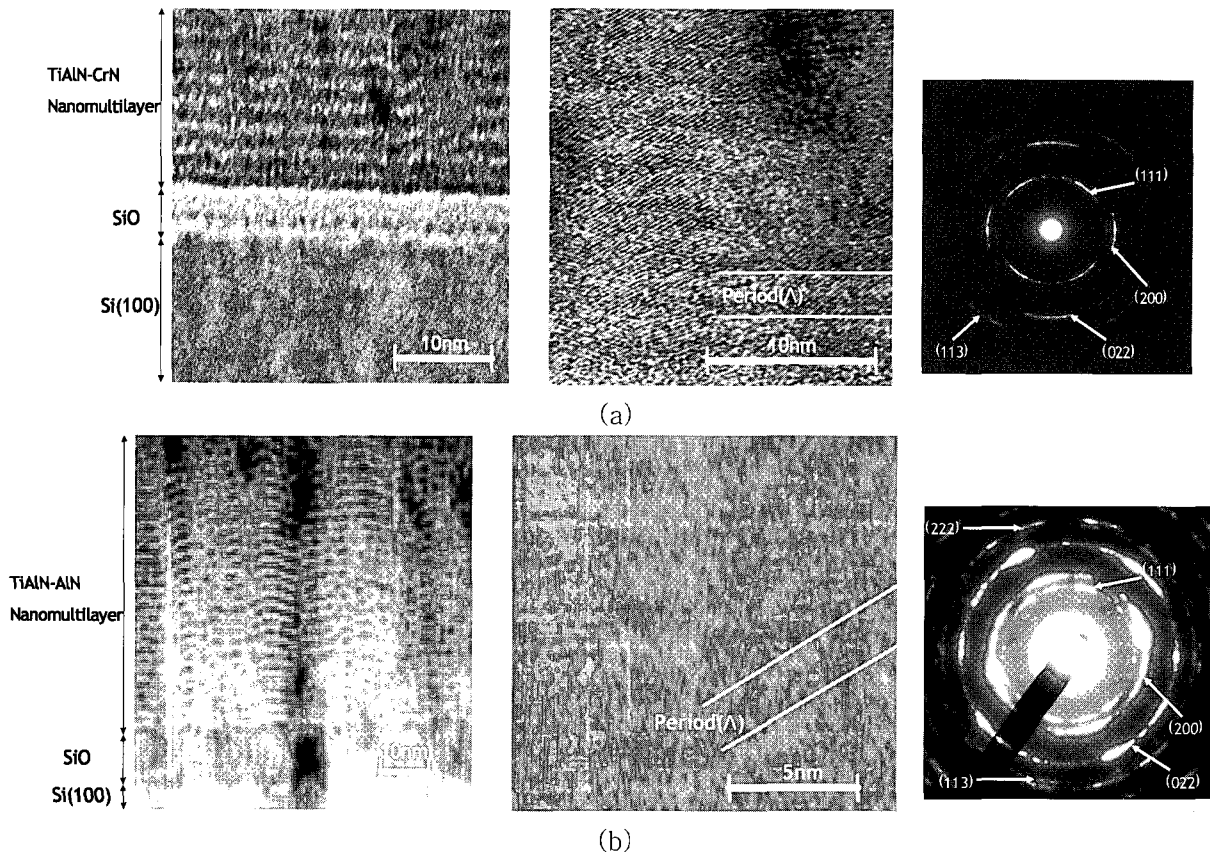


그림 3. (a) -150 V 기판 바이어스 전압 하에서 증착된 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계 나노 다층막의 HRTEM image. (b) -100 V 기판 바이어스 전압 하에서 증착된 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계 나노 다층막의 HRTEM image.

기판인 Si(100) wafer에 -100 V의 기판 바이어스 전압 하에서 증착한 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계와 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계 나노 다층막에 대한 주기에 따른 경도 변화를 그림 4에 나타내었다. 그림에서와 같이 다층막은 각각의 종류에 따라 주기별 경도 값에 대한 양상이 달랐다. $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계에서는 2.9 nm의 주기 값에서 28 GPa의 가장 높은 경도 값을 나타낸 반면, $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계에서는 비교적 낮은 주기 값인 1.4 nm의 주기 값에 27.8 GPa의 가장 높은 경도 값을 나타내었다. 이는 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계는 두 질화물 모두 Cubic구조를 가지는 반면, $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계는 두 질화물이 각각 Cubic과 Hexagonal로 서로 다른 구조를 가지기 때문으로 판단된다. 두 계 모두 실제적인 증착 과정에 의한 박막 형성 시에는 모두 Cubic구조로 증착이 되지만, 이처럼 다른 양상을 보이는 이유는 Cubic과 Hexagonal이 초격자를 이루는 과정에 있어서 격자 상수의 차이가 Cubic과 Cubic에 의한 것보다 크기 때문이다 [6-7]. 주기의 두께가 증가하면서 초격자

형성 시 각각의 층이 고유한 격자상수로 돌아가려는 힘이 커지므로 격자상수의 차이가 큰 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계가 작은 주기에서 초격자의 형성이 유리하고, 그에 따라 경도 역시 작은 주기에서 더 큰 것으로 판단된다 [8]. 이것은 모든 조건이 같은 실험에서 주기 값 변화가 초격자 형성의 주요한 원인이라는 것을 보여주는 것이며, 이에 따른 경도 변화도 관찰 할 수 있었다. 실질적으로 나노 다층막에서, 초격자를 형성하기 위해서는 각각의 층의 두께에 따른 영향을 받게 된다. 각각의 층이 얇을 경우 두층에서 격자 상수의 일치가 이루어짐으로써 초격자의 형성이 구현되는 것이다. 그러나 각각의 층이 어느 일정 두께를 넘어서게 되면 재료 고유의 특성을 가지게 되므로 초격자를 깨고 각각의 격자 상수만큼 이동하여 격자 불일치를 일으키게 된다. 또한 각층의 두께가 너무 얇아지게 되면 각층이 서로 섞여 다층막을 이룰 수 없게 된다. 그러므로 초격자 형성을 위해서는 각층에 대한 두께가 중요한 요소로 작용하고, 이는 각각의 계별로 달라질 수

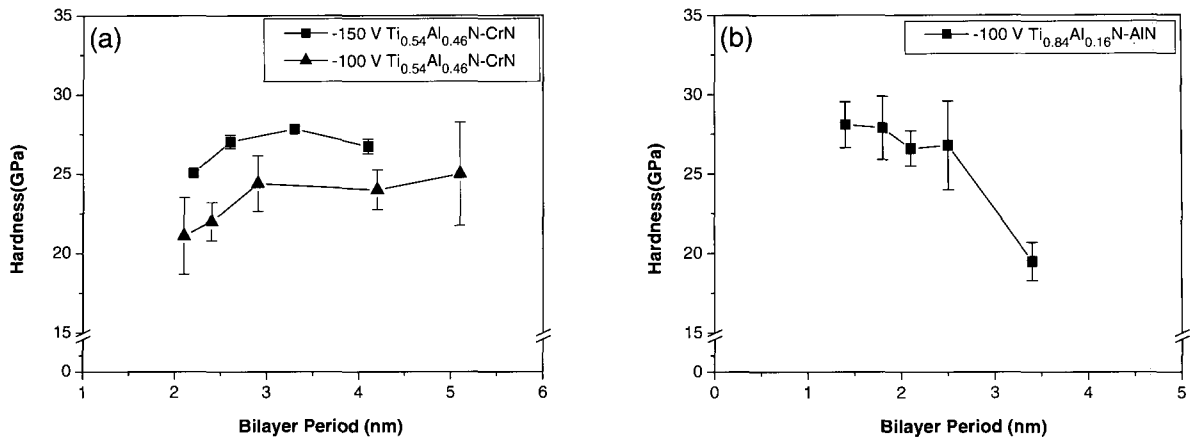


그림 4. (a) -150 V 와 -100 V 기판 바이어스 전압 하에서 증착된 $\text{Ti}_{0.54}\text{Al}_{0.46}\text{N-CrN}$ 계 나노 다층막의 주기에 따른 경도변화와 기판 바이어스 전압의 영향.
 (b) -100 V 기판 바이어스 전압 하에서 증착된 $\text{Ti}_{0.84}\text{Al}_{0.16}\text{N-AlN}$ 계 나노 다층막의 주기에 따른 경도변화.

있다. 이러한 주기 값에 대한 초격자 형성여부는 층을 이루는 고유 재료특성에 따라 달라지므로, 선택된 계에 따라 다르게 나타난다 [9]. 한편 $\text{Ti}_{0.54}\text{Al}_{0.46}\text{N-CrN}$ 계에서는 기판 바이어스 전압을 -150 V로 높였을 경우, 그림 4에서 나타냈듯이 측정된 모든 주기 값에서 -100 V 보다 높은 경도 값을 보였다. 그러나 $\text{Ti}_{0.84}\text{Al}_{0.16}\text{N-AlN}$ 계의 경우에는 -150 V에서 인서트에 증착된 막이 전체적으로 들고 일어나 절삭성능 시험이 불가능 하였으므로, 측정된 경도와 실제 인서트의 절삭성능과의 관계를 알아보기 위해 -100 V에서의 경도 값만을 제시하였다.

3.5 주기에 따른 절삭성능

본 연구에서의 절삭 성능 시험은 내마모 특성을 중심으로 진행되었다. TiAlN 이 2 μm 정도 코팅되어 있는 상용 WC-Co 인서트에 각각 -150 V와 -100 V의 기판 바이어스 전압 하에서 증착한 $\text{Ti}_{0.54}\text{Al}_{0.46}\text{N-CrN}$ 계와 $\text{Ti}_{0.84}\text{Al}_{0.16}\text{N-AlN}$ 계 다층막의 flank wear를 그림 5에 나타내었다. Frank wear로 판단한 절삭 성능은 주기에 따른 경도변화와 밀접한 관계를 갖으며 경도가 증가할수록, 마모 정도가 감소하는 양상을 볼 수 있었다. $\text{Ti}_{0.54}\text{Al}_{0.46}\text{N-CrN}$ 계는 28 GPa로 가장 높은 경도 값을 가지는 주기 2.9 nm의 박막에서, 1 pass부터 25 pass까지의 Flank wear 증가량은 0.06 mm로써 상용 시편의 마모 증가량 0.076 mm에 비해, 21%정도 감소하였음을 알 수 있다. 또한 $\text{Ti}_{0.84}\text{Al}_{0.16}\text{N-AlN}$ 계에서도 27.8 GPa로 가장 높은 경도 값을 가지는 주기 1.4 nm의 박막에

서, 1 pass부터 8 pass까지의 Flank wear 증가량은 0.057 mm로써 상용 시편의 마모 증가량 0.068 mm에 비해, 16%정도 감소하였음을 알 수 있다. 이 감소율은 그림 5(b)에서 볼 수 있듯이 12 pass 후에는 더욱 두드러질 것으로 예상되나, 상용 시편이 8 pass 후에 측정이 불가능할 정도로 손상되어 직접 비교는 할 수 없었다. 이로 부터 기존의 단일막이 코팅된 인서트에 비해 나노 다층막이 코팅된 인서트가 특정 주기에서 경도 값에 비례하여 약 20 % 내외의 마모율 감소를 나타냄을 알 수 있었다.

IV. 결 론

1. UBM sputtering 증착법과 기판의 자전, 공전 방식을 이용하여 $\text{Ti}_{0.54}\text{Al}_{0.46}\text{N-CrN}$ 계와 $\text{Ti}_{0.84}\text{Al}_{0.16}\text{N-AlN}$ 계 나노 다층막을 주기 값이 다르게 증착 하였다. low angle XRD와 high angle XRD, HRTEM을 이용하여 나노 다층막의 형성과 초격자의 형성 여부를 판단 할 수 있었다.
2. 초격자의 형성에 따른 경도 증가를 측정하기 위해 나노 압입 시험을 이용하여 주기 값의 변화에 따른 경도변화를 관찰할 수 있었고, Cubic과 Cubic, Cubic과 Hexagonal의 격자 구조에 따른 경도 변화양상도 관찰 할 수 있었다. 두 가지 시리즈 모두 일정 주기 값 범위에서 높은 경도 값을 보였다. 이것은 초격자형성에 의한 경도증가를 나타내는 것이며, 다층막에서 각층의 두께가 초격자의 형성에 중

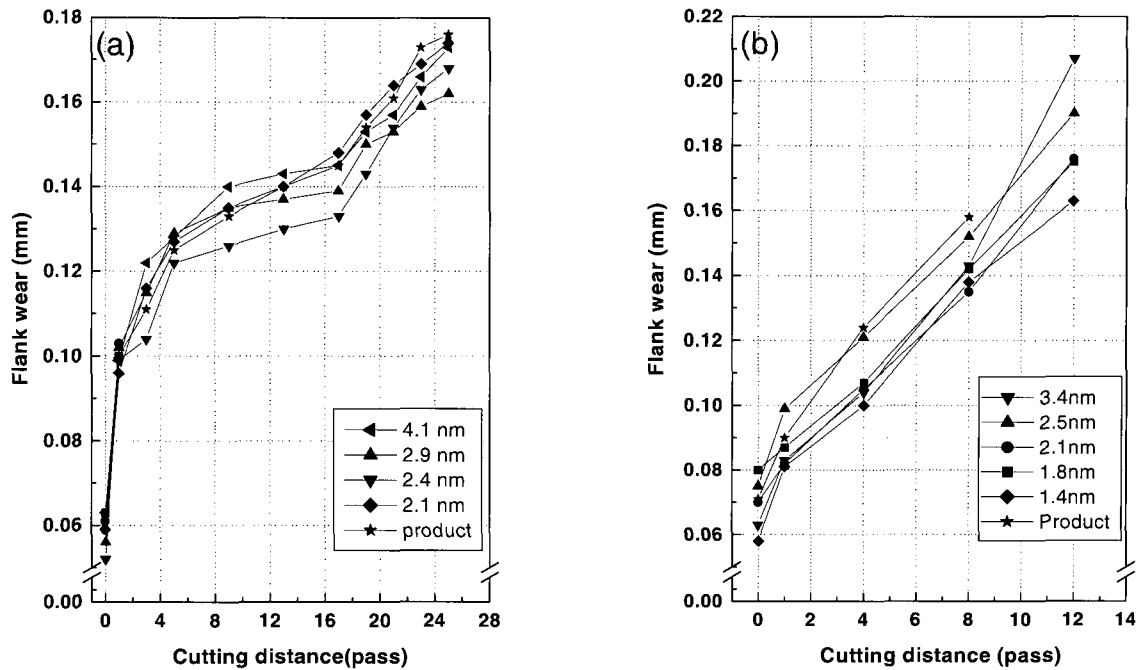


그림 5. (a) -150 V 기판 바이어스 전압 하에서 증착된 $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ 계 나노 다층막의 주기에 따른 flank wear. (b) -100 V 기판 바이어스 전압 하에서 증착된 $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ 계 나노 다층막의 주기에 따른 flank wear..

요한 요소로 작용하고 있음을 알 수 있었다.

3. 초격자 형성에 의한 경도 증가는 실질적인 절삭성능 시험에서도 기존의 상용화된 제품에 비해 20% 이상 증가된 절삭 성능을 보였으며, 질화물계 나노 다층막이 공구 성능 및 공구수명 향상을 위한 코팅 소재로써 응용 가능성이 있음을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 과기부의 21세기 프론티어 연구개발 사업인 ‘나노소재기술개발사업단’의 지원(과제번호: 04K1501-01010)으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다. 또한 경도측정을 위한 나노압입시험에 많은 도움을 주신 한국표준과학연구원 한준희 박사님께 감사드립니다.

참고 문헌

[1] U. Helmersson, S. Todorova, S. A. Barnett, J. E. Sundgren, L. C. Markert, and J. E. Greene, *J. Appl. Phys.*, **62**, 481 (1987)

[2] P. F. Miceli, D. A. Neumann, and H. Zabel, *Appl. Phys. Lett.*, **48**, 24 (1986)

[3] Y.S. Gu, W.P. Chai, Z.H. Mai, and J.G. Zhao, *Phys. Rev. B* **50**, 6119 (1994)

[4] Eric E. Fullerton, Ivan K. Schuller, H. Vanderstraeten, and Y. Bruynseraede, *Phys. Rev. B*, **45**, 9292 (1992)

[5] A. Boufelfel, R. M. Emrick, and C.M. Falco, *Phys. Rev. B* **43**, 13152 (1991)

[6] H. Ohnuma, N. Nihira, A. Mitsuo, K. Toyoda, K. Kubota, and T. Aizawa, *Surf. Coat. Technol.* **177/178**, 623 (2004)

[7] Ayako Kimura, Masahiro Kawate, Hiroyuki Hasegawa, and Tetsuya Suzuki, *Surf. Coat. Technol.* **169/170**, 367 (2003)

[8] D. B. Lewis, Q. Luo, P. Eh. Hovsepian and W. -D. M n z, *Surf. Coat. Technol.* **184**, 255 (2004)

[9] D. B. Lewis, I. Wadsworth, W.-D. M n z, R Kuzel, Jr, and V. Valvoda, *Surf. Coat. Technol.* **116-119**, 284 (1999)

Effect of TiAlN-based Nanoscale Multilayered Coating on the Cutting Performance of WC-Co Insert

Hee-Youl Lim^{1,2}, Jong-Keuk Park^{2*}, Kyung-Bae Kim³,
Doo-Jin Choi¹, and Young-Joon Baik⁴

¹Department of Ceramic Engineering, Yonsei University, Seoul 120-290

²Thin Film Materials Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791

³Production Engineering Research Center, KORLOY Inc., Cheongju 361-290

⁴Future Technology Research Division, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791

(Received August 23, 2004)

The mechanical property and cutting performance of the cutting tools coated with nanoscale multilayered nitride film have been investigated. $Ti_{0.54}Al_{0.46}N-CrN$ and $Ti_{0.84}Al_{0.16}N-AlN$ systems, which showed superlattice in nanoscale multilayered coating, were deposited on WC-Co insert by UBM sputtering. The superlattice coatings with different bilayer periods were manufactured by controlling deposition parameters. The superlattice formation and hardness of the nanoscale multilayered nitride film and the cutting performance of the insert coated with the film were examined. The hardness and cutting performance were dependent on the bilayer periods of the coatings. The flank wear of the inserts with superlattice coatings were decreased over 20 %, compared to those of commonly used cutting tools coated with TiAlN single phase.

Keywords : TiAlN, Nanoscale-multilayer, Superlattice, Hardness, Cutting performance

* [E-mail] yjbaik@kist.re.kr